

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
KONSTRUKCIJSKA SMER**

Kandidat:

**JURE PEZDIRC**

**PROJEKT ALUMINIJASTEGA POHODNEGA MOSTU  
IN POVZETEK STANDARDA EC9**

Diplomska naloga št.: **453/SKS**

**DESIGN PROJECT OF ALUMINIUM PEDESTRIAN  
BRIDGE AND SUMMARY OF EC9**

Graduation thesis No.: **453/SKS**

**Mentor:**  
prof. dr. Jože Korelc

**Predsednik komisije:**  
doc. dr. Tomo Cerovšek

Ljubljana, 26. 3. 2012

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani, **JURE PEZDIRC**, izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom  
»**PROJEKT ALUMINIJASTEGA POHODNEGA MOSTU IN POVZETEK STANDARDA EC9**«.

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

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

Ljubljana, 16 .3 .2012

Jure Pezdirc

---

## **IZJAVA O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

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

- UDK:** 624.014:624.21:006.3/.8(043.2)
- Avtor:** Jure Pezdirc
- Mentor:** prof. dr. Jože Korelc
- Naslov:** Projekt aluminijastega pohodnega mostu in povzetek standarda EC9
- Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – visokošolski strokovni študij
- Obseg in oprema:** 95 str., 25 pregl., 49 sl., 77 en.
- Ključne besede:** dimenzioniranje, aluminij, EC 9, pohodni most, aluminijaste konstrukcije, veter na paličja, obtežba ledu

### **Izveček**

Diplomska naloga obravnava izračun in dimenzioniranje aluminijastega pohodnega mostu, ki je bil izveden in postavljen na severu Norveške v letu 2011. V prvem delu diplomske naloge je izdelana globalna analiza objekta in vplivov, ki delujejo na objekt. Ker objekt stoji na zelo izpostavljenem območju, so vrednosti vplivov temu primerno visoke. Posebnost med vplivi je obtežba ledu na konstrukcijo ter vpliv vetra na palične sisteme. Globalna analiza je bila izdelana s programom Oasys GSA. Model mostu je bil sestavljen iz linijskih elementov in togih kinematičnih vezi. V globalni analizi je upoštevana tako faza uporabe kot faza montaže objekta. Tako je obravnavanih deset konstrukcijskih stanj. Del montaže se je izvedel s pomočjo helikopterja, zato je temu delu posvečena posebna pozornost, saj je bila celotna zasnova mostu močno odvisna od maksimalne nosilnosti helikopterja.

Drugi del diplomske naloge je namenjen podrobnejši predstavitvi standarda za dimenzioniranje aluminija (EC 9). Predstavljene so posebnosti pri dimenzioniranju aluminija, ki so specifične le za ta material. Podana so navodila za optimalno izbiro aluminijeve zlitine, glede na zahteve, ki jih imamo. Izvedeno je tudi dimenzioniranje posameznih elementov mostu in dimenzioniranje tipičnih spojev mostu. V diplomski nalogi so bili upoštevani vsi veljavni Evrokod standardi vključno z norveškimi nacionalnimi dodatki.

## **BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

- UDC:** 624.014:624.21:006.3/.8(043.2)
- Author:** Jure Pezdirc
- Supervisor:** prof. dr. Jože Korelc
- Title:** Design project of aluminium pedestrian bridge and summary of EC9
- Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies
- Notes:** 95 p., 25 tab., 49 fig., 77 eq.
- Key words:** aluminium construction, design structure, pedestrian bridge, ice load, wind on trusses, aluminium, EC 9

### **Abstract**

The thesis deals with the calculation and design of aluminum pedestrian bridge, which was executed and placed on the north of Norway in 2011. First part of the thesis contains global analysis and analysis of action on structure. As the bridge stands on a very exposed area values of actions are correspondingly very high. Specificity of actions is ice load on the structure elements and the effect of wind on truss. Global analysis was made with Oasys GSA. The bridge model was composed of beams and rigid kinematic links. The global analysis was made for normal usage and for all temporary (execution) stages. Calculation was run for ten different analysis stages. Part of the mounting was carried out by helicopter, so special attention was put on this part, since the entire concept of the bridge was highly dependent on the maximum load capacity of the helicopter. In second part a more detailed presentation of aluminium design according to standard (EC 9) was made. In this part we presented summary of rules for dimensioning aluminium elements, which are specific only to this material. Instructions are given for the optimal choice of aluminum alloy, according to the requirements that we have. Design and dimensioning of bridge elements and typical bridge joints were made. We took in to account all of relevant standards and Norwegian national annexes.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Jožetu Korelcu ter vsem ostalim, ki so mi na kateri koli način pomagali pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi svojim staršem, ki so mi omogočili študij ter mi pokazali vse čare gradbeništva.

Hvala Tadeji, ki me je vedno spodbujala in motivirala, kadar sem to najbolj potreboval.

Special thanks goes to Florian Kosche who give me opportunity to work on amazing project and with amazing people (Natalia, Harald, Franko, Petter and many others).

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TEHNIČNO POROČILO.....</b>	<b>2</b>
2.1	Opis konstrukcije in lokacije .....	2
2.2	Skice arhitekture mostu in uporabljeni prerezi .....	3
2.2.1	Skice mostu.....	3
2.2.2	Tehnični podatki in skice profilov .....	4
2.3	Materiali.....	7
2.3.1	Aluminij EN-AW 6082 T6 .....	7
2.3.2	Aluminij EN-AW 6082 T651 .....	8
2.3.3	Beton C 30/37 in armaturno jeklo S500 .....	8
2.3.4	Pramenasti kabli EN 12385 – GALFAN .....	8
2.4	Statični modeli .....	9
2.5	Pogoji temeljenja .....	10
2.6	Protikorozijska zaščita.....	14
2.7	Navodila za montažo.....	14
<b>3</b>	<b>VPLIVI ZA OSNOVNO PROJEKTNO STANJE .....</b>	<b>17</b>
3.1	Lastna in stalna obtežba .....	17
3.2	Veter.....	17
3.2.1	Izračun osnovnih karakteristik obtežbe z vetrom .....	17
3.2.2	Vpliv vetra na pohodno ploskev .....	21
3.2.3	Vpliv vetra na paličje .....	23
3.3	Sneg.....	27
3.4	Obtežba ledu .....	29
3.5	Koristna obtežba .....	32
3.6	Temperaturna obtežba na mostove .....	32
<b>4</b>	<b>VPLIVI ZA ZAČASNA PROJEKTNA STANJA .....</b>	<b>35</b>
4.1	Faktor lastne teže v času dviga.....	35
4.2	Vpliv vetra v času gradnje .....	35
<b>5</b>	<b>GLOBALNA ANALIZA .....</b>	<b>38</b>
5.1	Globalna nepopolnost .....	38
5.2	Kombinacije vplivov za stalna in začasna projektna stanja .....	39
5.3	Kontrola reakcij.....	41
5.4	Osnovno projektno stanje.....	43
5.5	Začasna projektna stanja .....	43



<b>6</b>	<b>POVZETEK STANDARDA EC 9 (EN 1999-1-1, 2007)</b> .....	<b>45</b>
6.1	Izbira vrste aluminija in oznake zlitin .....	45
6.2	Lastnosti materiala .....	48
6.3	Mejno stanje nosilnosti .....	48
6.3.1	Razvrščanje prečnih prereзов.....	48
6.3.2	Zmanjšanje nosilnosti ob zvarih v območju toplotnega vpliva (HAZ) .....	49
6.4	Korozija in protikorozijska zaščita površin .....	53
<b>7</b>	<b>DIMENZIONIRANJE ELEMENTOV KONSTRUKCIJE</b> .....	<b>56</b>
7.1	Dimenzioniranje okroglih profilov .....	56
7.1.1	Dimenzioniranje cevi CHS 300x06.....	56
7.1.2	Dimenzioniranje cevi CHS 300x06 – čas montaže .....	60
7.1.3	Dimenzioniranje cevi CHS 240x04 (vertikale).....	65
7.1.4	Dimenzioniranje cevi CHS 240x04 (zgornje razpore) .....	70
7.2	Dimenzioniranje pohodne ploskve .....	71
7.3	Dimenzioniranje pramenastih kablov .....	76
<b>8</b>	<b>DIMENZIONIRANJE ZNAČILNIH SPOJEV</b> .....	<b>77</b>
8.1	Spoj TYP 2.0 .....	78
8.1.1	Spoj TYP 2.1 vertikala.....	78
8.2	Spoj TYP 3.4 .....	86
<b>9</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>94</b>
<b>VIRI</b> .....		<b>96</b>
<b>PRILOGE</b> .....		<b>98</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Lokacija mostu (Google Maps, 2012, <a href="http://maps.google.com">http://maps.google.com</a> ).....	2
Slika 2: Skica mostu – tloris.....	3
Slika 3: Skica mostu – stranski ris.....	3
Slika 4: Skica mostu – Naris.....	3
Slika 5: Skica profila CHS 240x04 uporabljenega za vertikale in zgornje razpore.....	4
Slika 6: Skica profila zgornji nosilec CHS 300x06.....	4
Slika 7: Shema elementa uporabljenega za pohodno ploskev »Walking path«.....	5
Slika 8: Skica varjenega profila za povezavo vertikalnih cevi med dvigom in montažo.....	5
Slika 9: Poimenovanje skupine elementov za dimenzioniranje in določitev prerezov le-teh (skica ne prikazuje pramenastih kablov).....	6
Slika 10: Stranski ris mostu - označitev pramenastih kablov.....	6
Slika 11: Tloris mostu – označitev pramenastih kablov.....	6
Slika 12: Osnovno projektno stanje.....	9
Slika 13: Začasno projektno stanje – dvig mostu.....	10
Slika 14: Začasno projektno stanje – montaža manjkajočih elementov.....	10
Slika 15: Leva stran soteske z že izvedenim temeljem.....	11
Slika 16: Leva stran soteske pred odstranitvijo kamnitih blokov in vegetacije.....	12
Slika 17: Leva stran soteske in mesto temelja po odstranitvi kamnitih nanosov.....	12
Slika 18: Desna stran soteske.....	13
Slika 19: Območje kjer bo postavljen temelj na desni strani soteske.....	13
Slika 20: Shematski prikaz faze dviga z pomembnejšimi podatki in navodili za varnost.....	16
Slika 21: Izbrana zasičenost pri III. Kategoriji terena (SIST EN 1991-1-4, 2005).....	20
Slika 22: Prečni prerez normalnih preklad (SIST EN 1991-1-4, 2005).....	21
Slika 23: Koeficient sile za mostove (SIST EN 1991-1-4, 2005).....	22
Slika 24: Koeficient sile $c_{f,0}$ za krožni cilindar (SIST EN 1991-1-4, 2005).....	23
Slika 25: Definicija zapolnjenosti $\rho$ (SIST EN 1991-1-4, 2005).....	26
Slika 26: Indikativne vrednosti faktorja vitkosti $\psi_{\lambda}$ kot funkcija zapolnjenosti $\rho$ in vitkosti $\lambda$ ... ..	26
Slika 27: Oblikovni koeficient obtežbe snega pri enokapnici (SIST EN 1991-1-3, 2005).....	28
Slika 28: Model nabiranja ledu za stekleni led (ISO 12494, 2001).....	30
Slika 29: Model nabiranja ledu za trdo ivje (neprozorna zrnasta, snegu ali ledu podobna masa) (ISO 12494, 2001).....	31
Slika 30: Zveze med ekstremnimi temperaturami zraka v senci in ekstremnimi enakomernimi temperaturami konstrukcije (SIST EN 1991-1-5, 2004).....	34
Slika 31: Dolžina povežja in podprti elementi (SIST EN 1999-1-1, 2007 (E)).....	39
Slika 32: Ovojnica maksimalnih osnih sil $A_x$ v elementih mostu.....	43

Slika 33: Ovojnica minimalnih osnih sil $A_x$ v elementih mostu .....	43
Slika 34: Ovojnica absolutnih maksimalnih momentov $M_{YY}$ v elementih mostu.....	43
Slika 35: Ovojnica absolutnih maksimalnih momentov $M_{ZZ}$ v elementih mostu .....	43
Slika 36: Minimalne in maksimalne osne sile v elementih med začasnimi projektnimi stanji	44
Slika 37: Minimalni in maksimalni momenti $M_{yy}$ v elementih med začasnimi projektnimi stanji .....	44
Slika 38: : Minimalni in maksimalni momenti $M_{zz}$ v elementih med začasnimi projektnimi stanji .....	44
Slika 39: Hladno utrjevanje in popuščanje aluminija (Selection of Structural Alloys, R. Gitter, 2008: str. 4).....	47
Slika 40: Toplotno utrjevanje v odvisnosti od časa in temperature utrjevanja (Selection of Structural Alloys, R. Gitter, 2008: str. 4) .....	47
Slika 41:Relacija med $\rho_c$ in razmerjem $\beta/\epsilon$ za zunanje in notranje dele prerezov, ter za okrogle cevi (SIST EN 1999-1-1, 2007 (E)).....	49
Slika 42: Razširitev območja toplotnega vpliva (SIST EN 1991-1-1, 2007(E)).....	50
Slika 43:Opredelitev pojmov prečni zvar ter zvara po celotni dolžini elementa .....	52
Slika 44: Efektivna debelina v četrtem razredu kompaktnosti z zvari po dolžini elementa (SIST EN 1999-1-1,2007).....	52
Slika 45: Skica vpliva lokacije prečnega zvara na faktorje za zmanjšanje nosilnosti .....	53
Slika 46: Naris mostu z označenimi spoji (zaradi simetričnosti prikazana le polovica mostu)	77
Slika 47: Oznaka spojev na levi podpori (dolvodno).....	77
Slika 48: Oznaka spojev na desni podpori (dolvodno).....	77
Slika 49: Objekt na pozicij po zaključenem dvigu .....	95

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lastnosti prereza CHS 240x04.....	4
Preglednica 2: Lastnosti prereza CHS 300x06.....	4
Preglednica 3: Lastnosti prereza za pohodno ploskev .....	5
Preglednica 4: Podatki o pramenastih kablji Pfeifer .....	7
Preglednica 5: Lastnosti izbranega materiala – aluminij za cevi in profile (velja za debeline od 5 mm do 15 mm).....	7
Preglednica 6: Lastnosti izbranega materiala – aluminij za cevi in profile (velja za debeline manjše od 5 mm) .....	8
Preglednica 7: Lastnosti izbranega materiala – aluminij za pločevine (velja za debeline med 12,5 mm in 100 mm).....	8
Preglednica 8: Lastnosti izbranega materiala – beton.....	8
Preglednica 9: Lastnosti izbranega materiala – pramenasti kabli.....	9
Preglednica 10: Izračun koeficientov sil in linijske obtežbe na elemente paličja .....	25
Preglednica 11: Oblikovna koeficienta obtežbe snega .....	28
Preglednica 12: Izračun obtežbe ledu na tekoči meter obravnavanega elementa .....	30
Preglednica 13: Faktorji za povečanje lastne teže v času dviga .....	35
Preglednica 14: Priporočene povratne dobe za izračun karakterističnih vrednosti klimatskih obtežb (SIST EN 1991-1-6, 2005) .....	35
Preglednica 15: Vrednosti za kombinacije vplivov pri stalnem in začasnem stanju .....	40
Preglednica 16: Lista najbolj kritičnih obtežnih kombinacij za mejno stanje nosilnosti (pri stalnem stanju) .....	40
Preglednica 17: Lista najbolj kritičnih obtežnih kombinacij za mejno stanje uporabnosti .....	41
Preglednica 18: Lista obtežnih kombinacij pri začasnem stanju (dvig in montaža manjkajočih elementov).....	41
Preglednica 19: Oznake aluminijevih zlitin in možni polizdelki (Selection of Structural Alloys, R. Gitter, 2008: str. 7) .....	46
Preglednica 20: D.1 – Priporočila za protikorozijsko zaščito za različne pogoje izpostavljenosti in različne trajnostne razrede konstrukcije (SIST EN 1999-1-1, 2007) .....	55
Preglednica 21: Maksimalne in minimalne notranje sile za CHS 300x06.....	56
Preglednica 22: Maksimalne in minimalne notranje sile za CHS 240x04 - vertikale .....	65
Preglednica 23: Maksimalne in minimalne notranje sile za CHS 240x04 – zgornje razpore .	70
Preglednica 24: Maksimalne in minimalne notranje sile za pohodno ploskev .....	71
Preglednica 25: Dimenzioniranje pramenastih kablov .....	76

## 1 UVOD

V današnji gradbeni praksi se aluminij kot gradbeni material uporablja vedno več. Uporabljati so ga začeli pred približno 100 leti, predvsem za dekoracijo, kasneje pa so ga začeli uporabljati tudi za konstrukcijske namene. Danes se v gradbeništvu porabi približno 20% vsega proizvedenega aluminija. Uporablja se za okenske okvirje, fasadne nosilne elemente, nosilne elemente predelnih sten in lahkih stropnih konstrukcij ipd. Aluminij je lahek (v primerjavi z drugimi kovinami), močan, obstojen in zahteva zelo malo vzdrževanja. Zaradi teh lastnosti je idealen za uporabo v gradbeništvu. Uporaba aluminija za konstrukcijski sistem je tako primerna predvsem tam, kjer je potrebna majhna lastna teža konstrukcije npr. zaradi majhne nosilnosti temeljnih tal, zaradi lažjega rokovanja z elementi ali zaradi znižanja stroškov transporta. Zaradi odpornosti proti koroziji ima aluminij tudi daljšo življenjsko dobo v agresivnih okoljih.

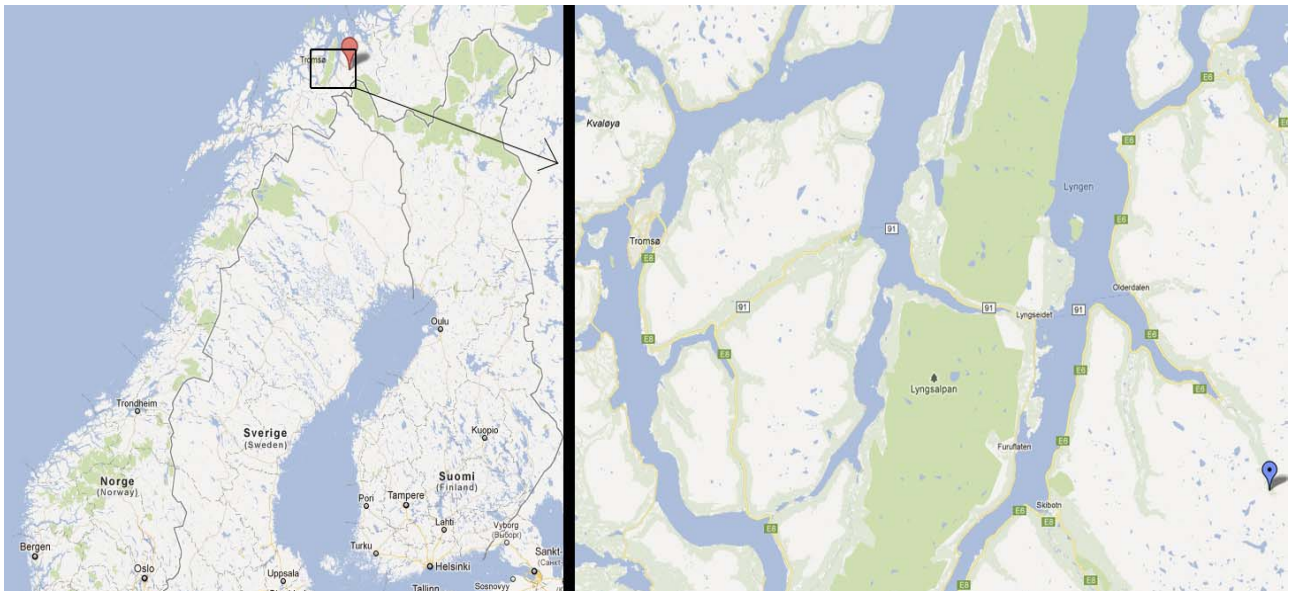
V okviru mednarodnega praktičnega usposabljanja sem imel priložnost delati na projektu aluminijastega pohodnega mostu. Pri projektu sem sodeloval od začetka načrtovanja pa vse do izvedbe in postavitve samega mostu. Most stoji na nedostopnem terenu in v dokaj grobem okolju. Zaradi nedostopnosti terena in območja gradbišča je bilo potrebno večino mostu montirati v dolini in nato s pomočjo helikopterja celoten objekt prenesti na predvideno mesto. Ker ima helikopter omejeno nosilnost, je bilo potrebno celoten dizajn prilagoditi dani omejitvi. Tako je bilo potrebno najti primerno obliko mostu, ki bi odgovarjala v oblikovnem smislu, obenem pa bi bila ugodna glede teže nosilnih elementov. Prav zaradi problema teže je bilo že v začetku jasno, da bo potrebno uporabiti material, ki bo lažji od jekla. Očitna izbira je bil aluminij, saj dosega relativno visoke trdnosti ob občutno nižji teži. Zaradi nepoznavanja materiala in njegovega obnašanja je bila potrebna zelo podrobna analiza obstoječih Evrokod standardov, saj smo hoteli material izkoristiti do dovoljenih meja. Za doseganje mejnih izkoriščenosti prereзов pa je potrebno razumeti vse faktorje, ki vplivajo na nosilnost in prav to nam je bilo, tekom načrtovanja in dimenzioniranja, poseben izziv.

V okviru diplomske naloge so v enem izmed poglavij povzete tudi glavne posebnosti pri dimenzioniranju v skladu s standardom EN 1999-1-1. Povzetek je tako uporaben kot pomoč pri načrtovanju aluminijastih konstrukcij, saj uporaba aluminija za glavno nosilno konstrukcijo pri nas še ni tako razširjena.

## 2 TEHNIČNO POROČILO

### 2.1 Opis konstrukcije in lokacije

Most stoji na severu Norveške. Postavljen je v občini Kåfjord, v bližini cestne povezave med Kåfjorddalenom in državno mejo. Točna lokacija je 69.400812 , 20.981648. Stoji na nedostopnem območju, do katerega je dostop z vozili oz. mehanizacijo onemogočen. Objekt premošča sotesko reke Kåfjordelva na mestu, kjer je pritok reke Sabetjohk (slap). Soteska je na mestu mostu globoka 135 metrov. Stene doline so relativno navpične. Na mestu objekta se dolina zelo zoža, zato je pričakovati povečan vpliv vetra. Nadmorska višina mostu je 300 metrov nad morjem. Most bo povezal pohodno razgledno pot, ki poteka po levem in desnem bregu. Služil bo tudi kot razgledna ploščad na slap v neposredni bližini mostu.



Slika 1: Lokacija mostu (Google Maps, 2012, <http://maps.google.com>)

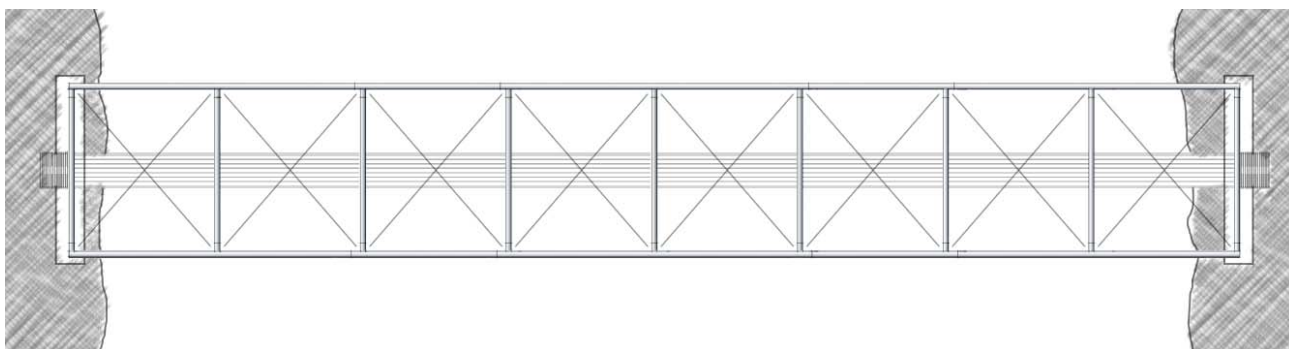
Obravnavana mostna konstrukcija je prostorsko paličje, z dodatnimi diagonalnimi zategami v poljih. Sestavljen je iz okroglih votlih profilov, škatlastih profilov in jeklenic. Most je podprt na začetku in na koncu, brez vmesnih podpor, njegov razpon pa je 53 metrov. Prečni prerez mostu je v obliki trapeza. Maksimalna širina mostu je 7,5 m, višina pa 5,3 m. Pohodni del mostu je širok 1,5 m in zavarovan z ograjo višine 1,0 m.

Most je sestavljen iz devetih (9) okvirjev povezanih z votlimi profili ter zategami (jeklenicami). Prvi in zadnji okvir nalegata neposredno na betonske temelje. Okvirji so na razmiku 6,625 m. Most je na eni strani podprt z nepomičnimi in na drugi strani s pomičnimi podporami, vzdolž mostu.

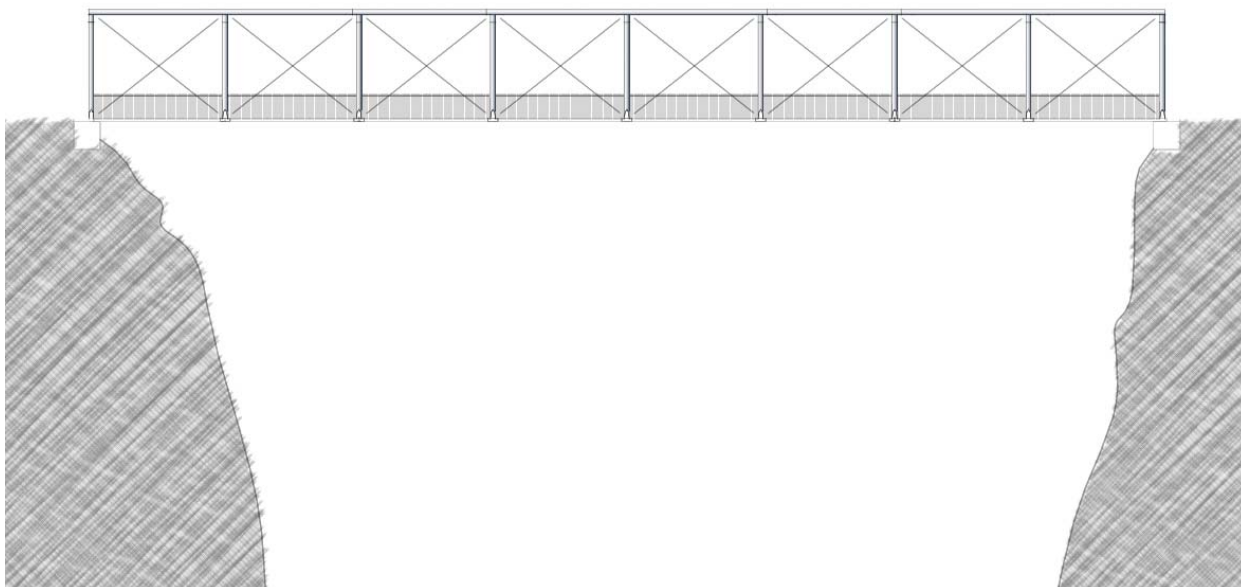
Most je računat v skladu s veljavnimi evropskimi standardi EVROKOD in veljavnimi Norveškimi nacionalnimi dodatki.

## 2.2 Skice arhitekture mostu in uporabljeni prerezi

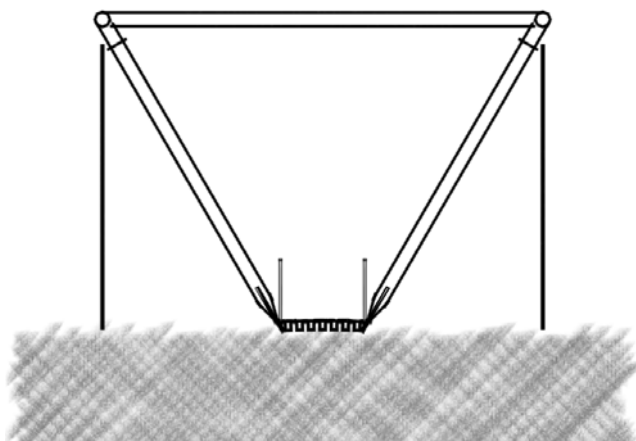
### 2.2.1 Skice mostu



Slika 2: Skica mostu – tloris



Slika 3: Skica mostu – stranski ris



Slika 4: Skica mostu – Naris

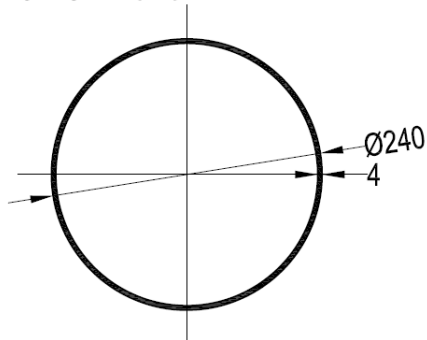
### 2.2.2 Tehnični podatki in skice profilov

Večina profilov je izdelanih po meri. Profili, ki se bodo uporabili za pohodno ploskev so patentno zaščiteni, zato bodo prikazani samo shematsko z glavnimi dimenzijami in računskimi karakteristikami.

Preglednica 1: Lastnosti prereza CHS 240x04

Oznaka	Vrednost	Enota	Opis
$t$	4	mm	Debelina stene cevi
$D$	240	mm	Zunanji premer cevi
$I$	$20.653 \cdot 10^6$	$\text{mm}^4$	Vztrajnostni moment

CHS 240x04

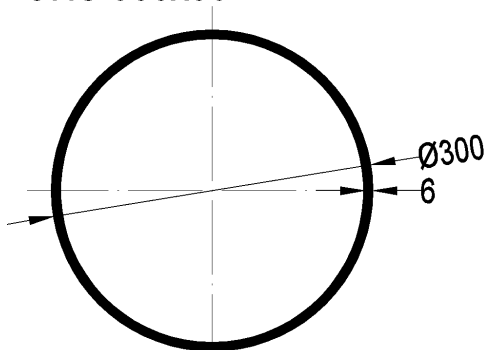


Slika 5: Skica profila CHS 240x04 uporabljenega za vertikale in zgornje razpore

Preglednica 2: Lastnosti prereza CHS 300x06

Oznaka	Vrednost	Enota	Opis
$t$	6	mm	Debelina stene cevi
$D$	300	mm	Zunanji premer cevi
$I$	$59.90 \cdot 10^6$	$\text{mm}^4$	Vztrajnostni moment

CHS 300x06

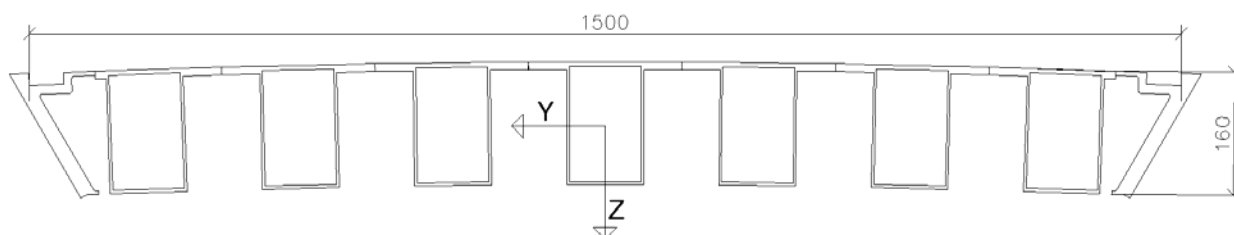


Slika 6: Skica profila zgornji nosilec CHS 300x06



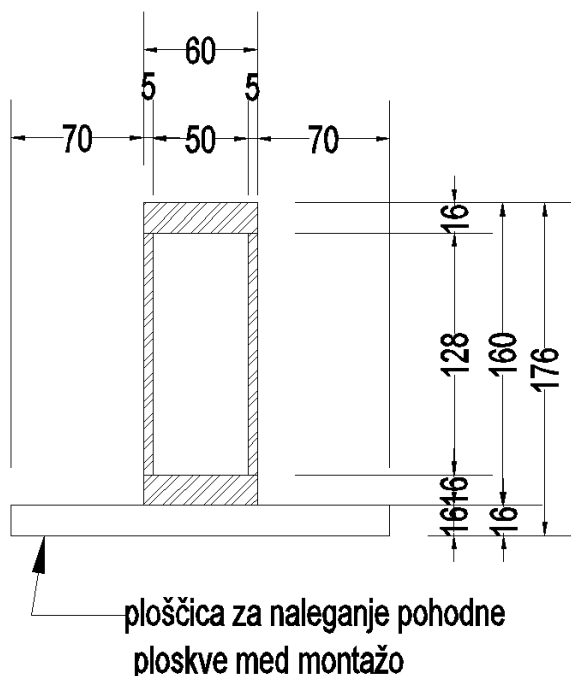
Preglednica 3: Lastnosti prereza za pohodno ploskev

Oznaka	Vrednost	Enota	Opis
$b$	150	cm	Širina pohodnega elementa
$h$	16	cm	Višina pohodnega elementa
$I_y$	$1.097 \cdot 10^8$	$\text{mm}^4$	Vztrajnostni moment okoli Y osi
$I_z$	$7.579 \cdot 10^9$	$\text{mm}^4$	Vztrajnostni moment okoli Z osi
$I_t$	$6.769 \cdot 10^6$	$\text{mm}^4$	Vztrajnostni torzijski moment



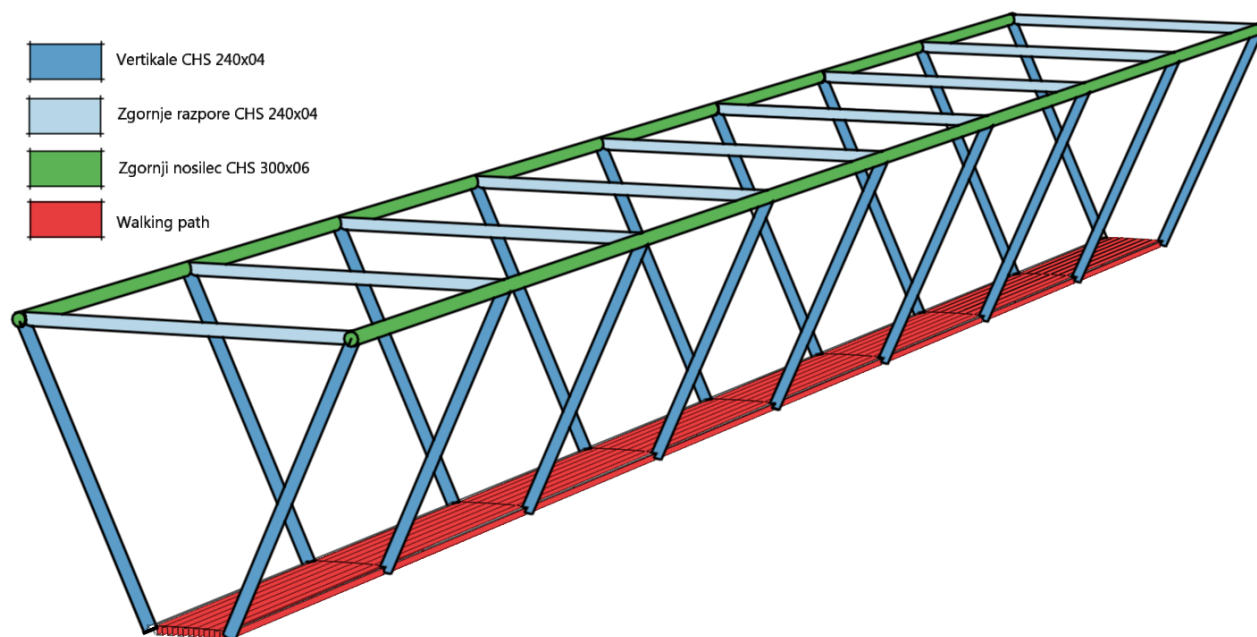
Slika 7: Shema elementa uporabljenega za pohodno ploskev »Walking path«

Za dvig in montažo je potrebno povezati spodnji rob vertikalnih cevi, saj pohodna ploskev med dvigom ni prisotna. Za to uporabimo varjen škatlast profil.



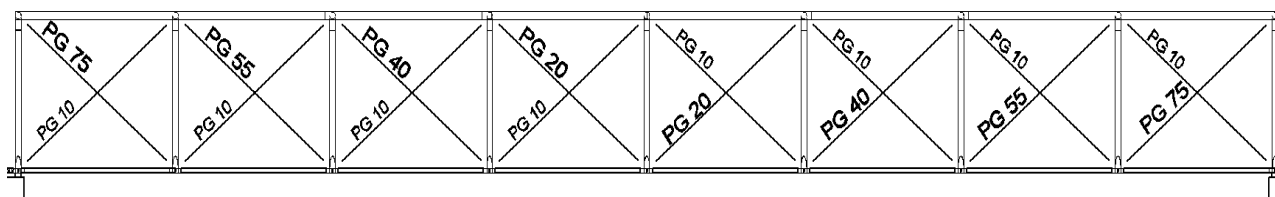
Slika 8: Skica varjenega profila za povezavo vertikalnih cevi med dvigom in montažo

Na spodnji sliki je prikazan model mostu brez jeklenic. Z barvami in imenom so označene različne skupine elementov za potrebe dimenzioniranja.

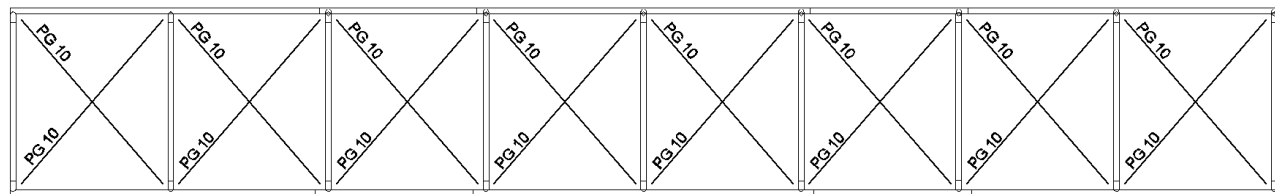


Slika 9: Poimenovanje skupine elementov za dimenzioniranje in določitev prezev le-teh (skica ne prikazuje pramenastih kablov)

V vseh poljih imamo tudi pramenaste kable, ki potekajo po obeh diagonalah polja. Pramenasti kabli so izdelani pri proizvajalcu Pfeifer, v skladu s standardom EN 12385, EN 10264 in SIST EN 1993-1-11. Oznaka pramenastih kablov, ki so zaščiteni s pocinkanjem, se začne z PG in nadaljuje z številko, ki pripada ustreznemu prečnemu preseku. Na spodnjih slikah so označene pozicije posameznih tipov kablov ter v nadaljevanju preglednica vseh podatkov o izbranih kablji. Proizvajalec za kable že podaja karakteristično natezno silo v skladu s standardom EC 3.



Slika 10: Stranski ris mostu - označitev pramenastih kablov



Slika 11: Tloris mostu – označitev pramenastih kablov

Preglednica 4: Podatki o pramenastih kablji Pfeifer

$F_{u,k}$ [kN]	A [mm <sup>2</sup> ]	[kg/m]	ds,zunanji [mm]	ds, računski [mm]
-------------------	-------------------------	--------	--------------------	----------------------

<b>PG10 Spiralseil DIN EN 12385</b>	93,0	60	0,5	10,1	8,7
<b>PG15 Spiralseil DIN EN 12385</b>	134,0	87	0,7	12,2	10,5
<b>PG20 Spiralseil DIN EN 12385</b>	181,0	117	0,9	14,1	12,2
<b>PG25 Spiralseil DIN EN 12385</b>	260,0	168	1,3	17,0	14,6
<b>PG40 Spiralseil DIN EN 12385</b>	367,0	237	1,9	20,1	17,4
<b>PG55 Spiralseil DIN EN 12385</b>	537,0	347	2,7	24,4	21,0
<b>PG75 Spiralseil DIN EN 12385</b>	722,0	467	3,7	28,3	24,4
<b>PG90 Spiralseil DIN EN 12385</b>	884,0	572	4,5	31,3	27,0

## 2.3 Materiali

Pri projektu mostu smo uporabili več različnih materialov. Vsi materiali so v skladu z zahtevami Evrokodov in ostalimi evropskimi standardi. Za glavno nosilno konstrukcijo smo uporabili aluminijaste profile iz aluminija EN-AW 6082 T6. Prav tako so vsi deli spojev narejeni iz te zlitine. Karakteristike aluminija so odvisne od debeline profilov oz. plošč in od načina oblikovanja. Vsi profili so bili oblikovani z ekstruzijo in so votli. Za vijachenje spojev smo uporabili pocinkane vijake kakovosti 8.8. Jeklenice so bile izdelane iz pocinkanega jekla. Proizvajalec jeklenic je Pfeifer iz Nemčije. Temelji so armirano betonski, trdnostni razred betona je C 30/37, kakovost armaturnega jekla pa je S500. Za zmanjšanje trenja pri drsnih podporah smo uporabili PTFE teflonske plošče. V nadaljevanju sledijo tehnične lastnosti materialov.

### 2.3.1 Aluminij EN-AW 6082 T6

Iz aluminija te vrste se izdeluje vse iztisnjene (ekstruderane) cevi in profile.

*Preglednica 5: Lastnosti izbranega materiala – aluminij za cevi in profile (velja za debeline od 5 mm do 15 mm)*

Oznaka	Vrednost	Enota	Opis
$f_o$	260	MPa	Napetost tečenja
$f_u$	310	MPa	Natezna trdnost
$f_{o,haz}$	125	MPa	Napetost tečenja v HAZ območju
$f_{u,haz}$	185	Mpa	Natezna trdnost v HAZ območju
BC	A	/	Uklonski razred

*Preglednica 6: Lastnosti izbranega materiala – aluminij za cevi in profile (velja za debeline manjše od 5 mm)*

Oznaka	Vrednost	Enota	Opis
$f_o$	250	MPa	Napetost tečenja

$f_u$	320	MPa	Natezna trdnost
$f_{o,haz}$	125	MPa	Napetost tečenja v HAZ območju
$f_{u,haz}$	185	Mpa	Natezna trdnost v HAZ območju
BC	A	/	Uklonski razred

### 2.3.2 Aluminij EN-AW 6082 T651

Zlitina namenjena izdelavi pločevin in plošč.

*Preglednica 7: Lastnosti izbranega materiala – aluminij za pločevine (velja za debeline med 12,5 mm in 100 mm)*

Oznaka	Vrednost	Enota	Opis
$f_o$	240	MPa	Napetost tečenja
$f_u$	295	MPa	Natezna trdnost
$f_{o,haz}$	125	MPa	Napetost tečenja v HAZ območju
$f_{u,haz}$	185	Mpa	Natezna trdnost v HAZ območju
BC	A	/	Uklonski razred

### 2.3.3 Beton C 30/37 in armaturno jeklo S500

*Preglednica 8: Lastnosti izbranega materiala – beton*

Oznaka	Vrednost	Enota	Opis
$f_{ck}$	30	MPa	Karakteristična tlačna trdnost 28 dni starega betona, določena na valju
$f_{ck,cube}$	37	MPa	Karakteristična tlačna trdnost 28 dni starega betona, določena na kocki
$E_{cm}$	33	GPa	Sekantni modul elastičnosti betona
$\gamma_c$	24	kN/m <sup>3</sup>	Prostorninska teža betona

### 2.3.4 Pramenasti kabli EN 12385 – GALFAN

Pramenasti kabli so izdelani iz pocinkanega jekla. Postopek zaščite pred korozijo je tehnologija proizvajalca Pfeifer in je poimenovana kot GALFAN. Postopek je odobren in potrjen ter ima certifikat ustreznosti.

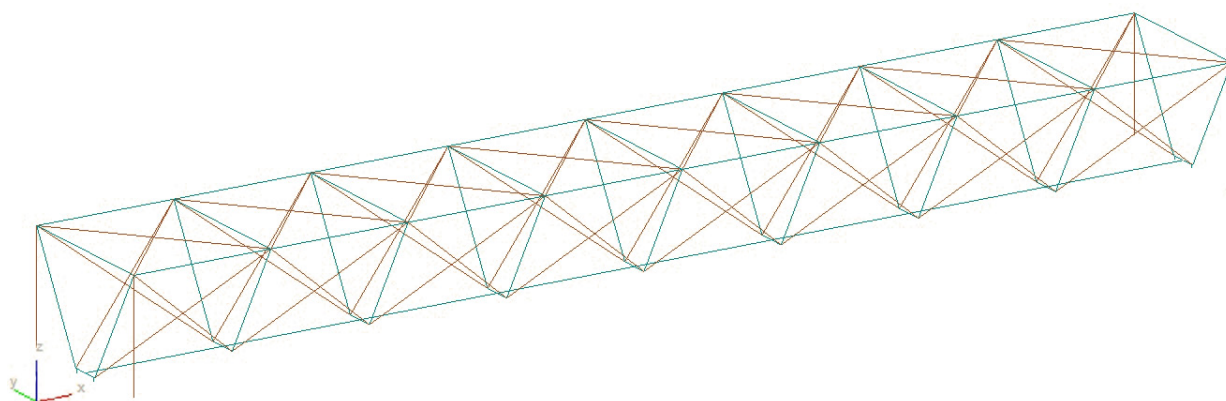
*Preglednica 9: Lastnosti izbranega materiala – pramenasti kabli*

Oznaka	Vrednost	Enota	Opis
E	160	kN/mm <sup>2</sup>	Elastični modul kabla

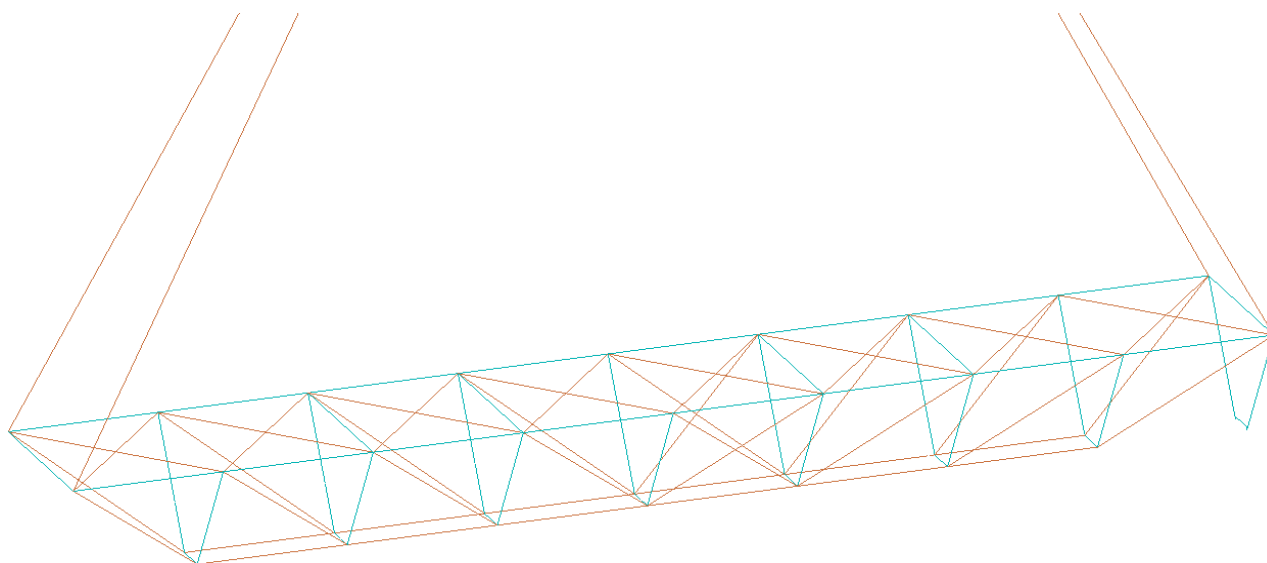
## 2.4 Statični modeli

Most je modeliran v programu Oasys GSA. V tem programu smo izračunali notranje statične količine, dimenzioniranje pa smo opravili v programu PTC MathCad 15.0. Za določitev notranjih sil sem modelirali palični model. Nosilec, ki služi kot pohodna ploskev, je širine 1,5 m, zato je os tega nosilca povezana z okvirji s pomočjo togih kinematičnih povezav.

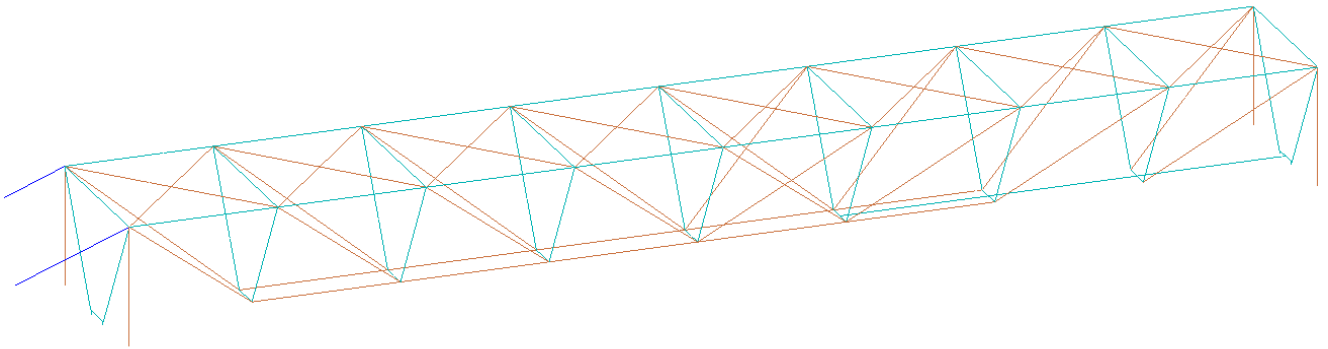
Na spodnjih slikah bodo prikazani statični modeli za osnovno projektno stanje in začasna projektna stanja (dvig mostu, montaža manjkajočih elementov). Izhodišče koordinatnega sistema je v osi pohodne ploskve na desni strani mostu. Koordinatna os X je orientirana v smeri dolžine mostu, Z os kaže navzgor in Y prečno na most, v smeri, kot določa pravilo za desnosučni koordinatni sistem.



Slika 12: Osnovno projektno stanje



Slika 13: Začasno projektno stanje – dvig mostu



Slika 14: Začasno projektno stanje – montaža manjkajočih elementov

Izračun je izveden za stanje uporabe in deset začasnih stanj.

## 2.5 Pogoji temeljenja

Geološka karta področja kaže, da na področju prevladuje predvsem metamorfiziran peščenjak, vključno s kvarcom in glinencem. Prav tako opisuje, da se pojavljajo plasti čistega kvarcita. Oba, metamorfiziran peščenjak in kvarcit, sta po navadi zelo trda in krhka. Med pregledom območja gradbišča so bile opažene debele plasti kvarcita na levi stran soteske (dolvodno). Plasti so debele približno 1 meter, med razpokami, ki ločujejo plasti, pa je bila kompaktna, malo erodirana skala. Na desni strani (dolvodno) je skala prekrita z kamnitim drobirjem ter humusom. Plasti potekajo skoraj horizontalno vzdolž soteske, prekinja pa jih nekaj vmesnih vertikalnih razpok. Značilna rdeča barva nakazuje, da je kamnina bogata z bakrom. V bližini je tudi zapuščena predelovalnica bakrove rude.



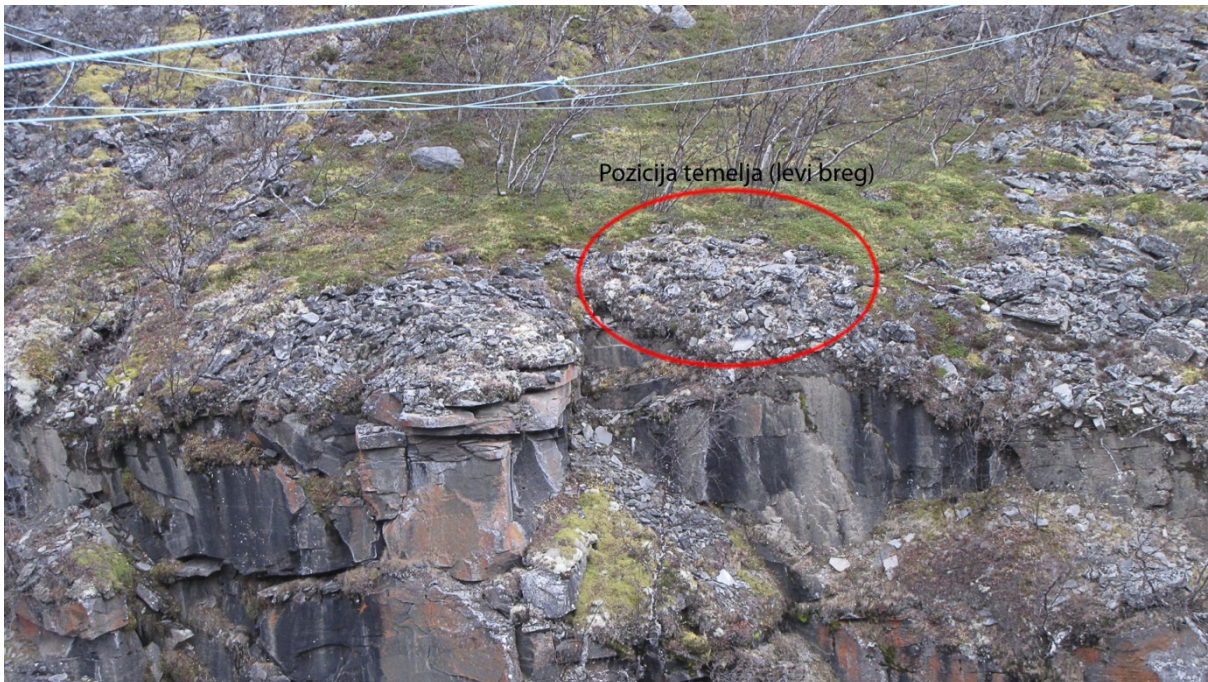
*Slika 15: Leva stran soteske z že izvedenim temeljem*

- Leva stran (dolvodno)

Na vrhu soteske je velika polica, ki je pokrita z meliščem, na katerem se je že zarasla vegetacija. Na mestu, kjer je predviden temelj je bilo odstranjena vegetacija, kamniti bloki in grušč. Površina skale je videti zelo kompaktna in se le rahlo nagiba v smeri soteske. Ni vidnih razpok. Glej slike 15, 16 in 17.

- Desna stran (dolvodno)

Na slikah je prikazano območje, na katerem bo postavljen temelj. Odstranjena je vegetacija in zemljina, vidno je izpostavljena skala. Vzдолž soteske je več polic, ki so zaraščene in pokrite z vegetacijo ter z nekaj večjimi nestabilnimi skalnimi bloki. Skala je na površini razpokana, globlje pa preide v čisto kompaktno skalo. Glej sliki 18 in 19.



Slika 16: Leva stran soteske pred odstranitvijo kamnitih blokov in vegetacije



Slika 17: Leva stran soteske in mesto temelja po odstranitvi kamnitih nanosov





Slika 18: Desna stran soteske



Slika 19: Območje kjer bo postavljen temelj na desni strani soteske

Za objekt je bilo izdelano tudi geotehnično poročilo, v katerem so opredeljeni tudi vsi pogoji sidranja temeljev v kompaktno skalo, ter druge zahteve glede temeljenja. Vsi pogoji so upoštevani in prikazani v načrtih za izvedbo.

## 2.6 Protikorozijska zaščita

Protikorozijska zaščita je izvedena v skladu s standardom za aluminij EN 1999-1-1, 2007. Zaščita konstrukcije pred korozijo je obdelana v **dodatku standarda D**.

Odpornost proti koroziji aluminijevih zlitin se nanaša zlasti na zaščitni film aluminijevega oksida, ki se tvori na površini kovine, takoj ko pride v stik z zrakom. V večini primerov zato dodatna zaščita aluminija ni potrebna. Standard podaja tabelo, v kateri opredeljuje priporočene protikorozijske zaščite glede na različne pogoje izpostavljenosti in glede na trajnostni razred zlitine. Na obravnavanem objektu je uporabljena samo zlitina **EN AW-6082**. Ta zlitina spada v **trajnostni razred B** v skladu s tabelo 3.1a. Vsi uporabljeni prerezi in pločevine imajo debelino večjo ali enako **trem (3) milimetrom**. Objekt bo postavljen v **ruralnem neonesnaženem** področju, izpostavljen le atmosferskim vplivom. V skladu s tabelo D.1 in dejanskimi pogoji objekta dodatna protikorozijska zaščita aluminijastih elementov ni potrebna.

Pri stiku betona in aluminija je potrebno aluminij v stiku zaščititi z bitumenskim premazom ali s premazom, ki zagotavlja enako zaščito kot bitumen.

Za povečanje varnosti smo se vseeno odločili za nekaj dodatnih ukrepov, kateri so opredeljeni tudi v standardu, v točki D 3.2. Tako je potrebno z ustreznimi detajli zagotoviti, da se na objektu ne zadržuje voda, ter je tako omogočeno njeno hitro odtekanje in posledično hitro sušenje konstrukcije. Opravljali se bodo redni pregledi konstrukcije s strani projektanta ali izvajalca. Investitorju so bila v skladu s pogodbo dostavljena tudi navodila za vzdrževanje mostu. Ker so uporabljeni votli prerezi, je potrebno biti pozoren, da je onemogočen vstop vode oz. nečistoč v notranjost prereza.

V spojih so uporabljeni pocinkani vijaki in čepi. Ker smo zagotovili zgoraj omenjene dodatne varnostne ukrepe, dodatna zaščita območja spojev ni potrebna, v skladu s tabelo D.2.

## 2.7 Navodila za montažo

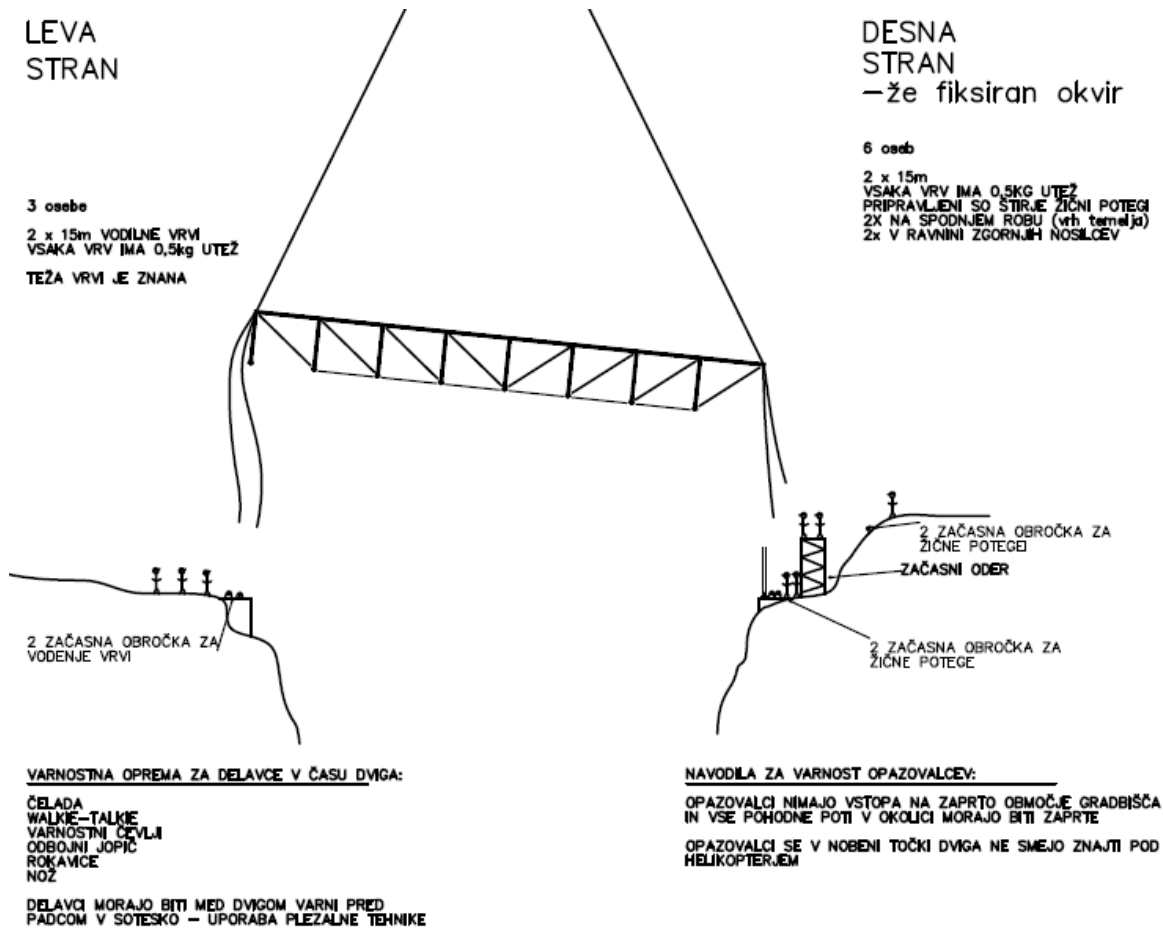
Montaža mostu poteka v štirih fazah:

- Priprava gradbišča, izdelava sider za temelje in temeljenje.
- Montaža mostu v konfiguraciji za helikopterski dvig.
- Helikopterski dvig.
- Montaža manjkajočih konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementov.

V prvi fazi je potrebno odstraniti zemljino v tolikšni meri, da pridemo do kompaktna skale. Skalo je potrebno očistiti vseh nečistoč, da se zagotovi dober stik z betonom. V skladu z navodili geotehnika je potrebno zavrtati vrtine za sidra ustrezne globine in nato vstaviti in fiksirati sama sidra. Okoli sider se izvede potrebna armatura za temelja in opaž temeljev. Vstaviti je potrebno tudi vse obročke za vrvi v času montaže s helikopterjem. Pozicije so razvidne iz načrtov.

V drugi fazi se v dolini montira most. Konfiguracija za dvig je razvidna iz načrta. V tej fazi odstranimo vse elemente pohodne ploskve in jih nadomestimo s pramenastimi kabli. Odstranimo tri elemente zgornjih razpor in večino kablov manjših dimenzij, ki so v tej fazi neobremenjeni (glej načrte). Del okvirja na desni strani je že postavljen in pravilno pozicioniran na temelj. Okvir smo dodatno fiksirali z vrvmi in jeklenimi nosilci. Povečali smo tudi ploskev naleganja za lažjo pozicioniranje med helikoptersko montažo. Montaža se izvede v skladu s standardom. V času montaže je potrebno s pravim vrstnim redom montiranja zagotoviti stabilnost konstrukcije. Nujna je prisotnost nadzornega organa. Potrebna je tudi večkratna dimenzijska kontrola. Na mostu se pripravijo točke za dvizne vrvi in vrvi za vodenje konstrukcije iz tal. Na gradbišču se na desni strani pripravijo štiri točke, na katere se bodo fiksirali žični potegi. Žični potegi so v fiksne točke pritrjeni z vrvnimi zankami, katere je mogoče v primeru nevarnosti nemudoma prerezati.

Helikopterski dvig poteka v več fazah. Potek vsake faze je natančno določen. Helikopter najprej izvede testni polet in nad gradbiščem preveri pogoje za lebdenje. Nato se vrne za dvig mostu. Most se pritrdi na helikopter s štirimi vrvmi. Most je na helikopter pritrjen rahlo nagnjeno. Pilot dvigne most in preveri, ali je teža ustrezna, da bo lebdenje mogoče. Nato poleti z mostom do mesta montaže. Če je rotacija mostu napačna, ga je potrebno obrniti. Nato morajo delavci na obeh straneh ujeti vrvi za vodenje ter odrezati uteži. Vrvi se vstavi v prej pripravljene obročke. S tem se poizkuša delno stabilizirati celotno konstrukcijo. Nato se na desni strani pripnejo vsi žični potegi. Dva uporabimo za fiksiranje v vertikalni smeri in dva za fiksiranje v horizontalni smeri. Z žičnimi potegi stabiliziramo most ter nato počasi zategujemo, odvisno od potrebe. Tako nadaljujemo toliko časa, da je most v celoti fiksiran na desni strani. Nato helikopter začne počasi spuščati še levo stran. Ko je fiksirana tudi leva stran, se helikopter spusti toliko, da vso obtežbo konstrukcije prevzamejo temelji. Opravi se hiter pregled uspešnosti montaže in ko pilot dobi potrditev iz obeh strani, lahko odpne vrvi za dvig.



Slika 20: Shematski prikaz faze dviga z pomembnejšimi podatki in navodili za varnost

V zadnji fazi se na objekt najprej montirajo manjkajoči elementi zgornjih razpor in vse manjkajoče jeklenice. Nato se iz leve proti desni začne montiranje elementov pohodne ploskve ter odstranjevanje nadomestnih jeklenic.

Posebej za fazo dviga so razdelani tudi postopki za ravnanje v primeru, ko uspešna montaža ni mogoča oziroma ko obstaja velika nevarnost nesreče zaradi predolgega časa montaže, poškodbe konstrukcije, odpovedi helikopterja ipd. Vsi postopki so odobreni s strani projektanta, izvajalca mostu in izvajalca helikopterskega dviga.

### 3 VPLIVI ZA OSNOVNO PROJEKTNO STANJE

#### 3.1 Lastna in stalna obtežba

Vsa lastna teža uporabljenih profilov se upošteva avtomatsko znotraj programa za določanje notranjih sil. Zaradi povečane varnosti ter za upoštevanje teže zvarov in spojev, lastno težo povečamo za 10% (znotraj programa). Na most ne deluje nobena druga dodatna stalna obtežba, razen teža varnostne ograje.

$$g = 371 \frac{N}{m} = 0,37 \frac{kN}{m}$$

#### 3.2 Veter

Pri konstruiranju mostne konstrukcije je potrebno upoštevati obtežbo z vetrom. Obtežba vetra deluje v vseh smereh, tako lahko deluje ugodno ali neugodno. Konfiguracija terena v okolici mostu vpliva na hitrost zračnih tokov, ki delujejo na most. Planotast teren ima konstanten padec proti mostu. Na mestu mostu teren iz velike odprte planote preide v ozko sotesko, kar pomeni povečano hitrost. Tako se mimo mostu stekajo zračni tokovi z velikega področja. Prav zaradi teh posebnosti lokacije se je investitor odločil, da določi minimalno hitrost sunka vetra, s katero je potrebno računati tlake vetra na konstrukcijo. Preveriti je potrebno, da je zahteva investitorja v skladu s standardom, to pomeni, da je zahtevana vrednost hitrosti sunka vetra enaka ali večja od določil standarda.

Vpliv vetra na mostno konstrukcijo je razdeljena na dva dela. V prvem delu se določi vpliv vetra na pohodno ploskev oz. na prekladno konstrukcijo, v drugem delu pa vpliv vetra na palično konstrukcijo, sestavljeno iz okroglih cevi. Vpliv vetra na prekladno konstrukcijo se računa po postopku za vpliv vetra na mostove, vpliv vetra na paličje pa po postopku za izračun vpliva vetra na krožne cilindre in palične sisteme.

##### 3.2.1 Izračun osnovnih karakteristik obtežbe z vetrom

Najprej se določi osnovna hitrost vetra po spodnji enačbi.

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$$

kjer so:

$C_{dir}$ ..... smeri vektor

$C_{season}$ ..... faktor letnega časa

$V_{b,0}$ ..... temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra

$V_b$ .....osnovna hitrost vetra, določena kot funkcija smeri vetra in letnega časa 10 m nad terenom II. kategorije.

Za vrednost smernega vektorja  $C_{dir}$  in za faktor letnega časa  $C_{season}$  izberemo priporočeno vrednost, ki znaša 1,0.

Na podlagi tabele v Norveškem nacionalnem dodatku je glede na lokacijo objekta določena temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra  $V_{b,0}$ . Objekt stoji v občini Kåfjord, področje Troms, za katero je predvidena vrednost  $V_{b,0}$  enaka 25 m/s.

$$V_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 \frac{m}{s} = 25 \frac{m}{s}$$

Iz formule za **tlak ob sunku vetra**  $q_p$  definiramo največjo hitrost ob sunku vetra, saj je le-ta podana s strani investitorja. Največjo hitrost ob sunku vetra  $v_p$  določim po naslednjem postopku:

$$q_p = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$$q_p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_p^2$$

$$v_p = \sqrt{[1 + 7 \cdot I_v(z)]} \cdot v_m(z)$$

Minimalna hitrost sunka vetra podana s strani investitorja je  $v_p = 50$  m/s. V nadaljevanju se preveri ali je podana vrednost strožja od zahtev standarda.

**Največji tlak pri sunkih vetra**  $q_p$  se izračuna po že znani enačbi.

$$q_p = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

kjer so:

$I_v(z)$ .....intenziteta turbulence na višini z

$\rho$ .....gostota zraka, ki je odvisna od nadmorske višine, temperature in zračnega tlaka, pričakovanega med neurjem na pričakovanem območju

$c_e(z)$ .....faktor izpostavljenosti

$V_m(z)$ .....srednja hitrost vetra

Za **gostoto  $\rho$**  privzamemo vrednost  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

**Srednja hitrost vetra  $V_m(z)$**  je odvisna od **hrapavosti  $c_r$**  in **hribovitosti terena  $c_0$** . Za faktor hribovitosti terena privzamemo priporočeno vrednost 1.0, saj le-ta upošteva povečanje srednje hitrosti nad ločeno stoječimi hribi in ne nad valovitimi ali gorskimi področji.

**Faktor hrapavosti terena** pa upošteva sprejemljivost srednje hitrosti vetra na mestu konstrukcije zaradi višine nad tlemi in hrapavosti tal. Višina nad terenom **Z** za obravnavan objekt je 110 m. Faktor se izračuna po spodnji enačbi.

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z \leq z_{\min}; 110,0m \geq 8,00m$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{za} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}; 8,00m \leq 110,0m < 200m$$

$$c_r = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,22 \cdot \ln\left(\frac{110}{0,3}\right) = 1,299$$

kjer so:

$z$ .....višina objekta

$z_0$ .....hrapavostna dolžina

$z_{0,II}$ .....hrapavostna dolžina za drugo kategorijo

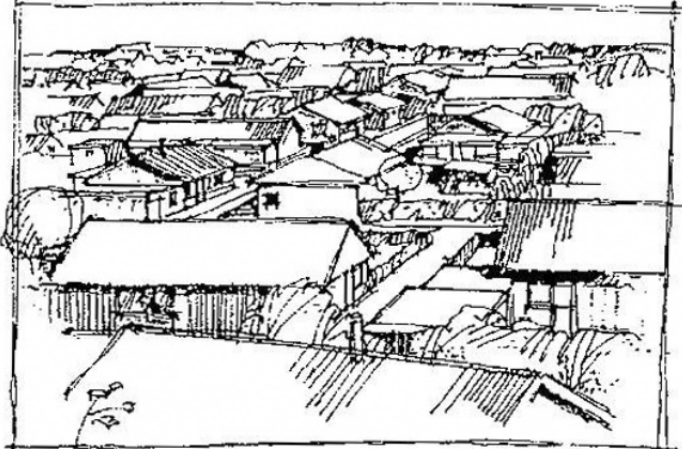
$z_{\min}$ .....najmanjša višina, določena na podlagi kategorije terena

$z_{\max}$ .....maksimalna višina, omejena z veljavnostjo tega standarda

$k_r$ .....faktor terena, ki je odvisen od hrapavostne dolžine  $z_0$

Faktor terena  $k_r$  se izračuna po spodnji enačbi. Za kategorijo terena predpostavim področje z običajnim rastlinjem, stavbami ali posameznimi ovirami na razdalji največ 20 višin ovir (stalen gozd). Iz tabele v standardu se določi vrednosti  $z_0$ , ki je 0,3 m, medtem, ko je  $z_{0,II}$  enaka 0,005 m. Vrednost  $z_{\min}$  je za tretjo kategorijo, v skladu z nacionalnim dodatkom (Tabel NA. 4.1), enaka 8,0 m.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2154$$



Slika 21: Izbrana zasičenost pri III. Kategoriji terena (SIST EN 1991-1-4, 2005)

Sedaj lahko določim **srednjo hitrost vetra**  $V_m$  po spodnji enačbi:

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b = 1,299 \cdot 1 \cdot 25 \frac{m}{s} = 32,47 \frac{m}{s}$$

Za izračun tlaka pri največji hitrosti ob sunkih vetra potrebujem le še intenziteto turbulence  $I_v(z)$  na višini  $z$ . Določimo jo po spodnji enačbi:

$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,00}{1 \cdot \ln\left(\frac{110}{0,3}\right)} = 0,17$$

kjer so:

$k_t$ .....turbulenčni faktor (priporočena vrednost je 1,0)

$c_{0,II}$ .....faktor hribovitosti

$z_0$ .....hrapavostna dolžina

Določim največjo hitrost ob sunkih vetra  $v_p$ :

$$v_p = \sqrt{[1+7 \cdot I_v(z)]} \cdot v_m(z) = \sqrt{[1+7 \cdot 0,17]} \cdot 32,47 \frac{m}{s} = 48,0 \frac{m}{s}$$

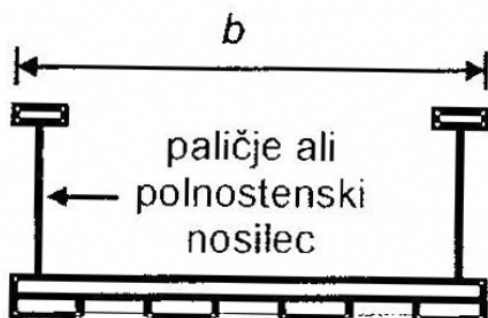
Iz tega sledi, da je vrednost po standardu nižja od zahtevane vrednosti investitorja, zato upoštevamo vrednost  $v_p = 50 \frac{m}{s}$ . Sedaj to hitrost upoštevam pri izračunu za tlak:

$$q_p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(50 \frac{m}{s}\right)^2 = 1562 \frac{N}{m^2} = 1,56 \frac{kN}{m^2}$$

### 3.2.2 Vpliv vetra na pohodno ploskev



Vpliv vetra na most upoštevam v skladu z določili standarda za mostne konstrukcije. Oblika prekladne konstrukcije ustreza prečnim prerezom prikazanim na sliki. Prekladna konstrukcija ima konstantno višino. Ker je most sestavljen iz prekladne konstrukcije in paličij, se vpliv na paličja določi posebej.



Slika 22: Prečni prerez normalnih preklad (SIST EN 1991-1-4, 2005)

Standard podaja vpliv vetra v smereh  $x$ ,  $y$  in  $z$ . Izračun sem prilagodil tako, da ustreza izbranemu koordinatnemu sistemu. Tako je  $L$  dolžina mostu v smeri  $X$ ,  $b$  je širina pohodne ploskve v smeri  $Y$  in  $d$  globina v smeri  $Z$ . Ograja na mostu je nezapolnjena in tako ne povzroča dodatnega vpliva na konstrukcijo.

Za potrebe izračuna določimo geometrijske karakteristike mostu:

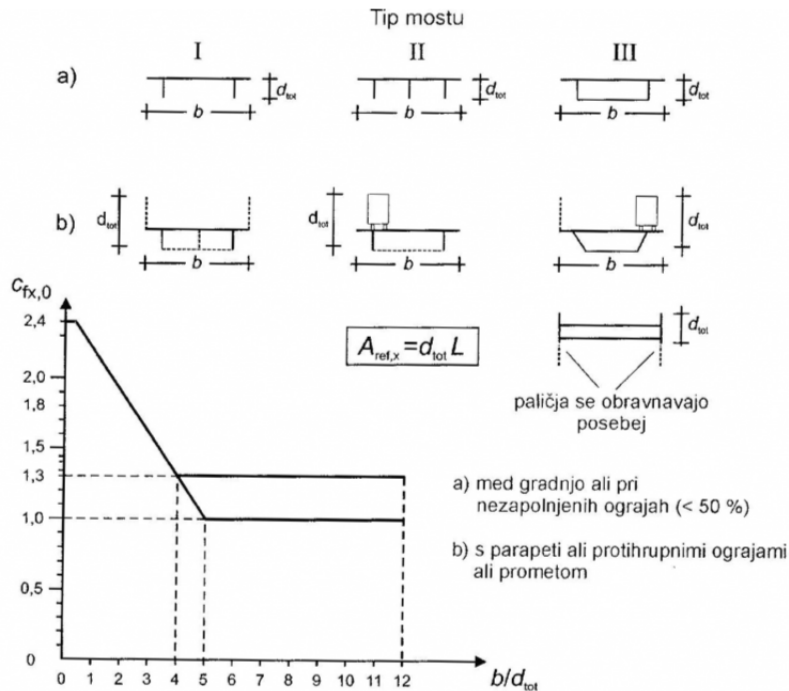
$b=150$  cm.....širina pohodne ploskve

$d=16$  cm.....debelina pohodne ploskve

$L=5300$  cm.....dolžina mostu

$D_{tot}=d=16$ cm.....globina celotne vplivne ploskve v smeri  $Z$

Najprej izračunam vpliv vetra prečno na most (v smeri  $Y$ ). Koefficient sile  $c_{f,x}$  za vpliv vetra na preklade v smeri  $Y$  je enak  $c_{f,x,0}$ . Vrednost za koefficient je za normalne mostove enaka 1,3; lahko pa se odčita tudi iz spodnjega grafa.



Slika 23: Koefficient sile za mostove (SIST EN 1991-1-4, 2005)

Obravnavan most spada v kategorijo a in je tretjega tipa. Razmerje  $b/D_{tot}$  je enako 9,4. Odčitek koeficienta iz grafa je tako  $c_{fx,0}=1,3$ .

Izračunam tudi referenčno ploskev na katero vpliva veter v smeri Y:

$$A_{ref,y} = D_{tot} \cdot L = 0,16m \cdot 53m = 8,48m^2$$

Sedaj lahko določim tlak vetra na referenčno ploskev v smeri Y, po spodnji enačbi:

$$w_{e,y} = q_p \cdot c_{f,y} \cdot D_{tot} = 1,56 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,3 \cdot 0,16m = 0,324 \frac{kN}{m}$$

Dobil sem silo na tekoči meter preklade. Izračunam tudi skupno silo, ki deluje v smeri Y:

$$F_{w,y} = q_p \cdot c_{f,y} \cdot A_{ref,y} = 1,56 \frac{kN}{m^2} \cdot 1,3 \cdot 8,32m^2 = 16,87kN$$

Če je potrebno se upošteva veter tudi v vzdolžni smeri. Vpliv vetra v vzdolžni smeri mostu (smer X) se izračuna kot delež sile vetra v prečni smeri. Za palične mostove se upošteva 50% sile vetra v smeri Y.

$$F_{w,x} = 50\% \cdot F_{w,y} = 16,87kN \cdot 0,5 = 8,44kN$$

Za vpliv vetra v smeri Z standard določa približno vrednost koeficienta sile  $c_{f,z}$ , za primere, če ni rezultatov preizkusov v vetrovniku. Alternativno se lahko vrednost koeficienta odčita iz grafa, vendar v mojem primeru pridem do enake vrednosti koeficienta.

$$A_{ref,z} = b \cdot L = 1,5\text{m} \cdot 53\text{m} = 79,5\text{m}^2$$

$$c_{f,z} = \pm 0,9$$

$$w_{e,z} = q_p \cdot c_{f,z} \cdot b = 1,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,9 \cdot 1,5\text{m} = 2,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Upoštevati je potrebno tudi ekscentričnost sile v smeri Y. Če ni določeno drugače, standard zahteva upoštevanje ekscentričnosti po spodnji enačbi:

$$e = \frac{b}{4} = \frac{1,5\text{m}}{4} = 0,375\text{m}$$

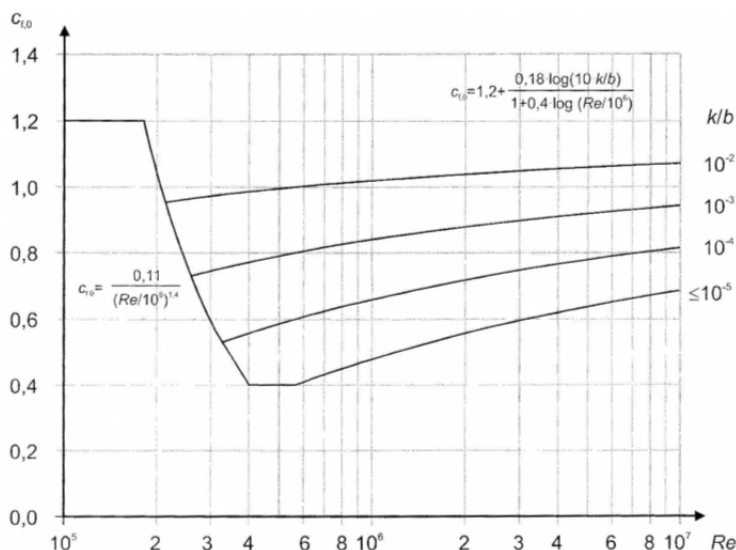
Izračunam še dodatni moment zaradi ekscentričnosti sile vetra:

$$M_{w,z} = e \cdot w_{e,z} = 0,375\text{m} \cdot 2,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = \pm 0,788 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

### 3.2.3 Vpliv vetra na paličje

Kot določa standard moramo vpliv vetra na konstrukcijske elemente paličja s krožnim prerezom upoštevati s koeficientom sil. Koeficient sil določa celotno silo vetra na konstrukcijski element, vključno s trenjem. Silo lahko reduciramo s faktorjem vitkosti.

Koeficient za krožni cilindar  $c_{f,0}$ , brez upoštevanja vitkosti, se določi s pomočjo enačbe ali odčita iz grafa. Koeficient je odvisen od razmerja enotne hrapavosti in premera ter od Reynoldsovega števila.



Slika 24: Koeficient sile  $c_{f,0}$  za krožni cilindar (SIST EN 1991-1-4, 2005)

Za bolj natančno določitev koeficienta lahko dani graf opišemo s spodnjo enačbo.

$$c_{f,0} = \min \left( 1, 2; \max \left[ 1, 2 + \frac{0,18 \cdot \log(10 \cdot k/b)}{1 + 0,4 \cdot \log(Re/10^6)}; \frac{0,11}{(Re/10^6)^{1,4}} \right] \right)$$

kjer je:

$Re$ .....Reynoldsovo število

$k$ .....ekvivalentna hrapavost

$b$ .....širina profila (premer)

Paličje je sestavljeno iz cevi, dveh različnih premerov. Koeficient sil zato določimo za vsak prerez posebej. Premera cevi sta tako **240 mm in 300 mm**. Faktor enakovredne površinske hrapavosti vzamem iz tabele v standardu. Za naš primer privzamem vrednost, ki pripada svetlemu jeklu. Vrednost faktorja **k** je enaka **0,05**. Nato določim  $Re$  število za oba prereza, po naslednji enačbi:

$$Re = \frac{b \cdot V_p}{\nu}$$

$$Re_{240} = \frac{0,24 \cdot 50}{15 \cdot 10^{-6}} = 8 \cdot 10^5$$

$$Re_{260} = \frac{0,26 \cdot 50}{15 \cdot 10^{-6}} = 8,667 \cdot 10^5$$

kjer je:

$V_p$ .....največja hitrost ob sunkih vetra

$\nu$ .....kinematična viskoznost zraka ( $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ )

Sedaj le še določim koeficient sil za oba premera ter pripadajočo linijsko obtežbo. Izračun je izveden v spodnji preglednici.

Preglednica 10: Izračun koeficientov sil in linijske obtežbe na elemente paličja

Teža aluminija	2700	kg/m <sup>3</sup>					
Hitrost sunka	50	m/s					
k	0,05					... enakovredna površinska hrapavost (Tabela 7.13)	
q <sub>p</sub>	1,56	kN/m <sup>2</sup>				... tlak pri največji hitrosti ob sunkih vetra	
							<b>Obtežba vetra</b>
<b>D [mm]</b>	<b>t [mm]</b>	<b>d[mm]</b>	<b>kg/m</b>	<b>površina(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Re</b>	<b>cf.0</b>	<b>qw [N/m]</b>
240	4,0	232	8,007	2965,66	8,00E+05	0,698	261,7
300	6,0	288	14,96	5541,77	1,00E+06	0,700	328,1

Pri vplivu vetra na palične sisteme standard predvideva zmanjšanje koeficientov sile  $c_{f,0}$  zaradi obtekanja zraka mimo prostih koncev elementov, ki niso v neposredni bližini tal. Standard ta vpliv imenuje vitkost. Faktor vitkosti tako upošteva ta zmanjšan upor konstrukcije. Faktor vitkosti se določi kot funkcija vitkosti, ki je odvisna od **efektivne vitkosti**  $\lambda$  posameznega elementa paličja ter **zapolnjenosti paličja** -  $\rho$ .

Faktor zapolnjenosti  $\rho$  se določi kot razmerje med bruto površino in vsoto projiciranih površin elementov. Zapolnjenost v prečni smeri in pripadajoč faktor izračunamo po spodnjem postopku:

$$A_c = 53\text{m} \cdot 5,3\text{m} = 280,9\text{m}^2$$

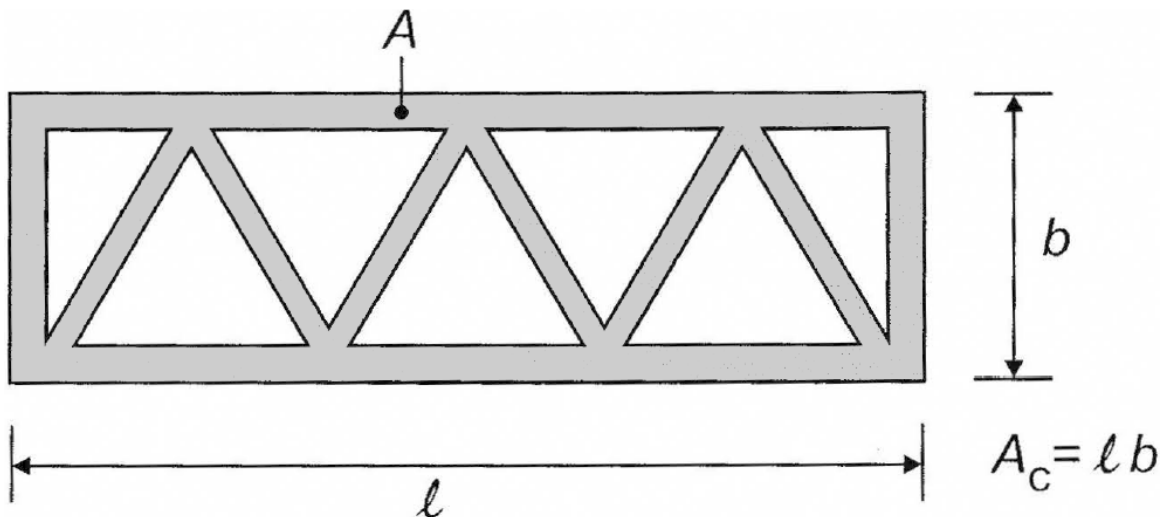
$$A = 53\text{m} \cdot 0,26\text{m} + 9 \cdot 5,3\text{m} \cdot 0,24\text{m} + 53\text{m} \cdot 0,16\text{m} = 33,71\text{m}^2$$

$$\rho = \frac{A}{A_c} = \frac{33,71}{280,9} = 0,12$$

kjer je:

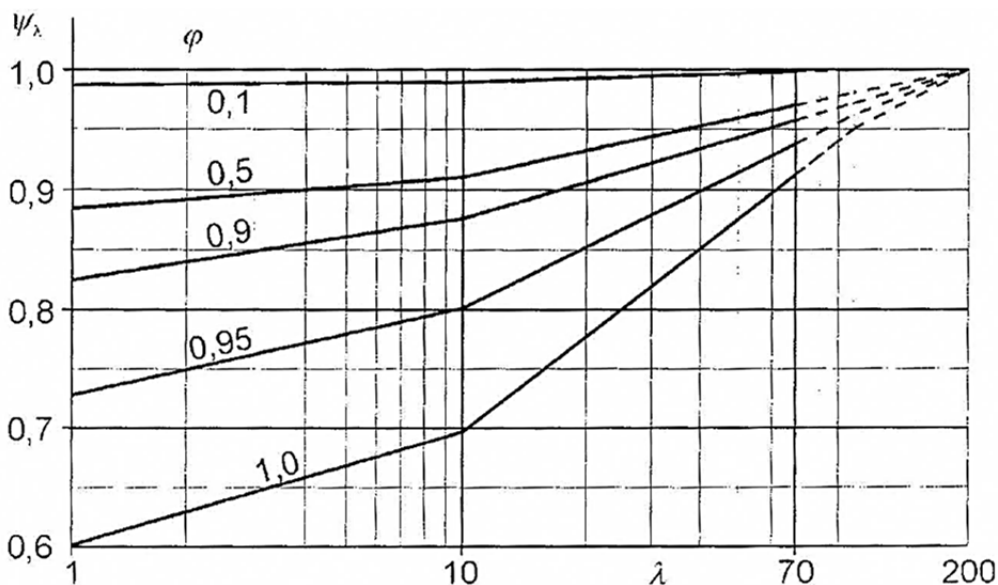
A.....vsota projiciranih površin elementov

A<sub>c</sub>.....ovojna površina  $A_c = l \cdot b$  (glej spodnjo skico)



Slika 25: Definicija zapolnjenosti  $\rho$  (SIST EN 1991-1-4, 2005)

Zmanjšanje koeficientov sile je potrebno izračunati posebej za vsak element paličja. Zato je potrebno določiti efektivno vitkost za vse elemente. Potem s pomočjo obeh faktorjev iz spodnjega grafa odčitam vrednost faktorja vitkosti.



Slika 26: Indikativne vrednosti faktorja vitkosti  $\psi_\lambda$  kot funkcija zapolnjenosti  $\rho$  in vitkosti  $\lambda$

Vendar je iz grafa razvidno, da je pri dani zapolnjenosti paličja zmanjšanje koeficienta sile minimalno in neodvisno od vrednosti efektivne vitkosti za posamezni element. Zato lahko vpliv zmanjšanja koeficientov sile zaradi vitkosti zanemarim.

Zapolnjenost paličja je bila izračunana za prečno smer vetra, vendar je v vseh drugih smereh zapolnjenost celo manjša, zato zmanjšanje koeficientov sil zanemarimo v vseh smereh.

### 3.3 Sneg

Obtežbo snega upoštevamo kot spremenljivo nepomično obtežbo in kot statičen vpliv. Pri načrtovanju je potrebno upoštevati, da je na objektu možnih več različnih porazdelitev snega. Na porazdelitev snega vplivajo lastnosti strehe (površine) in drugi dejavniki, kot so:

- a) oblika strehe,
- b) toplotne lastnosti strehe,
- c) hrapavost površine strehe,
- d) količina toplote, generirane pod streho,
- e) sosednje stavbe,
- f) teren v okolici stavbe,
- g) krajevne podnebne razmere, zrasti prevetrenost, temperaturne spremembe in verjetnost padavin.

Ker obravnavam mostno konstrukcijo, večina dejavnikov ne vpliva na porazdelitev snega. Za obravnavani primer so najbolj pomembne krajevne podnebne razmere. Kadar imamo samo eno ploskev, na katero deluje obtežba, potem ni posebnih zahtev za upoštevanje porazdelitve snega. Zaradi večje varnosti sem most vseeno razdelil po sredini in na vsaki strani se lahko obtežba pojavi neodvisno od druge strani. S tem upoštevam, da lahko veter odstrani le del snega z mostu ali le delno odstranjen sneg v primeru čiščenja snega.

Za trajna/začasna projektna stanja se določi obtežbo snega po spodnji enačbi:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

kjer so:

$\mu_i$ .....oblikovni koeficient obtežbe snega

$s_k$ .....karakteristična obtežba snega na tleh

$C_e$ .....koeficient izpostavljenosti

$C_t$ .....toplotni koeficient

**Faktor izpostavljenosti  $C_e$**  se uporablja za določitev obtežbe na strehi oz. površini. Pri izbrani vrednosti  $C_e$  se upošteva prihodnje stanje okoli objekta. Izberem vrednost za običajen teren, saj veter ne prenaša snega oziroma je prenašanje zaradi ograje minimalno. Vrednost faktorja je, v skladu z nacionalnim dodatkom, enaka **0,8**.

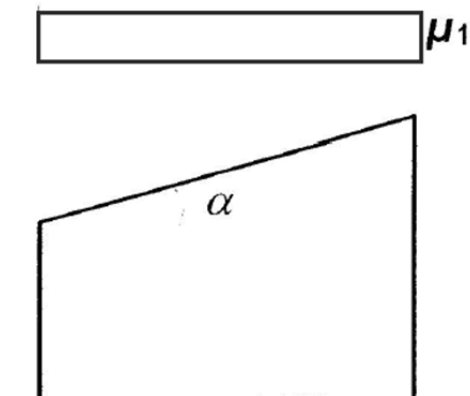
**Toplotni koeficient  $C_t$**  se upošteva za zmanjšanje obtežbe snega pri strehah z veliko toplotno prevodnostjo ( $> 1 \text{ kN/m}^2\text{K}$ ), kjer se sneg topi zaradi toplotnih izgub. Ker obravnavam mostno konstrukcijo, pri kateri do toplotnih izgub ne prihaja, vrednost  $C_t$  ostane **1,0**.

**Oblikovni koeficient obtežbe snega  $\mu_i$**  predstavlja pomembno vlogo pri porazdelitvi obtežbe snega. V primerih, kjer geometrija konstrukcije (strehe) pomembno vpliva na povečanje obtežbe snega glede na streho z ravno površino, je potrebno določiti oblikovni koeficient. Obravnavana konstrukcija je dejansko le ravna ploskev, tako da geometrija konstrukcije nikakor ne vpliva na razporeditev obtežbe. Vrednost faktorja odčitamo iz preglednice. Vrednosti, podane v preglednici, veljajo le če sneg lahko zdrsne s ploskve. Če se to na kakršen koli način prepreči, potem koeficient ne sme biti manjši od 0,8.

Preglednica 11: Oblikovna koeficienta obtežbe snega

Nagib strehe $\alpha$	$0^\circ < \alpha < 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha > 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8 \alpha / 30$	1,6	-

Razporeditev snega po konstrukciji obravnavamo enako kot razporeditev snega po enokapni strehi, prikazano na naslednji sliki.



Slika 27: Oblikovni koeficient obtežbe snega pri enokapnici (SIST EN 1991-1-3,2005)

Iz slike je razvidno, da za moj primer potrebujem samo faktor  $\mu_1$ . Kot  $\alpha$  je enak  $0^\circ$ . Odčitana vrednost iz preglednice za faktor  $\mu_1$  je enaka **0,8**.

**Karakteristična vrednost snega na tleh  $s_k$**  je odvisna od nadmorske višine in od lokalnih klimatskih pogojev. Standard v dodatku C podaja Evropske karte obtežbe snega, določena na podlagi študij, vendar so v nacionalnih dodatkih večinoma na voljo točnejši podatki in karte. Tako Norveški nacionalni dodatek podaja tabelo, v kateri so podane točne vrednosti, po posameznih krajih. Za moj primer tako velja:



$$s_k = 7,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Sedaj izračunam obtežbo snega z upoštevanimi faktorji:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 7,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 4,48 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### 3.4 Obtežba ledu

Zaradi vpliva vetra in nizkih temperatur se pričakuje, da se bo na konstrukciji nabiral tudi led. Obtežba z ledom je zajeta v SIST EN 1993-3-1. Standard ne podaja nobenih zahtev, sklicuje se le na standard ISO 12494: Atmospheric icing of structures (slovensko: Atmosferska poledenitev konstrukcij).

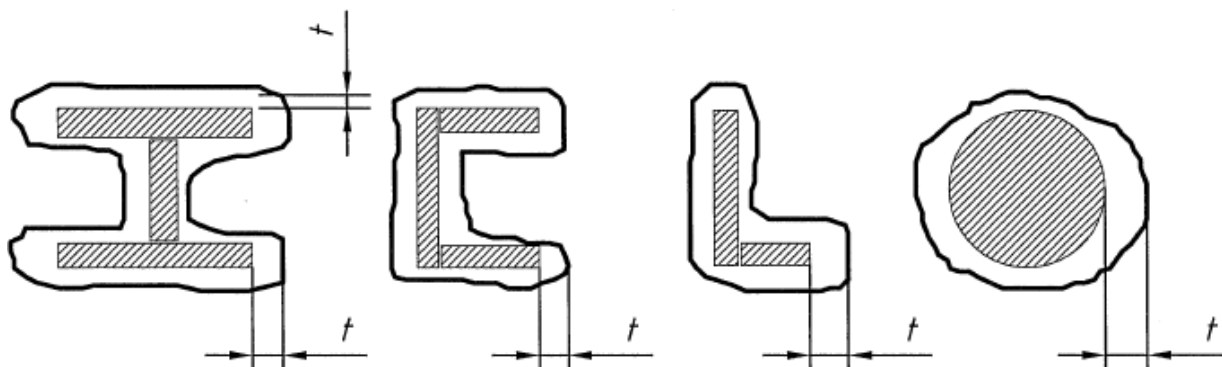
Standard razlikuje med dvema vrstama nabiranja ledu na konstrukcijo, to sta stekleni led (kratica G – ang. glaze) in trdo ivje (kratica R – ang. rime). Za vsako vrsto podaja različne razrede. Razred poledenitve (IC) je določen v odvisnosti od karakteristične vrednosti, s povratno dobo 50 let, za nabiranje ledu na referenčnem kolektorju. Referenčni kolektor je cilindar premera 30 mm in dolžine ne manj kot 0,5 m. Postavljen mora biti 10 m nad terenom in omogočiti počasno rotacijo okoli svoje osi. Določitev razreda poledenitve tako lahko naredimo s pomočjo:

- meteoroloških in topografskih podatkov skupaj z modelom nabiranja ledu ali
- mase ledu (teža) na tekoči meter konstrukcijskega elementa, izmerjenega na območju objekta.

To pomeni, da lahko določimo razred poledenitve za obravnavani objekt, če imamo na voljo enega izmed zgoraj omenjenih podatkov. Masa ledu je vedno določena s prerezom nabranega ledu, pomnoženega z izbrano gostoto nabranega ledu.

V obravnavanem primeru je bilo na voljo razmeroma malo podatkov glede nabiranja ledu na konstrukcije. Odločili smo se, da izberemo najvišje razrede, ki so še opredeljeni v standardu. Izbrane razrede smo primerjali s podatki iz DIN standardov, ki so podajali le vrednosti za stekleni led, in ugotovili, da je izbira najvišjih razredov ustrezna.

Najprej določimo obtežbo steklenega ledu. Ta vrsta ledu ima največjo gostoto. Steklen led nastane pri zmrzovanju dežja, rosenja ali mokrega snega. Večinoma ima gladko površino in je enakomerno razporejen. Razred poledenitve za stekleni led je določen kot debelina ledu na referenčnem kolektorju. Spodnja slika prikazuje nabiranje steklenega ledu na različne oblike profilov in označuje referenčno debelino ledu  $t$ .



Slika 28: Model nabiranja ledu za stekleni led (ISO 12494, 2001)

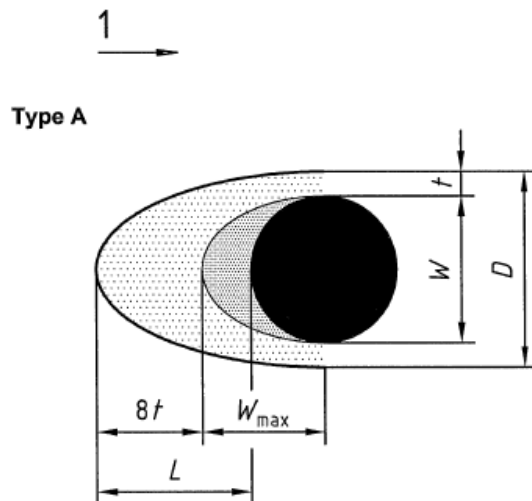
Gostota takšnega ledu je  $900 \text{ kg/m}^3$ . Iz tabele v standardu odčitamo debelino ledu  $t$  za izbrani razred **ICG5**. Za ta razred je predvidena debelina ledu enaka **50 mm**. V spodnji tabeli je izračunana obtežba ledu na tekoči meter obravnavanega elementa.

Preglednica 12: Izračun obtežbe ledu na tekoči meter obravnavanega elementa

teža ledu	9,00	kN/m <sup>3</sup>	
$t_i$	50	mm	... debelina ledu

IME	D [mm]	t [mm]	Obtežba ledu
			$S_i$ [N/m]
CHS 240. x 04.	240	4,0	410,0
CHS 300. x 06.	300	6,0	494,8
kabel PE 10	10,1		85,0
kabel PE 15	12,2		87,9
kabel PE 20	14,1		90,6
kabel PE 25	17		94,7
kabel PE 40	20,1		99,1
kabel PE 55	24,4		105,2
kabel PE 75	28,3		110,7

Drugi model nabiranja ledu na elemente objekta je led, ki nastane zaradi trdega ivja. Trdo ivje je neprozorna zrnasta, snegu ali ledu podobna masa. Razred poledenitve za trdo ivje (ICR) je podan kot masa ledu na tekoči meter referenčnega kolektorja. Izberemo razred poledenitve ICR8 in gostoto ledu  $500 \text{ kg/m}^3$ . Vrednost mase ledu na tekoči meter je enaka 28 kg/m. Za izbrani razred so nato podane dimenzije ledu, ki jih potrebujemo za določitev povečanja prereza.



\*puščica označuje smer vetra

Slika 29: Model nabiranja ledu za trdo ivje (neprozorna zrnasta, snegu ali ledu podobna masa) (ISO 12494, 2001)

Led se na konstrukciji vedno nabira zaradi vetra, zato ga je potrebno upoštevati skupaj z vetrom. Vpliv vetra se izračuna v skladu s standardom za vpliv vetra. Upoštevati je potrebno le spremenjene dimenzije prereza zaradi ledu in spremenjen koeficient sile  $c_{f,0}$ . Ker je verjetnost, da se obe karakteristični vrednosti (za veter in sneg) pojavita sočasno, upoštevamo zmanjšanje sočasne obtežbe, kot je predpisano v standardu. Predvidene sta dve različni kombinaciji, prikazani spodaj.

$$k \cdot q_{50} + \phi_{ice} \cdot m$$
$$\phi_w \cdot k \cdot q_{50} + m$$

kjer je:

$k$ .....faktor zmanjšanja vpliva vetra v odvisnosti od izbranega razreda poledenitve (za ICG5 je enak 0,6 in za ICR8 enak 0,9)

$\phi_{ice}$ .....faktor za zmanjšanje 50 letnega ledu na 3 letni led (priporočena vrednost je 0,3)

$\phi_w$ .....faktor zmanjšanja 50 letnega vetra na 3 letni veter (v obravnavanem primeru je vrednost 0,67)

$m$ .....obtežba ledu na tekoči meter elementa

Dodatno upoštevamo še delne faktorje za posamezne vplive. V obravnavanem primeru sem se odločil za poenostavitev kombinacij. Tako sem upošteval le polno vrednost steklastega ledu, skupaj s polno vrednostjo vetra na nespremenjen prerez. Pri kablh smo upoštevali polno vrednost trdega ivja, saj je le-ta bolj kritična pri manjših prerezih. S to poenostavitvijo

zajamemo vse zgoraj opisane kombinacije z upoštevanimi redukcijami in smo tako na varni strani.

### 3.5 Koristna obtežba

Koristno obtežbo v splošnem obravnavamo kot spremenljiv pomični vpliv. Navadno jo upoštevamo kot navidezen statičen vpliv, kar pomeni, da dinamičen vpliv predstavimo z enakovrednim statičnim vplivom v računskem modelu konstrukcije. V primeru obravnavane mostne konstrukcije koristno obtežbo predstavlja obtežba z ljudmi. Koristne obtežbe na mostove standard obravnava v posebnem delu.

Za pohodne mostove standard predvideva tri obtežne modele za vertikalne vplive. Vsi trije modeli se med seboj izključujejo. Tako imamo:

- enakomerno razporejeno obtežbo,  $q_{fk}$ ,
- točkovno obtežbo  $Q_{fwk}$  in
- obtežbo, ki predstavlja servisna vozila,  $Q_{serv}$ .

V primeru obravnavanega objekta je preprečen dostop servisnim in drugim vozilom, zato upoštevam le prvi dve obtežbi. Enakomerno razporejeno obtežbo upoštevamo le tam, kjer deluje neugodno.

Na mostu se ne pričakuje neprekinjena množica ljudi, zato enakomerno razporejeno obtežbo določim po spodnji enačbi:

$$q_{fk} = 2,0 + \frac{120}{L + 30} = 2,0 + \frac{120}{53 + 30} = 3,45 \text{ kN/m}^2$$

kjer je:

$L$ .....dolžina obtežene površine v metrih.

Točkovna obtežba  $Q_{fwk}$  je enaka 10kN in deluje na kvadratni ploskvi s stranico dimenzij 0,1 metra. Točkovno obtežbo upoštevamo le pri lokalnih vplivih, kot so stiki elementov ipd.

### 3.6 Temperaturna obtežba na mostove

Pri določanju temperaturne obtežbe na mostove, standard razdeli tipe mostove v tri skupine:

- Tip 1: Jeklena prekladna konstrukcija
- Tip 2: Sovprežna prekladna konstrukcija
- Tip 3: Betonska prekladna konstrukcija

Obraunavana konstrukcija spada v skupino **Tip 1**. Zaradi zelo majhnih dimenzij pohodnega nosilca sem vpliv temperaturnega gradienta zanemaril, saj je vpliv le-tega zanemarljiv. Tako upoštevam le vpliv enakomerne spremembe temperature po doloilih standarda.

Določiti je potrebno minimalno in maksimalno temperaturo zraka v senci za območje na katerem stoji objekt. Temperature je potrebno dobiti iz nacionalne karte izoterm v skladu s standardom. Izoterme so podane za koto srednje gladine morje, zato jih je potrebno prilagoditi dejanski nadmorski višini objekta. Izoterme so podane v nacionalnem dodatku.

$$T_{\max} = 34^{\circ}\text{C}$$

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

Nadmorska višina **H** objekta je enaka **330 m**. Dodatek A k standardu podaja priporočila za prilagoditev minimalnih in maksimalnih temperatur na podano nadmorsko višino, kadar nacionalni dodatek ne podaja drugačnih vrednosti. Minimalna temperatura se zniža za  $0,5^{\circ}\text{C}$  vsakih 100 višinskih metrov, maksimalna temperatura pa se zniža za  $1,0^{\circ}\text{C}$  vsakih 100 višinskih metrov.

$$\Delta T_{\max} = \frac{H}{100\text{ m}} \cdot 1,0^{\circ}\text{C} = 3,3^{\circ}\text{C}$$

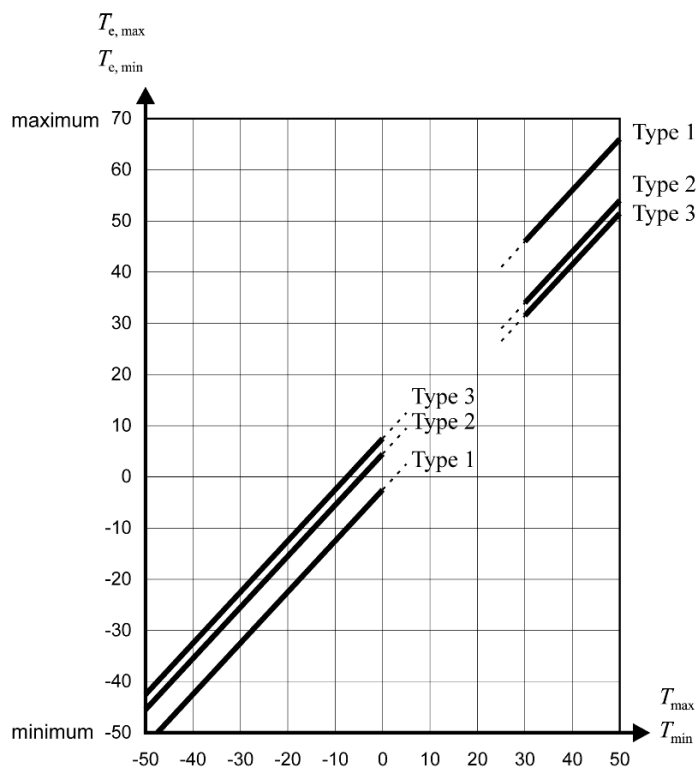
$$\Delta T_{\min} = \frac{H}{100\text{ m}} \cdot 0,5^{\circ}\text{C} = 1,65^{\circ}\text{C}$$

Tako sta dejanski vrednosti za območje objekta sledeči.

$$T_{\max} = T_{\max} - \Delta T_{\max} = 34^{\circ}\text{C} - 3,3^{\circ}\text{C} = 30,7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min} = T_{\min} - \Delta T_{\min} = 40^{\circ}\text{C} - 1,65^{\circ}\text{C} = -41,7^{\circ}\text{C}$$

Iz spodnjega grafa lahko na podlagi ekstremnih vrednosti temperature zraka v senci odčitam pripadajoča ekstrema enakomerne spremembe temperature konstrukcije.



Slika 30: Zveze med ekstremnimi temperaturami zraka v senci in ekstremnimi enakomernimi temperaturami konstrukcije (SIST EN 1991-1-5, 2004)

Za aluminijasta (jeklena) paličja in tankostenske nosilce se lahko maksimalna vrednost za Tip 1 zmanjša za 3°C. Spodaj so podane odčitane vrednosti z upoštevano redukcijo.

$$T_{e,max} = 43,7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,min} = -44,7^{\circ}\text{C}$$

Za začetno temperaturo konstrukcije privzamem priporočeno vrednost v standardu  $T_0=10^{\circ}\text{C}$ . Pripadajoči enakomerni spremembi temperature konstrukcije z ozirom na skrčke in raztezke sta sledeči:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,min} - T_0 = -44,7^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = -54,7^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,max} = 10^{\circ}\text{C} - 43,7^{\circ}\text{C} = -33,7^{\circ}\text{C}$$

Za dimenzioniranje ležišč in dilatacij moramo zgornjima vrednostma **dodati 20°C**.

Standard obravnava tudi razlike med temperaturami v različnih konstrukcijskih elementih. Kadar lahko pride do različnih temperatur v različnih konstrukcijskih elementih in bi to povzročilo dodatne neugodne obremenitve, moramo te vplive upoštevati. Kadar uporabljamo pramenaste kable, je **potrebno upoštevati razliko 15°C** med kablji in glavnimi konstrukcijskimi elementi. Učinek različnih temperatur mora biti dodan ostalim vplivom temperature, obravnavanih zgoraj.

## 4 VPLIVI ZA ZAČASNA PROJEKTNA STANJA

### 4.1 Faktor lastne teže v času dviga

V času dviga in montaže mostu na le-tega deluje malo zunanjih vplivov. Upoštevati pa je potrebno dodatno varnost za elemente, ki so še posebej obremenjeni med dvigom. Ker je edini pomemben vpliv, ki ga imamo, lastna teža konstrukcije, ki se bo dvigovala, moramo izračunati faktor za povečanje lastne teže med dvigom. Za določitev faktorja smo uporabili standard, ki se uporablja pri načrtovanju naftnih ploščadi in podobnih objektov - DNV Rules for Planning and Execution of Marine Operations - Yard Lifts. Za obravnavan primer je prišel v upoštevek del o dvoriščnih dvigih bremen. Za dimenzioniranje zank, vrvi in elementov med dvigom, sem uporabil skupni faktor . Ker je teža dokazana samo računsko, je potrebno dodatno povečanje teže za faktor 1,10. Le-ta je že upoštevan znotraj programa.

Preglednica 13: Faktorji za povečanje lastne teže v času dviga

Varnostni faktor za stalno obtežbo	1,35
Dodatni varnostni faktor zaradi vpliva vetra	1,05
Faktor za upoštevanje spremembe gravitacijskega središča med dvigom	1,10
Varnostni faktor za elemente v bližini dvižnih točk	1,15
Dinamični faktor za dvige teže do 10 ton	1,25
Faktor za neenakomerno obremenitev, zaradi toleranc za dvižne vrvi	1,10
Negotovost dvižnega kota z načrtovanim (+- 10° za načrtovanje dvižnih točk)	1,10
Varnostni faktor za aluminijaste elemente	1,10

$$1,35 \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot 1,10 \cdot 1,25 \cdot 1,10 \cdot 1,10 \cdot 1,10 = 2,983$$

Pred dvigom si moramo zagotoviti točne vremenske napovedi za območje.

### 4.2 Vpliv vetra v času gradnje

Vpliv vetra v času gradnje se izračuna po enakem postopku kot vpliv vetra v času uporabe objekta. Izračun se razlikuje le v upoštevani povratni dobi. Za običajne objekte je upoštevana povratna doba za vpliv vetra 50 let. Ker pa je proces gradnje le začasno stanje, lahko vpliv vetra v tem času ustrezno zmanjšamo, v odvisnosti od predvidenega časa gradnje. Standard v delu EN 1991-1-6 določa ustrezne povratne dobe, ki jih upoštevamo. Navedene so v spodnji preglednici.

Preglednica 14: Priporočene povratne dobe za izračun karakterističnih vrednosti klimatskih obtežb (SIST EN 1991-1-6, 2005)

Čas trajanja gradnje	Povratna doba (v letih)
≤ 3 dni	2

≤ 3 mesece (vendar > 3 dni)	5
≤ 1 leto (vendar > 3 mesece)	10
> 1 leto	50

Za obravnavan objekt je predvideno, da bo montaža manjkajočih elementov potekala približno 1 mesec. Zato upoštevamo povratno dobo **R enako 5 let**. Ker bo gradnja oz. montaža objekta potekala manj kot tri mesece, standard dovoli tudi upoštevanje faktorja letnega časa  $c_{season}$ . Faktor letnega časa je podan v nacionalnem dodatku. V obdobju od začetka junija do konca avgusta je faktor  $c_{season}$  **enak 0,8**. V tem obdobju se montira tudi obravnavan objekt, zato lahko faktor upoštevam v izračunu.

V nadaljevanju izračunam verjetnostni faktor z ustrezno povratno dobo:

$$c_{prob} = \left( \frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n = \left( \frac{1 - 0,2 \cdot \ln(-\ln(1-\frac{1}{5}))}{1 - 0,2 \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^{0,5} = 0,85$$

kjer je:

K.....oblikovni parameter, odvisen od koeficienta variance porazdelitve ekstremnih vrednosti (priporočena vrednost za **K je 0,2**)

n.....eksponent (priporočena vrednost za **n je 0,5**)

p.....letna verjetnost prekoračitve ( $p = 1/R$ )

R.....povratna doba

Sledi izračun vpliva vetra po postopku opisanem v poglavju 3.2.1 z upoštevanimi zgornjimi faktorji.

$$V_{b,gradnja} = C_{prob} \cdot C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 0,85 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 25 \text{ m/s} = 17 \text{ m/s}$$

$$c_r = k_r \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,22 \cdot \ln \left( \frac{110}{0,3} \right) = 1,299$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,2154$$



$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,00}{1 \cdot \ln\left(\frac{110}{0,3}\right)} = 0,17$$

$$V_{m,gradnja}(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b = 1,299 \cdot 1 \cdot 17 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 22,08 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$q_{p,gradnja} = \left[1 + 7 \cdot I_v(z)\right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \left[1 + 7 \cdot 0,17\right] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 22,08^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 667 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

V nadaljevanju določim razmerje med obtežbo v času uporabe objekta in v času montaže.

$$x = \frac{q_{p,gradnja}}{q_p} = \frac{0,7}{1,56} = 0,45$$

S tem faktorjem pomnožimo vpliv vetra v času uporabe, saj tako ni potrebno dodajati novega obtežnega primera. Velja tudi  $\gamma_{Q_w} \cdot x = 1,5 \cdot 0,45 = 0,7$ .

## 5 GLOBALNA ANALIZA

### 5.1 Globalna nepopolnost

Pri načrtovanju je potrebno upoštevati primerne tolerance, da z njimi pokrijemo vplive nepopolnosti, kar vključuje vpliv zaostalih napetosti in geometrijskih nepopolnosti, kot so pomanjkanje vertikalnosti, pomanjkanje ravnosti elementov in pločevin, ter netočno naleganje in nepričakovane ekscentričnosti prisotne v vozliščih neobteženih konstrukcij. Geometrijske nepopolnosti, ki so enake ali manjše od temeljnih geometrijskih toleranc, navedenih v standardu prEN 1090-3, so zajete v odpornostnih formulah, v uklonskih krivuljah in v varnostnem faktorju za material  $\gamma_M$ . Uporabiti moramo ekvivalentno geometrijsko nepopolnost, z vrednostmi, ki upoštevajo vpliv vseh zgoraj naštetih nepopolnosti, razen v primerih, ko so ti vplivi že zajeti v kontrolo nosilnosti elementov.

Obravnavati je potrebno naslednje nepopolnosti:

- a) globalna nepopolnost za okvire in povezja,
- b) lokalne nepopolnosti posameznih elementov.

Pri analizi povezij, ki zagotavljajo bočno stabilnost v polju upogibnih nosilcev ali tlačno obremenjenih elementov, se vplivi nepopolnosti upoštevajo z nadomestnimi geometrijskimi nepopolnostmi podprtih elementov v obliki ločnih nepopolnosti. Določi se po spodnjem postopku:

$$e_0 = \alpha_m \cdot L / 500 = 0,866 \cdot 53000 \text{ mm} / 500 = 91 \text{ mm}$$

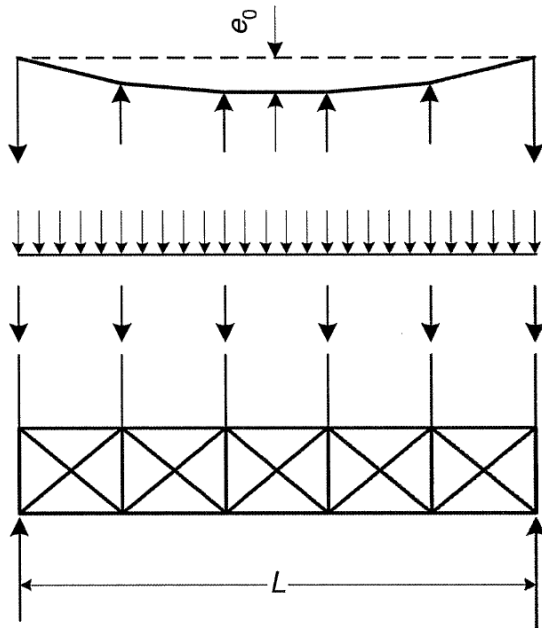
kjer je:

$e_0$  .....nepopolnost

L.....razpon povezja

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,866$$

m.....število podprtih elementov



Slika 31: Dolžina povezja in podprti elementi (SIST EN 1999-1-1, 2007 (E))

## 5.2 Kombinacije vplivov za stalna in začasna projektna stanja

V skladu s standardom lahko vplive kombiniramo po dveh postopkih, v nacionalnem dodatku pa se lahko opredeli, kateri je bolj primeren v državi članici. Norveški nacionalni dodatek dovoljuje oba postopka. Izbran postopek predpisuje dve enačbi, s katerimi se vršijo kombinacije.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

kjer so:

"+".....znak za kombinacijo

$\xi_j$ .....redukcijski faktor za neugodne stalne vplive

$\Sigma$ .....pomeni kombiniran učinek

$\gamma_{G,j}$ .....delni faktor varnosti za stalni vpliv

$G_{k,j}$ .....karakteristična vrednost stalnega vpliva  $j$

$\gamma_{Q,1}$ .....delni faktor varnosti za spremenljiv vpliv 1

$Q_{k,1}$ .....karakteristična vrednost prevladujočega spremenljivega vpliva 1

$\gamma_{Q,i}$ .....delni faktor varnosti za spremenljiv vpliv  $i$

$Q_{k,i}$ .....karakteristična vrednost spremljajočega spremenljivega vpliva  $i$

$\psi_{0,i}$ .....faktor za kombinacijsko vrednost spremenljivega vpliva  $i$

Nacionalni dodatek določa redukcijski faktor za neugodne stalne vplive. Tako je vrednost faktorja  $\xi_j$  enaka **0,89**. Iz tega sledi  $\xi\gamma_G = 0,89 \times 1,35 = 1,20$ . Vse ostale vrednosti uporabljenih faktorjev so predstavljene v spodnji preglednici.

Preglednica 15: Vrednosti za kombinacije vplivov pri stalnem in začasnem stanju

Oznaka	Vpliv	Deluje v + in - smeri	$\gamma$ – delni faktor za posamezne vplive	$\psi_0$ – faktor za kombinacijsko vrednost	$\psi_2$ – faktor za navidezno stalno vrednost
L10	Lastna + stalna	NE	1,35/1,2 ali 1,0	-	-
L20	Koristna Promet	NE	1,5 ali 0,0	0,4	0
L31	Sneg Levo	NE	1,5 ali 0,0	0,7	0,2
L32	Sneg Desno	NE	1,5 ali 0,0	0,7	0,2
L33	Led	NE	1,5 ali 0,0	0,7	0,2
L41	Veter X	DA	1,5 ali 0,0	0,6	0
L42	Veter Y	DA	1,5 ali 0,0	0,6	0
L43	Veter Z	DA	1,5 ali 0,0	0,6	0
L51	Temp. Zima	NE	1,5 ali 0,0	0,6	0
L52	Temp. Poletje	NE	1,5 ali 0,0	0,6	0
L53	Temp. Razlika	DA	1,5 ali 0,0	0,6	0

Preglednica 16: Lista najbolj kritičnih obtežnih kombinacij za mejno stanje nosilnosti (pri stalnem stanju)

$$1.2 \cdot L10 + 1.5(L31 + L32 + L33) - 0.9 \cdot L41 - 0.9 \cdot L43 + 0.9 \cdot L51$$

$$1.2 \cdot L10 + 1.05 \cdot L31 - 1.5 \cdot L42 + 1.5 \cdot L43 + 0.9 \cdot L51$$

$$1 \cdot L10 - 1.5 \cdot L41 + 1.5 \cdot L43 + 0.9 \cdot L52$$

$$1.2 \cdot L10 + 1.05 \cdot L31 + 1.5 \cdot L42 + 1.5 \cdot L43 + 0.9 \cdot L51$$

$$1.2 \cdot L10 + 1.05(L31 + L32 + L33) + 1.5 \cdot L42 - 1.5 \cdot L43 + 0.9 \cdot L51$$

$$1 \cdot L10 + 0.6(L21 + L22) - 1.5 \cdot L42 + 1.5 \cdot L43 + 0.9 \cdot L51$$

$$1.2 \cdot L10 + 1.5 \cdot L33 - 0.9 \cdot L41 - 0.9 \cdot L43 + 0.9 \cdot L51$$

$$1.2 \cdot L10 + 1.5(L31 + L32 + L33) - 0.9 \cdot L42 - 0.9 \cdot L43 + 0.9 \cdot L51$$

$1.2*L10 + 1.5(L31 + L32 + L33) + 0.9*L42 - 0.9*L43 + 0.9*L52$
$1.2*L10 + 1.5(L31 + L32 + L33) - 0.9*L42 + 0.9*L43 + 0.9*L51$
$1.2*L10 + 1.5(L31 + L32 + L33) + 0.9*L42 - 0.9*L43 + 0.9*L51$
$1*L10 + 1.05(L31 + L32 + L33) - 1.5*L42 - 1.5*L43 + 0.9*L51$
$1*L10 + 1.5*L42 + 1.5*L43 + 0.9*L51$
$1*L10 - 1.5*L42 + 1.5*L43 + 0.9*L52$
$1.2*L10 + 1.05(L31 + L32 + L33) - 1.5*L42 - 1.5*L43 + 0.9*L51$

*Preglednica 17: Lista najbolj kritičnih obtežnih kombinacij za mejno stanje uporabnosti*

$1*L10 + 0.7*(L31 + L32 + L33) - 1*L42 - 1*L43 + 0.6*L51$
$1*L10 - 1*L42 + 1*L43 + 0.6*L51$
$1*L10 - 1*L41 + 1*L43 + 0.6*L51$
$1*L10 + 1*L42 + 1*L43 + 0.6*L51$
$1*L10 + 0.7*(L31 + L32 + L33) + 1*L42 - 1*L43 + 0.6*L51$
$1*L10 + 1*(L31 + L32 + L33) - 0.6*L42 - 0.6*L43 + 0.6*L51$
$1*L10 + 0.7*(L31 + L32 + L33) + 0.6*L41 - 0.6*L43 + 1*L52$
$1*L10 - 0.6*L41 + 0.6*L43 + 1*L51$
$1*L10 + 1*(L31 + L32 + L33) + 0.6*L42 - 0.6*L43 + 0.6*L51$

*Preglednica 18: Lista obtežnih kombinacij pri začasnem stanju (dvig in montaža manjkajočih elementov)*

$2.98*L11 - 0.24*L43$	DVIG
$1*L11 - 0.12*L43$	DVIG
$1.35*L11 + 0.375(L21 + L22) + 0.7*L41 + 0.7*L42$	MONTAŽA
$0.9*L11 - 0.7*L41 + 0.7*L43$	MONTAŽA
$1.35*L11 + 0.375(L21 + L22) - 0.7*L41 - 0.7*L43$	MONTAŽA

### 5.3 Kontrola reakcij

## Skupne obtežbe in reakcije ter podatki o konstrukciji

$L_{10} := 2.9.83 \text{ kN}$	reakcije zaradi lastne teže ograje
$L_{20} := 278. \text{ kN}$	reakcije zaradi koristne obtežbe
$L_{32} := 178. \text{ kN}$	reakcije zaradi obtežbe snega
$L_{33} := 178. \text{ kN}$	reakcije zaradi obtežbe snega
$L_{42} := 74.3 \text{ kN}$	reakcije zaradi vetra v Y smeri
$L_{43} := 178. \text{ kN}$	reakcije zaradi vetra v Z smeri
$L := 53 \text{ m}$	$b := 1.5 \text{ m}$

$$A_{\text{slab}} := L \cdot b = 79.5 \text{ m}^2$$

### Lastna teža BLC10

teža ograje:

$$F_{DL} := L \cdot 0.371 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 19.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$DL := \frac{L_{10}}{F_{DL}} = 1.00 \text{ m}$$

### Koristna obtežba BLC 20

koristna obtežba na pohodni ploskvi:

$$F_{LL} := A_{\text{slab}} \cdot 3.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 274.3 \text{ kN}$$

$$LL := \frac{L_{20}}{F_{LL}} = 1.01$$

### Sneg BLC 32 + 33

sneg na pohodni ploskvi:

$$F_S := A_{\text{slab}} \cdot 4.48 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 356.2 \text{ kN}$$

$$S := \frac{L_{32} + L_{33}}{F_S} = 1.00$$

### Veter v Y smeri BLC 42

projecirana površina okroglih profilov:

$$L_{\text{proj.y}} := 2 \cdot (9 \cdot 5.3 \text{ m} \cdot 0.24 \text{ m} + 8 \cdot 6.75 \text{ m} \cdot 0.30 \text{ m}) = 55.296 \text{ m}^2$$

$$F_{W.Y} := L \cdot 0.276 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + L_{\text{proj.y}} \cdot 0.699 \cdot 1.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 74.9 \text{ kN}$$

$$W_y := \frac{L_{42}}{F_{W.Y}} = 0.99$$

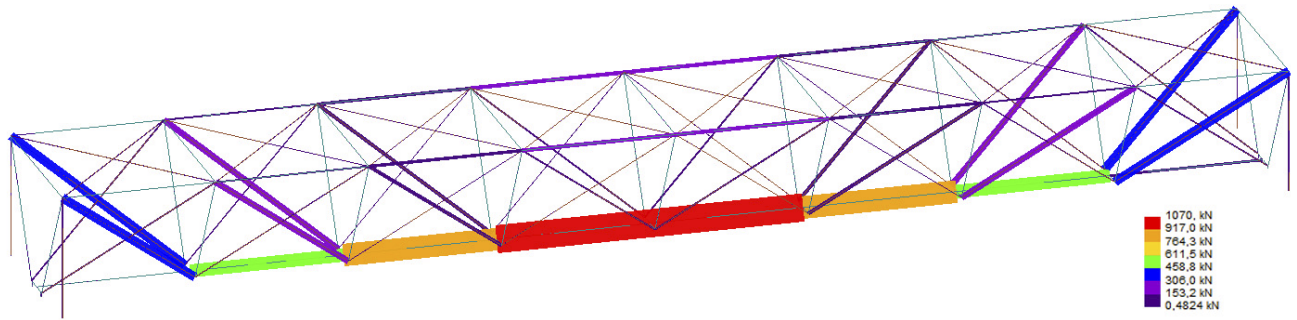
### Veter v Z smeri BLC 43

$$L_{\text{proj.z}} := 9 \cdot 7.62 \text{ m} \cdot 0.24 \text{ m} + 2 \cdot 9 \cdot 3.06 \text{ m} \cdot 0.24 \text{ m} + 2 \cdot L \cdot 0.30 \text{ m} = 61.478 \text{ m}^2$$

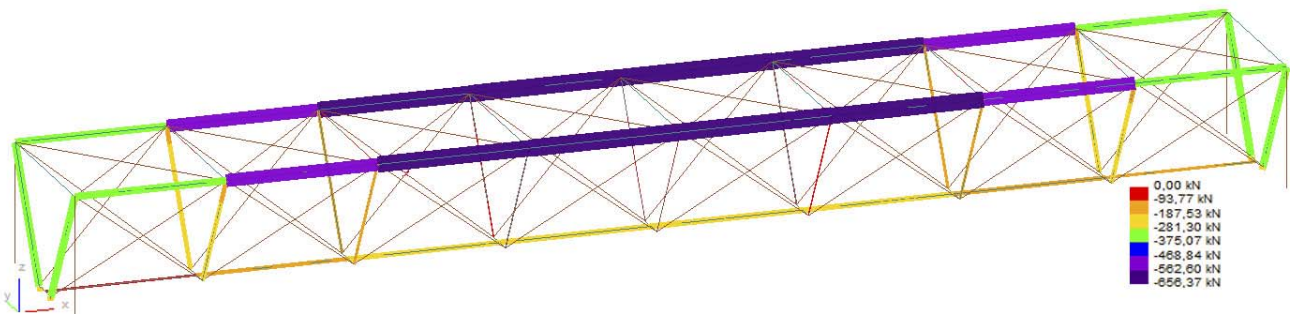
$$F_{W.Z} := L \cdot 2.109 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + L_{\text{proj.z}} \cdot 0.699 \cdot 1.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 178.8 \text{ kN}$$

$$W_z := \frac{L_{43}}{F_{W.Z}} = 1.00$$

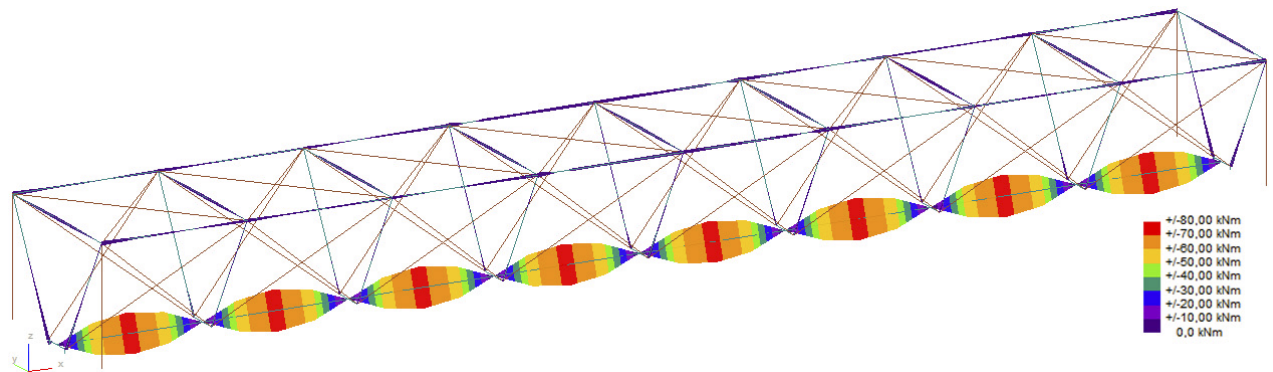
## 5.4 Osnovno projektno stanje



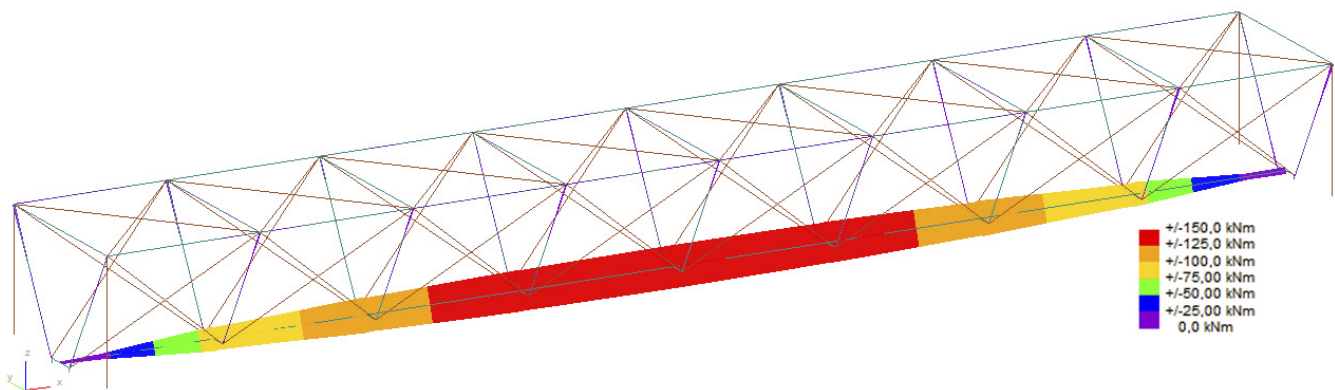
Slika 32: Ovojnica maksimalnih osnih sil  $A_x$  v elementih mostu



Slika 33: Ovojnica minimalnih osnih sil  $A_x$  v elementih mostu



Slika 34: Ovojnica absolutnih maksimalnih momentov  $M_{YY}$  v elementih mostu

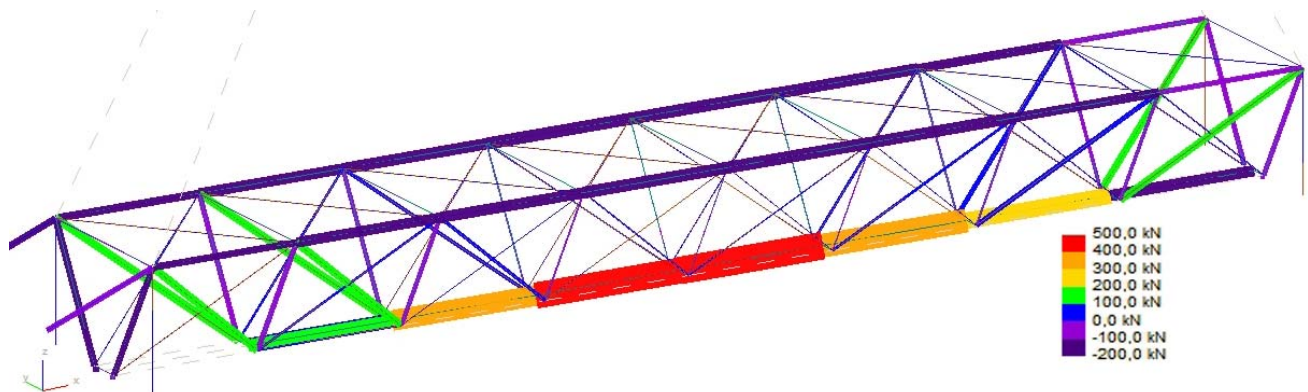


Slika 35: Ovojnica absolutnih maksimalnih momentov  $M_{ZZ}$  v elementih mostu

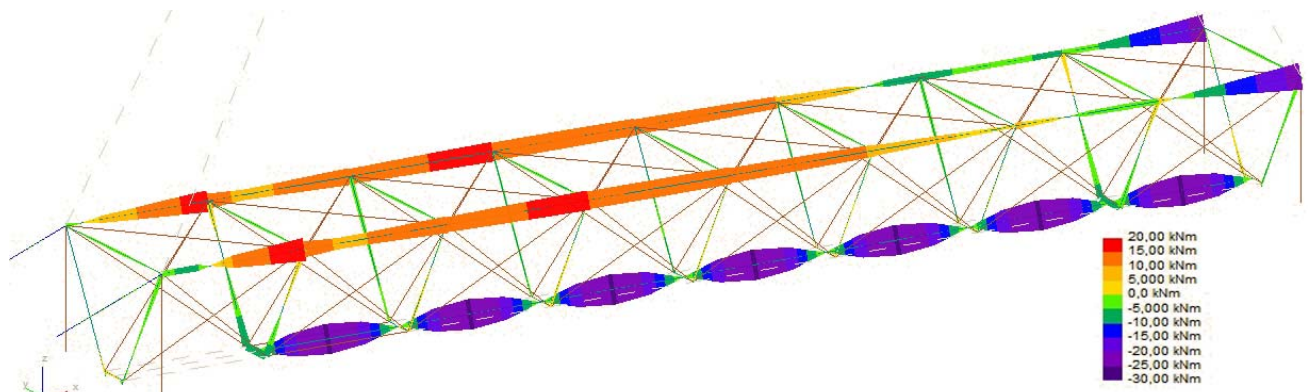
## 5.5 Začasna projektna stanja

Na spodnjih slikah so prikazane ovojnice začasnih projektnih stanj. Sile v elementih so povečini manjše kot pri osnovnem projektnejem stanju. Edina bistvena razlika je v zgornjih

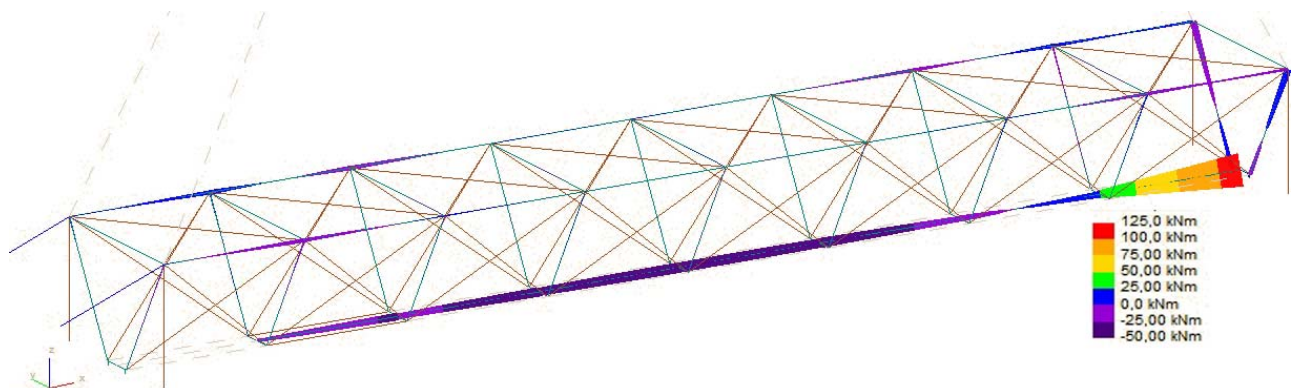
nosilcih CHS 300x06, saj le-ti v začasnih stanjih podvrženi tudi momentni obtežbi, ki v stanju uporabe ni prisotna.



Slika 36: Minimalne in maksimalne osne sile v elementih med začasnimi projektnimi stanji



Slika 37: Minimalni in maksimalni momenti  $M_{yy}$  v elementih med začasnimi projektnimi stanji



Slika 38: : Minimalni in maksimalni momenti  $M_{zz}$  v elementih med začasnimi projektnimi stanji



## **6 POVZETEK STANDARDA EC 9 (EN 1999-1-1, 2007)**

Dimenzioniranje aluminijastih konstrukcij je podobno dimenzioniranju jeklenih konstrukcij, vendar ima aluminij nekaj posebnosti, na katere je potrebno biti zelo pozoren. V nadaljevanju bom opisal glavne značilnosti in na kratko povzel standard. Vse uporabljene enačbe v tem poglavju so označene s številko, ki ustreza številki enačbe v standardu.

### **6.1 Izbira vrste aluminija in oznake zlitin**

Če primerjamo dimenzioniranje jekla in aluminija, se pri dimenzioniranju slednjega že pred začetkom soočamo z dvema posebnostima. Prva je veliko število različnih vrst aluminija v kombinacijami z različnimi postopki utrjevanja, ki so nam na voljo. Druga, ki nam lahko povzroča probleme, pa je dejstvo, da so pločevine ali standardni profili na voljo pri dobavitelju le v omejenem obsegu vrst aluminija. Stranski problem tega je dejstvo, da je večinoma na voljo le majhno število različnih prereзов profilov in še ti v večini majhnih dimenzij. Razlog za to sta različna postopka za proizvodnjo profilov, saj se jeklo v večini primerov valja, za razliko od aluminijastih, ki se proizvajajo s pomočjo toplotne ekstruzije. Tako je skoraj 90% vseh proizvedenih aluminijastih profilov narejenih po meri in zahtevah naročnika in posledično na voljo za uporabo le njemu.

Izbira vrste aluminija in postopka utrjevanja je lažja, če razjasnimo naslednje točke:

- Kakšna je potrebna trdnost materiala?
- Je velika trdnost varjenega materiala nujno potrebna?
- Kakšno obliko polizdelka potrebujemo (pločevine/ploščice/iztisnjeni profili)?
- Kolikšno količino le-teh potrebujemo oz. ali so na voljo pri dobavitelju?
- Ali imamo dovolj veliko količino profilov po meri, da je upravičena proizvodnja le-teh?
- Ali je potreba po visoko duktilnem materialu?
- Ali je potrebna dobra upogljivost/oblikovalnost prereza?
- Ali je potrebna dobra prepogibnost/oblikovalnost pločevine?
- Ali je potrebno posebej dobro korozijsko obnašanje (za posebne namene)?
- Ali so kakšne posebne zahteve, glede obnašanja pri visokih temperaturah?

Zadnja izmed naštetih je tudi cena materiala, saj so med različnimi vrstami aluminija in polizdelki opazne razlike v ceni in pogosto je potrebno prirediti izbor tako, da dosežemo nek stroškovni kompromis.

Za uporabo v gradbeništvu je tako na voljo veliko število različnih aluminijastih zlitin. Zlitine se med seboj razlikujejo v lastnostih. Razlike so odvisne od dodatkov, ki se uporabijo v zlitini in od postopka utrjevanja zlitine.

Tipični predstavniki dodatkov v aluminijastih zlitinah, namenjenih za konstrukcije, so: magnezij, mangan, silicij, cink in baker. Vse zlitine niso primerne za vse tipe izdelkov, zato je pomembno, da pred izbiro materiala preverimo, ali je produkt (polizdelek), ki ga želimo vgraditi, na voljo v izbrani zlitini. V spodnji preglednici so predstavljene najbolj pogosto uporabljene zlitine in kako se le-te lahko oblikujejo. Oznake (kovnih) aluminijevih zlitin so sestavljene iz štirih števil. Prva cifra poda osnovno informacijo o glavnem dodatku zlitini. (Oznake livnih aluminijevih zlitin so sestavljene iz petih števil).

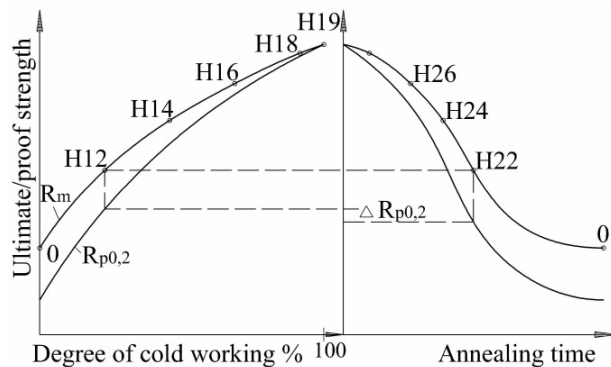
*Preglednica 19: Oznake aluminijevih zlitin in možni polizdečki (Selection of Structural Alloys, R. Gitter, 2008: str. 7)*

Oznaka zlitine		Obdelava		
Numerična EN AW-	Kemična EN AW_	valjane pločevine	iztisnjeni profili	odkovki
3004	AlMn1Mg1	X		
3005	AlMn1Mg0,5	X		
3013	AlMn1	X		
5005/5005A	AlMg1(B)/(C)	X		
5049	AlMg2Mn0,8	X		
5052	AlMg2,5	X		
5083	AlMg4,5Mn0,7	X	X	X
5454	AlMg3Mn	X	X	
5754	AlMg3	X	X	X
6060	AlMgSi		X	
6061	AlMg1SiCu	X	X	
6063	AlMg0,7Si		X	
6005A	AlSiMg(A)		X	
6082	AlSi1MgMn	X	X	X
6106	AlMgSiMn		X	
7020	AlZn4,5Mg1	X	X	
8011A	AlFeSi	X		

Kot je bilo že omenjeno, je za aluminij značilno, da se lastnosti zlitine spreminjajo tudi v odvisnosti od izbranega postopka utrjevanja. Vrste aluminija se delijo na zlitine, ki se ne utrjujejo s pomočjo toplote ter zlitine, ki se utrjujejo s toploto.

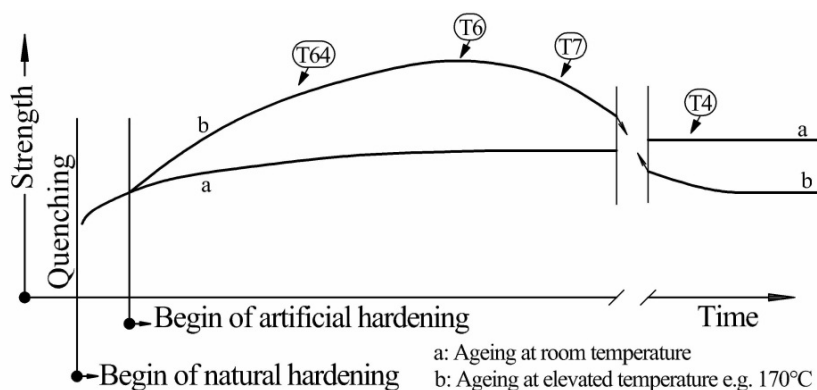
Pri hladnem utrjevanju plastične deformacije povzročajo nepopolnosti v mreži z izrazitim povečanjem števila ti. dislokacij zlasti ob drsnih ploskvah. Z večanjem obremenitev in deformacij material razvije povečano mehansko trdnost. Vzporedno s povečanjem trdnosti pa se zmanjšuje duktilnost materiala. Če postopek izvajamo predolgo, se začnejo formirati razpoke v materialu, navadno ob pregibu. Proces hladnega utrjevanja se lahko izniči z dodajanjem toplote. V odvisnosti od temperature in časa dovajanja toplote se lahko materialu

znova zmanjša trdnost in poveča duktilnost, vse do začetne vrednosti, ki jo imenujemo »O utrjevanje«. Postopek iz te faze lahko zopet večkrat ponovimo. V spodnjem grafu je prikazano povečanje trdnosti v odvisnosti od obremenitev in padanja trdnosti v odvisnosti od temperature in časa.



Slika 39: Hladno utrjevanje in popuščanje aluminija (Selection of Structural Alloys, R. Gitter, 2008: str. 4)

Toplotno utrjevanje imenujemo tudi staranje. Najprej aluminij segrevamo na visoki temperaturi, da se raztopijo elementi kot na primer baker. Nato pa na hitro ohlajamo in s tem preprečimo izločanje elementa, tako da ostale prisilno raztopljen v aluminiju. S tem dosežemo občutno povečanje trdnosti. Na spodnjem grafu je prikazano povečanje trdnosti v odvisnosti od časa in temperature utrjevanja.



Slika 40: Toplotno utrjevanje v odvisnosti od časa in temperature utrjevanja (Selection of Structural Alloys, R. Gitter, 2008: str. 4)

Hladno utrjene zlitine imajo oznake H in O, toplotno utrjene zlitine pa oznako T.

Najbolj pogosto uporabljene vrste aluminija v gradbeništvo so naslednje:

- EN AW-6082, EN AW-6061 in EN AW-7020 (ne tako pogosto), za konstrukcije in dele konstrukcije izdelanih iz pločevin, profilov in plošč iste zlitine,
- EN AW-5083 in EN AW-5754, za konstrukcije in dele konstrukcije izdelane iz plošč,
- EN AW-6060 in EN AW-6063, za konstrukcije izdelane iz profilov.

## 6.2 Lastnosti materiala

Standard podaja osnovne lastnosti materiala, ki jih potrebujemo za dimenzioniranje:

– Modul elastičnosti	$E = 70\,000 \text{ N/mm}^2$ ;
– Strižni modul	$G = 27\,000 \text{ N/mm}^2$ ;
– Poissonov količnik	$\nu = 0,3$ ;
– Koeficient linearnega toplotnega raztezka	$\alpha = 23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ;
– Prostorninska teža	$\rho = 2\,700 \text{ kg/m}^3$

Natezna trdnost  $f_t$  in napetost tečenja  $f_o$  sta določena za vsako vrsto aluminija posebej. Prav tako tudi vse ostale karakteristike, ki se spreminjajo v odvisnosti od vrste aluminija in procesa utrjevanja.

## 6.3 Mejno stanje nosilnosti

### 6.3.1 Razvrščanje prečnih prereзов

Kakor je v navadi pri dimenzioniranju jeklenih prereзов tudi aluminijaste razvrščamo v kompaktnostne razrede, in sicer v štiri. Če primerjamo določanje razreda za jeklo in aluminij, ima aluminij dve bistveni razliki. Prva je ta, da je potrebno pri določanju vitkosti posameznih delov prereза upoštevati, ali je bil prerez varjen ali ne. Druga razlika pa je določanje efektivnega prereза v četrtem kompaktnostnem razredu. Pri aluminijastih prerezih ne določamo sodelujoče širine kakor pri jeklenih prerezih, ampak določimo efektivno debelino prereза, za vsak del prereза. Efektivna debelina prereза se določi s **faktorjem lokalnega izbočenja**  $\rho_c$ , s katerim zmanjšamo debelino prereза. Faktor se določi po spodnji enačbi:

$$\rho_c = 1,0 \quad \text{za} \quad \beta \leq \beta_3 \quad (6.11)$$

$$\rho_c = \frac{C_1}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)} - \frac{C_2}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)^2} \quad \text{za} \quad \beta > \beta_3 \quad (6.12)$$

kjer je:

$\rho_c$ .....faktor lokalnega izbočenja

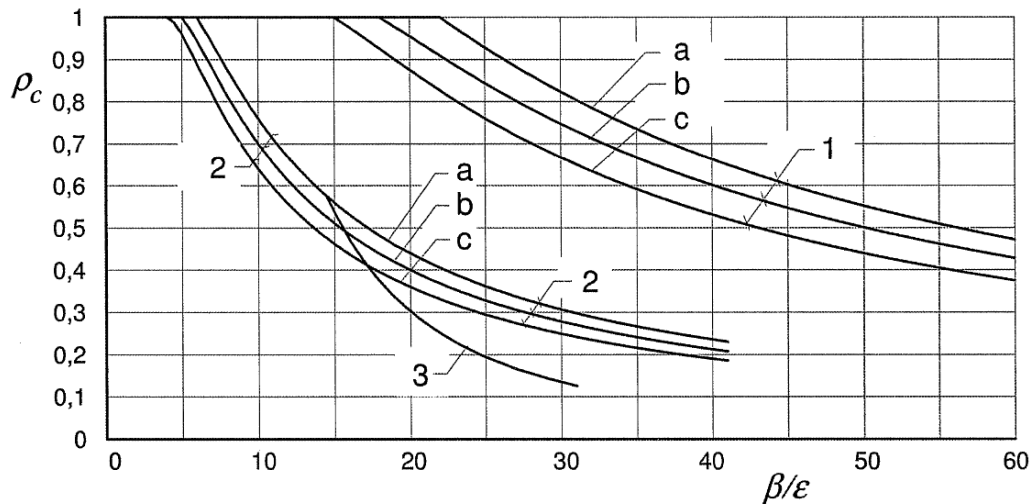
$C_1, C_2$ .....konstanti (odčitamo iz tabele 6.3)

$\beta$ .....dejanska vitkost

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ .....mejne vrednosti za določitev kompaktnostnega razreda

$$\varepsilon \dots \dots \dots \varepsilon = \sqrt{\frac{250}{f_o}}$$

Faktor lokalnega izbočenja lahko odčitamo tudi iz spodnjega grafa



- 1 Internal parts and round tubes, 2 Symmetrical outstands, 3 Un-symmetrical outstands
- a) class A, without welds,
- b) class A, with welds or class B, without welds
- c) class B, with welds

Slika 41: Relacija med  $\rho_c$  in razmerjem  $\beta/\varepsilon$  za zunanje in notranje dele prerezov, ter za okrogle cevi (SIST EN 1999-1-1, 2007 (E))

Ko imamo faktor lokalnega izbočenja znan, določimo efektivno debelino prereza:

$$t_{eff} = \rho_c \cdot t$$

### 6.3.2 Zmanjšanje nosilnosti ob zvarih v območju toplotnega vpliva (HAZ)

Ena od pomembnih posebnosti dimenzioniranja aluminija je, da je potrebno upoštevati zmanjšanje nosilnosti materiala, ki nastane kot posledica varjenja. Pri dimenzioniranju jekla namreč ne upoštevamo zmanjšanje nosilnosti v primarnem materialu, saj je le-ta zanemarljiva. Zmanjšanje nosilnosti je potrebno upoštevati pri vseh zlitinah, ki so se utrjevale (toplotno ali mehansko). Izjema so le zlitine v O stanju oz. zlitine v F stanju, pri katerih se upošteva nosilnost v O stanju.

Za potrebe dimenzioniranja se predvideva, da je po celotnem območju toplotnega vpliva redukcija nosilnosti enaka. Območje toplotnega vpliva je v standardu označen s HAZ. Zmanjšanje bolj prizadene 0,2% nosilnost oz. napetost tečenja, vpliv na natezno trdnost pa je manjši. Vplivno območje se razteza na določeni razdalji okoli zvara, izven tega območja pa nosilnost hitro pride na osnovno vrednost. Tudi majhni ali montažni zvari vplivajo na nosilnost, zato je potrebno biti pozoren, da so takšni zvari locirani v območju majhnih napetosti oz. v bližini nevtralne osi nosilca in stran od področij z velikimi upogibnimi momenti.

Za nekatere toplotno obdelane zlitine je možno omiliti te vplive z naknadnim staranjem (utrjevanjem) potem, ko je varjenje že končano.

Iz razmerja med osnovno trdnostjo materiala in trdnostjo v območju toplotnega vpliva lahko določimo redukcijske faktorje (vrednosti za različne zlitine so podane v tabeli 3.2).

$$\rho_{o,haz} = \frac{f_{o,haz}}{f_o} \quad (6.13)$$

$$\rho_{u,haz} = \frac{f_{u,haz}}{f_u} \quad (6.14)$$

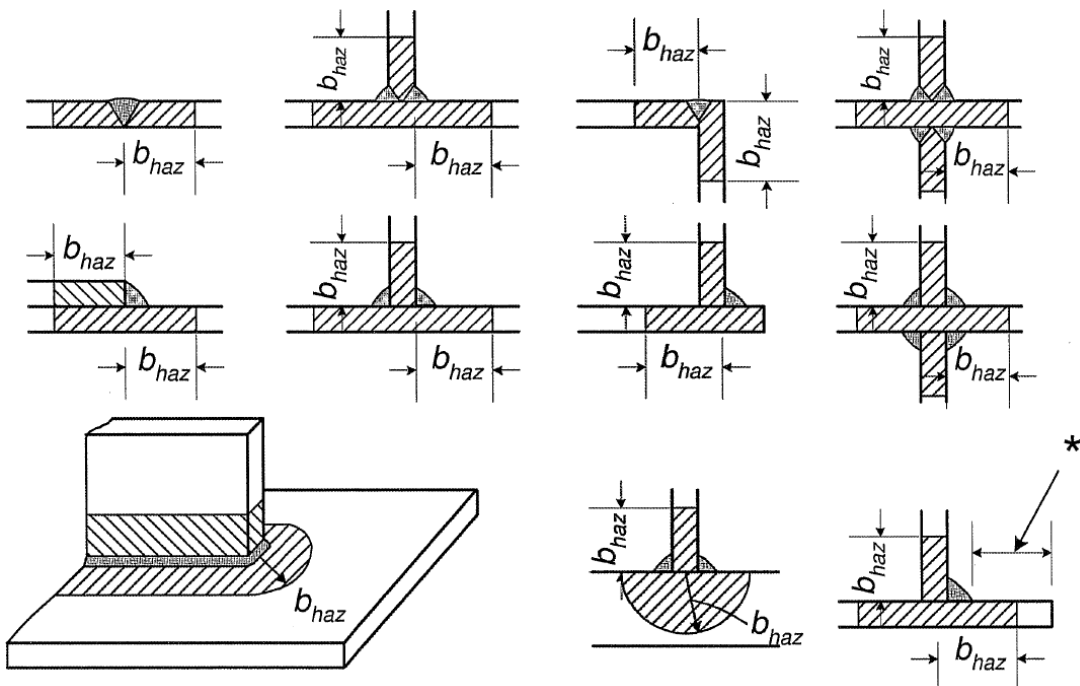
kjer je:

$f_{o,haz}$ .....napetost tečenja v območju HAZ

$f_{u,haz}$ .....natezna trdnost v območju HAZ

$f_o$ .....osnovna napetost tečenja pri 0,2% raztezku

$f_u$ .....natezna trdnost



Slika 42: Razširitev območja toplotnega vpliva (SIST EN 1991-1-1, 2007(E))

\*opomba k sliki: če je označena razdalja manj kot  $3b_{haz}$ , potem privzamemo, da se območje toplotnega vpliva podaljša do skrajnega roba elementa.

Za območje toplotnega vpliva se predvideva, da se razteza na razdalji  $b_{haz}$ , v vseh smereh, merjeno od zvara, na naslednji način (glej zgornjo sliko):

- a) prečno od središča polno penetriranega čelnega zvara;
- b) prečno od točke presečišča varjenih pločevin z kotnimi zvari;
- c) prečno od točke presečišča varjenih pločevin z čelnim zvarom, pri kotnem, T ali križnem spoju;
- d) v katerikoli radialni smeri od konca zvara.

Meje HAZ območje v splošnem upoštevamo kot ravne črte, posebej če varimo tanke pločevine. Vendar, če je zvar navarjen na debelo pločevino, je dovoljeno upoštevati meje s polmerom  $b_{haz}$ , kakor je prikazano na zgornji sliki.

Dolžina  $b_{haz}$  je odvisna od vrste varjenja, vrste zlitine in drugih parametrov. Za MIG varjenje, izvedeno na neogret material, in z ohlajevanje pod  $60^{\circ}\text{C}$  med posameznimi prehodi, so vrednosti  $b_{haz}$  naslednje:

$$0 < t \leq 6 \text{ mm:} \quad b_{haz}=20 \text{ mm}$$

$$6 < t \leq 12 \text{ mm:} \quad b_{haz}=30 \text{ mm}$$

$$12 < t \leq 25 \text{ mm:} \quad b_{haz}=35 \text{ mm}$$

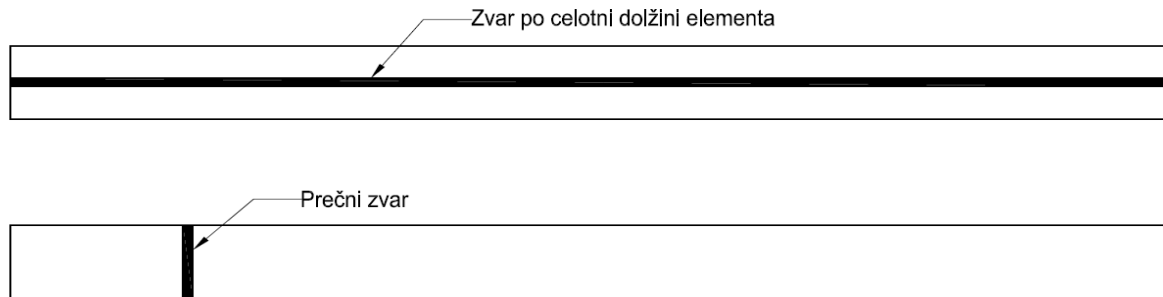
$$t > 25 \text{ mm:} \quad b_{haz}=40 \text{ mm}$$

Za TIG varjenje je območje HAZ večje, ker vnašamo več toplote kot pri MIG varjenju. Vrednost  $b_{haz}$  je:

$$0 < t \leq 6 \text{ mm:} \quad b_{haz}=30 \text{ mm}$$

Vse zgoraj naštetе vrednosti veljajo za čelne ali kotne zware ter za zlitine 6xxx, 7xxx in mehansko utrjene zlitine 5xxx.

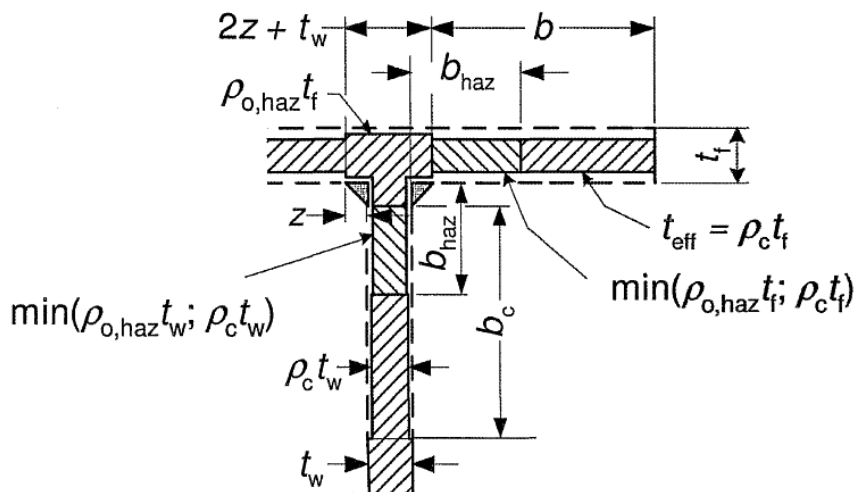
Standard prav tako razlikuje med prečnimi oz. lokalnimi zvari, ter zvari, ki potekajo po celotni dolžini elementa oz. se raztezajo na dolžini večji od manjše dimenzije prereza. Za točno opredelitev glej spodnjo skico.



Slika 43: Opredelitev pojmov prečni zvar ter zvara po celotni dolžini elementa

Vpliv zvarov, ki potekajo po celotni dolžini oz. so daljši od omejitve, ki jo predvideva standard, je potrebno vedno upoštevati. Vpliv upoštevamo tako, da reduciramo površino prečnega prereza oziroma reduciramo dejansko debelino pločevine. Tako je potrebno določiti površino, ki je v območju toplotnega vpliva (HAZ) ter to površino (ali debelino pločevine) zmanjšati za redukcijski faktor  $\rho_{0,haz}$ . Prav tako je potrebno zmanjšati vztrajnostne in odpornostne momente. Le-te določimo na podlagi reduciranih debelin.

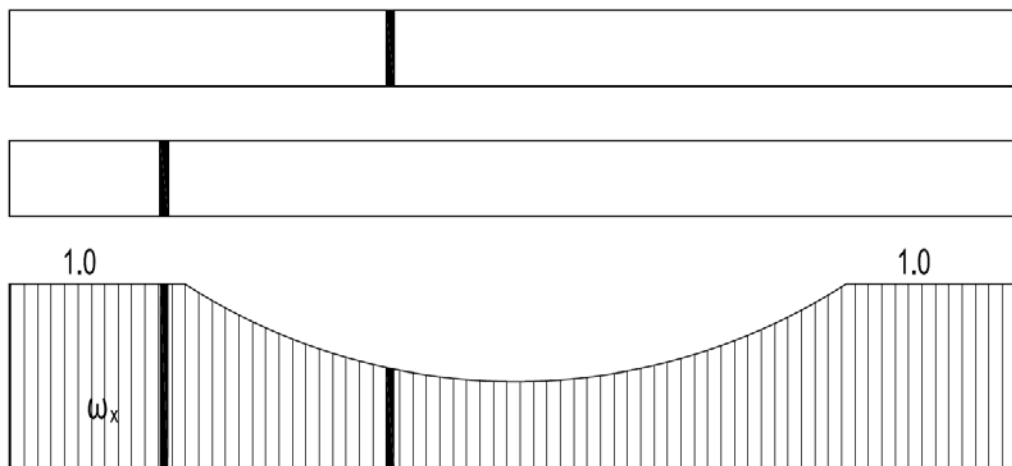
Kadar uporabljamo vitke prereze, iz četrtega razreda kompaktnosti in so le-ti varjeni, upoštevamo zmanjšanje prereza, ki je bolj kritično. V HAZ območju tako primerjamo zmanjšanje zaradi vpliva vitkosti prereza in zmanjšanje zaradi toplotnega vpliva ter izberemo bolj kritičnega. Princip zmanjšanja debeline pločevin je prikazan tudi na spodnji sliki.



Slika 44: Efektivna debelina v četrtem razredu kompaktnosti z zvari po dolžini elementa (SIST EN 1999-1-1, 2007)

Pri lokalnih zvarih zmanjšanje nosilnosti posameznega prereza ne upoštevamo. Vpliv oslabitve zajamemo pri izračunu nestabilnosti elementov. Na spodnji sliki je prikazano, kako vpliva lokacija prečnega zvara na nosilnost elementa. Če je zvar v bližini podpore ali prevojnne točke potem je vpliv na nosilnost mnogo manjši, kot če se tak zvar nahaja v sredini elementa. Zato je pomembno, da se poizkusimo omejiti na varjenje le v območju najmanjšega zmanjšanja nosilnosti.





Slika 45: Skica vpliva lokacije prečne zvara na faktorje za zmanjšanje nosilnosti

#### 6.4 Korozija in protikorozijska zaščita površin

Odpornost proti koroziji aluminijevih zlitin se nanaša zlasti na zaščitni film aluminijevega oksida, ki se tvori na površini kovine takoj ko pride v stik z zrakom. Ta film je večinoma neviden, relativno inerten in se tvori v stiku z zrakom ali kisikom, in v mnogo kompleksnih okoljih, ki vsebujejo kisik. Zaščitni film se tako samodejno tesni v primeru poškodb. V zmernih neonesnaženih okoljih bo aluminijasta površina ohranila svojo prvotno podobo mnogo let, prav tako pa ni potrebna nobena dodatna zaščita za večino zlitin. V zmernih (zmerno onesnaženih) industrijskih pogojih se bo pojavilo potemnitev površine in povečana hrapavost. Ko okolje postane bolj agresivno, kot na primer v določenih močno kislih ali alkalnih okoljih, bo razbarvanje površine in hrapavost le-te še bolj prisotno, pojavila pa se bo tudi vidna bela prašna površina oksida in zaščitni film sam ne bo več zadostna zaščita. V teh primerih je potrebna dodatna popolna zaščita površine. Ti pogoji se lahko zaradi lokalnih kislih oz. alkalnih vplivov pojavijo tudi v špranjah, vendar so elementi podvrženi tem ekstremnim razmeram dokaj redki.

Prav tako bo zaščita nekaterih zlitin potrebna, kadar uporabljamo aluminij v obalnih ali morskih okoljih. Posebno pozornost pa je potrebno posvetiti aluminiju, ki je v celoti potopljen v vodo.

Kadar pride do poškodbe površine aluminija, ima korozijska časovna krivulja za aluminij in aluminijeve zlitine eksponentno obliko, z začetno izgubo odsevnosti po rahlih vremenskih vplivih. Po tem pa je zelo malo nadaljnjih sprememb v zelo dolgem obdobju. Če je element izpostavljen atmosferskim vplivom, je začetno obdobje dolgo od treh mesecev pa do dveh oz. treh let. Temu pa sledi čas malih, če sploh kakšnih, sprememb v obdobju od dvajset, trideset let, pa vse do osemdeset let. Takšno obnašanje se pričakuje za vse elemente,

izpostavljene zunanjim vplivom in za vse elemente, zaščitene pred zunanjimi vplivi oz. uporabljene znotraj objekta, razen v primeru zgoraj omenjenih ekstremnih pogojev. Tropska okolja v glavnem niso nič bolj kritična za aluminij kot okolja z zmernejšimi vplivi (vendar pa so določene 5xxx zlitine vseeno občutljive na dolgotrajno izpostavljenost visokim temperaturam okolja, posebej v morskih področjih).

V splošnem mora biti konstrukcija zgrajena in načrtovana v skladu z znano prakso za izogibanje koroziji. Možnost galvanske korozije in lokalne korozije v špranjah mora biti upoštevana ter preprečena s primernim oblikovanjem. Vsi deli konstrukcije morajo biti dobro odvodnjavani.

Ali je potrebno zagotoviti površinsko protikorozijsko zaščito konstrukcije, če je izpostavljena različnim pogojem okolje, je podano v tabeli D.1 (prikazana spodaj). Metode za zaščito površin so podane v standardih prEN 1090-3. Pri izboru pravega stolpca za izpostavljenost različnim vplivom okolja je potrebno upoštevati lokalne pogoje, če so le-ti zelo drugačni od ostalega. Pojav korozije ni odvisen samo od občutljivosti materiala in globalnih pogojev, ampak je v praksi bolj odvisen od časovnega obdobja, v katerem je prisotna vlaga skupaj z ujeto umazanijo in jedkimi sredstvi. Območja elementov ali konstrukcijskih detajlov, kjer se lahko pojavi zadrževanje umazanije, so bolj kritična kot področja, kjer dež in dež z vetrom lahko očistita površino in se sama površina hitro osuši. To pomeni, da se je potrebno izogibati pred vetrom in vodo zaščitenim območjem ter žepom, v katerih bi se lahko dlje časa zadrževala voda (oz. morajo biti ustrezno odvodnjavani).

Protikorozijska zaščita je odvisna tudi od pričakovane življenjske dobe objekta, ki jo moramo vzeti v račun. Kadar so predvideni posebni pregledi konstrukcije in je zagotovljeno ustrezno redno vzdrževanje objekta, ki bodo razkrili vplive korozije v zgodnjem obdobju, se lahko predvidena zaščita ustrezno zmanjša.

V primeru uporabe votlih prereзов moramo biti pozorni na nastanek korozije znotraj profila. Ker je postopek barvanja znotraj takega prereza težaven, je priporočljivo uporabiti premaze na kemijski osnovi. Kadar so takšni profili ustrezno zaprti oziroma je preprečeno zadrževanje vode znotraj profila, notranja zaščita profila ni potrebna

Preglednica 20: D.1 – Priporočila za protikorozijsko zaščito za različne pogoje izpostavljenosti in različne trajnostne razrede konstrukcije (SIST EN 1999-1-1, 2007)

Trajnostni razred zlitine	Debelina pločevin [mm]	Zaščita v skladu z izpostavljenostjo konstrukcije							
		Atmosferski vplivi						V vodi	
		Podeželje neonesnaženo	Industrija/me sto		Obalno in morsko okolje			Sveža voda	Morska voda
			srednje	močno	Ne industrijsko	Srednje	močno		
A	Vse	0	0	(Pr)	0	0	(Pr)	0	(Pr)
B	<3	0	0	(Pr)	(Pr)	(Pr)	(Pr)	Pr	Pr
	≥ 3	0	0	0	0	0	(Pr)	(Pr)	Pr
C	Vse	0	0 <sup>2)</sup>	(Pr) <sup>2)</sup>	0 <sup>2)</sup>	0 <sup>2)</sup>	(Pr) <sup>2)</sup>	(Pr) <sup>1)</sup>	NR

0 – Zaščita večinoma ni potrebna  
Pr - Zaščita večinoma potrebna razen v posebnih primerih, glej D.3.2.  
(Pr) – Potreba po zaščiti je odvisna od specialnih pogojev za konstrukcijo, glej D.3.2. V primeru, da je ugotovljena potreba po dodatni zaščiti, je to potrebno posebej opredeliti v projektu za konstrukcijo  
NR – potopitev v morsko vodo ni priporočljiva  
<sup>1)</sup> – za zlitino 7020 je zaščita potrebna le v območjih toplotnega vpliva zaradi varjenja (HAZ), če ni bilo dodatne toplotne obdelave po procesu varjenja  
<sup>2)</sup> – Če ni bilo dodatne toplotne obdelave po varjenju za zlitine 7020, potem je potrebno preveriti ali je potrebno zaščititi HAZ območja v skladu z pogoji, glej D.3.2.

Za območje spojev je potrebna posebna kontrola za protikorozijsko zaščito. Standard zopet podaja tabelo, v kateri določimo, ali je posebna zaščita območja potrebna. Tabela posebej opredeljuje zaščito kovine, ki se spaja, ter zaščito veznega sredstva, v odvisnosti od izbranega materiala.

## 7 DIMENZIONIRANJE ELEMENTOV KONSTRUKCIJE

V nadaljevanju je prikazano dimenzioniranje posameznih elementov konstrukcije. Izračun je bil narejen za vse elemente, prikazani pa so le izračuni za najbolj obremenjene elemente. Vsi ostali elementi istega profila dosegajo nižje izkoriščenosti prereзов. Za vsak obravnavan prerez je najprej podana tabela minimalnih in maksimalnih notranjih sil v elementu. Nato dimenzioniram na kritično kombinacijo, ki je v tabeli označena z *ležečim* tekstom in okvirjem. Kontrolirane so bile vse kombinacije, predstavljena pa je le najbolj kritična. **Krepki tekst** v tabeli označuje katera vrednost v kombinaciji je glavna, vse ostale so pripadajoče vrednosti v obravnavanem prerezu in elementu. Ker lokalna imperfektnost ni bila upoštevana že znotraj programa, moramo preveriti tudi stabilnost posameznih elementov. Standard določa, da ob upoštevanju globalne imperfektnosti in dodatnih notranjih sil zaradi vpliva teorije II. reda za uklonsko dolžino privzamemo kar sistemsko dolžino elementa.

### 7.1 Dimenzioniranje okroglih profilov

#### 7.1.1 Dimenzioniranje cevi CHS 300x06

Preglednica 21: Maksimalne in minimalne notranje sile za CHS 300x06

Beam Property 30006 "CHS300x6 (CM)"						
Element	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>xx</sub>	M <sub>yy</sub>	M <sub>zz</sub>
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Maxima						
66	<b>164,60</b>	-1,60	1,28	-0,13	-0,35	0,01
69	2,71	<b>2,75</b>	-3,30	-1,22	-9,03	-5,06
66	-530,40	1,44	<b>6,68</b>	-1,21	8,19	-0,82
68	-463,70	1,08	-2,80	<b>2,79</b>	0,27	-0,90
57	-578,10	0,21	-6,64	-0,65	<b>8,90</b>	-0,16
61	2,72	-2,75	-3,30	1,00	-9,06	<b>4,98</b>
Minima						
65	<b>-656,40</b>	-0,36	2,11	-1,11	-4,37	-1,98
61	2,72	<b>-2,75</b>	-3,30	1,00	-9,06	4,98
65	-530,50	-1,44	<b>-6,68</b>	1,24	8,20	-0,82
63	-463,40	2,19	-4,97	<b>-2,82</b>	7,47	2,79
58	-105,00	-1,39	-2,22	0,35	<b>-10,68</b>	1,11
69	2,71	2,75	-3,30	-1,22	-9,03	<b>-5,06</b>

Za dimenzioniranje profila CHS 300x06 je najbolj kritična kombinacija, ki povzroča največjo osno silo v elementu. Največja osna sila v obravnavanem elementu nastane, kadar je sneg glavna spremenljiva obtežba. Kritična kombinacija je navedena spodaj.

$$1.2G + 1.5(S + S_{ice}) + 0.9W_y - 0.9W_z + 0.9T_{zima}$$

**Podatki:**

dimenzije prereza cevi	$D := 300 \cdot \text{mm}$	$t := 6 \cdot \text{mm}$	$\text{SectionRed} := 1.00$
dolžina elementa	$L := 6625 \text{mm}$		
faktor za uklonsko dolžino	$k := 1.0$		(Tab6.8)
uklonska dolžina	$L_{cr} := k \cdot L = 6625 \cdot \text{mm}$		
Material EN AW-6082 T6	$f_o := 260 \cdot \text{MPa}$	$f_u := 310 \cdot \text{MPa}$	$A_{\text{minElongation}} := 10\%$ (Tab3.2b)
$5 \text{mm} < t \leq 15 \text{mm}$	$f_{o,haz} := 125 \cdot \text{MPa}$	$f_{u,haz} := 185 \cdot \text{MPa}$	
	$\rho_{o,haz} := 0.48$	$\rho_{u,haz} := 0.60$	$BC := A$ $n_p := 25$
	$E := 70000 \cdot \text{MPa}$	$G := 27000 \cdot \text{MPa}$	$\nu := 0.3$ (3.2.5)
	$\alpha_T := 23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$	$\rho := 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
varnostni faktor za material	$\gamma_{M1} := 1.10$	$\gamma_{M2} := 1.25$	
projektna osna sila	$N_{Ed} := -656 \text{kN}$		
projektni momenti v obravnavanem prerezu	$M_{y,Ed} := 0 \text{kNm}$		
	$M_{z,Ed} := 0 \text{kNm}$		

**Lastnosti prereza:**

$d := D - 2t = 288.0 \cdot \text{mm}$	notranji premer
$U := \pi D = 942 \cdot \text{mm}$	obseg
$A_g := \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = 5542 \cdot \text{mm}^2$	površina prereza
$A_{\text{net}} := A_g \cdot \text{SectionRed} = 5542 \cdot \text{mm}^2$	neto prerez
$A_{\text{eff,haz}} := A_g$	reduciran prerez zaradi vpliva toplote
$g_{dl} := A_g \cdot \rho = 14.96 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	teža

$$I_y := \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) = 59.901 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4 \quad \text{vztrajnostni moment}$$

$$W_{el} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D} = 399.340 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3 \quad \text{odpornostni moment (elastični)}$$

$$W_{pl} := \frac{D^3 - d^3}{6} = 518.688 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3 \quad \text{odpornostni moment (plastični)}$$

$$I_T := \pi \cdot (D - t)^3 \cdot (D - d) = 958.017 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_T := \pi \cdot (D - t)^2 \cdot (D - d) = 3.259 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = 104.0 \cdot \text{mm} \quad \text{vstrajnostni radij}$$

#### NS-EN 1999-1-1 6.1.4.3 Razvrščanje prečnih prerezov

$$\beta := 3 \cdot \sqrt{\frac{(D - t)}{t}} = 21.0 \quad \text{tankostenska okrogla cev} \quad (6.10)$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{250 \text{MPa}}{f_o}} = 0.981$$

$$\beta_{A.exWeld.1} := 11 \cdot \varepsilon = 10.8 \quad (\text{Tab 6.2})$$

$$\beta_{A.exWeld.2} := 16 \cdot \varepsilon = 15.7$$

$$\beta_{A.exWeld.3} := 22 \cdot \varepsilon = 21.6$$

$$C_1 := 32 \quad (\text{Tab 6.3})$$

$$C_2 := 220$$

$\text{SectionClass} := \begin{cases} 1 & \text{if } \beta < \beta_{A.exWeld.1} \\ 2 & \text{if } \beta_{A.exWeld.1} < \beta \leq \beta_{A.exWeld.2} \\ 3 & \text{if } \beta_{A.exWeld.2} < \beta \leq \beta_{A.exWeld.3} \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} = 3$	(6.1.4.4)
--	-----------

$$\rho_c := \begin{cases} 1 & \text{if } \beta \leq \beta_{A.exWeld.3} \\ \frac{C_1}{\frac{\beta}{\varepsilon}} - \frac{C_2}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)^2} & \text{otherwise} \end{cases} = 1.000 \quad (6.11)$$

$$\frac{C_1}{\frac{\beta}{\varepsilon}} - \frac{C_2}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)^2} \quad \text{otherwise} \quad (6.12)$$

$$t_{\text{eff}} := \rho_c \cdot t = 6.0 \cdot \text{mm} \quad (6.1.5)$$

$$A_{\text{eff}} := \frac{\pi}{4} \cdot \left[ D^2 - (D - 2t_{\text{eff}})^2 \right] = 5542 \cdot \text{mm}^2$$

$$W_{\text{eff}} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\left[ D^4 - (D - 2t_{\text{eff}})^4 \right]}{D} = 399.340 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{\text{net}} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\left[ D^4 - (D - 2 \cdot \rho_o \cdot \text{haz} \cdot t)^4 \right]}{D} = 197.787 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

### NS-EN 1999-1-1 6.2.4 Tlak

$$N_{u.Rd} := A_{\text{net}} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 1374.4 \cdot \text{kN} \quad \text{v prerezu z nezapolnjenimi luknjami} \quad (6.21)$$

$$N_{c.Rd} := A_{\text{eff}} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 1309.9 \cdot \text{kN} \quad \text{ostali prerezi} \quad (6.22)$$

$$N_{Rd.compression} := -\min(N_{u.Rd}, N_{c.Rd}) = -1309.9 \cdot \text{kN}$$

$$\eta_3 := \max\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd.compression}}, 0\right) = 0.50 \quad (6.20)$$

### NS-EN 1999-1-1 6.3 Odpornost elementov proti nestabilnosti

#### 6.3.1.3 Vitkost pri upogibnem uklonu

$$\lambda := \frac{L_{cr}}{i_y} \cdot \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} \cdot f_o}{A_g \cdot E}} = 1.236 \quad \text{relativna vitkost} \quad (6.52)$$

#### 6.3.1.2 Uklonske krivulje

$$\alpha_{\text{imperfection}} := 0.2 \quad \text{materialni uklonski razred A} \quad (\text{Tab 6.6})$$

$$\lambda_0 := 0.1 \quad \text{materialni uklonski razred A} \quad (\text{Tab 6.6})$$

$$\Phi := 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{\text{imperfection}} \cdot (\lambda - \lambda_0) + \lambda^2 \right] = 1.38 \quad (6.51)$$

$$\chi := \min\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}, 1.0\right) = 0.50 \quad \text{redukcijski faktor za upogibni uklon} \quad (6.50)$$

## 6.3.1.1 Uklonska nosilnost

$$\omega_0 := \min \left( \frac{\rho_{u,haz} \cdot f_u \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}}}{f_o \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}}}, 1 \right) = 0.63 \quad (6.67)$$

$$x_s := 0.2m$$

razdalja med prečnim lokalnim zvarom in podporo oz. prevojno točko

$$\omega_x := \min \left[ \frac{\omega_0}{\chi + (1 - \chi) \cdot \sin \left( \frac{\pi \cdot x_s}{L_{cr}} \right)}, 1 \right] = 1 \quad (6.65)$$

$$\kappa := \omega_x$$

redukcijski faktor za zmanjšanje nosilnosti zaradi vpliva zvarov (velja za lokalne prečne zware - ostalo glej 6.3.1.1) (6.49)

$$N_{b,Rd} := \frac{\kappa \cdot \chi \cdot A_{eff} \cdot f_o}{\gamma_{M1}} = 659.6 \cdot kN \quad (6.49)$$

projektna uklonska odpornost tlačno obremenjenega elementa

$$\eta_5 := \frac{-N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0.99 \quad (6.48)$$

## 7.1.2 Dimenzioniranje cevi CHS 300x06 – čas montaže

Ker je nosilec v času montaže podvržen večjim upogibnim momentom, kateri sem v času uporabe ne pojavljajo, moramo dodatno preveriti elemente.

**Podatki:**

dimenzije prereza cevi	D := 300·mm	t := 6·mm	SectionRed := 1.00
dolžina elementa	L := 6625mm		
faktor za uklonsko dolžino	k := 1		(Tab6.8)
uklonska dolžina	L <sub>cr</sub> := k·L = 6625·mm		
Material EN AW-6082 T6	f <sub>o</sub> := 260·MPa	f <sub>u</sub> := 310·MPa	A <sub>minElongation</sub> := 10% (Tab3.2b)
5mm < t ≤ 15mm	f <sub>o,haz</sub> := 125·MPa	f <sub>u,haz</sub> := 185·MPa	
	ρ <sub>o,haz</sub> := 0.48	ρ <sub>u,haz</sub> := 0.60	BC := A      n <sub>p</sub> := 25
	E := 70000·MPa	G := 27000·MPa	ν := 0.3 (3.2.5)
	α <sub>T</sub> := 23·10 <sup>-6</sup> $\frac{1}{K}$	ρ := 2700 $\frac{kg}{m^3}$	



varnostni faktor za material	$\gamma_{M1} := 1.10$	$\gamma_{M2} := 1.25$
projektna osna sila	$N_{Ed} := -98\text{kN}$	
projektni momenti v obravnavanem prerezu	$M_{y.Ed} := 23\text{kNm}$	
	$M_{z.Ed} := 0\text{kNm}$	

### Lastnosti prereza:

$d := D - 2t = 288.0\cdot\text{mm}$	notranji premer
$U := \pi D = 942\cdot\text{mm}$	obseg
$A_g := \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = 5542\cdot\text{mm}^2$	površina prereza
$A_{net} := A_g \cdot \text{SectionRed} = 5542\cdot\text{mm}^2$	neto prerez
$A_{eff.haz} := A_g$	reduciran prerez zaradi vpliva toplote
$g_{dl} := A_g \cdot \rho = 14.96 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}}$	teža
$I_y := \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) = 59.901 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$	vztrajnostni moment
$W_{el} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D} = 399.340 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$	odpornostni moment (elastični)
$W_{pl} := \frac{D^3 - d^3}{6} = 518.688 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$	odpornostni moment (plastični)
$I_T := \pi \cdot (D - t)^3 \cdot (D - d) = 958.017 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$	
$W_T := \pi \cdot (D - t)^2 \cdot (D - d) = 3.259 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$	
$i := \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = 104.0\cdot\text{mm}$	vstrajnostni radij

### NS-EN 1999-1-1 6.1.4.3 Razvrščanje prečnih prerezov

$$\beta := 3 \cdot \sqrt{\frac{(D - t)}{t}} = 21.0 \quad \text{tankostenska okrogla cev} \quad (6.10)$$

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{250\text{MPa}}{f_o}} = 0.981$$

$$\beta_{A.\text{exWeld}.1} := 11 \cdot \varepsilon = 10.8 \quad (\text{Tab 6.2})$$

$$\beta_{A.\text{exWeld}.2} := 16 \cdot \varepsilon = 15.7$$

$$\beta_{A.\text{exWeld}.3} := 22 \cdot \varepsilon = 21.6$$

$$C_1 := 32 \quad (\text{Tab 6.3})$$

$$C_2 := 220$$

$\text{SectionClass} := \begin{cases} 1 & \text{if } \beta < \beta_{A.\text{exWeld}.1} \\ 2 & \text{if } \beta_{A.\text{exWeld}.1} < \beta \leq \beta_{A.\text{exWeld}.2} \\ 3 & \text{if } \beta_{A.\text{exWeld}.2} < \beta \leq \beta_{A.\text{exWeld}.3} \\ 4 & \text{otherwise} \end{cases} = 3$	(6.1.4.4)
---	-----------

$$\rho_c := \begin{cases} 1 & \text{if } \beta \leq \beta_{A.\text{exWeld}.3} \\ \frac{C_1}{\frac{\beta}{\varepsilon}} - \frac{C_2}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)^2} & \text{otherwise} \end{cases} = 1.000 \quad (6.11)$$

$$\frac{C_1}{\frac{\beta}{\varepsilon}} - \frac{C_2}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)^2} \quad \text{otherwise} \quad (6.12)$$

$$t_{\text{eff}} := \rho_c \cdot t = 6.0 \cdot \text{mm} \quad (6.1.5)$$

$$A_{\text{eff}} := \frac{\pi}{4} \cdot [D^2 - (D - 2t_{\text{eff}})^2] = 5542 \cdot \text{mm}^2$$

$$W_{\text{eff}} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{[D^4 - (D - 2t_{\text{eff}})^4]}{D} = 399.340 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{\text{net}} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{[D^4 - (D - 2 \cdot \rho_o \cdot \text{haz} \cdot t)^4]}{D} = 197.787 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

### NS-EN 1999-1-1 6.2.4 Tlak

$$N_{u.\text{Rd}} := A_{\text{net}} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 1374.4 \cdot \text{kN} \quad \text{v prerezu z nezapolnjenimi luknjami} \quad (6.21)$$

$$N_{c.\text{Rd}} := A_{\text{eff}} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 1309.9 \cdot \text{kN} \quad \text{ostali prerezi} \quad (6.22)$$

$$N_{\text{Rd.compression}} := -\min(N_{u.\text{Rd}}, N_{c.\text{Rd}}) = -1309.9 \cdot \text{kN}$$

$$\eta_1 := \max\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd.compression}}, 0\right) = 0.07 \quad (6.20)$$

### NS-EN 1999-1-1 6.2.5 Upogibni momenti

#### 6.2.5.1 Upogib

$$\alpha := \begin{cases} \frac{W_{pl}}{W_{el}} & \text{if } \beta < \beta_{A.exWeld.1} \\ \frac{W_{pl}}{W_{el}} & \text{if } \beta_{A.exWeld.1} < \beta \leq \beta_{A.exWeld.2} \\ \min\left[1.0 + \left(\frac{\beta_{A.exWeld.3} - \beta}{\beta_{A.exWeld.3} - \beta_{A.exWeld.2}}\right)\left(\frac{W_{pl}}{W_{el}} - 1.0\right), 1.25\right] & \text{if } \beta_{A.exWeld.2} < \beta \leq \beta_{A.exWeld.3} \\ \frac{W_{eff}}{W_{el}} & \text{otherwise} \end{cases} = 1.03$$

$$M_{u,Rd} := \frac{W_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 49.1 \cdot \text{kNm} \quad (6.24)$$

$$M_{c,Rd} := \frac{\alpha \cdot W_{el} \cdot f_o}{\gamma_{M1}} = 97.1 \cdot \text{kNm} \quad (6.25)$$

$$M_{Rd} := \min(M_{u,Rd}, M_{c,Rd}) = 49.1 \cdot \text{kNm}$$

$$\eta_2 := \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = 0.47$$

### NS-EN 1999-1-1 6.2.9 Upogib z osno silo

#### 6.2.9.2 Votli prerezi in polni prerezi

$$\alpha_y := \alpha = 1.03$$

$$\alpha_z := \alpha = 1.03$$

$$\psi := \begin{cases} 1 & \text{if } 1 \leq \alpha_y \cdot \alpha_z \\ \alpha_y \cdot \alpha_z & \text{if } \alpha_y \cdot \alpha_z \leq 1.3 \\ 1.3 & \text{otherwise} \end{cases} = 1.059$$

$$\omega_0 := \min\left(\frac{\rho_{u.haz} \cdot f_u \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}}}{f_o \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}}}, 1\right) = 0.63$$

$$N_{c,Rd} = 1309.9 \cdot \text{kN}$$

$$\eta_3 := \left( \frac{|N_{Ed}|}{\omega_0 \cdot N_{c,Rd}} \right)^\psi + \left[ \left( \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{c,Rd}} \right)^{1.7} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{c,Rd}} \right)^{1.7} \right]^{0.6} = 0.47 \quad (6.43)$$

### NS-EN 1999-1-1 6.3 Odpornost elementov proti nestabilnosti

#### 6.3.1.3 Vitkost pri upogibnem uklonu

$$\lambda := \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A_g} \cdot \frac{f_o}{E}} = 1.236 \quad \text{relativna vitkost} \quad (6.52)$$

#### 6.3.1.2 Uklonske krivulje

$$\alpha_{\text{imperfection}} := 0.2 \quad \text{materialni uklonski razred A} \quad (\text{Tab 6.6})$$

$$\lambda_0 := 0.1 \quad \text{materialni uklonski razred A} \quad (\text{Tab 6.6})$$

$$\Phi := 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{\text{imperfection}} \cdot (\lambda - \lambda_0) + \lambda^2 \right] = 1.38 \quad (6.51)$$

$$\chi := \min \left( \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}, 1.0 \right) = 0.50 \quad \text{redukcijski faktor za upogibni uklon} \quad (6.50)$$

#### 6.3.1.1 Uklonska nosilnost

$$\omega_{\text{u,v}} := \min \left( \frac{\rho_{u,haz} \cdot f_u \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}}}{f_o \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}}}, 1 \right) = 0.63 \quad (6.67)$$

$$x_s := 0.2m \quad \text{razdalja med prečnim lokalnim zvarom in podporo oz. prevojno točko}$$

$$\omega_x := \min \left[ \frac{\omega_0}{\chi + (1 - \chi) \cdot \sin \left( \frac{\pi \cdot x_s}{L_{cr}} \right)}, 1 \right] = 1 \quad (6.65)$$

$$\kappa := \omega_x \quad \text{redukcijski faktor za zmanjšanje nosilnosti zaradi vpliva zvarov (velja za lokalne prečne zware - ostalo glej 6.3.1.1)} \quad (6.49)$$

$$N_{b,Rd} := \frac{\kappa \cdot \chi \cdot A_{eff} \cdot f_o}{\gamma_{M1}} = 659.6 \cdot kN \quad \text{projektne uklonske odpornosti tlačno obremenjenega elementa} \quad (6.49)$$

$$\eta_4 := \frac{-N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0.15 \quad (6.48)$$

### 6.3.3 Tlačno in upogibno obremenjeni elementi s konstantnim prečnim prerezom

$$\chi_{\min} := \chi = 1$$

$$N_{Rd} := A_{\text{eff}} \cdot \frac{f_0}{\gamma_{M1}} = 1309,9 \cdot \text{kN} \quad \text{za elemente brez zvarov po dolžini elementa} \quad (6.3.3.1)$$

$$\psi_c := \max(0,8, 1,3 \cdot \chi) = 0,8$$

$$M_{y,Rd} := M_{c,Rd}$$

$$\omega_{\text{sw}} := \min \left[ \frac{1}{\chi + (1 - \chi) \cdot \sin \left( \frac{x_s \cdot \pi}{L_{\text{cr}}} \right)}, 1 \right] = 1,0 \quad (6.69)$$

$$\eta_5 := \left( \frac{|N_{Ed}|}{\chi_{\min} \cdot \omega_x \cdot N_{Rd}} \right)^{\psi_c} + \frac{1}{\omega_0} \cdot \left[ \left( \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \right)^{1,7} \right]^{0,6} = 0,58 \quad (6.62)$$

$$\eta := \max(\eta_1, \eta_3, \eta_4, \eta_5) = 0,58$$

### 7.1.3 Dimenzioniranje cevi CHS 240x04 (vertikale)

Preglednica 22: Maksimalne in minimalne notranje sile za CHS 240x04 - vertikale

#### Beam Property 24004 "CHS240x4" VERTIKALE

Element	Fx	Fy	Fz	Mxx	Myy	Mzz
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
<b>Maxima</b>						
45	<b>6,27</b>	2,54	-1,38	0,24	4,71	5,78
45	5,08	<b>2,57</b>	0,22	1,35	-0,39	4,31
44	-57,01	-0,59	<b>1,76</b>	-2,00	-4,97	-0,10
5	-211,10	0,28	-2,18	<b>3,62</b>	5,34	-1,38
45	-118,10	-0,11	-2,34	-2,72	<b>6,12</b>	1,71
44	4,62	-2,54	0,15	-0,15	1,00	<b>9,77</b>
<b>Minima</b>						
4	<b>-302,10</b>	-1,35	0,13	0,00	-0,93	-3,23
44	6,24	<b>-2,54</b>	-1,32	-0,15	4,58	-5,78
24	-18,77	0,00	<b>-2,83</b>	-0,01	5,27	0,00
45	-211,00	-0,27	-2,20	<b>-3,61</b>	5,43	1,39
44	-57,01	-0,59	1,76	-2,00	<b>-4,97</b>	-0,10
45	4,65	2,54	0,09	0,24	0,77	<b>-9,76</b>

Tudi za dimenzioniranje profila CHS 240x04 je najbolj kritična kombinacija, ki povzroča največjo osno silo v elementu. Največja osna sila v obravnavanem elementu nastane, kadar je veter glavna spremenljiva obtežba. Kritična kombinacija je navedena spodaj.

$$1.2G + 1.05(S+S_{ice}) + 1.5W_y - 1.5W_y + 0.9T_{zima}$$

### Podatki:

dimenzije prereza cevi	$D := 240 \cdot \text{mm}$	$t := 4 \cdot \text{mm}$	SectionRed := 1.00	
dolžina elementa	$L := 6038 \text{mm}$			
faktor za uklonsko dolžino	$k := 1.0$	(Tab6.8)		
uklonska dolžina	$L_{cr} := k \cdot L = 6038 \cdot \text{mm}$			
Material EN AW-6082 T6	$f_o := 250 \cdot \text{MPa}$	$f_u := 290 \cdot \text{MPa}$	$A_{minElongation} := 8\%$ (Tab3.2b)	
$t \leq 5 \text{mm}$	$f_{o,haz} := 125 \cdot \text{MPa}$	$f_{u,haz} := 185 \cdot \text{MPa}$		
	$\rho_{o,haz} := 0.50$	$\rho_{u,haz} := 0.64$	BC := A	$n_p := 32$
	$E := 70000 \cdot \text{MPa}$	$G := 27000 \cdot \text{MPa}$	$\nu := 0.3$	(3.2.5)
	$\alpha_T := 23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$	$\rho := 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$		
varnostni faktor za material	$\gamma_{M1} := 1.10$	$\gamma_{M2} := 1.25$		
projektna osna sila	$N_{Ed} := -303 \text{kN}$			
projektni momenti v obravnavanem prerezu	$M_{y,Ed} := 0 \text{kNm}$			
	$M_{z,Ed} := 0 \text{kNm}$			

### Lastnosti prereza:

$d := D - 2t = 232.0 \cdot \text{mm}$	notranji premer
$U := \pi D = 754 \cdot \text{mm}$	obseg
$A_g := \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = 2966 \cdot \text{mm}^2$	površina prereza
$A_{net} := A_g \cdot \text{SectionRed} = 2966 \cdot \text{mm}^2$	neto prerez

$$A_{\text{eff.haz}} := A_g$$

reduciran prerez zaradi vpliva toplote

$$g_{dl} := A_g \cdot \rho = 8.01 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

teža

$$I_y := \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) = 20.653 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

vztrajnostni moment

$$W_{el} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D} = 172.107 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

odpornostni moment (elastični)

$$W_{pl} := \frac{D^3 - d^3}{6} = 222.805 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

odpornostni moment (plastični)

$$I_T := \pi \cdot (D - t)^3 \cdot (D - d) = 330.351 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_T := \pi \cdot (D - t)^2 \cdot (D - d) = 1.400 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = 83.5 \cdot \text{mm}$$

vstrajnostni radij

#### NS-EN 1999-1-1 6.1.4.3 Razvrščanje prečnih prerezov

$$\beta := 3 \cdot \sqrt{\frac{D - t}{t}} = 23.0$$

tankostenska okrogla cev

(6.10)

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{250 \text{ MPa}}{f_o}} = 1$$

$$\beta_{A.exWeld.1} := 11 \cdot \varepsilon = 11.0$$

(Tab 6.2)

$$\beta_{A.exWeld.2} := 16 \cdot \varepsilon = 16.0$$

$$\beta_{A.exWeld.3} := 22 \cdot \varepsilon = 22.0$$

$$C_1 := 32$$

(Tab 6.3)

$$C_2 := 220$$

SectionClass :=	1 if $\beta < \beta_{A.exWeld.1}$	= 4
	2 if $\beta_{A.exWeld.1} < \beta \leq \beta_{A.exWeld.2}$	
	3 if $\beta_{A.exWeld.2} < \beta \leq \beta_{A.exWeld.3}$	
	4 otherwise	

(6.1.4.4)

$$\rho_c := \begin{cases} 1 & \text{if } \beta \leq \beta_{A.exWeld.3} \\ \frac{C_1}{\beta} - \frac{C_2}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)^2} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.974 \quad (6.11)$$

$$\frac{C_1}{\beta} - \frac{C_2}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)^2} \quad \text{otherwise} \quad (6.12)$$

$$t_{eff} := \rho_c \cdot t = 3.9 \cdot \text{mm} \quad (6.1.5)$$

$$A_{eff} := \frac{\pi}{4} \cdot [D^2 - (D - 2t_{eff})^2] = 2891 \cdot \text{mm}^2$$

$$W_{eff} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{[D^4 - (D - 2t_{eff})^4]}{D} = 167.912 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{net} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{[D^4 - (D - 2 \cdot \rho_{o.haz} \cdot t)^4]}{D} = 88.241 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

### NS-EN 1999-1-1 6.2.4 Tlak

$$N_{u.Rd} := A_{net} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 688.0 \cdot \text{kN} \quad \text{v prerezu z nezapolnjenimi luknjami} \quad (6.21)$$

$$N_{c.Rd} := A_{eff} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 657.0 \cdot \text{kN} \quad \text{ostali prerezi} \quad (6.22)$$

$$N_{Rd.compression} := -\min(N_{u.Rd}, N_{c.Rd}) = -657 \cdot \text{kN}$$

$$\eta_3 := \max\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd.compression}}, 0\right) = 0.46 \quad (6.20)$$

### NS-EN 1999-1-1 6.2.5 Upogibni momenti

#### 6.2.5.1 Upogib

$$\alpha := \begin{cases} \frac{W_{pl}}{W_{el}} & \text{if } \beta < \beta_{A.exWeld.1} \\ \frac{W_{pl}}{W_{el}} & \text{if } \beta_{A.exWeld.1} < \beta \leq \beta_{A.exWeld.2} \\ \min\left[1.0 + \left(\frac{\beta_{A.exWeld.3} - \beta}{\beta_{A.exWeld.3} - \beta_{A.exWeld.2}}\right) \left(\frac{W_{pl}}{W_{el}} - 1.0\right), 1.25\right] & \text{if } \beta_{A.exWeld.2} < \beta \leq \beta_{A.exWeld.3} \\ \frac{W_{eff}}{W_{el}} & \text{otherwise} \end{cases} = 0.98$$



$$M_{u,Rd} := \frac{W_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 20.5 \cdot \text{kNm} \quad (6.24)$$

$$M_{c,Rd} := \frac{\alpha \cdot W_{el} \cdot f_o}{\gamma_{M1}} = 38.2 \cdot \text{kNm} \quad (6.25)$$

$$M_{Rd} := \min(M_{u,Rd}, M_{c,Rd}) = 20.5 \cdot \text{kNm}$$

### **NS-EN 1999-1-1 6.2.9 Upogib z osno silo**

#### 6.2.9.2 Votli prerezi in polni prerezi

$$\alpha_y := \alpha = 0.98$$

$$\alpha_z := \alpha = 0.98$$

$$\psi := \begin{cases} 1 & \text{if } 1 \leq \alpha_y \cdot \alpha_z \\ \alpha_y \cdot \alpha_z & \text{if } \alpha_y \cdot \alpha_z \leq 1.3 \\ 1.3 & \text{otherwise} \end{cases} = 0.952$$

$$\omega_0 := \frac{\rho_{u,haz} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}}{\frac{f_o}{\gamma_{M1}}} = 0.653$$

$$N_{c,Rd} = 657.0 \cdot \text{kN}$$

$$\eta_4 := \left( \frac{|N_{Ed}|}{\omega_0 \cdot N_{c,Rd}} \right)^\psi + \left[ \left( \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{c,Rd}} \right)^{1.7} + \left( \frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 \cdot M_{c,Rd}} \right)^{1.7} \right]^{0.6} = 0.72 \quad (6.43)$$

### **NS-EN 1999-1-1 6.3 Odpornost elementov proti nestabilnosti**

#### 6.3.1.3 Vitkost pri upogibnem uklonu

$$\lambda := \frac{L_{cr}}{i_y} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A_g} \cdot \frac{f_o}{E}} = 1.305 \quad \text{relativna vitkost} \quad (6.52)$$

#### 6.3.1.2 Uklonske krivulje

$$\alpha_{imperfection} := 0.2 \quad \text{materialni uklonski razred A} \quad (\text{Tab 6.6})$$

$$\lambda_0 := 0.1 \quad \text{materialni uklonski razred A} \quad (\text{Tab 6.6})$$

$$\Phi := 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{imperfection} \cdot (\lambda - \lambda_0) + \lambda^2 \right] = 1.47 \quad (6.51)$$

$$\chi := \min\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}, 1.0\right) = 0.46 \quad \text{redukcijski faktor za upogibni uklon} \quad (6.50)$$

### 6.3.1.1 Uklonska nosilnost

$$\omega_0 := \min\left(\frac{\rho_{u,haz} \cdot f_u \cdot \frac{1}{\gamma_{M2}}}{f_o \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}}}, 1\right) = 0.653 \quad (6.67)$$

$$x_s := 0.6m$$

razdalja med prečnim lokalnim zvarom in podporo oz. prevojno točko

$$\omega_x := \min\left[\frac{\omega_0}{\chi + (1 - \chi) \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot x_s}{L_{cr}}\right)}, 1\right] = 1 \quad (6.65)$$

$$\kappa := \omega_x$$

redukcijski faktor za zmanjšanje nosilnosti zaradi vpliva zvarov (velja za lokalne prečne zveze - ostalo glej 6.3.1.1) (6.49)

$$N_{b,Rd} := \frac{\kappa \cdot \chi \cdot A_{eff} \cdot f_o}{\gamma_{M1}} = 305.3 \cdot kN \quad \text{projektna uklonska odpornost tlačno obremenjenega elementa} \quad (6.49)$$

$$\eta_5 := \frac{-N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0.99 \quad (6.48)$$

## 7.1.4 Dimenzioniranje cevi CHS 240x04 (zgornje razpore)

Preglednica 23: Maksimalne in minimalne notranje sile za CHS 240x04 – zgornje razpore

### Beam Property 24004 "CHS240x4" UPPER BRACING

Elem	Fx	Fy	Fz	Mxx	Myy	Mzz
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Maxima						
209	<b>12,86</b>	0,35	0,40	0,00	0,00	0,00
203	2,49	<b>0,75</b>	-1,89	0,00	0,00	0,00
207	4,93	0,75	<b>2,94</b>	0,00	0,00	0,00
201	5,46	0,00	-2,94	<b>0,00</b>	0,00	0,00
207	-16,66	0,00	0,00	0,00	<b>2,22</b>	0,00
207	0,57	0,00	0,00	0,00	-0,63	<b>1,43</b>
Minima						
208	<b>-24,56</b>	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00
207	0,57	<b>-0,75</b>	-0,33	0,00	0,00	0,00
202	4,25	-0,75	<b>-2,94</b>	0,00	0,00	0,00
201	5,46	0,00	-2,94	<b>0,00</b>	0,00	0,00
202	4,25	0,00	0,00	0,00	<b>-5,60</b>	1,43
203	2,49	0,00	0,00	0,00	-3,60	<b>-1,43</b>

Na zgornje razpore delujejo zelo majhne notranje sile, zato jih ni potrebno posebej dimenzionirati, saj je prerez enak kot za vertikalne elemente, ki so podvrženi mnogo večjim notranjim silam. Zgornje razpore delujejo le kot povezava zgornjih nosilcev CHS 300x06.

## 7.2 Dimenzioniranje pohodne ploskve

Preglednica 24: Maksimalne in minimalne notranje sile za pohodno ploskev

Beam Property 1 "WalkWay"						
Element	Fx	Fy	Fz	Mxx	Myy	Mzz
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
Maxima						
50	<b>1118,00</b>	-0,85	-44,64	1,78	0,00	-23,59
53	-18,25	<b>15,46</b>	-5,52	-14,50	0,00	-7,39
52	364,90	-5,28	<b>44,64</b>	8,76	0,00	-30,40
53	5,40	-7,12	-37,99	<b>24,82</b>	0,00	-57,81
46	-86,73	13,35	0,00	-15,39	<b>10,50</b>	-37,57
49	-88,33	-0,40	-5,52	1,75	0,00	<b>147,40</b>
Minima						
50	<b>-224,10</b>	-0,04	6,34	-0,13	0,00	6,89
46	-18,41	<b>-15,46</b>	5,52	14,50	0,00	-7,28
51	599,70	-2,67	<b>-44,64</b>	4,12	0,00	-74,54
46	4,82	9,84	-37,99	<b>-24,75</b>	0,00	-1,19
47	515,90	0,62	0,00	-2,31	<b>-73,94</b>	-2,79
50	969,60	-2,87	-37,99	2,67	0,00	<b>-151,20</b>

Za dimenzioniranje pohodne poti nobena izmed kombinacij ne povzroči velike izkoriščenosti prereza. Zato sem dimenzioniral na minimalno osno silo skupaj z absolutnim maksimalnim momentom v z smeri. Kritični kombinaciji sta navedeni spodaj.

$$\text{Max moment Mzz: } 1G + 1.05(S+S_{ice}) + 1.5W_y - 1.5W_z + 0.9T_{zima}$$

$$\text{Min osna sila N: } 1G + 1.5W_x + 1.5W_z + 0.9T_{poletje}$$

### Podatki:

dimenzije prereza

$$b := 1500\text{mm}$$

$$h := 160\text{mm}$$

$$\text{SectionRed} := 1.00$$

$$y_{top} := 71.3\cdot\text{mm}$$

$$t_{top} := 5.6\text{mm}$$

$$t_{bot} := 4.5\text{mm}$$

$$t_{web} := 3.3\text{mm}$$

$$U := 7.3258\text{m} = 7326\cdot\text{mm}$$

obseg

	$A := 0.029379\text{m}^2 = 29379\cdot\text{mm}^2$			ploščina
	$I_y := 0.000109701\text{m}^4 = 109.701 \times 10^6\cdot\text{mm}^4$			vstrajnostni moment y (upoštevane HAZ)
	$I_z := 0.00757878\text{m}^4 = 7.579 \times 10^9\cdot\text{mm}^4$			vstrajnostni moment z (upoštevane HAZ)
dolžina elementa	$L := \frac{54.0\text{m}}{8} = 6750\cdot\text{mm}$			
uklonski dolžinski faktor	$k := 1$			(Tab6.8)
uklonska dolžina	$L_{cr} := k \cdot L = 6750\cdot\text{mm}$			
uklonski faktor	$\alpha_{cr} := 11.17$			minimalni faktor za povečanje projektne osne sile Ned v elementih, da dosežemo kritično elastično uklonsko silo Ncr
Material EN AW-6082 T6	$f_o := 260\cdot\text{MPa}$	$f_u := 310\cdot\text{MPa}$	$A_{minElongation} := 10\%$	(Tab3.2b)
	$f_{o,haz} := 125\cdot\text{MPa}$	$f_{u,haz} := 185\cdot\text{MPa}$		
	$\rho_{o,haz} := 0.48$	$\rho_{u,haz} := 0.60$	$BC := A$	$n_p := 25$
	$E := 70000\cdot\text{MPa}$	$G := 27000\cdot\text{MPa}$	$\nu := 0.3$	(3.2.5)
	$\alpha := 23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$	$\rho := 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$		
varnostni faktorji za material	$\gamma_{M1} := 1.10$	$\gamma_{M2} := 1.25$		
projektna osna sila	$N_{Ed} := -224\text{kN}$			
projektne momenti	$M_{y,Ed} := 0\text{kNm}$			
	$M_{z,Ed} := 151\text{kNm}$			

**Lastnosti prereza:**

$$y_{bot} := h - y_{top} = 88.7\cdot\text{mm}$$

$$A_{haz} := 25\text{mm} \cdot t_{top} \cdot 7 = 980.000 \times 10^0 \cdot \text{mm}^2$$

površina HAZ v prerezu

$$A_g := A + A_{haz} \cdot (-1 + \rho_{o,haz}) = 26.577 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

reducirana površina prereza zaradi  
toplotnega vpliva zvarov po dolžini elementa

$$A_{net} := A_g \cdot \text{SectionRed} = 26577 \cdot \text{mm}^2$$

neto prerez

$$g_{dl} := A \cdot \rho = 73.1 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

teža na tekoči meter

$$W_{y,el.top} := \frac{I_y}{y_{top}} = 1.539 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y,el.bot} := \frac{I_y}{y_{bot}} = 1.237 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{z,el} := \frac{I_z}{750\text{mm}} = 10.105 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{y,el} := \min(W_{y,el.top}, W_{y,el.bot})$$

$$i_y := \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 63.6 \cdot \text{mm}$$

vstrajnostni radij v y

$$i_z := \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 529.0 \cdot \text{mm}$$

vstrajnostni radij v z

### NS-EN 1999-1-1 6.2.3 Nateg

$$N_{o,Rd} := A_g \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 6281.9 \cdot \text{kN}$$

projektna elastična nosilnost bruto preseza

(6.18)

$$N_{u,Rd.a} := 0.9 A_{net} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 5932.1 \cdot \text{kN}$$

projektna mejna nosilnost neto preseza v območju lukenj za vezna sredstva

(6.19a)

$$N_{u,Rd.b} := A_{eff} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 6591.2 \cdot \text{kN}$$

lokalno porušenje pri prerezu v območju HAZ zaradi lokalnih zvarov

(6.19b)

$$N_{Rd.tension} := \min(N_{o,Rd}, N_{u,Rd.a}, N_{u,Rd.b}) = 5932.1 \cdot \text{kN}$$

$$\eta_1 := \max\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd.tension}}, 0\right) = 0.00$$

(6.17)

### NS-EN 1999-1-1 6.2.4 Tlak

$$N_{u,Rd} := A_{net} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 6591.2 \cdot \text{kN}$$

v prerezu z nezapolnjenimi luknjami

(6.21)

$$N_{c,Rd} := A_g \cdot \frac{f_o}{\gamma_{M1}} = 6281.9 \cdot \text{kN}$$

ostali prerezi

(6.22)

$$N_{Rd.compression} := -\min(N_{u,Rd}, N_{c,Rd}) = -6281.9 \cdot \text{kN}$$

$$\eta_2 := \max\left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd.compression}}, 0\right) = 0.04 \quad (6.20)$$

### NS-EN 1999-1-1 6.1.4.3 Razvrščanje prečnih prerezov

Vsi deli pohodnega nosilca spadajo v tretji kompaktnostni razred, zato se debeline pločevi ne reducirajo. To se zagotovi z ojačitvenimi rebri, ki zaradi patentne zaščite niso prikazani (garantira proizvajalec)

### NS-EN 1999-1-1 6.2.5 Upogibni momenti

#### 6.2.5.1 Upogib

$$\alpha_{3,u} := 1 \quad (6.26)$$

$$M_{u,Rd} := \frac{W_{z.net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 2506.0 \cdot \text{kNm} \quad (6.24)$$

$$M_{c,Rd} := \frac{\alpha_{3,u} \cdot W_{z.el} \cdot f_o}{\gamma_{M1}} = 2388.5 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{Rd} := \min(M_{u,Rd}, M_{c,Rd}) = 2388.5 \cdot \text{kNm}$$

$$\eta_3 := \frac{M_{z.Ed}}{M_{Rd}} = 0.06$$

### NS-EN 1999-1-1 6.3 Odpornost elementov proti nestabilnosti

#### 6.3.1.3 Vitkost pri upogibnem uklonu (6.25)

$$A_{eff} := A = 27087 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{for class 1,2 or 3 cross-sections, } A_{eff} = A$$

$$\lambda_y := \frac{L_{cr}}{i_y} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A} \cdot \frac{f_o}{E}} = 2.058 \quad \text{relativna vitkost v y} \quad (6.52)$$

$$\lambda_z := \frac{L_{cr}}{i_z} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A} \cdot \frac{f_o}{E}} = 0.248 \quad \text{relativna vitkost v z} \quad (6.52)$$

#### 6.3.1.2 Uklonske krivulje

$$\alpha_w := 0.2 \quad \text{materialni uklonski razred A} \quad (\text{Tab 6.6})$$

$$\lambda_0 := 0.1 \quad \text{materialni uklonski razred A} \quad (\text{Tab 6.6})$$

$$\Phi := 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_w (\lambda_z - \lambda_0) + \lambda_z^2 \right] = 0.55 \quad (6.51)$$

$$\chi := \min\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda_z^2}}, 1.0\right) = 0.97 \quad \text{redukcijski faktor za upogibni uklon} \quad (6.50)$$

### 6.3.1.1 Uklonska nosilnost

$$A_1 := A - A_{\text{haz}} \cdot (1 - \rho_{\text{o,haz}}) = 26577 \cdot \text{mm}^2$$

$$\kappa := \left[1 - \left(1 - \frac{A_1}{A_g}\right) \cdot 10^{-\lambda_z} - \left(0.05 + 0.1 \cdot \frac{A_1}{A_g}\right)\right] \cdot \lambda_z^{1.3 \cdot (1 - \lambda_z)} = 0.22 \quad \text{redukcijski faktor za zmanjšanje nosilnosti zaradi vpliva zvarov po dolžini elementa} \quad (\text{Tab 6.5})$$

$$N_{\text{b,Rd}} := \frac{\kappa \cdot \chi \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_o}{\gamma_{\text{M1}}} = 1346.6 \cdot \text{kN} \quad \text{design buckling resistance of the compression member} \quad (6.49)$$

$$\eta_4 := \frac{-N_{\text{Ed}}}{N_{\text{b,Rd}}} = 0.17 \quad (6.48)$$

### 6.3.3.1 Tlačno in upogibno obremenjeni elementi s konstantnim prečnim prerezom

$$\chi_{\text{min}} := \chi$$

$$N_{\text{Rd}} := \kappa \cdot A_{\text{eff}} \cdot \frac{f_o}{\gamma_{\text{M1}}} = 1388.9 \cdot \text{kN} \quad \text{za elemente z zvari po dolžini prereza} \quad (6.3.3.1)$$

$$\psi_c := \max(0.8, 1.3 \cdot \chi) = 1.26$$

$$\omega_x := 1 \quad \omega_0 := \omega_x \quad (6.60)$$

$$W_{\text{y,el}} := \min(W_{\text{y,el,top}}, W_{\text{y,el,bot}}) = 1236764 \cdot \text{mm}^3$$

$$M_{\text{y,Rd}} := \frac{W_{\text{y,el}} \cdot f_o}{\gamma_{\text{M1}}} = 292.3 \cdot \text{kNm}$$

$$M_{\text{z,Rd}} := \frac{W_{\text{z,el}} \cdot f_o}{\gamma_{\text{M1}}} = 2388.5 \cdot \text{kNm}$$

$$\eta_5 := \left(\frac{-N_{\text{Ed}}}{\chi_{\text{min}} \cdot \omega_x \cdot N_{\text{Rd}}}\right)^{\psi_c} + \frac{1}{\omega_0} \cdot \left[\left(\frac{M_{\text{y,Ed}}}{M_{\text{y,Rd}}}\right)^{1.7} + \left(\frac{M_{\text{z,Ed}}}{M_{\text{z,Rd}}}\right)^{1.7}\right]^{0.6} = 0.16 \quad (6.62)$$

$$\eta := \max(\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4) = 0.17$$

### 7.3 Dimenzioniranje pramenastih kablov

Dimenzioniranje pramenastih kablov poteka v skladu s standardom SIST EN 1993-1-11, ki obravnava konstrukcijske elemente obremenjene samo na nateg.

Za izbrane pramenaste kable proizvajalec že podaja karakteristične vrednosti največje natezne sile  $F_{uk}$ . Projektno vrednost največje natezne sile, ki jo prenese kabel, določimo po spodnjem postopku.

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

$$F_{Rd} = \min\left(\frac{F_{uk}}{1,5 \cdot \gamma_R}; \frac{F_k}{\gamma_R}\right)$$

kjer je:

$\gamma_R$ .....varnostni faktor, ki upošteva ukrepe za zmanjšanje upogibnih obremenitev na mestu vpetja jeklenice (priporočena vrednost v Norveškem nacionalnem dodatku je 1,2)

Uporabljeni pramenasti kabli spadajo v kategorijo B, za katero velja da je  $F_k = F_{0,2k}$ . Ker obenem velja  $F_k \leq \frac{F_{uk}}{1,5}$  preverjanje na drugi pogoj ni potrebno. Tako le izračunamo projektno vrednost natezne sile ter jo primerjamo z maksimalno silo v elementih istega tipa.

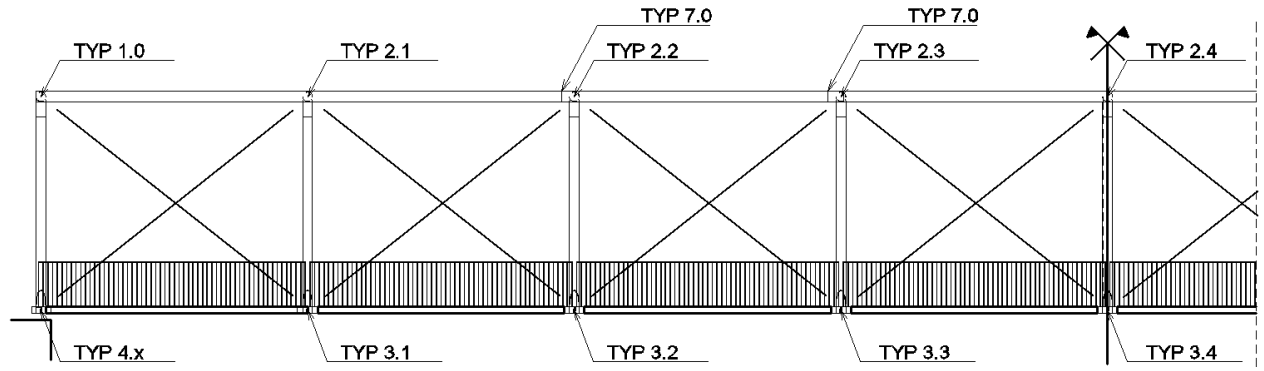
Preglednica 25: Dimenzioniranje pramenastih kablov

TIP	$F_{u,k}$ [kN]	$F_{u,d}$ [kN]	max $F_{ed}$ [kN]	$F_{ed} / F_{u,d}$ Izkoriščenost prereza
PG10	93,0	51,7	47,9	0,93
PG15	134,0	74,4	56,4	0,76
PG20	181,0	100,6	71,1	0,71
PG25	260,0	144,4	112,9	0,78
PG40	367,0	203,9	152,9	0,75
PG55	537,0	298,3	255,5	0,86
PG75	722,0	401,1	360,0	0,90

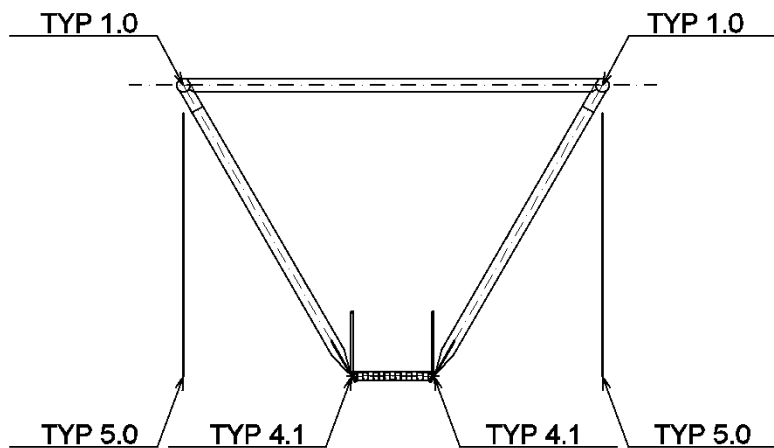


## 8 DIMENZIONIRANJE ZNAČILNIH SPOJEV

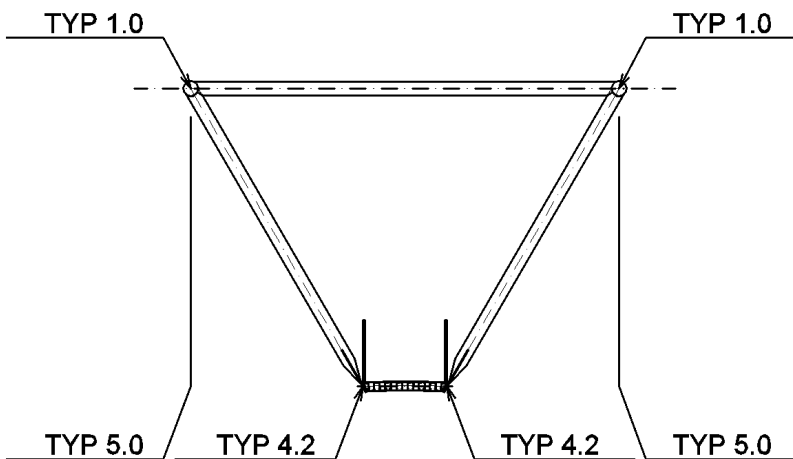
Na spodnji skicah so označeni tipični spoji. Oznaka spoja je sestavljena iz imena TYP, ki pove, da je to označba spoja, in iz številke. Prva cifra je namenjena tipu spoja, druga cifra (za piko) pa označuje različico tega spoja.



Slika 46: Naris mostu z označenimi spoji (zaradi simetričnosti prikazana le polovica mostu)



Slika 47: Oznaka spojev na levi podpori (dolvodno)

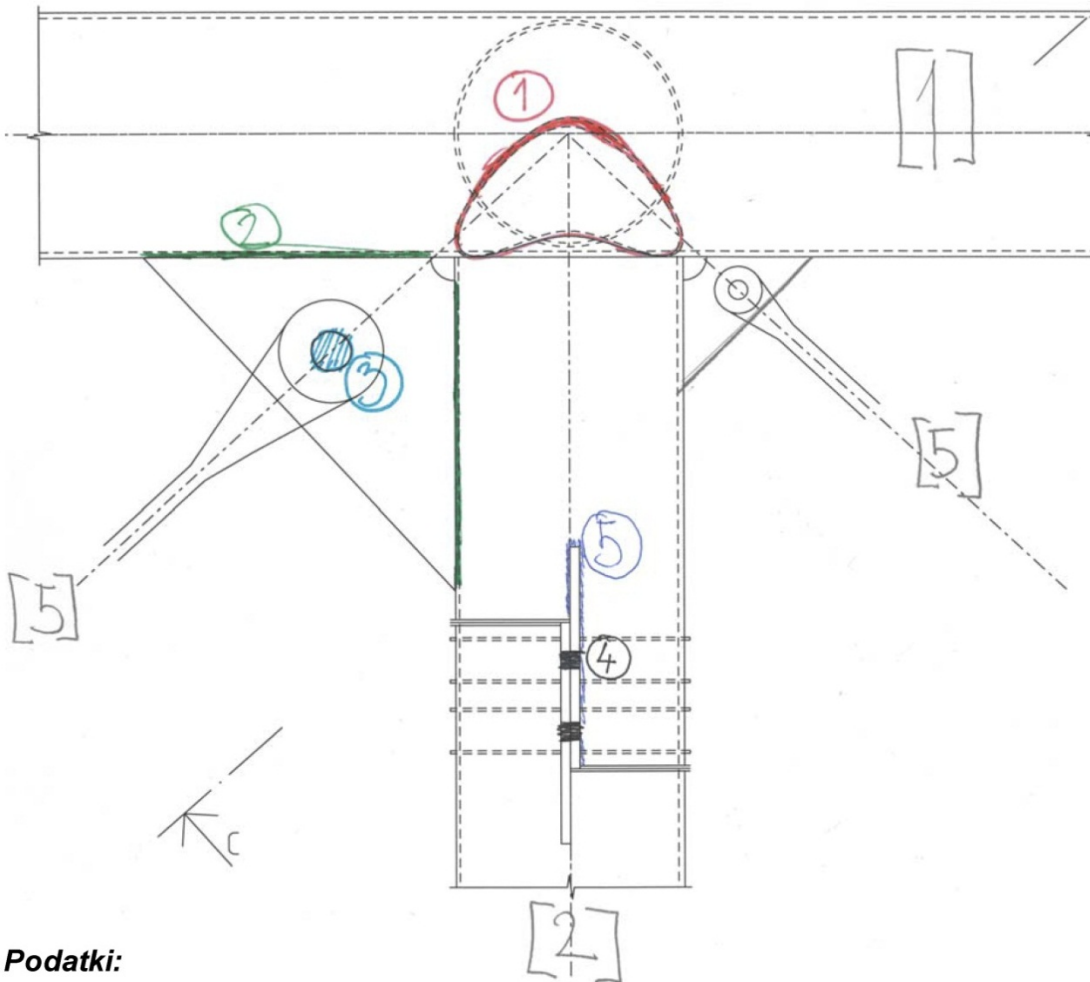


Slika 48: Oznaka spojev na desni podpori (dolvodno)

## 8.1 Spoj TYP 2.0

Spoj 2.0 je razdeljen na dva dela. En del obravnava spoj zgornjega nosilca s vertikalami in se spreminja glede na velikost kabla. Drug del pa obravnava spoj zgornje razpore z zgornjim nosilcem. Ta del je enak za vse različice spoja tipa 2.0. Poimenovan je TYP 2.0 roof.

### 8.1.1 Spoj TYP 2.1 vertikala



#### Podatki:

Material EN AW-6082 T651 12.5mm < t ≤ 100mm	$f_{o.50mm} := 240 \cdot \text{MPa}$	$f_{u.50mm} := 290 \cdot \text{MPa}$	$A_{\text{minElongation}} := 10\%$	(Tab3.2b)
	$\rho_{o.haz.50mm} := 0.48$	$\rho_{u.haz.50mm} := 0.60$	BC := A	$n_p := 21$
Material EN AW-6082 T6 5mm < t ≤ 15mm	$f_{o.15mm} := 260 \cdot \text{MPa}$	$f_{u.15mm} := 310 \cdot \text{MPa}$	$A_{\text{minElongation}} := 10\%$	(Tab3.2b)
	$\rho_{o.haz.15mm} := 0.48$	$\rho_{u.haz.15mm} := 0.60$	BC := A	$n_{1,p} := 25$
Material EN AW-6082 T6 t ≤ 5mm	$f_{o.5mm} := 250 \cdot \text{MPa}$	$f_{u.5mm} := 290 \cdot \text{MPa}$	$A_{2,\text{minElongation}} := 8\%$	(Tab3.2b)
	$\rho_{o.haz.5mm} := 0.50$	$\rho_{u.haz.5mm} := 0.64$	BC := A	$n_{2,p} := 32$
	$f_{o.haz} := 125 \cdot \text{MPa}$	$f_{u.haz} := 185 \cdot \text{MPa}$	$f_w := 210 \text{MPa}$	(Tab8.8)
	$E := 70000 \cdot \text{MPa}$	$G := 27000 \cdot \text{MPa}$	$\nu := 0.3$	(3.2.5)

	$\alpha_T := 23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$	$\rho := 2700 \frac{kg}{m^3}$	
dimenzije zgornje cevi [1]	$D_1 := 300mm$	$t_1 := 6mm$	
dimenzije vertikalnih cevi [2]	$D_2 := 240mm$	$t_2 := 4mm$	
varnostni faktorji za spoje	$\gamma_{Mw} := 1.25$		(Tab8.1)
	$\gamma_{M1} := 1.10$		
	$\gamma_{M2} := 1.25$		
	$\gamma_{Ms.ser} := 1.1$		
	$\gamma_{Mp} := 1.25$		
	$\gamma_{Mp.ser} := 1.0$		
Materialne lastnosti čepov	$f_{u.pin} := 800MPa$	$f_{o.pin} := 690MPa$	
dimenzija čepov POZ 3	$d_{pin} := 40mm$	$d_{pin.0} := 42mm$	$a_{pin} := 55mm$
dimenzija pločevine POZ 3	$t_{p.3} := 30mm$	$L_{p.3} := 260mm$	
lastnosti zvarov POZ 2	$a_{w.2} := 4mm$	$L_{w.2} := L_{p.3}$	$\min(6 \cdot a_{w.2}, 30mm) < L_{w.2} = 1$
lastnosti zvarov POZ 5	$a_{w.5} := 4mm$	$L_{w.5} := 235mm$	$\min(6 \cdot a_{w.2}, 30mm) < L_{w.2} = 1$
Materialne lastnosti vijakov	$f_{ub} := 800MPa$	$f_{ob} := 800MPa \cdot 0.8 = 640 \cdot MPa$	
dimenzije vijakov	$d_b := 16mm$	$A_s := 157mm^2$	
premer glave vijaka oz. podloške		$d_m := \min(27mm, 30mm) = 27 \cdot mm$	
število vijakov v eni vrsti POZ 4		$n_b := 2$	
število vrst vijakov POZ 4		$m_b := 2$	
faktor	$\alpha_v := 0.6$	Strižna ravnina poteka skoszi navoje: -jekleni vijaki (4.6, 5.6, 8.8) $\alpha_v=0.6$ -jekleni vijaki (4.8, 5.8, 6.8, 10.9), vijaki iz aluminija in nerjavečega jekla $\alpha_v=0.5$ Kadar strižna ravnina poteka skozi del stebela vijaka brez navoja $\alpha_v=0.6$	(Tab8.5)
faktor za natezno odpornost	$k_2 := 0.9$	jekleni vijaki $k_2=0.9$ aluminijasti vijaki $k_2=0.5$ vijaki z vgreznjeno glavo $k_2=0.63$	(Tab8.5)
število strižnih ravnin v delu vijaka z navojem		$n_s := 1$	
dimenzije pločevine za vijačen spoj POZ 4	$t_{p.4} := 10mm$	$b_4 := D_2 = 240 \cdot mm$	

torni koeficient za prednapete vijake  $\mu := 0.63$  faktor dokazan z preizkusom (Tab8.6)

projektna osna sila [2]  $N_{2.Ed} := -185.5 \text{ kN}$

projektna strižna sila [2]  $V_{2.Ed} := 0.6 \text{ kN}$

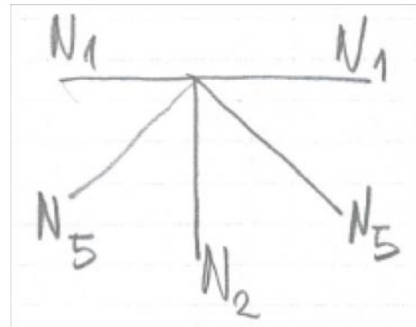
projektni moment [2]  $M_{2.Ed} := 3.32 \text{ kNm}$

projektna osna sila v kablu [5]  $N_{5.Ed} := 258.1 \text{ kN}$

MSU osna sila [2]  $N_{2.E.SLS} := -130.8 \text{ kN}$

MSU strižna sila [2]  $V_{2.E.SLS} := 0.4 \text{ kN}$

MSU moment [2]  $M_{2.E.SLS} := 0.4 \text{ kNm}$



### Izračun ostalih karakteristik

$$A_p := \frac{\pi \cdot d_{pin}^2}{4} = 1257 \cdot \text{mm}^2$$

prečni prerez čepa

$$\Delta d := \begin{cases} 2 \text{ mm} & \text{if } 16 \text{ mm} \leq d_b \leq 24 \text{ mm} = 2 \cdot \text{mm} \\ 3 \text{ mm} & \text{if } d_b > 24 \text{ mm} \\ 1 \text{ mm} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_0 := d_b + \Delta d = 18 \cdot \text{mm}$$

premer luknje za vijak

$$A_b := \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} = 201 \cdot \text{mm}^2$$

prečni prerez vijaka

$$A_b := \min(A_s, A_b) = 157 \cdot \text{mm}^2$$

vedno upoštevamo prerez skozi navoj

$$A_{net} := (b_4 - m_b \cdot d_0) \cdot t_p \cdot \rho_{u.haz.50 \text{ mm}} = 1224 \cdot \text{mm}^2$$

površina prereza upoštevajoč redukcijo zaradi vijakov in HAZ

### POZ 1 - Čelno varjenje

$$A_{2.w} := \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot t_2)^2}{4} = 2966 \cdot \text{mm}^2$$

$$W_{2.w} := \frac{\pi \cdot [D_2^4 - (D_2 - 2 \cdot t_2)^4]}{32 \cdot D_2} = 1.721 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

$$\sigma_{2.Ed} := \frac{N_{2.Ed}}{A_{2.w}} - \frac{M_{2.Ed}}{W_{2.w}} = -81.8 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{2.Ed} := \frac{V_{2.Ed}}{A_{2,w}} = 0.2 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{2.haz.Ed} := \frac{N_{2.Ed}}{A_{2,w}} - \frac{M_{2.Ed}}{W_{2,w}} = -81.8 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{2.haz.Ed} := \frac{V_{2.Ed}}{A_{2,w}} = 0.2 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Dimenzioniranje čelnih zvarov

$$\eta_1 := \frac{\sqrt{\sigma_{2.Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{2.Ed}^2}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.49 \quad (8.31)$$

$$\eta_2 := \frac{\sqrt{\sigma_{2.haz.Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{2.haz.Ed}^2}}{\frac{f_{u.haz}}{\gamma_{Mw}}} = 0.55 \quad (8.42)$$

### POZ 2 - Varjenje kotnih pločevin za kable:

$$L_{w,2,eff} := \begin{cases} L_{w,2} & \text{if } L_{w,2} \leq 100 \cdot a_{w,2} \\ \left[ \left( 1.2 - 0.2 \cdot \frac{L_{w,2}}{100 \cdot a_{w,2}} \right) \cdot L_{w,2} \right] & \text{otherwise} \end{cases} = 260 \cdot \text{mm} \quad (8.32)$$

$$\sigma_{2,perpendicular.Ed} := 0 \text{MPa}$$

$$\tau_{2,perpendicular.Ed} := 0 \text{MPa}$$

$$\tau_{2,parallel.Ed} := \frac{N_{5.Ed} \cdot \sin(42.6 \text{deg})}{2a_{w,2} \cdot L_{w,2,eff}} = 84.0 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{2.haz,perpendicular.Ed} := 0 \text{MPa}$$

$$\tau_{2.haz,parallel.Ed} := \frac{N_{5.Ed} \cdot \sin(42.6 \text{deg})}{2t_2 \cdot L_{w,2}} = 84.0 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Dimenzioniranje kotnih zvarov

$$\eta_3 := \frac{\sqrt{\sigma_{2,perpendicular.Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{2,perpendicular.Ed}^2 + \tau_{2,parallel.Ed}^2)}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.87 \quad (8.33)$$

$$\eta_4 := \frac{\sqrt{\sigma_{2,\text{haz.perpendicular.Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{2,\text{haz.parallel.Ed}}^2}}{\frac{f_{u,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}}} = 0.98 \quad (8.43)$$

### POZ 3 - Dimenzioniranje čepa:

$$F_{5,\text{Ed}} := N_{5,\text{Ed}} = 258.1 \cdot \text{kN}$$

#### NS EN 1999-1-1 8.5.14.2 Geometrijske zahteve za čepe

$$a_{\text{min}} := \frac{F_{5,\text{Ed}} \cdot \gamma_{M1}}{2 \cdot t_{p,3} \cdot f_{o,50\text{mm}}} + \frac{2 \cdot d_{\text{pin},0}}{3} = 48 \cdot \text{mm} \quad (\text{Fig8.12})$$

$$c_{\text{min}} := \frac{F_{5,\text{Ed}} \cdot \gamma_{M1}}{2 \cdot t_{p,3} \cdot f_{o,50\text{mm}}} + \frac{d_{\text{pin},0}}{3} = 34 \cdot \text{mm} \quad (\text{Fig8.12})$$

$$a := \max(a_{\text{min}}, a_{\text{pin}}) = 55 \cdot \text{mm}$$

#### NS EN 1999-1-1 8.5.14.3 Dimenzioniranje čepov

$$F_{5,\text{v.Rd}} := \frac{0.6 \cdot A_p \cdot f_{u,\text{pin}}}{\gamma_{Mp}} \quad \text{strižna odpornost čepa} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$\eta_5 := \frac{F_{5,\text{Ed}}}{F_{5,\text{v.Rd}}} = 0.53 \quad (\text{Tab8.7})$$

$$f_{o,\text{min}} := \min(f_{o,50\text{mm}}, f_{o,\text{pin}}) = 240 \cdot \text{MPa} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$F_{5,\text{b.Rd}} := \frac{1.5 \cdot t_{p,3} \cdot d_{\text{pin}} \cdot f_{o,\text{min}}}{\gamma_{M1}} = 392.7 \cdot \text{kN} \quad \text{nosilnost na bočni pritisk za pločevino in čep} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$\eta_6 := \frac{F_{5,\text{Ed}}}{F_{5,\text{b.Rd}}} = 0.66 \quad (\text{Tab8.7})$$

### POZ 4 - Dimenzioniranje vijachenega spoja na cevi [2]:

$$F_{2,\text{v.Ed}} := \left| \frac{N_{2,\text{Ed}}}{n_b \cdot m_b} \right| = 46.375 \cdot \text{kN}$$

$$F_{2,\text{t.Ed}} := \frac{V_{2,\text{Ed}}}{n_b \cdot m_b} = 0.15 \cdot \text{kN}$$

$$F_{2,\text{v.Ed.ser}} := \left| \frac{N_{2,\text{E.SLS}}}{n_b \cdot m_b} \right| = 32.7 \cdot \text{kN}$$

$$F_{2,\text{t.Ed.ser}} := \frac{V_{2,\text{E.SLS}}}{n_b \cdot m_b} = 0.1 \cdot \text{kN}$$

### NS EN 1999-1-1 8.5.1 Razporeditev lukenj za vijake in zakovice

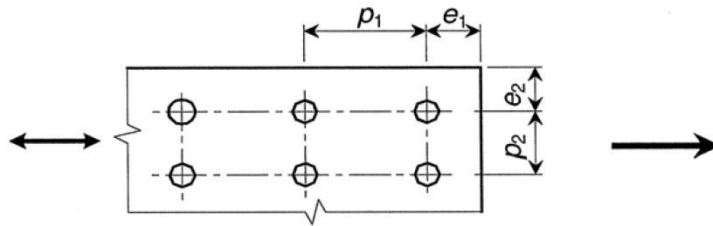


Figure 8.1 - Symbols for spacing of fasteners

(Tab8.2)

$$\begin{aligned}
 e_{1,\min} &:= 1.2 \cdot d_0 = 22 \cdot \text{mm} & e_{1,\text{reg}} &:= 2 \cdot d_0 = 36 \cdot \text{mm} & e_{1,\max} &:= 4 \cdot t_{p,4} + 40 \text{mm} = 80 \cdot \text{mm} \\
 e_{2,\min} &:= 1.2 \cdot d_0 = 22 \cdot \text{mm} & e_{2,\text{reg}} &:= 1.5 \cdot d_0 = 27 \cdot \text{mm} & e_{2,\max} &:= 4 \cdot t_{p,4} + 40 \text{mm} = 80 \cdot \text{mm} \\
 p_{1,\min} &:= 2.2 \cdot d_0 = 40 \cdot \text{mm} & p_{1,\text{reg}} &:= 2.5 \cdot d_0 = 45 \cdot \text{mm} & p_{1,\max} &:= \min(14t_{p,4}, 200 \text{mm}) \\
 p_{2,\min} &:= 2.4 \cdot d_0 = 43 \cdot \text{mm} & p_{2,\text{reg}} &:= 3.0 \cdot d_0 = 54 \cdot \text{mm} & p_{2,\max} &:= \min(14t_{p,4}, 200 \text{mm}) \\
 e_1 &:= 40 \text{mm} & p_1 &:= 75 \text{mm} \\
 e_2 &:= e_{2,\text{reg}} = 27 \cdot \text{mm} & p_2 &:= p_{2,\text{reg}} = 54 \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$L_j := (n_b - 1) \cdot p_1 = 75 \cdot \text{mm}$$

razdalja med centroma skrajno ležečih veznih sredstev

$$\beta_{Lf} := \min \left( \max \left( 1 - \frac{L_j - 15 \cdot d_b}{200 d_b}, 0.75 \right), 1 \right) = 1 \quad (8.25)$$

### NS EN 1999-1-1 8.5.2.2 Strižni iztrg

$$A_{2,\text{nt}} := (m_b - 1) \cdot p_2 \cdot t_{p,4} = 540 \cdot \text{mm}^2 \quad (8.1)$$

$$A_{2,\text{nv}} := t_{p,4} \cdot [(n_b - 1) \cdot p_1 + e_1] = 1150 \cdot \text{mm}^2 \quad (8.1)$$

$$V_{\text{eff.2.Rd}} := \frac{f_{u,50\text{mm}} \cdot A_{2,\text{nt}}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_{o,50\text{mm}} \cdot A_{2,\text{nv}}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 270.1 \cdot \text{kN} \quad (8.1)$$

$$\eta_7 := \left| \frac{F_{2,v,\text{Ed}}}{V_{\text{eff.2.Rd}}} \right| = 0.17$$

### NS EN 1999-1-1 8.5.5 Projektna nosilnost vijakov in zakovic

$$F_{2,v,\text{Rd}} := \beta_{Lf} \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = 60.3 \cdot \text{kN} \quad (8.9)$$

projektna strižna odpornost enega vijaka

$$\eta_8 := \frac{F_{2,v,\text{Ed}}}{F_{2,v,\text{Rd}}} = 0.77 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$\alpha_d := \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}, \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}\right) = 0.741 \quad \text{robni vijak/notranji vijak} \quad (8.13)$$

$$\alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_{u.50mm}}, 1.0\right) = 0.741 \quad (8.12)$$

$$k_1 := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 2.5 \quad (8.15)$$

$$F_{2.b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u.50mm} \cdot d_b \cdot t_{p.4}}{\gamma_{M2}} = 68.7 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna bočna nosilnost enega vijaka} \quad (8.11)$$

$$\eta_9 := \frac{F_{2.v.Ed}}{F_{2.b.Rd}} = 0.67 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$N_{2.net.Rd} := \frac{0.9 A_{net} \cdot f_{u.50mm}}{\gamma_{M2}} = 255.6 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna plastična nosilnost preseza pri luknjah za vijake} \quad (8.6)$$

$$\eta_{10} := \frac{n_b \cdot m_b \cdot F_{2.v.Ed}}{N_{2.net.Rd}} = 0.73 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$N_{2.net.Rd.ser} := \frac{A_{net} \cdot f_{u.50mm}}{\gamma_{M1}} = 267.1 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna nosilnost preseza pri luknjah za vijake v MSU} \quad (\text{Tab8.4})$$

$$\eta_{11} := \frac{n_b \cdot m_b \cdot F_{2.v.Ed.ser}}{N_{2.net.Rd.ser}} = 0.49 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$F_{2.t.Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 90.4 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna natezna nosilnost enega vijaka} \quad (8.17)$$

$$\eta_{12} := \frac{F_{2.t.Ed}}{F_{2.t.Rd}} = 0.00 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$B_{2.p.Rd} := \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_{p.4} \cdot f_{u.50mm}}{\gamma_{M2}} = 118.1 \cdot \text{kN} \quad \text{odpornost proti preboju pločevine}$$

$$\eta_{13} := \frac{F_{2.t.Ed}}{B_{2.p.Rd}} = 0.00 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$\eta_{14} := \frac{F_{2.v.Ed}}{F_{2.v.Rd}} + \frac{F_{2.t.Ed}}{1.4 \cdot F_{2.t.Rd}} = 0.77 \quad \text{sočasno delovanje striga in natega} \quad (8.20)$$



### NS-EN 1999-1-1 8.5.9 Torni spoj z visokovrednimi vijaki (8.8 in 10.9)

$$\gamma_{Ms} := \gamma_{Ms.ser} \quad \text{varnostni faktor za torno nosilnost v mejnem stanju uporabnosti}$$

$$F_{p.C} := 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 87.92 \cdot \text{kN} \quad \text{silna prednapenjanja} \quad (8.22)$$

$$F_{s.Rd.ser} := \frac{n_s \cdot \mu \cdot F_{p.C}}{\gamma_{Ms}} = 50.4 \cdot \text{kN} \quad (8.21)$$

$$F_{s.Rd.ser} := \frac{n_s \cdot \mu \cdot (F_{p.C} - 0.8 \cdot F_{2.t.Ed.ser})}{\gamma_{Ms}} = 50.3 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna torna nosilnost enega vijaka} \quad (8.23)$$

$$\eta_{15} := \frac{F_{2.v.Ed.ser}}{F_{s.Rd.ser}} = 0.65 \quad (\text{Tab8.4})$$

### POZ 5 - Varjenje pločevin za vijačen spoj na cevi [2]:

$$L_{w.5.eff} := \begin{cases} L_{w.5} & \text{if } L_{w.5} \leq 100 \cdot a_{w.5} \\ \left[ \left( 1.2 - 0.2 \cdot \frac{L_{w.5}}{100 \cdot a_{w.5}} \right) \cdot L_{w.5} \right] & \text{otherwise} \end{cases} = 235 \cdot \text{mm} \quad (8.32)$$

$$L_{w.kk} := L_{w.5.eff} + [L_{w.5.eff} - (p_1 + 2 \cdot e_1)] = 0.315 \text{ m} \quad \text{celotna dolžina zvara na eni strani}$$

$$\sigma_{\text{perpendicular.Ed}} := 0 = 0.0 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{\text{perpendicular.Ed}} := 0 = 0.0 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{\text{parallel.Ed}} := \frac{N_{2.Ed}}{2 \cdot a_{w.5} \cdot L_{w.kk}} = -73.6 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{haz.perependicular.Ed}} := 0 = 0.0$$

$$\tau_{\text{haz.parallel.Ed}} := \frac{N_{2.Ed}}{2 \cdot t_2 \cdot L_{w.kk}} = -73.6 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Dimenzioniranje kotnega zvara

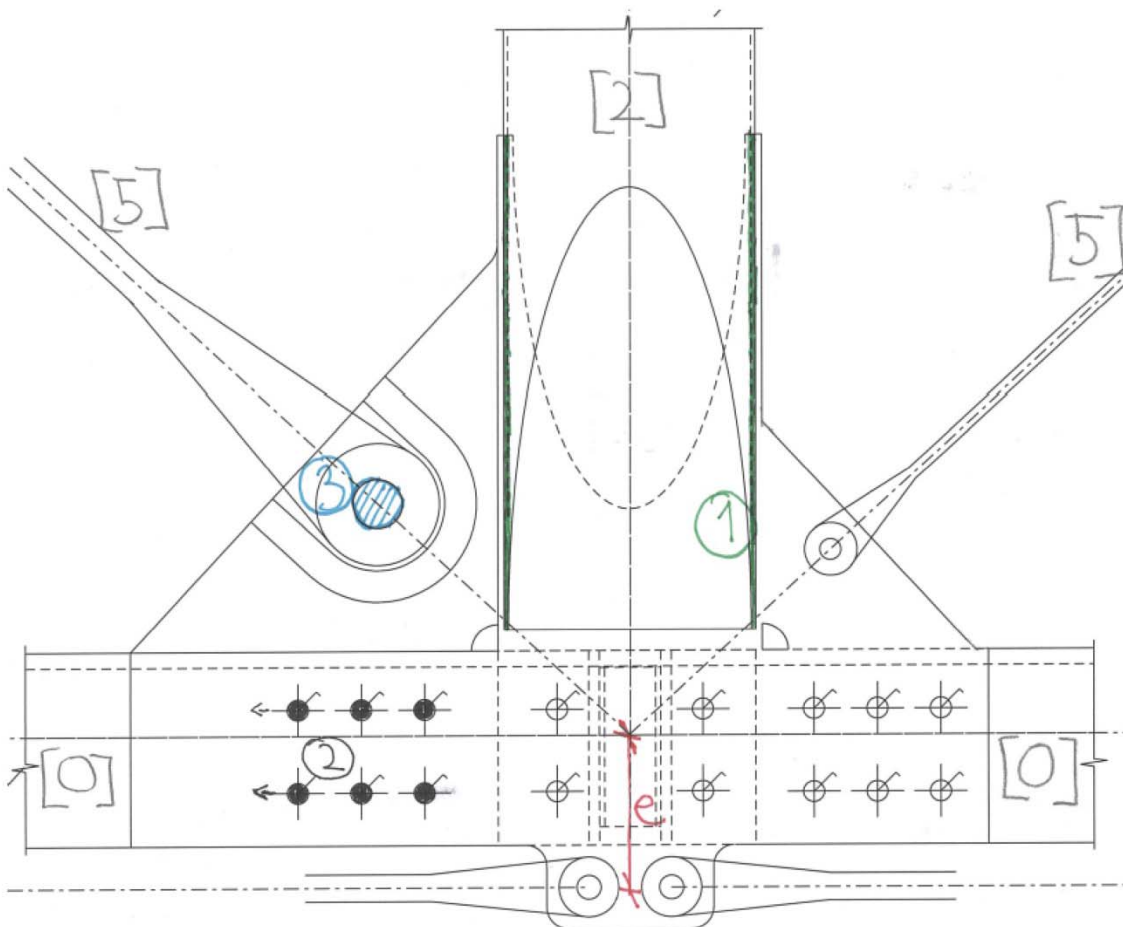
$$\eta_{16} := \frac{\sqrt{\sigma_{\text{perpendicular.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{perpendicular.Ed}}^2 + \tau_{\text{parallel.Ed}}^2)}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.76 \quad (8.33)$$

$$\eta_{17} := \frac{\sqrt{\sigma_{\text{haz.perependicular.Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{haz.parallel.Ed}}^2}}{\frac{f_{u.haz}}{\gamma_{Mw}}} = 0.86 \quad (8.43)$$

$$\eta := \max(\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6, \eta_7, \eta_8, \eta_9, \eta_{10}, \eta_{12}, \eta_{13}, \eta_{14}, \eta_{15}, \eta_{16}, \eta_{17}) = 0.98$$

## 8.2 Spoj TYP 3.4

Spoj obravnava priključek pohodnega nosilca, vertikale in kablov.



### Podatki:

Material EN AW-6082 T651  $f_{o,50mm} := 240 \cdot \text{MPa}$   $f_{u,50mm} := 290 \cdot \text{MPa}$   $A_{\text{minElongation}} := 10\%$  (Tab3.2b)  
 $12.5\text{mm} < t \leq 100\text{mm}$

$\rho_{o,haz,50mm} := 0.48$   $\rho_{u,haz,50mm} := 0.60$   $BC := A$   $n_p := 25$

Material EN AW-6082 T6  $f_{o,5mm} := 250 \cdot \text{MPa}$   $f_{u,5mm} := 290 \cdot \text{MPa}$   $A_{5,\text{minElongation}} := 8\%$  (Tab3.2b)  
 $t \leq 5\text{mm}$

$\rho_{o,haz,5mm} := 0.50$   $\rho_{u,haz,5mm} := 0.64$   $BC := A$   $n_{2,p} := 32$

$f_{o,haz} := 125 \cdot \text{MPa}$   $f_{u,haz} := 185 \cdot \text{MPa}$   $f_w := 210 \text{MPa}$  (Tab8.8)

$E := 70000 \cdot \text{MPa}$   $G := 27000 \cdot \text{MPa}$   $\nu := 0.3$  (3.2.5)

$\alpha_T := 23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$   $\rho := 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

dimenzije vertikalnih cevi [2]  $D_2 := 240\text{mm}$   $t_2 := 4\text{mm}$

varnostni faktorji za spoje  $\gamma_{Mw} := 1.25$  (Tab8.1)

	$\gamma_{M1} := 1.10$		
	$\gamma_{M2} := 1.25$		
	$\gamma_{Ms.ser} := 1.1$		
	$\gamma_{Mp} := 1.25$		
	$\gamma_{Mp.ser} := 1.0$		kategorija vijačenega spoja: B
Materialne lastnosti čepov	$f_{u,pin} := 800\text{MPa}$	$f_{o,pin} := 690\text{MPa}$	
dimenzija čepa POZ 3	$d_{pin} := 22\text{mm}$	$d_{pin,0} := 20\text{mm}$	$a_{pin} := 28\text{mm}$
dimenzija pločevine POZ 3	$t_{p,3} := 18\text{mm}$		
lastnosti zvara POZ 1	$a_{w,1} := 4\text{mm}$	$L_{w,1} := 470\text{mm}$	
Materialne lastnosti vijakov	$f_{ub} := 800\text{MPa}$	$f_{ob} := 0.8 \cdot f_{ub} = 640\text{MPa}$	
dimenzije vijakov POZ 2	$d_b := 20\text{mm}$	$A_s := 245\text{mm}^2$	
višina plošče pri vijakih POZ 2		$H_{p,2} := 180\text{mm}$	
premer glave vijaka oz. podložke		$d_m := \min(32\text{mm}, 37\text{mm}) = 32\text{mm}$	
število vijakov v vrsti POZ 2		$n_b := 3$	
število vrst vijakov POZ 2		$m_b := 2$	
faktor	$\alpha_v := 0.6$	Strižna ravnina poteka skoszi navoje: -jekleni vijaki (4.6, 5.6, 8.8) $\alpha_v=0.6$ -jekleni vijaki (4.8, 5.8, 6.8, 10.9), vijaki iz aluminija in nerjavečega jekla $\alpha_v=0.5$ Kadar strižna ravnina poteka skozi del stebela vijaka brez navoja $\alpha_v=0.6$	(Tab8.5)
faktor za natezno odpornost	$k_2 := 0.9$	jekleni vijaki $k_2=0.9$ aluminijasti vijaki $k_2=0.5$ vijaki z vgreznjeno glavo $k_2=0.63$	(Tab8.5)
number of shear planes	$n_s := 1$		
dimenzije pločevine za vijačen spoj POZ 2		$t_{p,2} := 20\text{mm}$	
torni koeficient za prednapete vijake		$\mu := 0.63$	faktor dokazan z preizkusom (Tab8.6)
projektna osna sila [2]	$N_{2.Ed} := -188\text{kN}$		SLS - mejno stanje uporabnosti $N_{2.E.SLS} := -133.9\text{kN}$

projektna strižna sila [2]	$V_{2.Ed} := 0\text{kN}$	$V_{2.E.SLS} := 0\text{kN}$
projektni moment [2]	$M_{2.Ed} := 1.9\text{kNm}$	$M_{2.E.SLS} := 0.8\text{kNm}$
projektna osna sila [5]	$N_{5.Ed} := 77.4\text{kN}$	$N_{5.E.SLS} := 53\text{kN}$
projektna osna sila [0]	$N_{0.Ed} := 1070\text{kN}$	$N_{0.E.SLS} := 813\text{kN}$
projektna osna sila [0]	$V_{0.Ed} := 55\text{kN}$	$V_{0.E.SLS} := 38\text{kN}$

### Izračun ostalih karakteristik

$$A_p := \frac{\pi \cdot d_{pin}^2}{4} = 380 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{prečni prerez čepa}$$

$$\Delta d := \begin{cases} 2\text{mm} & \text{if } 16\text{mm} \leq d_b \leq 24\text{mm} = 2 \cdot \text{mm} \\ 3\text{mm} & \text{if } d_b > 24\text{mm} \\ 1\text{mm} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_0 := d_b + \Delta d = 22 \cdot \text{mm} \quad \text{premer luknje za vijak}$$

$$A_b := \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} = 314 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{prečni prerez vijaka}$$

$$A_{nbv} := \min(A_s, A_b) = 245 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{vedno upoštevamo prerez skozi navoj}$$

$$A_{net} := (H_{p,2} - m_b \cdot d_0) \cdot t_{p,2} = 2720 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{površina prereza upoštevajoč redukcijo zaradi vijakov in HAZ}$$

### Poz 1 - Varjenje vertikalne [2] na čelno pločevino:

$$L_{w,1,eff} := \begin{cases} L_{w,1} & \text{if } L_{w,1} \leq 100 \cdot a_{w,1} \\ \left[ \left( 1.2 - 0.2 \cdot \frac{L_{w,1}}{100 \cdot a_{w,1}} \right) \cdot L_{w,1} \right] & \text{otherwise} \end{cases} = 454 \cdot \text{mm} \quad (8.32)$$

$$\sigma_{\text{perpendicular.Ed}} := 0 = 0.0 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{\text{perpendicular.Ed}} := 0 = 0.0 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{\text{parallel.Ed}} := \frac{N_{2.Ed}}{4 \cdot a_{w,1} \cdot L_{w,1,eff}} = -25.9 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{haz,perpendicular.Ed}} := 0 = 0 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{\text{haz,parallel.Ed}} := \frac{N_{2.Ed}}{4 \cdot t_2 \cdot L_{w,1,eff}} = -25.9 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Dimenzioniranje kotnih zvarov

$$\eta_1 := \frac{\sqrt{\sigma_{\text{perpendicular.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{perpendicular.Ed}}^2 + \tau_{\text{parallel.Ed}}^2)}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.27 \quad (8.33)$$

$$\eta_2 := \frac{\sqrt{\sigma_{\text{haz.perependicular.Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{haz.parallel.Ed}}^2}}{\frac{f_{u.\text{haz}}}{\gamma_{Mw}}} = 0.30 \quad (8.43)$$

### Poz 1 - Varjenje vertikalne [2] na čelno pločevino (začasno stanje - dvig):

$$N_{2.\text{lift}} := -42 \text{ kN}$$

$$N_{51.\text{lift}} := 72.9 \text{ kN}$$

$$N_{52.\text{lift}} := 34.7 \text{ kN}$$

$$F_e := N_{51.\text{lift}} - N_{52.\text{lift}} = 38.2 \text{ kN}$$

$$e := 146 \text{ mm}$$

ekscentričnost kablov med dvigom mostu

$$M := F_e \cdot e = 5.577 \text{ kNm}$$

dodatni moment zaradi ekscentričnosti kablov

$$\sigma_{\text{lift.perpendicular.Ed}} := 0 = 0.0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{lift.perpendicular.Ed}} := 0 = 0.0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{lift.parallel.Ed}} := \frac{|N_{2.\text{lift}}|}{4 \cdot a_{w.1} \cdot L_{w.1.\text{eff}}} + \frac{|M|}{2 \cdot D_2 \cdot a_{w.1} \cdot L_{w.1.\text{eff}}} = 12.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{lift.haz.perependicular.Ed}} := 0 = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{lift.haz.parallel.Ed}} := \frac{|N_{2.\text{lift}}|}{4 \cdot t_2 \cdot L_{w.1.\text{eff}}} + \frac{|M|}{2 \cdot D_2 \cdot t_2 \cdot L_{w.1.\text{eff}}} = 12.2 \text{ MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Dimenzioniranje kotnih zvarov

$$\eta_3 := \frac{\sqrt{\sigma_{\text{lift.perpendicular.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{lift.perpendicular.Ed}}^2 + \tau_{\text{lift.parallel.Ed}}^2)}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.13 \quad (8.33)$$

$$\eta_4 := \frac{\sqrt{\sigma_{\text{lift.haz.perependicular.Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{lift.haz.parallel.Ed}}^2}}{\frac{f_{u.\text{haz}}}{\gamma_{Mw}}} = 0.14 \quad (8.43)$$

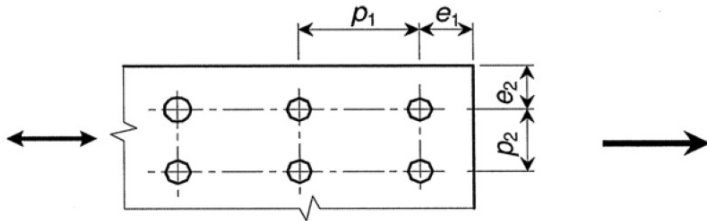
**Poz 2 - Dimenzioniranje vijachenega spoja pohodnega nosilca [0]:**

$$F_{0.v.Ed} := \sqrt{\left(\frac{N_{0.Ed}}{m_b \cdot n_b}\right)^2 + \left(\frac{V_{0.Ed}}{m_b \cdot n_b}\right)^2} = 89.3 \cdot \text{kN}$$

$$F_{0.t.Ed} := 0 \text{ kN} = 0 \cdot \text{kN}$$

$$F_{0.v.Ed.ser} := \sqrt{\left(\frac{N_{0.E.SLS}}{m_b \cdot n_b}\right)^2 + \left(\frac{V_{0.E.SLS}}{m_b \cdot n_b}\right)^2} = 67.8 \cdot \text{kN}$$

$$F_{0.t.Ed.ser} := 0 = 0.0 \cdot \text{kN}$$

**NS EN 1999-1-1 8.5.1 Razporeditev lukenj za vijake in zakovice****Figure 8.1 - Symbols for spacing of fasteners**

(Tab8.2)

$$e_{1.min} := 1.2 \cdot d_0 = 26 \cdot \text{mm}$$

$$e_{1.reg} := 2 \cdot d_0 = 44 \cdot \text{mm}$$

$$e_{1.max} := 4 \cdot t_{p,2} + 40 \text{ mm} = 120 \cdot \text{mm}$$

$$e_{2.min} := 1.2 \cdot d_0 = 26 \cdot \text{mm}$$

$$e_{2.reg} := 1.5 \cdot d_0 = 33 \cdot \text{mm}$$

$$e_{2.max} := 4 \cdot t_{p,2} + 40 \text{ mm}$$

$$p_{1.min} := 2.2 \cdot d_0 = 48 \cdot \text{mm}$$

$$p_{1.reg} := 2.5 \cdot d_0 = 55 \cdot \text{mm}$$

$$p_{1.max} := \min(14t_{p,2}, 200 \text{ mm})$$

$$p_{2.min} := 2.4 \cdot d_0 = 53 \cdot \text{mm}$$

$$p_{2.reg} := 3.0 \cdot d_0 = 66 \cdot \text{mm}$$

$$p_{2.max} := \min(14t_{p,2}, 200 \text{ mm})$$

$$e_1 := e_{1.reg} = 44 \cdot \text{mm}$$

$$p_1 := p_{1.reg} = 55 \cdot \text{mm}$$

$$e_2 := e_{2.reg} = 33 \cdot \text{mm}$$

$$p_2 := p_{2.reg} = 66 \cdot \text{mm}$$

$$L_j := (n_b - 1) \cdot p_1 = 110 \cdot \text{mm}$$

razdalja med centroma skrajno ležečih veznih sredstev

$$\beta_{Lf} := \min\left(\max\left(1 - \frac{L_j - 15 \cdot d_b}{200 d_b}, 0.75\right), 1\right) = 1$$

(8.25)

**NS EN 1999-1-1 8.5.2.2 Strižni iztrg**

$$A_{nt} := (m_b - 1) \cdot p_2 \cdot t_{p,2} = 1.32 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

(8.1)

$$A_{nv} := t_{p.2} \left[ (n_b - 1) \cdot p_1 + e_1 \right] = 3.08 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2 \quad (8.1)$$

$$V_{\text{eff}.0.\text{Rd}} := \frac{f_{u.50\text{mm}} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_{o.50\text{mm}} \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 694.2 \cdot \text{kN} \quad (8.1)$$

$$\eta_5 := \frac{F_{0.v.Ed}}{V_{\text{eff}.0.\text{Rd}}} = 0.13$$

### NS EN 1999-1-1 8.5.5 Projektna nosilnost vijakov in zakovic

$$F_{v.Rd} := \beta_{Lf} \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = 94.1 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna strižna odpornost enega vijaka} \quad (8.9)$$

$$\eta_6 := \frac{F_{0.v.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.95 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$\alpha_d := \min \left( \frac{e_1}{3 \cdot d_0}, \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right) = 0.583 \quad \text{robni vijak/notranji vijak} \quad (8.13)$$

$$\alpha_b := \min \left( \alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_{u.50\text{mm}}}, 1.0 \right) = 0.583 \quad (8.12)$$

$$k_1 := \min \left( 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5 \right) = 2.5 \quad (8.15)$$

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u.50\text{mm}} \cdot d_b \cdot t_{p.2}}{\gamma_{M2}} = 135.3 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna bočna nosilnost enega vijaka} \quad (8.11)$$

$$\eta_7 := \frac{F_{0.v.Ed}}{F_{b.Rd}} = 0.66 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$N_{\text{net}.Rd} := \frac{0.9 A_{\text{net}} \cdot f_{u.50\text{mm}}}{\gamma_{M2}} = 567.9 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna plastična nosilnost prereza pri luknjah za vijake} \quad (8.6)$$

$$\eta_8 := \frac{(n_b \cdot m_b) \cdot F_{0.v.Ed}}{N_{\text{net}.Rd}} = 0.94 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$N_{\text{net}.Rd.ser} := \frac{A_{\text{net}} \cdot f_{o.50\text{mm}}}{\gamma_{M1}} = 593.5 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna nosilnost prereza pri luknjah za vijake v MSU} \quad (\text{Tab8.4})$$

$$\eta_9 := \frac{n_b \cdot m_b \cdot F_{0.v.Ed.ser}}{N_{\text{net}.Rd.ser}} = 0.69 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$F_{t.Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 141.1 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna natezna nosilnost enega vijaka} \quad (8.17)$$

$$\eta_{10} := \frac{F_{0.t.Ed}}{F_{t.Rd}} = 0.00 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$B_{p.Rd} := \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_{p.2} \cdot f_{u.50mm}}{\gamma_{M2}} = 279.9 \cdot \text{kN} \quad \text{odpornost proti preboju pločevine}$$

$$\eta_{11} := \frac{F_{0.t.Ed}}{B_{p.Rd}} = 0.00 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$\eta_{12} := \frac{F_{0.v.Ed}}{F_{v.Rd}} + \frac{F_{0.t.Ed}}{1.4 \cdot F_{t.Rd}} = 0.95 \quad \text{sočasno delovanje striga in natega} \quad (8.20)$$

### NS-EN 1999-1-1 8.5.9 Torni spoj z visokovrednimi vijaki (8.8 in 10.9)

$$\gamma_{Ms} := \gamma_{Ms.ser} \quad \text{varnostni faktor za torni nosilnost v mejnem stanju uporabnosti}$$

$$F_{p.C} := 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 137.2 \cdot \text{kN} \quad \text{silna prednapenjanja} \quad (8.22)$$

$$F_{s.Rd.ser} := \frac{n_s \cdot \mu \cdot F_{p.C}}{\gamma_{Ms}} = 78.6 \cdot \text{kN} \quad (8.21)$$

$$F_{s.Rd.ser} := \frac{n_s \cdot \mu \cdot (F_{p.C} - 0.8 \cdot F_{0.t.Ed.ser})}{\gamma_{Ms}} = 78.6 \cdot \text{kN} \quad \text{projektna torni nosilnost enega vijaka} \quad (8.23)$$

$$\eta_{13} := \frac{F_{0.v.Ed.ser}}{F_{s.Rd.ser}} = 0.86 \quad (\text{Tab8.4})$$

### Poz 3 - Dimenzioniranje čepa za kabel [5]:

$$F_{5.Ed} := N_{5.Ed} = 77.4 \cdot \text{kN}$$

$$t := t_{p.3} = 18 \cdot \text{mm} \quad \text{debelina pločevine pri čepu}$$

### NS EN 1999-1-1 8.5.14.2 Geometrijske zahteve za čepe

$$a_{\min} := \frac{F_{5.Ed} \cdot \gamma_{M1}}{2 \cdot t \cdot f_{o.50mm}} + \frac{2 \cdot d_{pin.0}}{3} = 23 \cdot \text{mm} \quad (\text{Fig8.12})$$

$$c_{\min} := \frac{F_{5.Ed} \cdot \gamma_{M1}}{2 \cdot t \cdot f_{o.50mm}} + \frac{d_{pin.0}}{3} = 17 \cdot \text{mm} \quad (\text{Fig8.12})$$

$$a := \max(a_{\min}, a_{pin}) = 28 \cdot \text{mm}$$



### **NS EN 1999-1-1 8.5.14.3 Dimenzioniranje čepov**

$$F_{p.v.Rd} := \frac{0.6 \cdot A_p \cdot f_{u,pin}}{\gamma_{Mp}} = 146.0 \cdot \text{kN} \quad \text{strižna nosilnost čepa} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$\eta_{14} := \frac{F_{5.Ed}}{F_{p.v.Rd}} = 0.53 \quad (\text{Tab8.7})$$

$$f_{o,min} := \min(f_{o,50mm}, f_{o,pin}) = 240 \cdot \text{MPa} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$F_{p.b.Rd} := \frac{1.5 \cdot t_{pin} \cdot f_{o,min}}{\gamma_{M1}} = 129.6 \cdot \text{kN} \quad \text{bočna nosilnost pločevine in čepa} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$\eta_{15} := \frac{F_{5.Ed}}{F_{p.b.Rd}} = 0.60 \quad (\text{Tab8.7})$$

$$\eta := \max(\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6, \eta_7, \eta_8, \eta_9, \eta_{10}, \eta_{11}, \eta_{12}, \eta_{13}, \eta_{14}, \eta_{15}) = 0.95$$

## 9 ZAKLJUČEK

Skozi delo na projektu, ki sem ga obravnaval v diplomski nalogi, sem se podrobno in celovito seznanil z dimenzioniranjem aluminijastih konstrukcij. Kljub temu, da se v gradbeništvu aluminij za nosilne konstrukcije, ne uporablja tako pogosto kot jeklo, je standard za aluminij zadosten vir informacij za dimenzioniranje aluminijastih elementov. Na spletu je na voljo tudi nekaj računskih primerov za dimenzioniranje v skladu s standardom. S pomočjo le-teh je bilo mogoče razjasniti nekatere manjše netočnosti v standardu. V prihodnosti bo aluminij vedno bolj zanimiv za uporabo v gradbeništvu, predvsem zaradi dobrega razmerja med težo in nosilnostjo ter možnosti recikliranja po koncu uporabe (reciklira se skoraj 90% vsega proizvedenega aluminija).

Dimenzioniranje je izvedeno za štiri skupine elementov. V postopku dimenzioniranja se je izkazala potreba po dodatni pozornosti pri obravnavi območja toplotnega vpliva, ki nastaja ob zvarih. Ker tega dejavnika pri jeklu ni potrebno upoštevati, se ga lahko hitro spregleda pri dimenzioniranju aluminija. Zato je potrebno že v naprej misliti tudi na to, kako in na kakšen način bodo izvedeni spoji, saj lokacija zvarov močno vpliva na nosilnost in stabilnost celotnega elementa. Podobno kot pri načrtovanju jeklenih konstrukcij, je tudi pri načrtovanju aluminijastih konstrukcij večinoma najbolj kritična stabilnost elementov, zaradi uporabe izredno vitkih elementov.

V diplomski nalogi je na kratko povzet tudi veljavni Evrokod standard SIST EN 1999-1-1. Predstavitev standarda je zasnovan kot uvod za uporabo standarda in lahko služi kot priročnik neizkušenemu uporabniku. Povzetek podrobno obravnava izbiro ustrezne aluminijeve zlitine in lastnosti različnih zlitin, povzema posebnosti pri kategorizaciji prerezov in že zgoraj omenjeno oslabitev prereza zaradi območja toplotnega vpliva v okolici zvarov. Vključen pa je tudi dodatek k standardu, ki govori o protikorozijski zaščiti konstrukcije in spojev.

Med izdelavo projekta je bilo potrebno rešiti mnogo specifičnih problemov. Vse težave so se sprva zdele nepremostljive vendar, jih je bilo z dosledno uporabo znanja pridobljenega med študijem in z nasveti mentorjev, možno razrešiti. Tako sem se naučil uporabljati svoje znanje tudi izven običajnih okvirjev gradbeništva. Z delom na tem projektu sem si tako pridobil vrsto izkušenj, ki jih bom še velikokrat lahko uporabil.



*Slika 49: Objekt na pozicij po zaključenem dvigu*

**VIRI**

Aluminium in constructions. 2012.

<http://www.aluminiumleader.com/en/around/construction/> (Pridobljeno 05.03.2012)

DNV Rules for the Planning and Execution of Marine Operations:1996.

Gitter, R. 2008. Design of Aluminium structures: Selection of structural alloys. Dusseldorf, GDA.

[http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/EN1999\\_4\\_Gitter.pdf](http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/EN1999_4_Gitter.pdf) (Pridobljeno 5. 3. 2012.)

Google Maps. 2012.

<http://g.co/maps/s9xcy> (Pridobljeno 5. 3. 2012.)

ISO 12494:2001(E). Atmospheric icing of structures.

NS-EN 1990:2002+NA:2008. Eurocode - Basis of structural design.

NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008. Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings.

NS-EN 1991-1-3:2003+NA:2008. Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads.

NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009. Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions.

NS-EN 1991-1-5:2003+NA:2008. Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-5: General actions - Thermal actions.

NS-EN 1993-1-11:2006+NA:2009. Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-11: Design of structures with tension components.

NS-EN 1999-1-1:2007+A1:2009+NA:2009. Eurocode 9 - Design of aluminium structures - Part 1-1: General structural rules.

SIST EN 1990:2004. Evrokod - Osnove projektiranja konstrukcij (istoveten EN 1990:2000).

SIST EN 1991:2004. Evrokod 1 - Vplivi na konstrukcije – 1-1 del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

SIST EN 1991:2004. Evrokod 1 - Vplivi na konstrukcije – 1-3 del: Splošni vplivi – Obtežba snega.

SIST EN 1991:2005. Evrokod 1 - Vplivi na konstrukcije – 1-4 del: Splošni vplivi – Vplivi vetra.

SIST EN 1993:2005. Evrokod 3 - Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-1 del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1993-3-1:2007. Evrokod 3 - Projektiranje jeklenih konstrukcij – 3-1. del: Stolpi, jambori in dimniki - Stolpi in jambori.

SIST EN 1999-1-1:2007. Evrokod 9 - Projektiranje konstrukcij iz aluminijevih zlitin - 1-1. del: Splošna pravila za konstrukcije

**PRILOGE****PRILOGA A: DIMENZIONIRANJE TIPIČNIH DETAJLOV**

Dimenzioniranje spoja TYP 1.0	A.1
Dimenzioniranje spoja TYP 2.0 roof	A.2
Dimenzioniranje podpore TYP 4.1	A.3

**PRILOGA B: NAČRTI KONSTRUKCIJE MOSTU**

Načrt tlorisov in prerezov celotne mostne konstrukcije	B.1
Načrt pozicije in označitev tipičnih spojev	B.2
Načrt konfiguracije za dvig	B.3

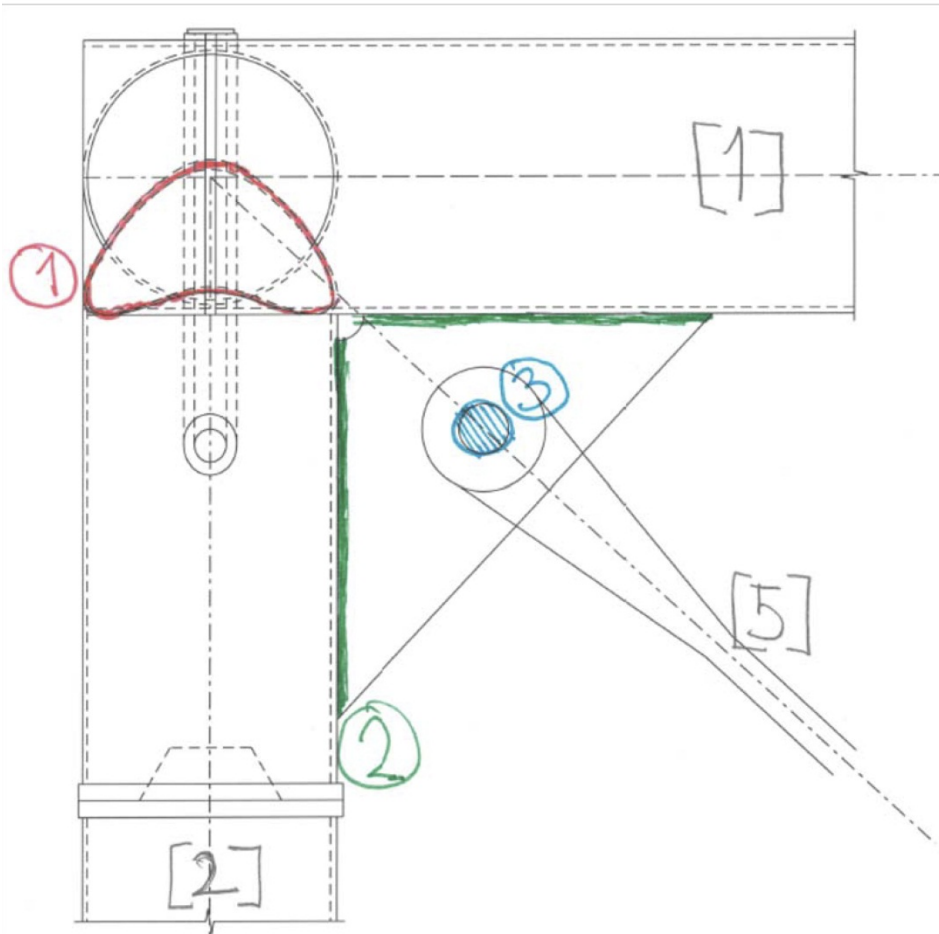
**PRILOGA C: NAČRTI TIPIČNIH DETAJLOV**

Tipični spoj 1.1	C.1
Tipični spoj 1.2	C.2
Tipični spoj 2.x	C.3
Tipični spoj 3.x	C.4
Tipični spoj 4.2 – pomična podpora	C.5

## TYP 1.0 verticals

### Description:

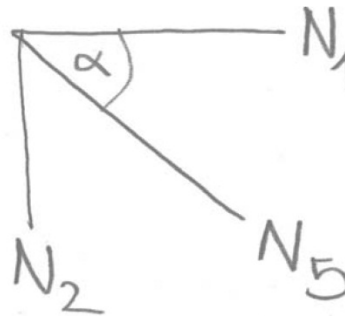
036 Sabetjohk - Connection of verticals to upper girt



### Input:

Material EN AW-6082 T651 12.5mm < t ≤ 100mm	$f_{o.50mm} := 240 \text{ MPa}$	$f_{u.50mm} := 290 \text{ MPa}$	$A_{\text{minElongation}} := 10\%$ (Tab3.2b)
	$\rho_{o.haz.50mm} := 0.48$	$\rho_{u.haz.50mm} := 0.60$	BC := A $n_p := 25$
Material EN AW-6082 T6 5mm < t ≤ 15mm	$f_{o.15mm} := 260 \text{ MPa}$	$f_{u.15mm} := 310 \text{ MPa}$	$A_{\text{minElongation}} := 10\%$ (Tab3.2b)
	$\rho_{o.haz.15mm} := 0.48$	$\rho_{u.haz.15mm} := 0.60$	BC := A $n_p := 25$
Material EN AW-6082 T6 t ≤ 5mm	$f_{o.5mm} := 250 \text{ MPa}$	$f_{u.5mm} := 290 \text{ MPa}$	$A_{2,\text{minElongation}} := 8\%$ (Tab3.2b)
	$\rho_{o.haz.5mm} := 0.50$	$\rho_{u.haz.5mm} := 0.64$	BC := A $n_{2,p} := 32$
	$f_{o.haz} := 125 \text{ MPa}$	$f_{u.haz} := 185 \text{ MPa}$	$f_w := 210 \text{ MPa}$ (Tab8.8)
	E := 70000 MPa	G := 27000 MPa	$\nu := 0.3$ (3.2.5)

	$\alpha_T := 23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$	$\rho := 2700 \frac{kg}{m^3}$	
girt tube dimesions [1]	$D_1 := 260mm$	$t_1 := 6mm$	
vertical tube dimesions [2]	$D_2 := 240mm$	$t_2 := 4mm$	
partial factor for joints	$\gamma_{Mw} := 1.25$		(Tab8.1)
	$\gamma_{M1} := 1.10$		
	$\gamma_{M2} := 1.25$		
	$\gamma_{Ms.ser} := 1.1$		
	$\gamma_{Mp} := 1.25$		
	$\gamma_{Mp.ser} := 1.0$		
Material propertis of pin	$f_{u.pin} := 800MPa$	$f_{o.pin} := 690MPa$	
pin dimensions POS 3	$d_{pin} := 45mm$	$d_{pin.0} := 47mm$	$a_{pin} := 55mm$
dimensions of plate POS 3	$t_{p.3} := 35mm$	$L_{p.3} := 383mm$	
weld propertis POS 2	$a_{w.2} := 4mm$	$L_{w.2} := L_{p.3}$	$\min(8 \cdot a_{w.2}, 30mm) < L_{w.2} = 1$
design normal force [2]	$N_{2.Ed} := -296.16kN$		
design shear force [2]	$V_{2.Ed} := 1.3kN$		
design moment [2]	$M_{2.Ed} := 4.11kNm$		
design normal force in tie [5]	$N_{5.Ed} := 360.3kN$		
servicibility normal force [2]	$N_{2.E.SLS} := -204.9kN$		
servicibility shear force [2]	$V_{2.E.SLS} := 0.8kN$		
servicibility moment [2]	$M_{2.E.SLS} := 3.03kNm$		
angle between [1] and [5]	$\alpha := 42.6deg$		



### Analysis

$$A_p := \frac{\pi \cdot d_{pin}^2}{4} = 1590 \cdot mm^2$$

cross section area of a pin

$$A_1 := \frac{\pi}{4} [D_1^2 - (D_1 - 2t_1)^2] = 4.788 \times 10^3 \cdot mm^2$$

area of upper girt tube



$$W_{1,el} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{[D_1^4 - (D_1 - 2t_1)^4]}{D_1} = 297.174 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

$$A_2 := \frac{\pi}{4} [D_2^2 - (D_2 - 2t_2)^2] = 2.966 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{area of upper bracing tube}$$

$$W_{2,el} := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{[D_2^4 - (D_2 - 2t_2)^4]}{D_2} = 172.107 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$$

### Position 1:

$$A_{2,w} := A_2$$

$$W_{2,w} := W_{2,el}$$

$$\sigma_{2,Ed} := \frac{N_{2,Ed}}{A_{2,w}} - \left| \frac{M_{2,Ed}}{W_{2,w}} \right| = -123.7 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{2,Ed} := \frac{V_{2,Ed}}{A_{2,w}} = 0.4 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{2,haz,Ed} := \frac{N_{2,Ed}}{A_{2,w}} - \left| \frac{M_{2,Ed}}{W_{2,w}} \right| = -123.7 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{2,haz,Ed} := \frac{V_{2,Ed}}{A_{2,w}} = 0.4 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Design of butt welds

$$\eta_1 := \frac{\sqrt{\sigma_{2,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{2,Ed}^2}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.74 \quad (8.31)$$

$$\eta_2 := \frac{\sqrt{\sigma_{2,haz,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{2,haz,Ed}^2}}{\frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}} = 0.84 \quad (8.42)$$

### Position 2:

$$L_{w,2,eff} := \begin{cases} L_{w,2} & \text{if } L_{w,2} \leq 100 \cdot a_{w,2} \\ \left[ \left( 1.2 - 0.2 \cdot \frac{L_{w,2}}{100 \cdot a_{w,2}} \right) \cdot L_{w,2} \right] & \text{otherwise} \end{cases} = 383 \cdot \text{mm} \quad (8.32)$$

$$\sigma_{2,perpendicular,Ed} := 0 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{2,perpendicular,Ed} := 0 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{2,\text{parallel.Ed}} := \frac{N_{5,\text{Ed}} \cdot \sin(\alpha)}{2a_{w,2} \cdot L_{w,2,\text{eff}}} = 79.6 \cdot \text{MPa}$$

$$N_{5,\text{Ed}} \cdot \sin(\alpha) = 243.878 \cdot \text{kN}$$

$$\sigma_{2,\text{haz.perpendicular.Ed}} := 0 \text{MPa}$$

$$N_{5,\text{Ed}} \cdot \cos(\alpha) = 265.216 \cdot \text{kN}$$

$$\tau_{2,\text{haz.parallel.Ed}} := \frac{N_{5,\text{Ed}} \cdot \sin(\alpha)}{2t_2 \cdot L_{w,2}} = 79.6 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Design of fillet welds

$$\eta_3 := \frac{\sqrt{\sigma_{2,\text{perpendicular.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{2,\text{perpendicular.Ed}}^2 + \tau_{2,\text{parallel.Ed}}^2)}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.82 \quad (8.33)$$

$$\eta_4 := \frac{\sqrt{\sigma_{2,\text{haz.perpendicular.Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{2,\text{haz.parallel.Ed}}^2}}{\frac{f_{u,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}}} = 0.93 \quad (8.43)$$

### Position 3:

$$F_{5,\text{Ed}} := N_{5,\text{Ed}} = 360.3 \cdot \text{kN}$$

### NS EN 1999-1-1 8.5.14.2 Pin holes and pin plates

$$a_{\text{min}} := \frac{F_{5,\text{Ed}} \cdot \gamma_{M1}}{2 \cdot t_{p,3} \cdot f_{o,50\text{mm}}} + \frac{2 \cdot d_{\text{pin},0}}{3} = 55 \cdot \text{mm} \quad (\text{Fig8.12})$$

$$c_{\text{min}} := \frac{F_{5,\text{Ed}} \cdot \gamma_{M1}}{2 \cdot t_{p,3} \cdot f_{o,50\text{mm}}} + \frac{d_{\text{pin},0}}{3} = 39 \cdot \text{mm} \quad (\text{Fig8.12})$$

$$a := \max(a_{\text{min}}, a_{\text{pin}}) = 55 \cdot \text{mm}$$

### NS EN 1999-1-1 8.5.14.3 Design of pins

$$F_{5,\text{v.Rd}} := \frac{0.6 \cdot A_p \cdot f_{u,\text{pin}}}{\gamma_{Mp}} \quad \text{shear of the pin} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$\eta_5 := \frac{F_{5,\text{Ed}}}{F_{5,\text{v.Rd}}} = 0.59 \quad (\text{Tab8.7})$$

$$f_{o,\text{min}} := \min(f_{o,50\text{mm}}, f_{o,\text{pin}}) = 240 \cdot \text{MPa} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$F_{5,\text{b.Rd}} := \frac{1.5 \cdot t_{p,3} \cdot d_{\text{pin}} \cdot f_{o,\text{min}}}{\gamma_{M1}} = 515.5 \cdot \text{kN} \quad \text{bearing of the plate in pin connection} \quad (\text{Tab8.7})$$

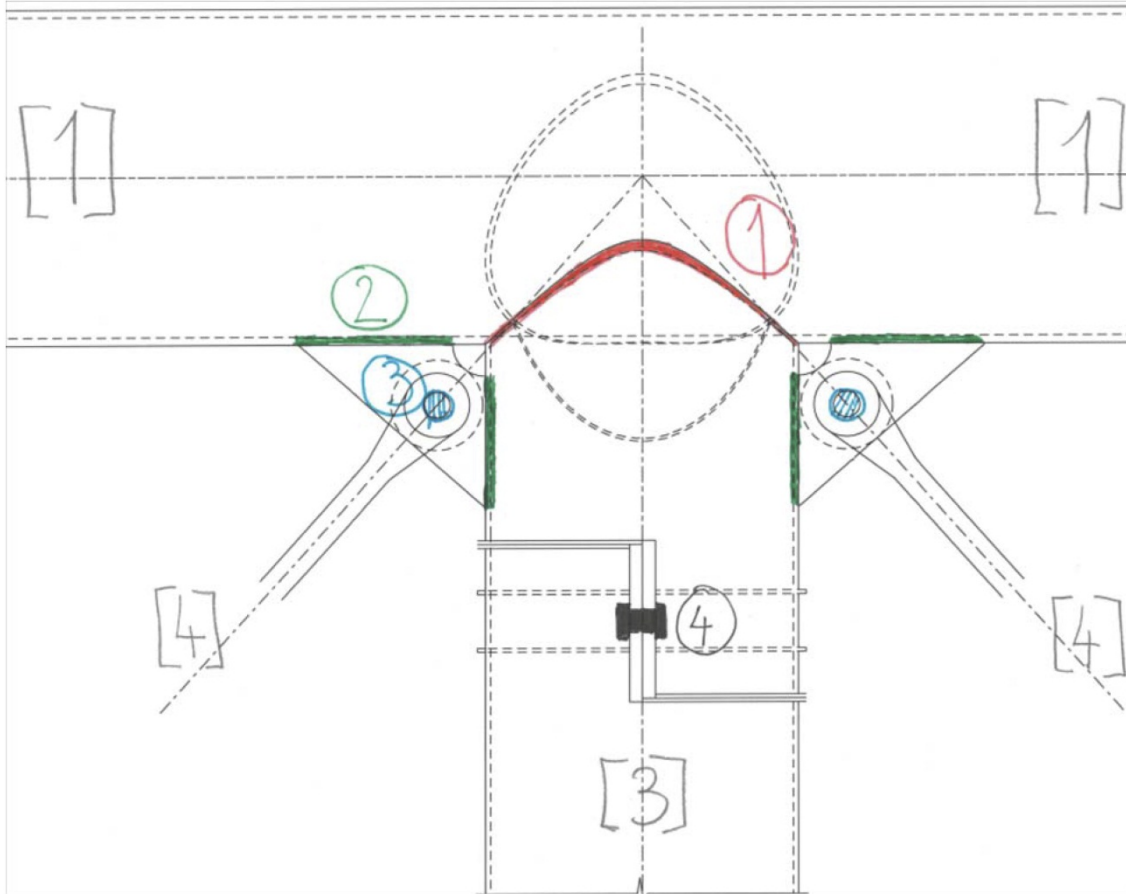
$$\eta_6 := \frac{F_{5,\text{Ed}}}{F_{5,\text{b.Rd}}} = 0.70 \quad (\text{Tab8.7})$$

## TYP 2.0 roof

### Description:

036 Sabetjohk - Connection in the roof

Connecting of the upper bracing to the upper girt and diagonals to the upper girt.



### Input:

Material EN AW-6082 T651  
 $12.5\text{mm} < t \leq 100\text{mm}$

$$f_{o,50\text{mm}} := 240 \cdot \text{MPa} \quad f_{u,50\text{mm}} := 290 \cdot \text{MPa} \quad A_{\text{minElongation}} := 10\% \quad (\text{Tab3.2b})$$

$$\rho_{o,\text{haz},50\text{mm}} := 0.48 \quad \rho_{u,\text{haz},50\text{mm}} := 0.60 \quad \text{BC} := \text{A} \quad n_p := 21$$

Material EN AW-6082 T6  
 $5\text{mm} < t \leq 15\text{mm}$

$$f_{o,15\text{mm}} := 260 \cdot \text{MPa} \quad f_{u,15\text{mm}} := 310 \cdot \text{MPa} \quad A_{\text{minElongation}} := 10\% \quad (\text{Tab3.2b})$$

$$\rho_{o,\text{haz},15\text{mm}} := 0.48 \quad \rho_{u,\text{haz},15\text{mm}} := 0.60 \quad \text{BC} := \text{A} \quad n_{1,p} := 25$$

Material EN AW-6082 T6  
 $t \leq 5\text{mm}$

$$f_{o,5\text{mm}} := 250 \cdot \text{MPa} \quad f_{u,5\text{mm}} := 290 \cdot \text{MPa} \quad A_{2,\text{minElongation}} := 8\% \quad (\text{Tab3.2b})$$

$$\rho_{o,\text{haz},5\text{mm}} := 0.50 \quad \rho_{u,\text{haz},5\text{mm}} := 0.64 \quad \text{BC} := \text{A} \quad n_{2,p} := 32$$

$$f_{o,\text{haz}} := 125 \cdot \text{MPa} \quad f_{u,\text{haz}} := 185 \cdot \text{MPa} \quad f_w := 210 \cdot \text{MPa} \quad (\text{Tab8.8})$$

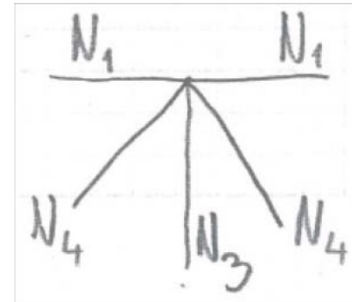
$$E := 70000 \cdot \text{MPa} \quad G := 27000 \cdot \text{MPa} \quad \nu := 0.3 \quad (3.2.5)$$

$$\alpha_T := 23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \quad \rho := 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

upper girt tube dimesions [1]	$D_1 := 260\text{mm}$	$t_1 := 6\text{mm}$	
bracing tube dimesions [3]	$D_3 := 240\text{mm}$	$t_3 := 4\text{mm}$	
partial factor for joints	$\gamma_{Mw} := 1.25$		(Tab8.1)
	$\gamma_{M1} := 1.10$		
	$\gamma_{M2} := 1.25$		
	$\gamma_{Ms,ser} := 1.1$		
	$\gamma_{Mp} := 1.25$		
	$\gamma_{Mp,ser} := 1.0$		
Material property of pin POS 3	$f_{u,pin} := 800\text{MPa}$	$f_{o,pin} := 690\text{MPa}$	
pin dimensions POS 3	$d_{pin} := 19\text{mm}$	$d_{pin,0} := 20\text{mm}$	$a_{pin} := 25\text{mm}$
dimensions of plate POS 3	$t_{p,3} := 15\text{mm}$	$L_{p,3} := 116\text{mm}$	
weld propertis POS 2	$a_{w,2} := 4\text{mm}$	$L_{w,2} := L_{p,3}$	$\min(6 \cdot a_{w,2}, 30\text{mm}) < L_{w,2} = 1$
weld propertis POS 5	$a_{w,5} := 4\text{mm}$	$L_{w,5} := 80\text{mm}$	$\min(6 \cdot a_{w,2}, 30\text{mm}) < L_{w,2} = 1$
Material propertis of bolts	$f_{ub} := 800\text{MPa}$	$f_{ob} := 800\text{MPa} \cdot 0.8 = 640 \cdot \text{MPa}$	
bolt dimensions	$d_b := 16\text{mm}$	$A_s := 157\text{mm}^2$	
diameter of bolt head or washers		$d_m := \min(27\text{mm}, 30\text{mm}) = 27 \cdot \text{mm}$	
number of bolts in a row		$n_b := 1$	
number of bolts rows		$m_b := 1$	
factor	$\alpha_v := 0.6$	Shear plane passes through the threaded part: -steel bolts (4.6, 5.6, 8.8) $\alpha_v=0.6$ -steel bolts (4.8, 5.8, 6.8, 10.9), stainless steel bolts and aluminium bolts $\alpha_v=0.5$ Where the shear plane passes through the unthreaded portion of the bolt $\alpha_v=0.6$	(Tab8.5)
factor for tension resistance	$k_2 := 0.9$	steel bolts $k_2=0.9$ aluminium bolts $k_2=0.5$ countersunk steel bolts $k_2=0.63$	(Tab8.5)
number of shear planes in the threaded portion of the bolt		$n_s := 1$	

dimensions of plate for bolted connection POS 4  $t_{p,4} := 10\text{mm}$   $b_4 := D_3 = 240\text{mm}$   
 slip factor of treated friction surfaces  $\mu := 0.63$  (Tab8.6)

design normal force  $N_{3.Ed} := -24.6\text{kN}$   
 design shear force  $V_{3.Ed} := 1.15\text{kN}$   
 design moment  $M_{3.Ed} := 0\text{kN}$   
 design normal force  $N_{4.Ed} := 43.0\text{kN}$   
 serviceability normal force  $N_{3.E.SLS} := -16.23\text{kN}$   
 serviceability shear force  $V_{3.E.SLS} := 1\text{kN}$   
 serviceability moment  $M_{3.E.SLS} := 0\text{kN}$



**Analysis**

$$A_p := \frac{\pi \cdot d_{pin}^2}{4} = 284 \cdot \text{mm}^2$$

cross section area of a pin

$$\Delta d := \begin{cases} 2\text{mm} & \text{if } 16\text{mm} \leq d_b \leq 24\text{mm} = 2 \cdot \text{mm} \\ 3\text{mm} & \text{if } d_b > 24\text{mm} \\ 1\text{mm} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_0 := d_b + \Delta d = 18\text{mm}$$

hole diameter

$$A_b := \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} = 201 \cdot \text{mm}^2$$

bolt area

$$A_b := \min(A_s, A_b) = 157 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{net} := (b_4 - m_b \cdot d_0) \cdot t_{p,4} = 2220 \cdot \text{mm}^2$$

area of section at bolt holes

**Position 1:**

$$A_{3,w} := \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} - \frac{\pi \cdot (D_3 - 2t_3)^2}{4} = 2966 \cdot \text{mm}^2$$

$$\sigma_{3.Ed} := \frac{N_{3.Ed}}{A_{3,w}} = -8.3 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{3.Ed} := \frac{V_{3.Ed}}{A_{3,w}} = 0.4 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{3.haz.Ed} := \frac{N_{3.Ed}}{A_{3,w}} = -8.3 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{3,\text{haz.Ed}} := \frac{V_{3,\text{Ed}}}{A_{3,\text{w}}} = 0.4 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Design of butt welds

$$\eta_1 := \frac{\sqrt{\sigma_{3,\text{Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{3,\text{Ed}}^2}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.05 \quad (8.31)$$

$$\eta_2 := \frac{\sqrt{\sigma_{3,\text{haz.Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{3,\text{haz.Ed}}^2}}{\frac{f_{u,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}}} = 0.06 \quad (8.42)$$

### Position 2:

$$L_{w,2,\text{eff}} := \begin{cases} L_{w,2} & \text{if } L_{w,2} \leq 100 \cdot a_{w,2} \\ \left[ \left( 1.2 - 0.2 \cdot \frac{L_{w,2}}{100 \cdot a_{w,2}} \right) \cdot L_{w,2} \right] & \text{otherwise} \end{cases} = 116 \cdot \text{mm} \quad (8.32)$$

$$\sigma_{4,\text{perpendicular.Ed}} := 0 \text{MPa}$$

$$\tau_{4,\text{perpendicular.Ed}} := 0 \text{MPa}$$

$$\tau_{4,\text{parallel.Ed}} := \frac{N_{4,\text{Ed}}}{2 \cdot a_{w,2} \cdot L_{w,2,\text{eff}} \cdot \sqrt{2}} = 32.8 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{4,\text{haz.perpendicular.Ed}} := 0 \text{MPa}$$

$$\tau_{4,\text{haz.parallel.Ed}} := \frac{N_{4,\text{Ed}}}{2 \cdot t_3 \cdot L_{w,2} \cdot \sqrt{2}} = 32.8 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Design of fillet welds

$$\eta_3 := \frac{\sqrt{\sigma_{4,\text{perpendicular.Ed}}^2 + 3 \cdot \left( \tau_{4,\text{perpendicular.Ed}}^2 + \tau_{4,\text{parallel.Ed}}^2 \right)}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.34 \quad (8.33)$$

$$\eta_4 := \frac{\sqrt{\sigma_{4,\text{haz.perpendicular.Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{4,\text{haz.parallel.Ed}}^2}}{\frac{f_{u,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}}} = 0.38 \quad (8.43)$$

### Position 3:

$$F_{4.Ed} := N_{4.Ed} = 43.0 \cdot \text{kN}$$

#### NS EN 1999-1-1 8.5.14.2 Pin holes and pin plates

$$a_{\min} := \frac{F_{4.Ed} \cdot \gamma_{M1}}{2 \cdot t_{p.4} \cdot f_{o.50\text{mm}}} + \frac{2 \cdot d_{\text{pin.0}}}{3} = 23 \cdot \text{mm} \quad (\text{Fig8.12})$$

$$c_{\min} := \frac{F_{4.Ed} \cdot \gamma_{M1}}{2 \cdot t_{p.4} \cdot f_{o.50\text{mm}}} + \frac{d_{\text{pin.0}}}{3} = 17 \cdot \text{mm} \quad (\text{Fig8.12})$$

$$a := \max(a_{\min}, a_{\text{pin}}) = 25 \cdot \text{mm}$$

#### NS EN 1999-1-1 8.5.14.3 Design of pins

$$F_{v.Rd} := \frac{0.6 \cdot A_p \cdot f_{u,\text{pin}}}{\gamma_{Mp}} \quad \text{shear of the pin} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$\eta_5 := \frac{F_{4.Ed}}{F_{v.Rd}} = 0.39 \quad (\text{Tab8.7})$$

$$f_{o,\min} := \min(f_{o.50\text{mm}}, f_{o,\text{pin}}) = 240 \cdot \text{MPa} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$F_{b.Rd} := \frac{1.5 \cdot t_{p.4} \cdot d_{\text{pin}} \cdot f_{o,\min}}{\gamma_{M1}} = 62.2 \cdot \text{kN} \quad \text{bearing of the plate in pin connection} \quad (\text{Tab8.7})$$

$$\eta_6 := \frac{F_{4.Ed}}{F_{b.Rd}} = 0.69 \quad (\text{Tab8.7})$$

### Position 4:

$$F_{3.v.Ed} := \left| \frac{N_{3.Ed}}{n_b \cdot m_b} \right| = 24.6 \cdot \text{kN}$$

$$F_{3.t.Ed} := \frac{V_{3.Ed}}{n_b \cdot m_b} = 1.2 \cdot \text{kN}$$

$$F_{3.v.Ed.ser} := \left| \frac{N_{3.E.SLS}}{n_b \cdot m_b} \right| = 16.2 \cdot \text{kN}$$

$$F_{3.t.Ed.ser} := \frac{V_{3.E.SLS}}{n_b \cdot m_b} = 1.0 \cdot \text{kN}$$

#### NS EN 1999-1-1 8.5.1 Positioning of holes for bolts and rivets

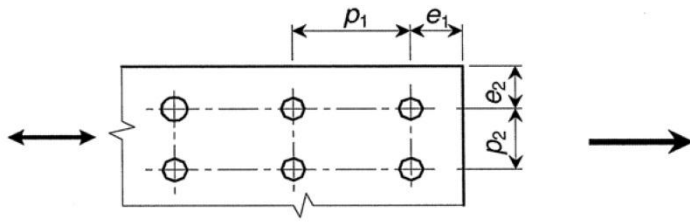


Figure 8.1 - Symbols for spacing of fasteners

(Tab8.2)

$$\begin{aligned}
 e_{1,\min} &:= 1.2 \cdot d_0 = 22 \cdot \text{mm} & e_{1,\text{reg}} &:= 2 \cdot d_0 = 36 \cdot \text{mm} & e_{1,\max} &:= 4 \cdot t_{p,3} + 40 \text{mm} = 100 \cdot \text{mm} \\
 e_{2,\min} &:= 1.2 \cdot d_0 = 22 \cdot \text{mm} & e_{2,\text{reg}} &:= 1.5 \cdot d_0 = 27 \cdot \text{mm} & e_{2,\max} &:= 4 \cdot t_{p,3} + 40 \text{mm} = 100 \cdot \text{mm} \\
 p_{1,\min} &:= 2.2 \cdot d_0 = 40 \cdot \text{mm} & p_{1,\text{reg}} &:= 2.5 \cdot d_0 = 45 \cdot \text{mm} & p_{1,\max} &:= \min(14t_{p,3}, 200 \text{mm}) \\
 p_{2,\min} &:= 2.4 \cdot d_0 = 43 \cdot \text{mm} & p_{2,\text{reg}} &:= 3.0 \cdot d_0 = 54 \cdot \text{mm} & p_{2,\max} &:= \min(14t_{p,3}, 200 \text{mm}) \\
 e_1 &:= e_{1,\text{reg}} = 36 \cdot \text{mm} & p_1 &:= p_{1,\text{reg}} = 45 \cdot \text{mm} \\
 e_2 &:= \frac{b_4}{2} = 120 \cdot \text{mm} & p_2 &:= p_{2,\text{reg}} = 54 \cdot \text{mm} \\
 L_j &:= (n_b - 1) \cdot p_1 = 0 \cdot \text{mm} & & & & \text{distance between the centers of the end fasteners}
 \end{aligned}$$

$$\beta_{Lf} := \min\left(\max\left(1 - \frac{L_j - 15 \cdot d_b}{200 d_b}, 0.75\right), 1\right) = 1 \quad (8.25)$$

### NS EN 1999-1-1 8.5.2.2 Design for block tearing resistance

$$A_{3,\text{nt}} := (m_b - 1) \cdot p_2 \cdot t_{p,3} = 0 \cdot \text{mm}^2 \quad (8.1)$$

$$A_{3,\text{nv}} := t_{p,3} \cdot [(n_b - 1) \cdot p_1 + e_1] = 540 \cdot \text{mm}^2 \quad (8.1)$$

$$V_{\text{eff},3,\text{Rd}} := \frac{f_{u,50\text{mm}} \cdot A_{3,\text{nt}}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_{o,50\text{mm}} \cdot A_{3,\text{nv}}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = 68.0 \cdot \text{kN} \quad (8.1)$$

$$\eta_7 := \frac{F_{3,v,\text{Ed}}}{V_{\text{eff},3,\text{Rd}}} = 0.36$$

### NS EN 1999-1-1 8.5.5 Design resistances of bolts

$$F_{3,v,\text{Rd}} := \beta_{Lf} \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = 60.3 \cdot \text{kN} \quad \text{design shear resistance per bolt} \quad (8.9)$$

$$\eta_8 := \frac{F_{3,v,\text{Ed}}}{F_{3,v,\text{Rd}}} = 0.41 \quad (8.4)$$



$$\alpha_d := \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}, \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}\right) = 0.583 \quad \text{end bolts/inner bolts} \quad (8.13)$$

$$\alpha_b := \min\left(\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_{u.15mm}}, 1.0\right) = 0.583 \quad (8.12)$$

$$k_1 := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right) = 2.5 \quad (8.15)$$

$$F_{3.b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{u.50mm} \cdot d_b \cdot t_{p.3}}{\gamma_{M2}} = 81.2 \cdot \text{kN} \quad \text{design bearing resistance per bolt} \quad (8.11)$$

$$\eta_9 := \frac{F_{3.v.Ed}}{F_{3.b.Rd}} = 0.30 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$N_{3.net.Rd} := \frac{0.9 A_{net} \cdot f_{u.50mm}}{\gamma_{M2}} = 463.5 \cdot \text{kN} \quad \text{design resistance of sections at bolt holes} \quad (8.6)$$

$$\eta_{10} := \frac{n_b \cdot m_b \cdot F_{3.v.Ed}}{N_{3.net.Rd}} = 0.05 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$N_{3.net.Rd.ser} := \frac{A_{net} \cdot f_{o.50mm}}{\gamma_{M1}} = 484.4 \cdot \text{kN} \quad \text{resistance of sections at bolt holes} \quad (\text{Tab8.4})$$

$$\eta_{11} := \frac{n_b \cdot m_b \cdot F_{3.v.Ed.ser}}{N_{3.net.Rd.ser}} = 0.03 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$F_{3.t.Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 90.4 \cdot \text{kN} \quad \text{design tension resistance per bolt} \quad (8.17)$$

$$\eta_{12} := \frac{F_{3.t.Ed}}{F_{3.t.Rd}} = 0.01 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$B_{3.p.Rd} := \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_{p.3} \cdot f_{u.50mm}}{\gamma_{M2}} = 177.1 \cdot \text{kN} \quad \text{tension resistance of a bolt-plate assembly}$$

$$\eta_{13} := \frac{F_{3.t.Ed}}{B_{3.p.Rd}} = 0.01 \quad (\text{Tab8.4})$$

$$\eta_{14} := \frac{F_{3.v.Ed}}{F_{3.v.Rd}} + \frac{F_{3.t.Ed}}{1.4 \cdot F_{3.t.Rd}} = 0.42 \quad (8.20)$$

### **NS-EN 1999-1-1 8.5.9 High strength bolts in slip-resistant connections**

$$\gamma_{Ms} := \gamma_{Ms.ser} \quad \text{partial safety factor for slip resistance}$$

$$F_{p.C} := 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 87.92 \cdot \text{kN} \quad \text{preloading force} \quad (8.22)$$

$$F_{s,Rd,ser} := \frac{n_s \cdot \mu \cdot F_{p,C}}{\gamma_{Ms}} = 50.4 \cdot \text{kN} \quad (8.21)$$

$$F_{s,Rd,ser} := \frac{n_s \cdot \mu \cdot (F_{p,C} - 0.8 \cdot F_{3,t,Ed,ser})}{\gamma_{Ms}} = 49.9 \cdot \text{kN} \quad \text{design slip resistance per one bolt} \quad (8.23)$$

$$\eta_{15} := \frac{F_{3,v,Ed,ser}}{F_{s,Rd,ser}} = 0.33 \quad (\text{Tab8.4})$$

### Position 5:

$$L_{w,5,eff} := \begin{cases} L_{w,5} & \text{if } L_{w,5} \leq 100 \cdot a_{w,5} \\ \left[ \left( 1.2 - 0.2 \cdot \frac{L_{w,5}}{100 \cdot a_{w,5}} \right) \cdot L_{w,5} \right] & \text{otherwise} \end{cases} = 80 \cdot \text{mm} \quad (8.32)$$

$$\sigma_{5,perpendicular,Ed} := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{5,perpendicular,Ed} := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{5,parallel,Ed} := \frac{N_{3,Ed}}{2a_{w,5} \cdot L_{w,5,eff}} = -38.4 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{5,haz,perpendicular,Ed} := 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{5,haz,parallel,Ed} := \frac{N_{3,Ed}}{2t_3 \cdot L_{w,5}} = -38.4 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Design of fillet welds

$$\eta_{16} := \frac{\sqrt{\sigma_{5,perpendicular,Ed}^2 + 3 \cdot (\tau_{5,perpendicular,Ed}^2 + \tau_{5,parallel,Ed}^2)}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 0.40 \quad (8.33)$$

$$\eta_{17} := \frac{\sqrt{\sigma_{5,haz,perpendicular,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{5,haz,parallel,Ed}^2}}{\frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}} = 0.45 \quad (8.43)$$

$$\eta := \max(\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6, \eta_7, \eta_8, \eta_9, \eta_{10}, \eta_{12}, \eta_{13}, \eta_{14}, \eta_{15}, \eta_{16}, \eta_{17}) = 0.69$$

## TYP 4.1

### Description:

036 Sabetjohk - Fixed bridge support

### Input:

Material EN AW-6082 T651  $f_{o.50mm} := 240 \text{ MPa}$   $f_{u.50mm} := 290 \text{ MPa}$   $A_{\text{minElongation}} := 10\%$  (Tab3.2b)  
 $12.5 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$

$\rho_{o.haz.50mm} := 0.48$   $\rho_{u.haz.50mm} := 0.60$   $BC := A$   $n_p := 25$

$f_{o.haz} := 125 \text{ MPa}$   $f_{u.haz} := 185 \text{ MPa}$   $f_w := 210 \text{ MPa}$  (Tab8.8)

$E := 70000 \text{ MPa}$   $G := 27000 \text{ MPa}$   $\nu := 0.3$  (3.2.5)

$\alpha_T := 23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$   $\rho := 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

partial factor for joints  $\gamma_{Mw} := 1.25$  (Tab8.1)

$\gamma_{M1} := 1.10$

$\gamma_{M2} := 1.25$

dimensions of support  $L := 90 \text{ mm}$   $B := 250 \text{ mm}$   $t_1 := 20 \text{ mm}$

weld propertis  $a_2 := 6 \text{ mm}$   $L_{w,2} := B + L$

ground plate dimensions  $L_1 := 250 \text{ mm}$   $t_p := 25 \text{ mm}$   $B_1 := 140 \text{ mm}$

reactions at support  $F_{x.Ed} := 35.3 \text{ kN}$

$F_{y.Ed} := 52 \text{ kN}$

$F_{z.Ed} := -266 \text{ kN}$

moment at weld POS 2  $M_{yy} := 7.7 \text{ kNm}$

### Analysis

$$A_{\text{support}} := t_1 \cdot B + (L - t_1) \cdot t_1 = 6400 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,\text{support}} := \frac{t_1 \cdot B^3 + (L - t_1) \cdot t_1^3}{6 \cdot B} = 2.087 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$$

### Welding of T member on a support plate:

$$L_{w,\text{eff},2} := \begin{cases} L_{w,2} & \text{if } L_{w,2} \leq 100 \cdot a_2 \\ \left[ \left( 1.2 - 0.2 \cdot \frac{L_{w,2}}{100 \cdot a_2} \right) \cdot L_{w,2} \right] & \text{otherwise} \end{cases} = 340 \text{ mm} \quad (8.32)$$

$$s := \frac{a_2}{\sqrt{2}} = 4.2 \cdot \text{mm}$$

$$I_{w,y} := 2 \frac{s \cdot B^3}{12} = 1.105 \times 10^7 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{w,y} := \frac{I_{w,y}}{\frac{B}{2}} = 88388 \cdot \text{mm}^3$$

$$\sigma_{\text{perpendicular.Ed}} := \frac{|F_{z.Ed}|}{2 \cdot a_2 \cdot L_{w,\text{eff}.2} \cdot \sqrt{2}} + \frac{|M_{yy}|}{W_{w,y}} = 133.2 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{\text{perpendicular.Ed}} := \frac{|F_{z.Ed}|}{2 \cdot a_2 \cdot L_{w,\text{eff}.2} \cdot \sqrt{2}} + \frac{|F_{y.Ed}|}{2 \cdot a_2 \cdot L_{w,\text{eff}.2}} = 58.8 \cdot \text{MPa}$$

$$\tau_{\text{parallel.Ed}} := \frac{|F_{x.Ed}|}{2 \cdot a_2 \cdot L_{w,\text{eff}.2}} = 8.7 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{haz.perependicular.Ed}} := \frac{|F_{z.Ed}|}{A_{\text{support}}} + \frac{|M_{yy}|}{W_{w,y}} = 128.7 \cdot \text{MPa}$$

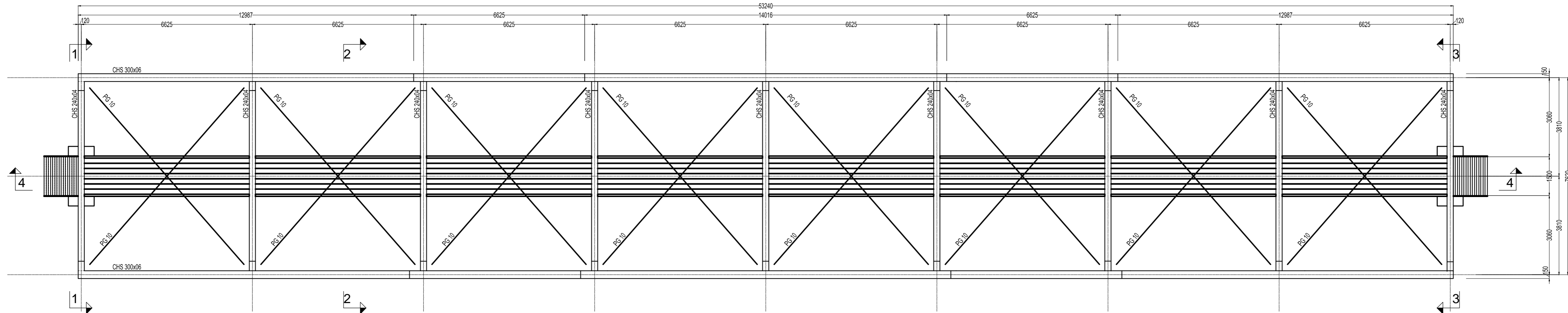
$$\tau_{\text{haz.parallel.Ed}} := \frac{\sqrt{F_{x.Ed}^2 + F_{y.Ed}^2}}{A_{\text{support}}} = 9.8 \cdot \text{MPa}$$

### NS EN 1999-1-1 8.6.3.2 Design of fillet welds

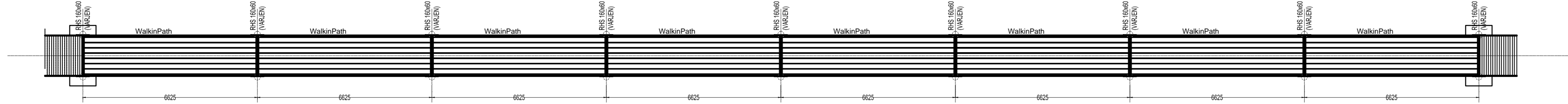
$$\eta_1 := \frac{\sqrt{\sigma_{\text{perpendicular.Ed}}^2 + 3 \cdot (\tau_{\text{perpendicular.Ed}}^2 + \tau_{\text{parallel.Ed}}^2)}}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}} = 1.00 \quad (8.33)$$

$$\eta_2 := \frac{\sqrt{\sigma_{\text{haz.perependicular.Ed}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{haz.parallel.Ed}}^2}}{\frac{f_{u,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}}} = 0.88 \quad (8.43)$$

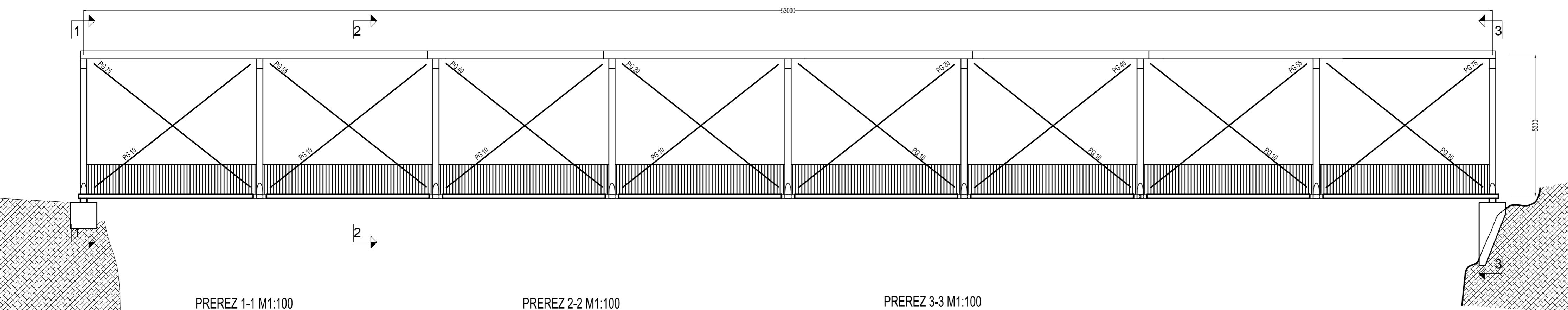
TLORIS +5300 M1:100



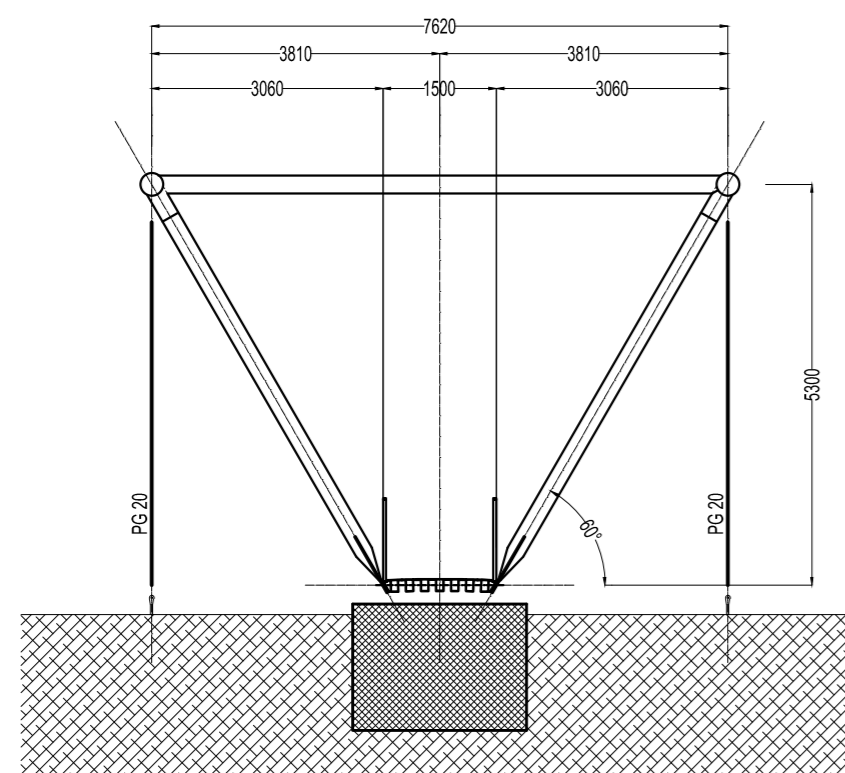
TLORIS ±0.00 M1:100



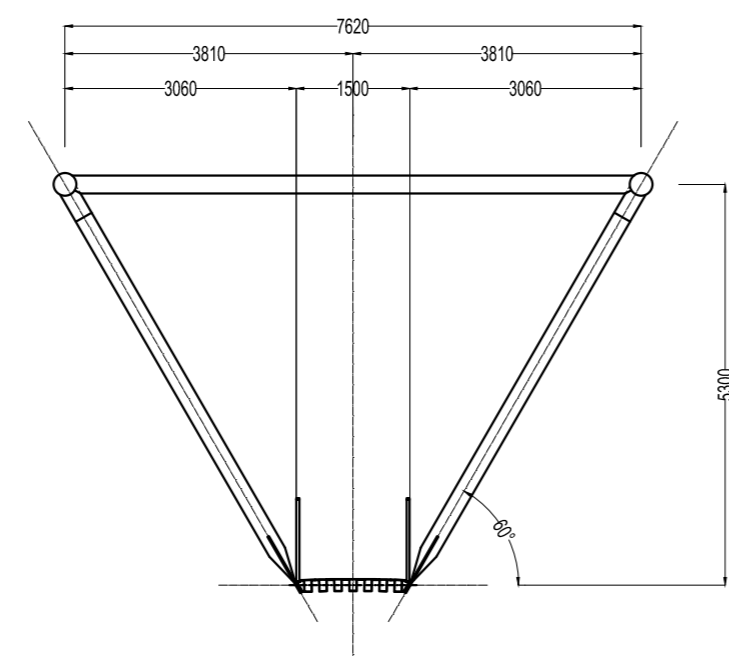
PREREZ 4-4 M1:100



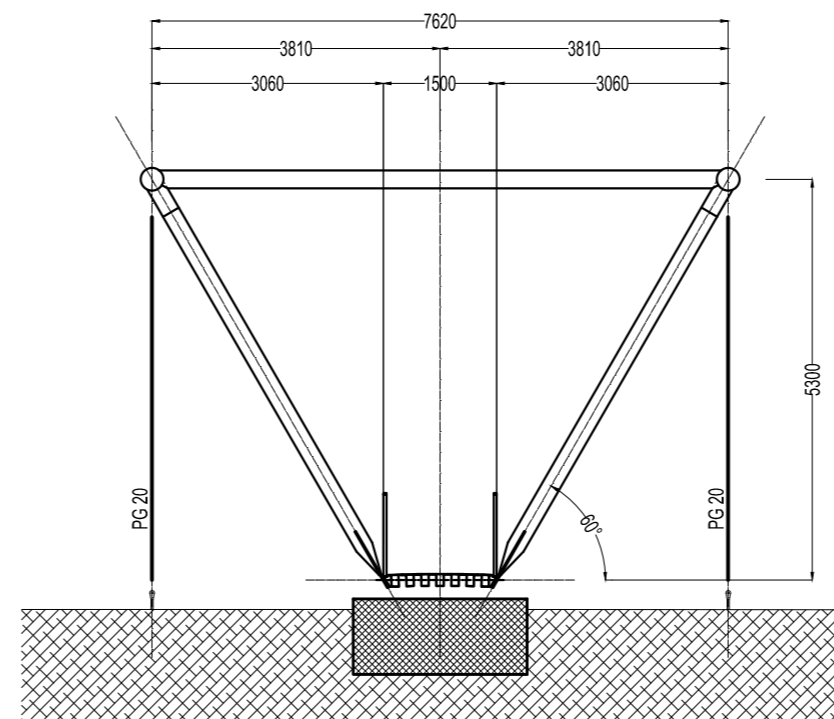
PREREZ 1-1 M1:100





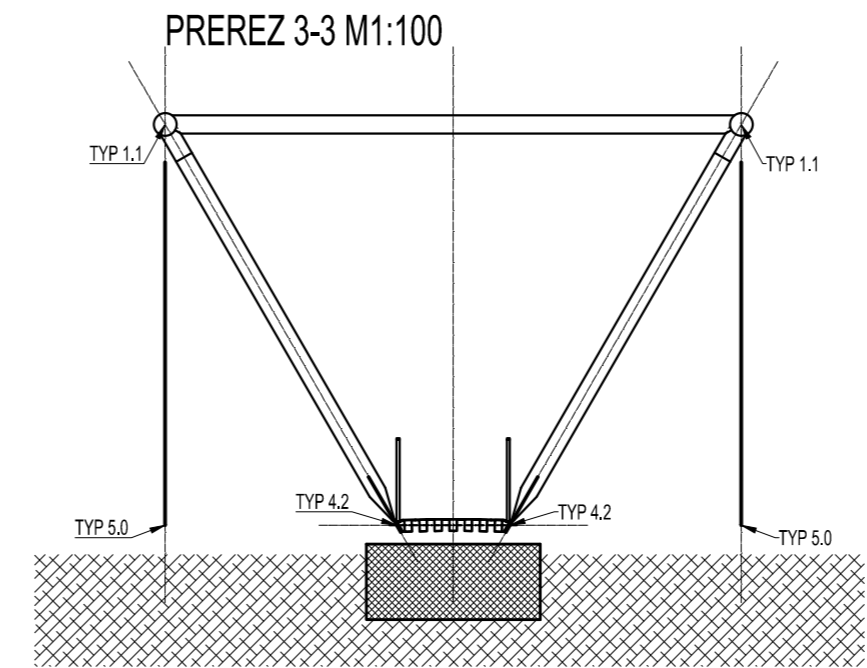
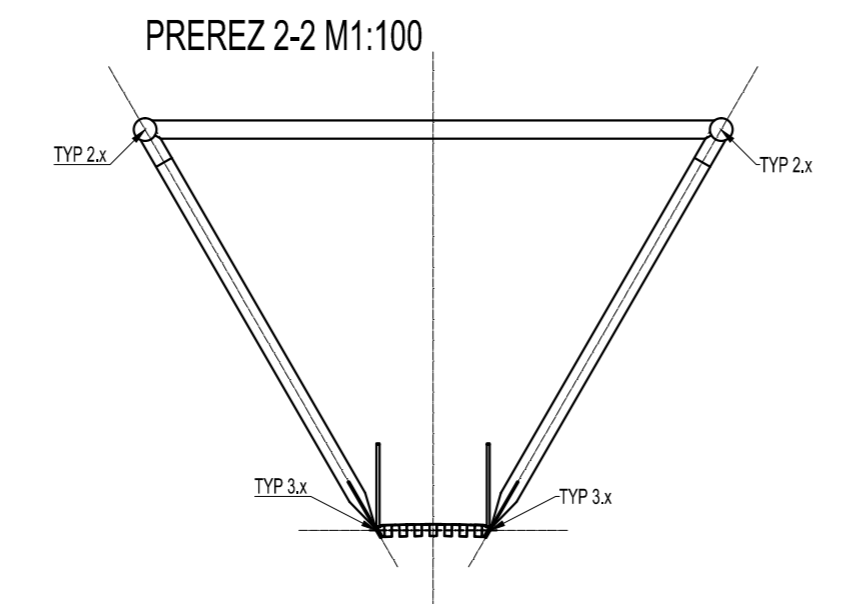
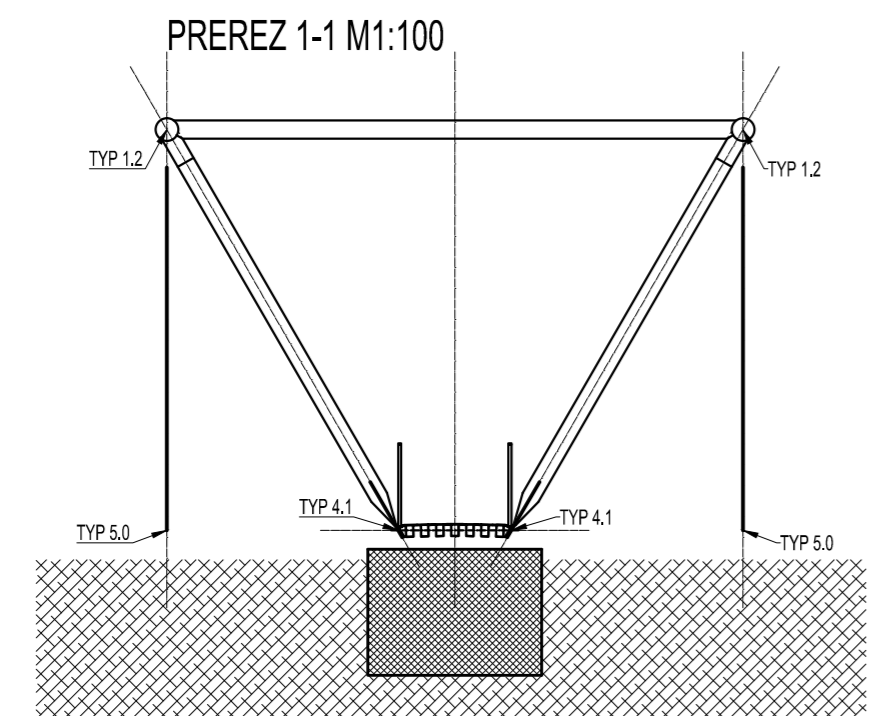
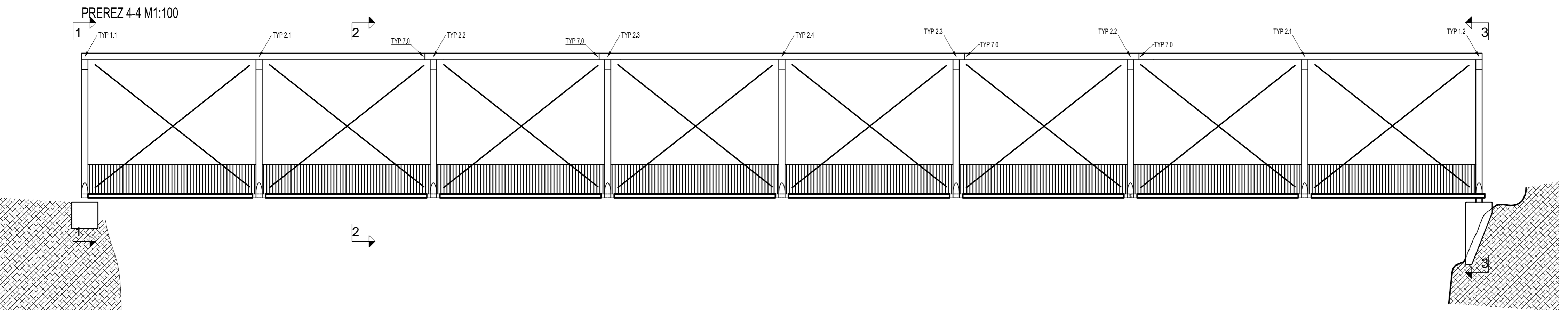
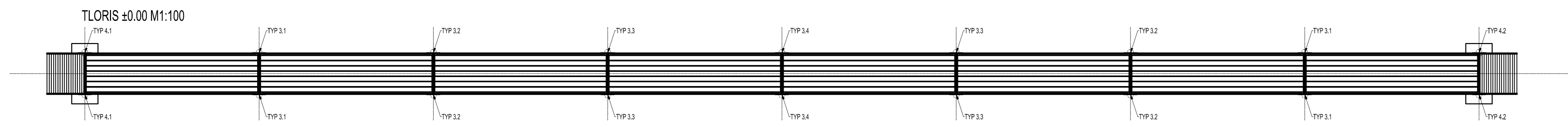
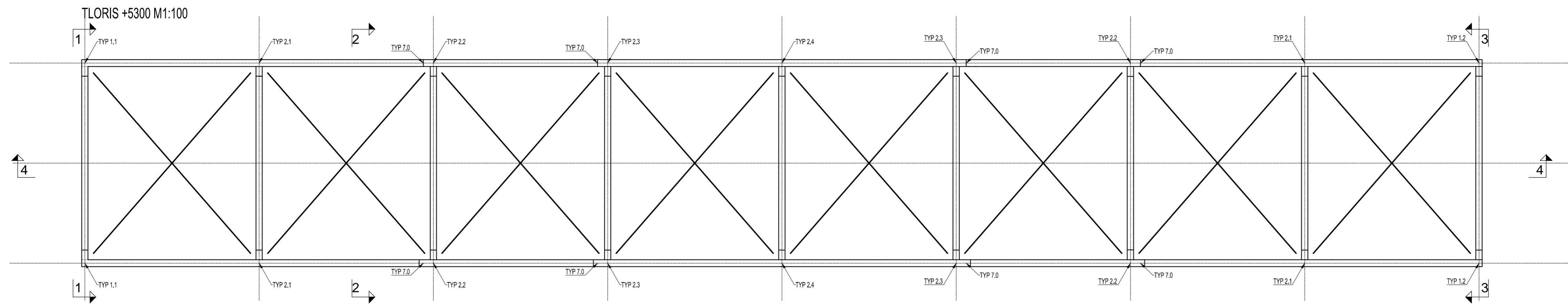
PREREZ 2-2 M1:100



PREREZ 3-3 M1:100

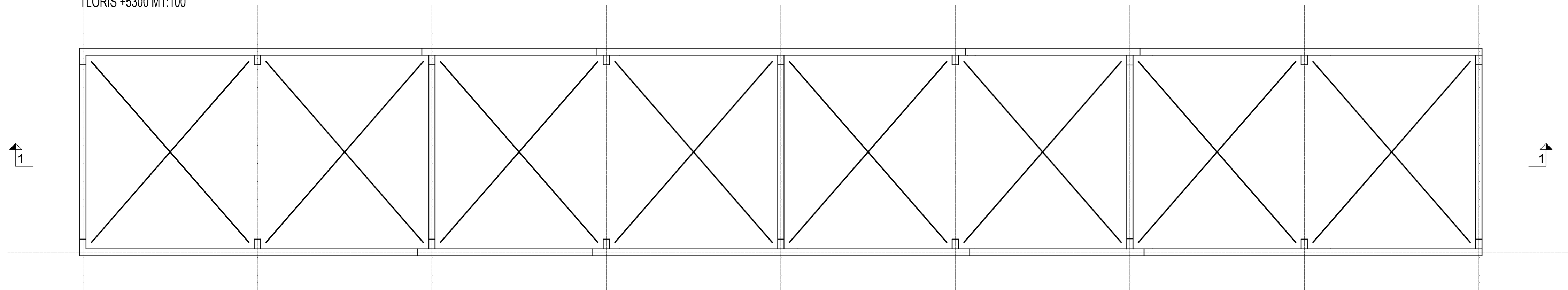


	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova 2 1115 Ljubljana, Slovenija		
	Diplomska naloga: <b>Projekt pohodnega aluminijastega mostu in povzetek standarda EC 9</b>		
Naslov: <b>Priloga B.1: Tlorisi in prerezi celotne konstrukcije</b>			
	ime in priimek, naziv	Vrsta načrta	Načrti za pridobitev gradbenega dovoljenja
Mentor	Prof. Dr. Jože Korelc	Merilo	1:100
Kandidat	Pezdirc Jure	Datum	15.2.2012
Lastnik dokumentacije	 dipl.-ing. Florian Kosche as Møllergata 12 0179 Oslo Norway		

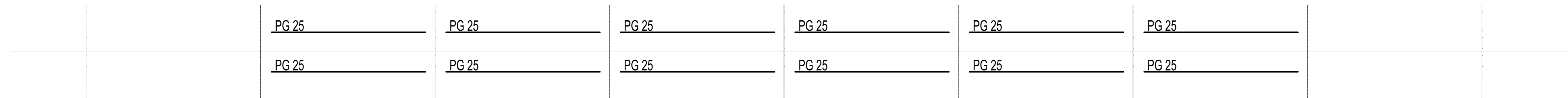


	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova 2 1115 Ljubljana, Slovenija		
	Diplomska naloga: <b>Projekt pohodnega aluminijastega mostu in povzetek standarda EC 9</b> Naslov: <b>Priloga B.2: Pozicije in označitev tipičnih spojev</b>		
ime in priimek, naziv	Vrsta načrta	Načrti za pridobitev gradbenega dovoljenja	
Mentor	Prof. Dr. Jože Korelc	Merilo	1:100
Kandidat	Pezdirc Jure	Datum	15.2.2012
Lastnik dokumentacije			dipl.-ing. Florian Kosche as Møllergata 12 0179 Oslo Norway

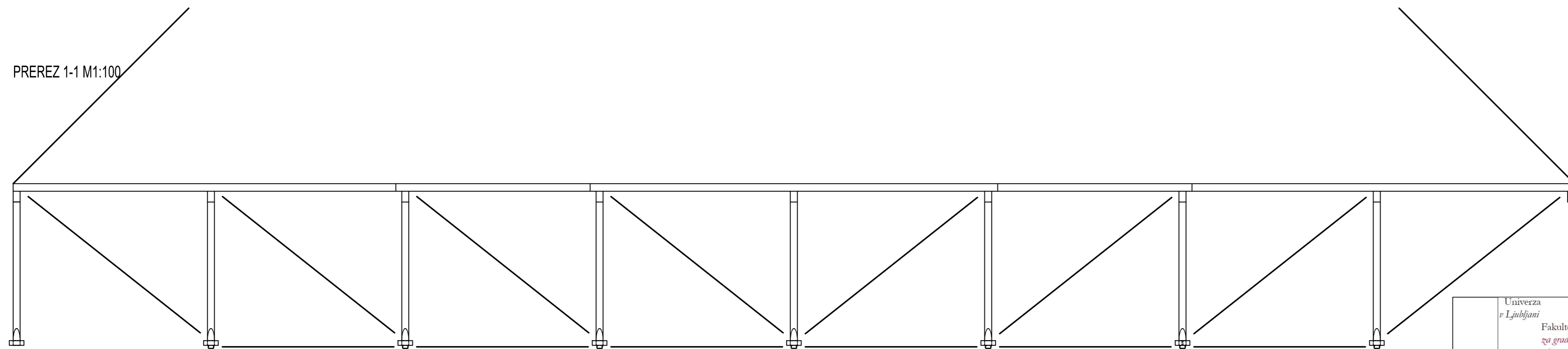
TLORIS +5300 M1:100



TLORIS ±0.00 M1:100



PREREZ 1-1 M1:100



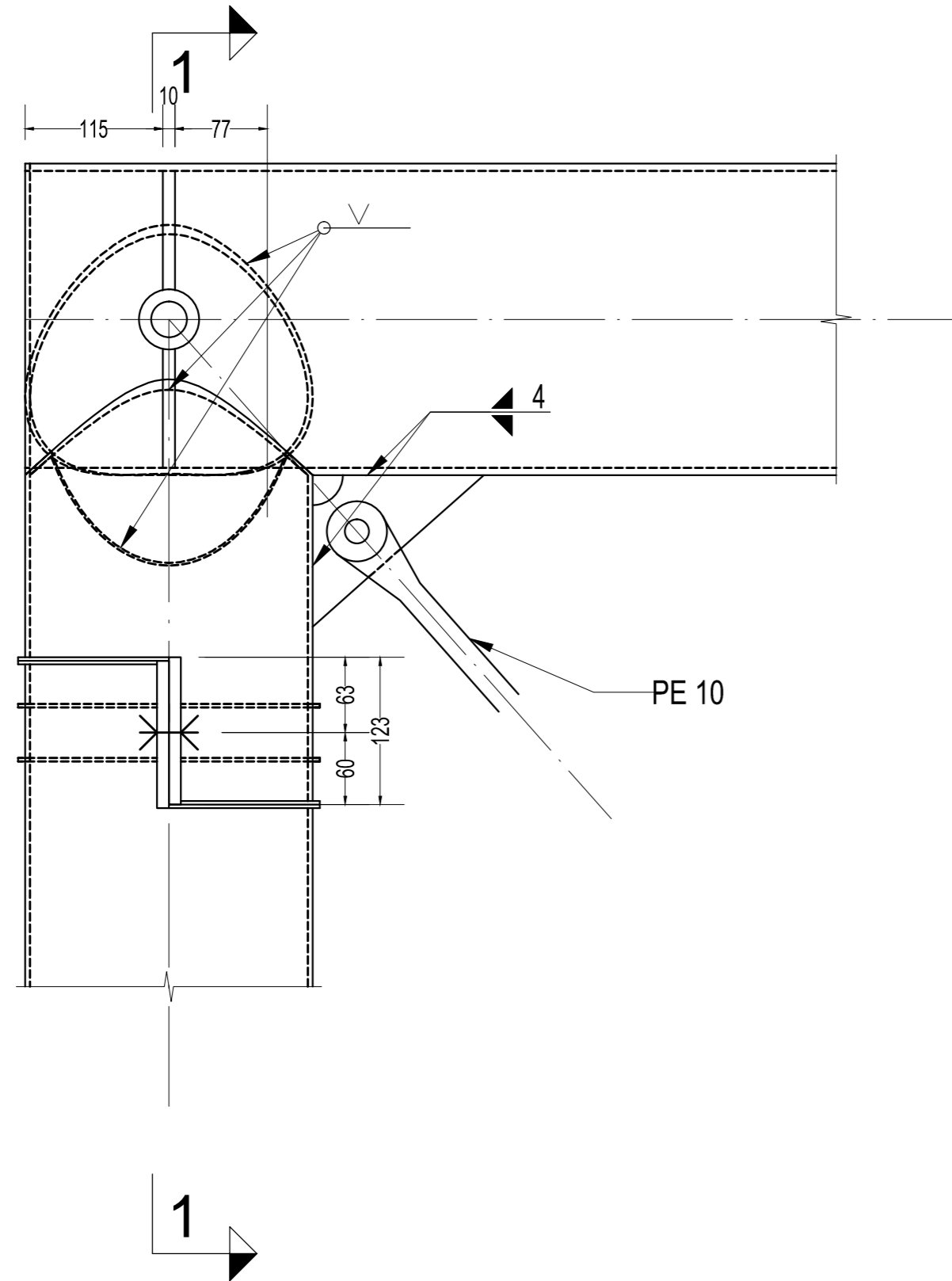
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1115 Ljubljana, Slovenija

Diplomska naloga:  
**Projekt pohodnega aluminijastega mostu in povzetek standarda EC 9**

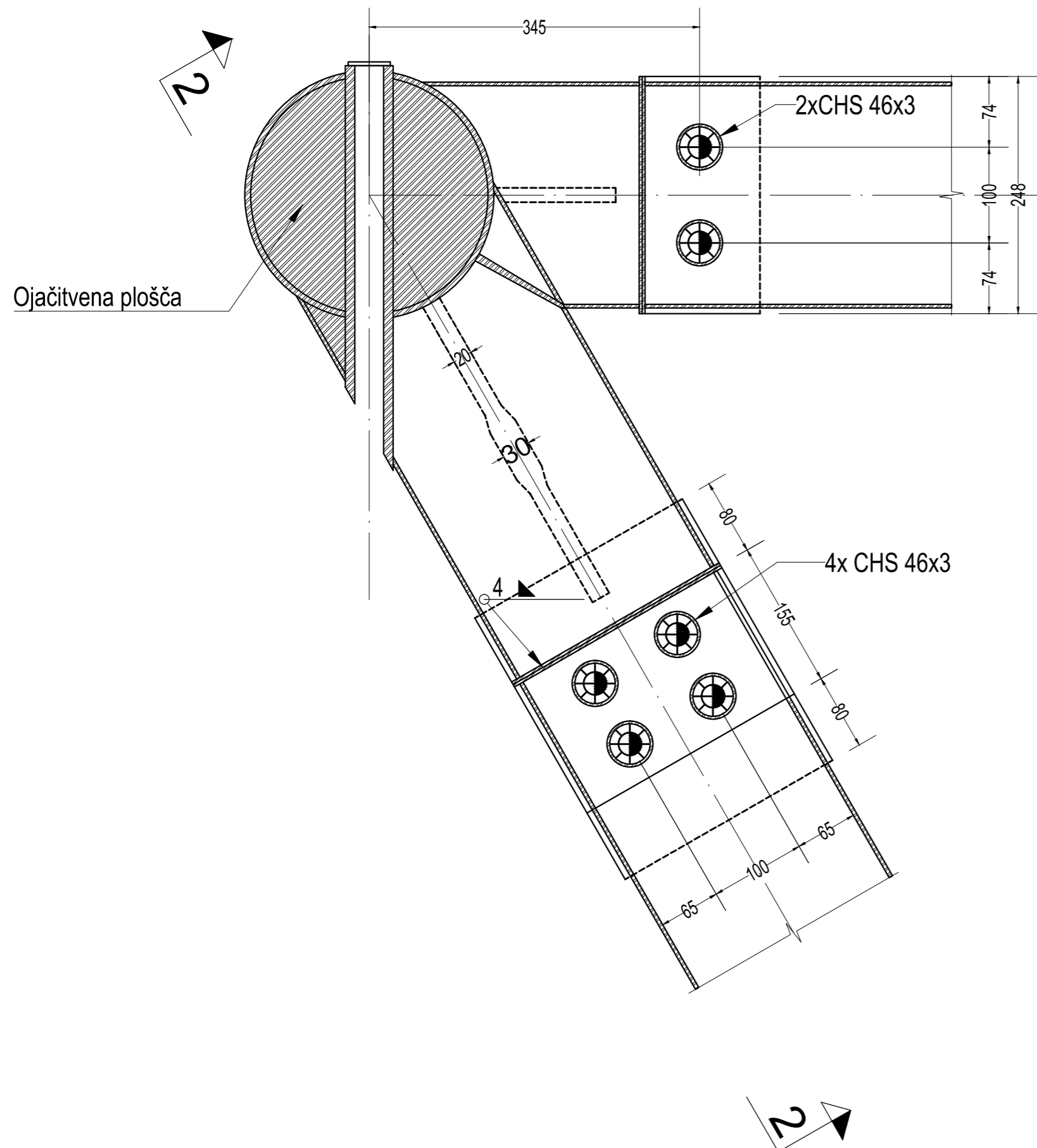
Naslov:  
**Priloga B.3: Konfiguracija mostu za dvig**

	ime in priimek, naziv	Vrsta načrta	Načrti za pridobitev gradbenega dovoljenja
Mentor	Prof. Dr. Jože Korelc	Merilo	1:100
Kandidat	Pezdirc Jure	Datum	15.2.2012
Lastnik dokumentacije		<b>DIFK</b>	dipl.-ing. Florian Kosche as Møllergata 12 0179 Oslo Norway

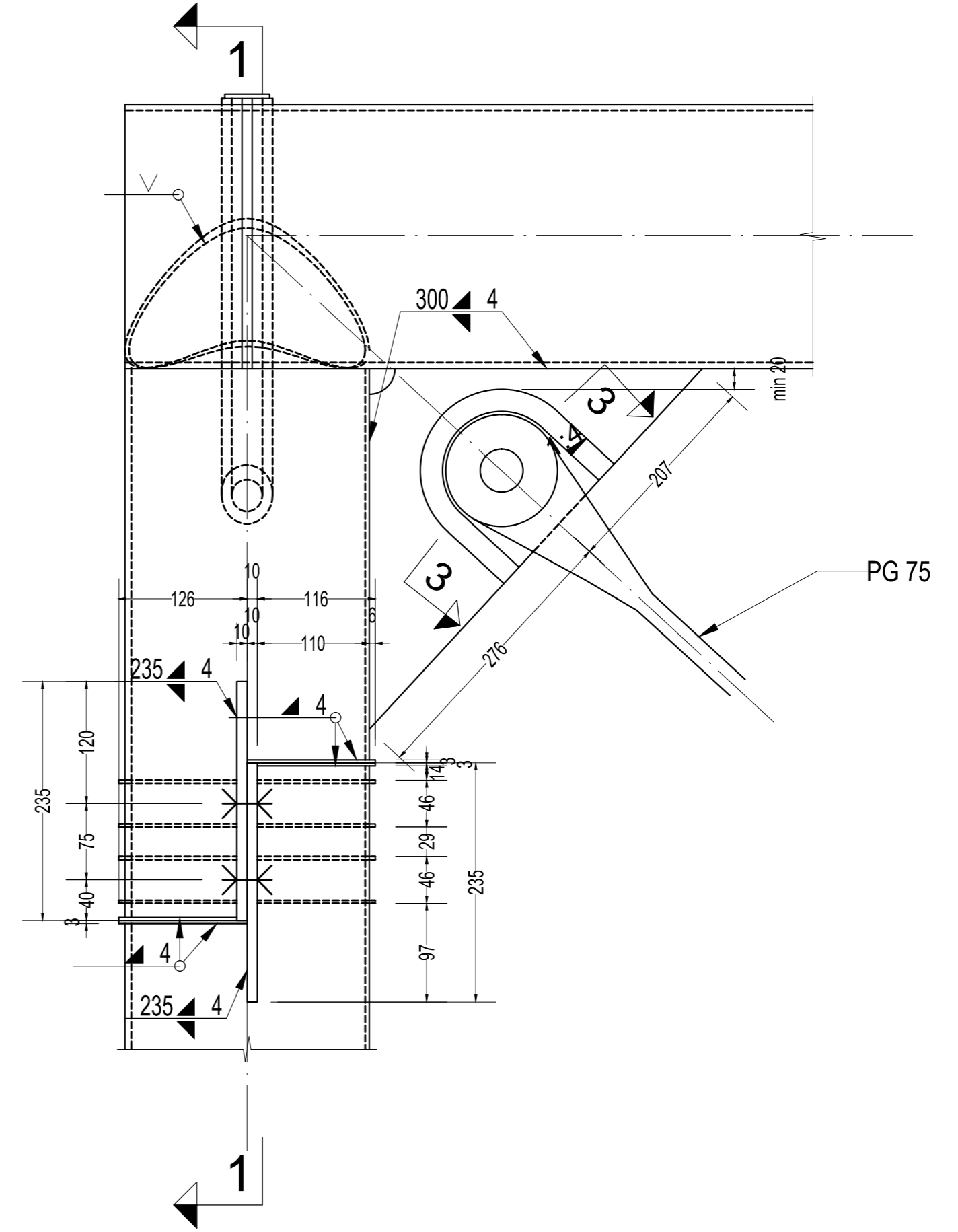
TLORIS M1:5



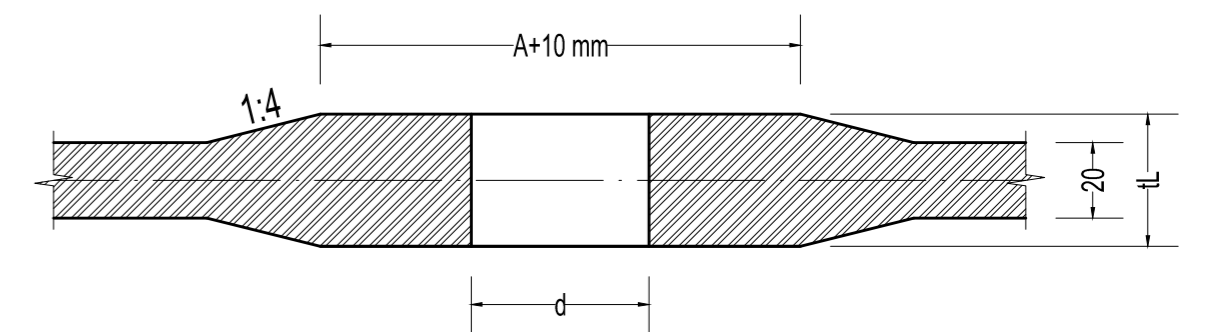
PREREZ 1-1 M1:5





POGLED 2-2 M1:5



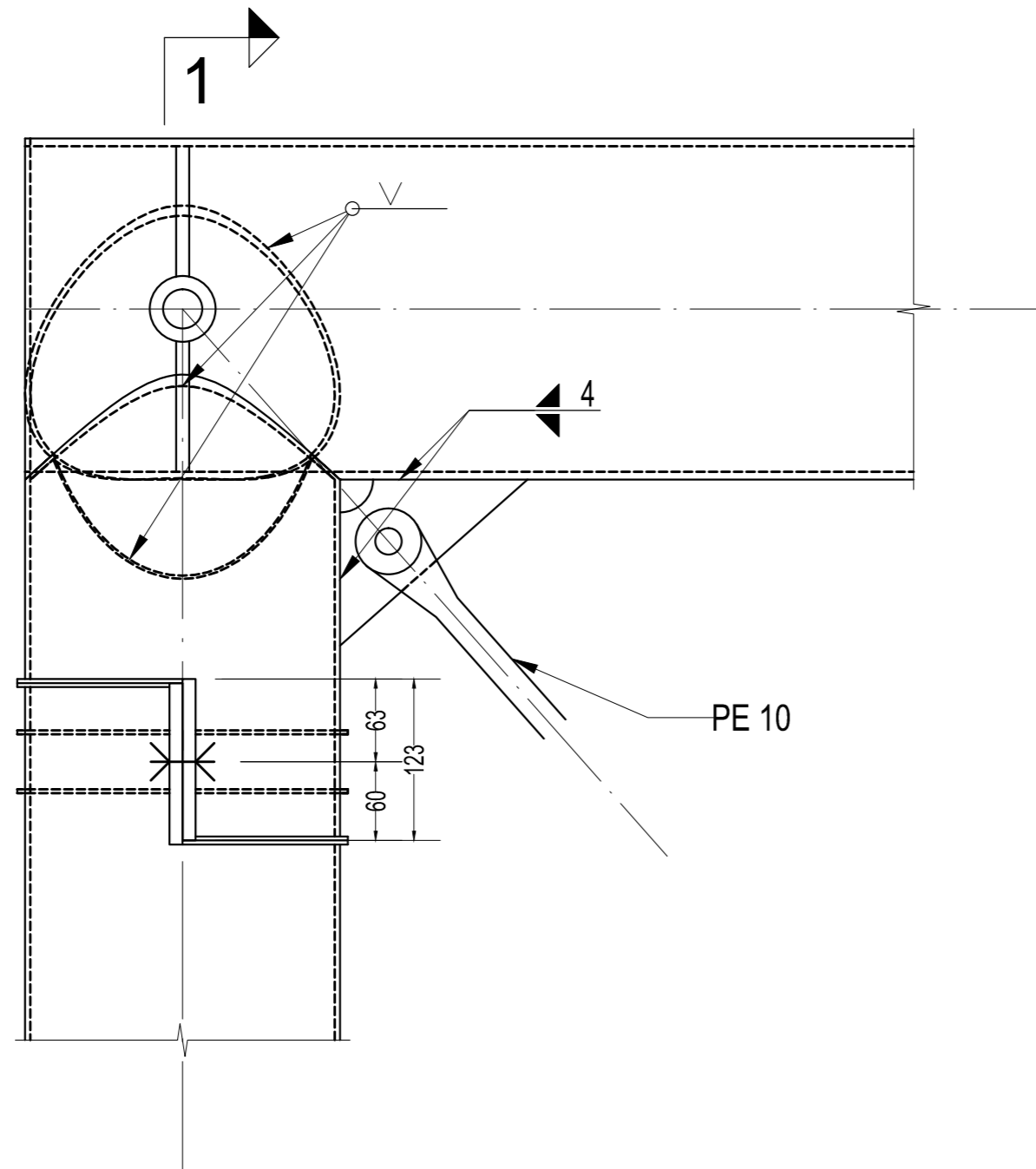
PREREZ 3-3 M1:2



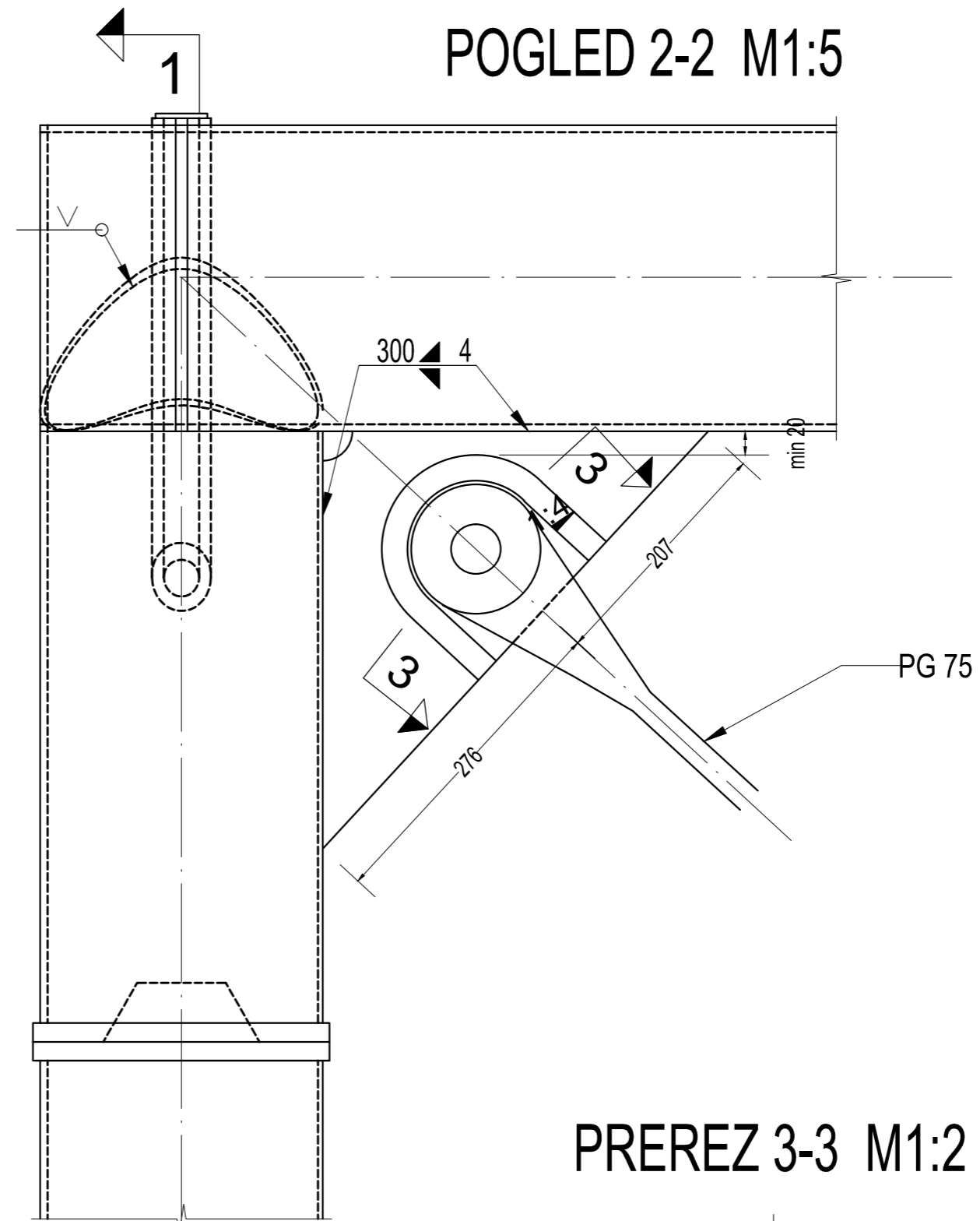
	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova 2 1115 Ljubljana, Slovenija		
	Diplomska naloga: <b>Projekt pohodnega aluminijastega mostu in povzetek standarda EC 9</b>		
Naslov: <b>Priloga C.1: Tipični spoj TYP 1.1</b>			
	ime in priimek, naziv	Vrsta načrta	Načrti za pridobitev gradbenega dovoljenja
Mentor	Prof. Dr. Jože Korelc	Merilo	1:5, 1:2
Kandidat	Pezdirč Jure	Datum	15.2.2012
Lastnik dokumentacije	 dipl.-ing. Florian Kosche as Møllergata 12 0179 Oslo Norway		



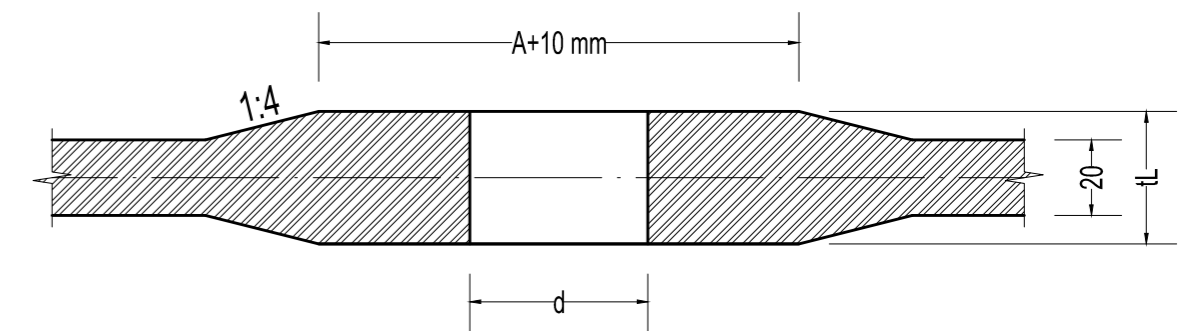
TLORIS M1:5



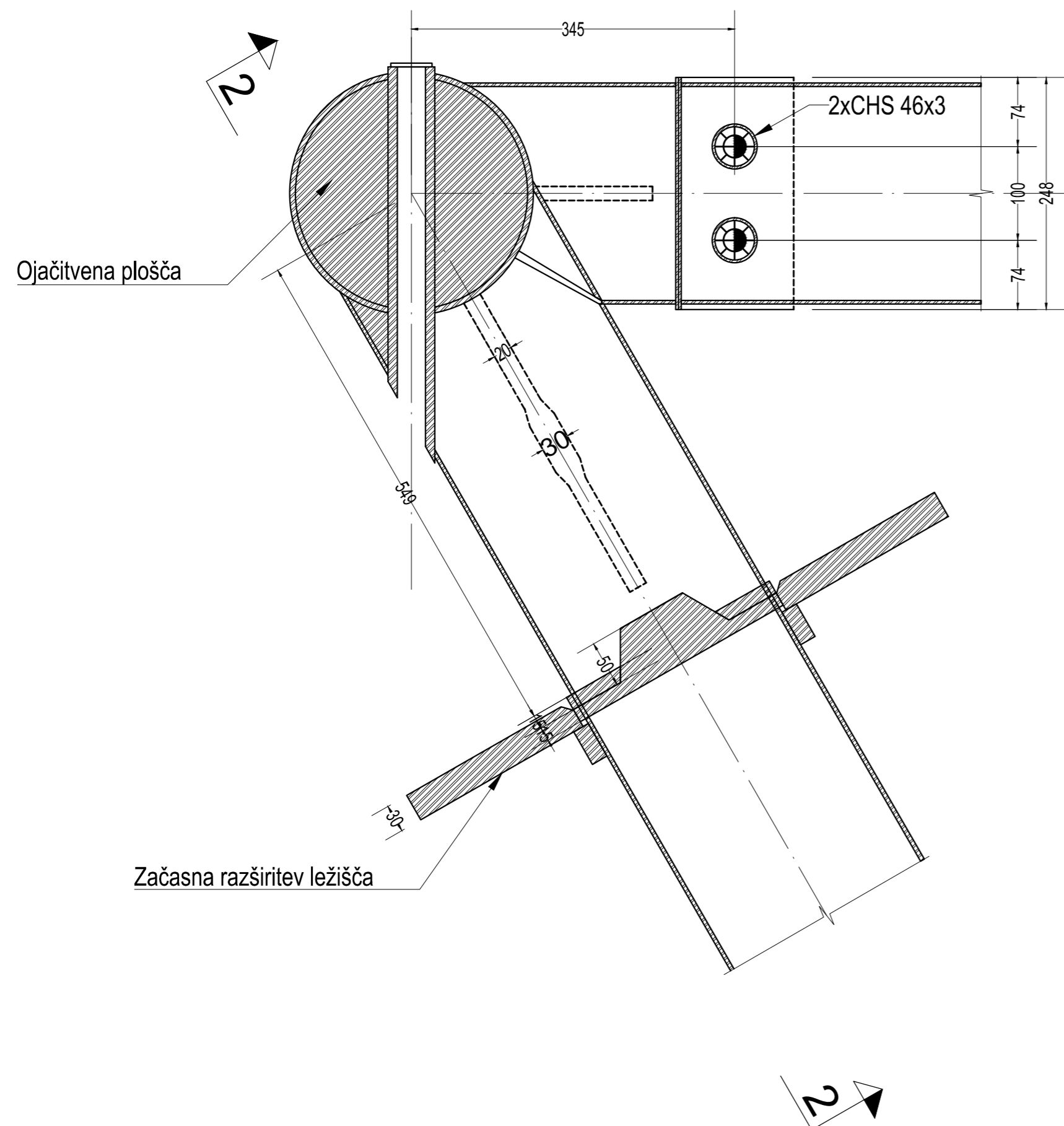
POGLED 2-2 M1:5





PREREZ 3-3 M1:2



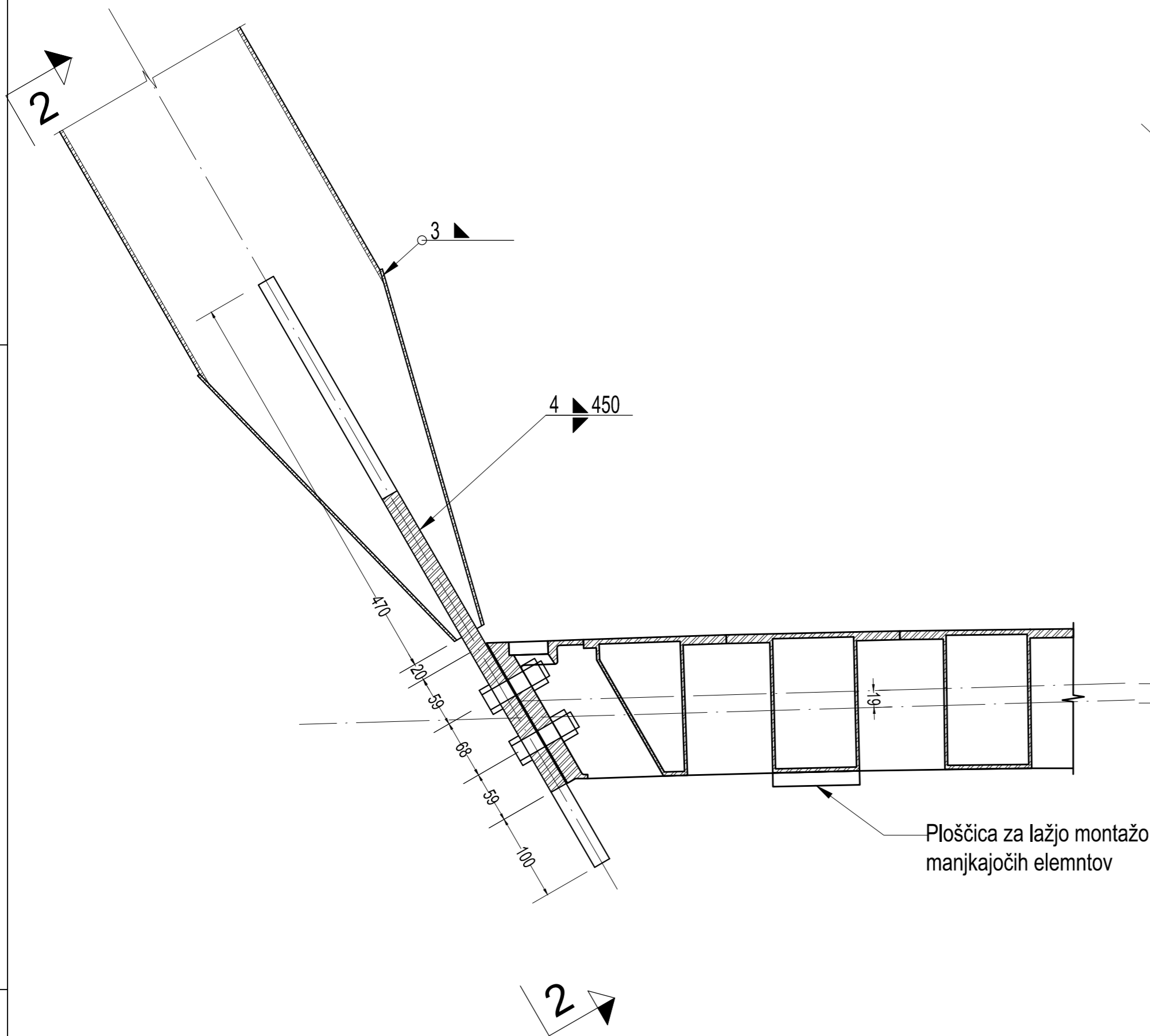
PREREZ 1-1 M1:5



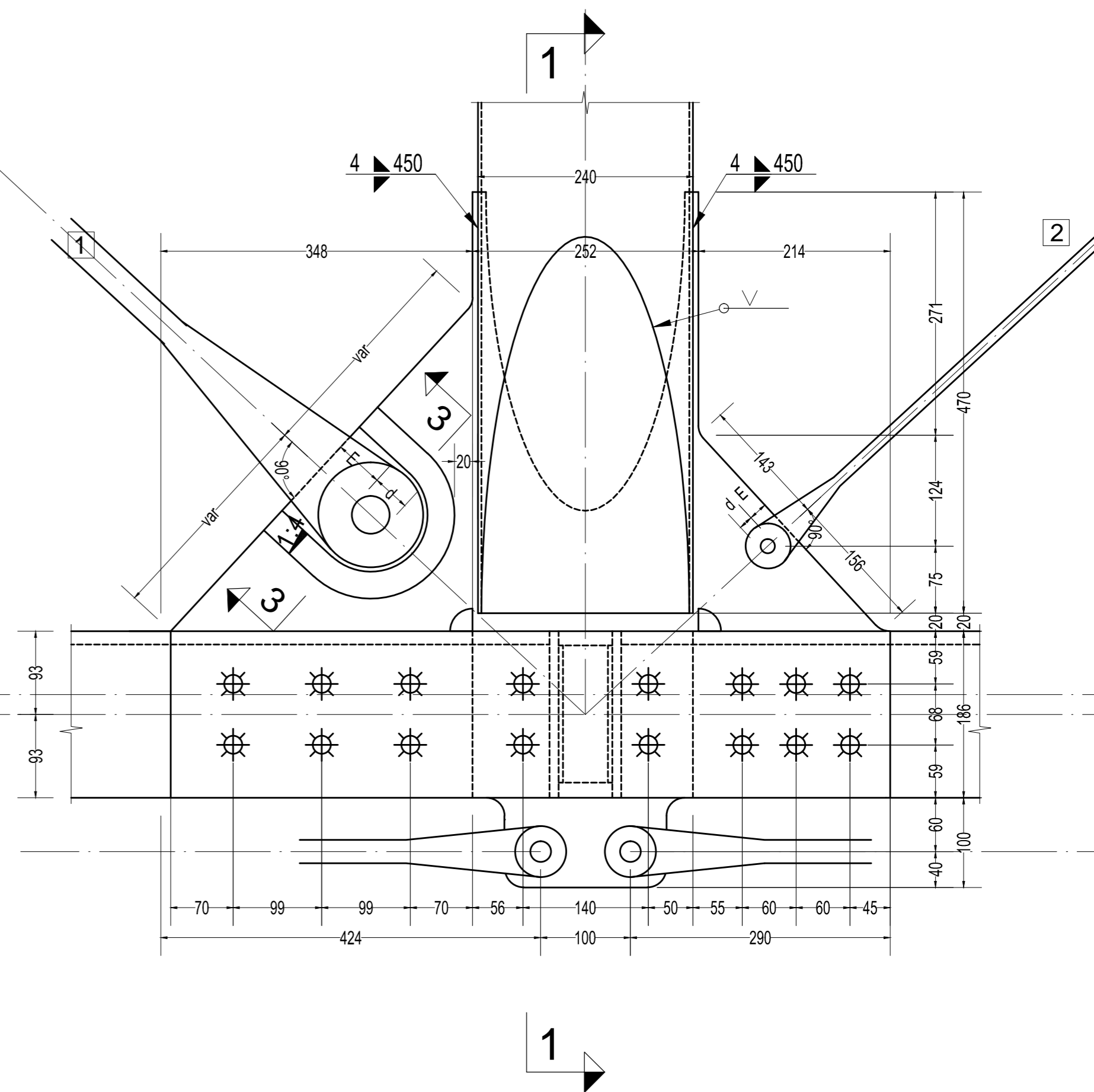
	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova 2 1115 Ljubljana, Slovenija		
	Diplomski naloga: <b>Projekt pohodnega aluminijastega mostu in povzetek standarda EC 9</b>		
Naslov: <b>Priloga C.2: Tipični spoj TYP 1.2</b>			
	ime in priimek, naziv	Vrsta načrta	Načrti za pridobitev gradbenega dovoljenja
Mentor	Prof. Dr. Jože Korelc	Merilo	1:5, 1:2
Kandidat	Pezdirč Jure	Datum	15.2.2012
Lastnik dokumentacije	 dipl.-ing. Florian Kosche as Møllergata 12 0179 Oslo Norway		



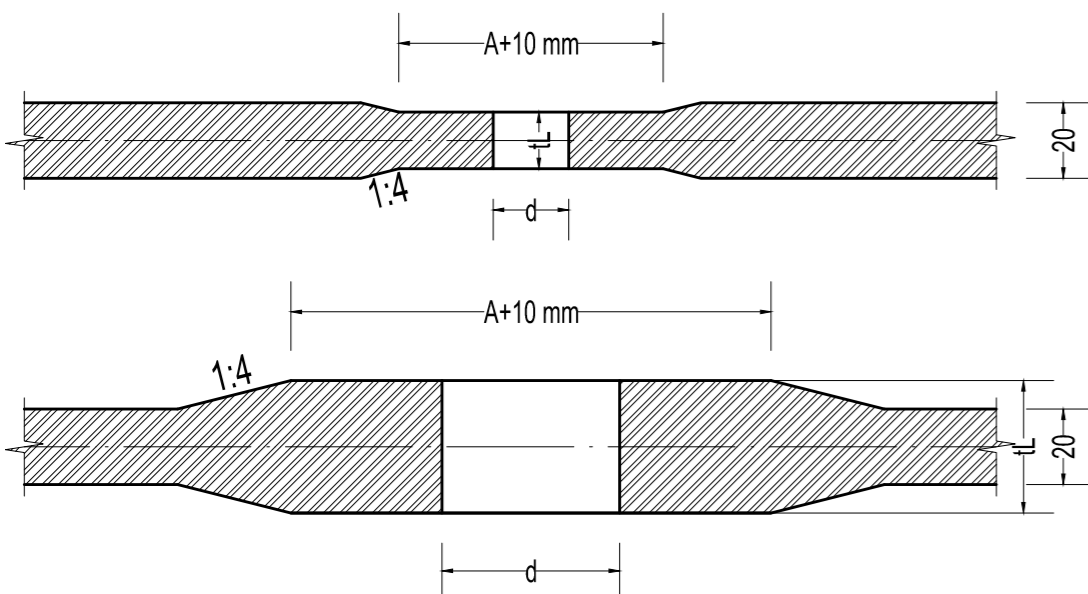
# PREREZ 1-1 M1:5



# POGLED 2-2 M1:5



# PREREZ 3-3 M1:2

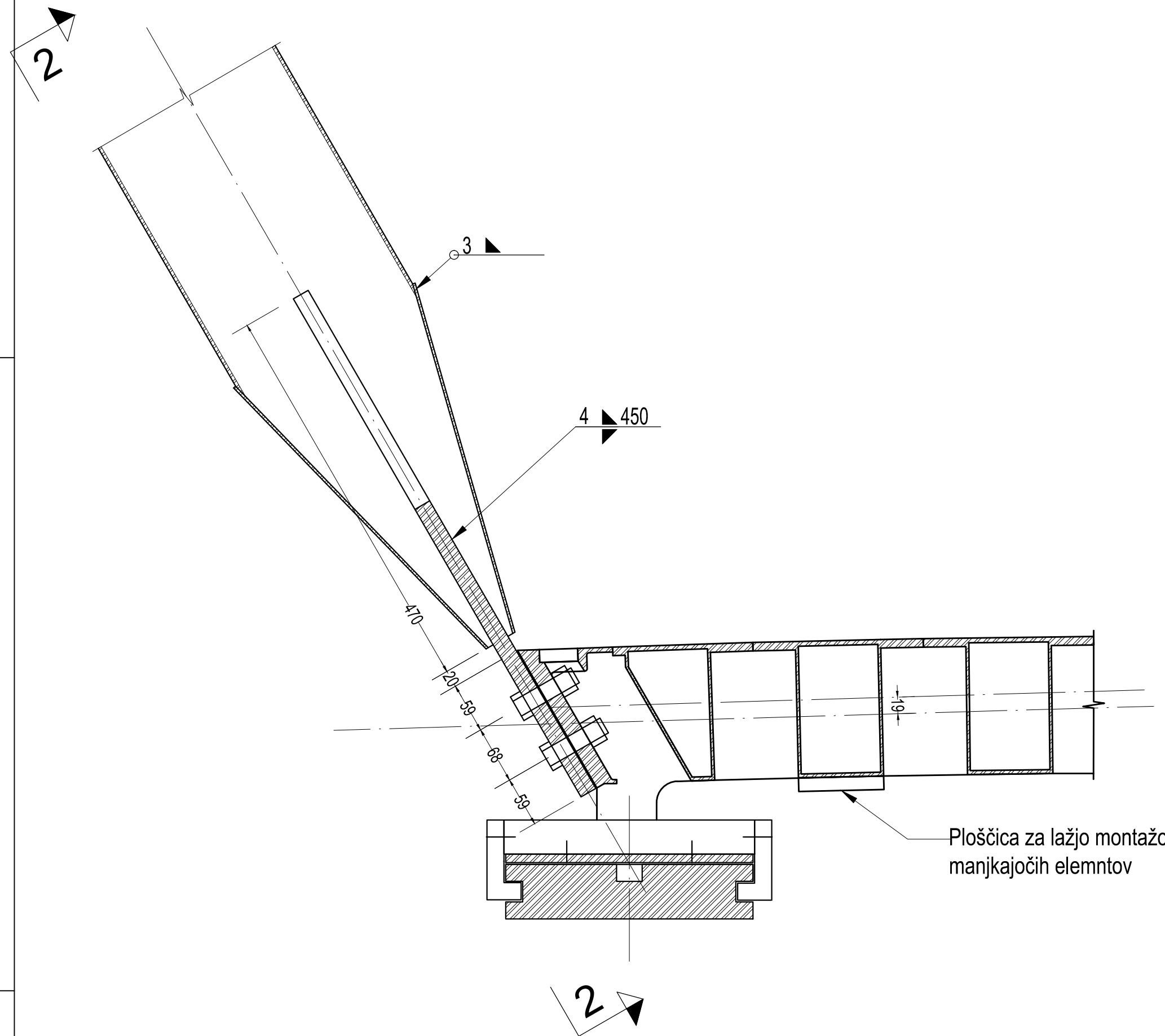


Specifikacije za različne variante spoja TYP 3.X

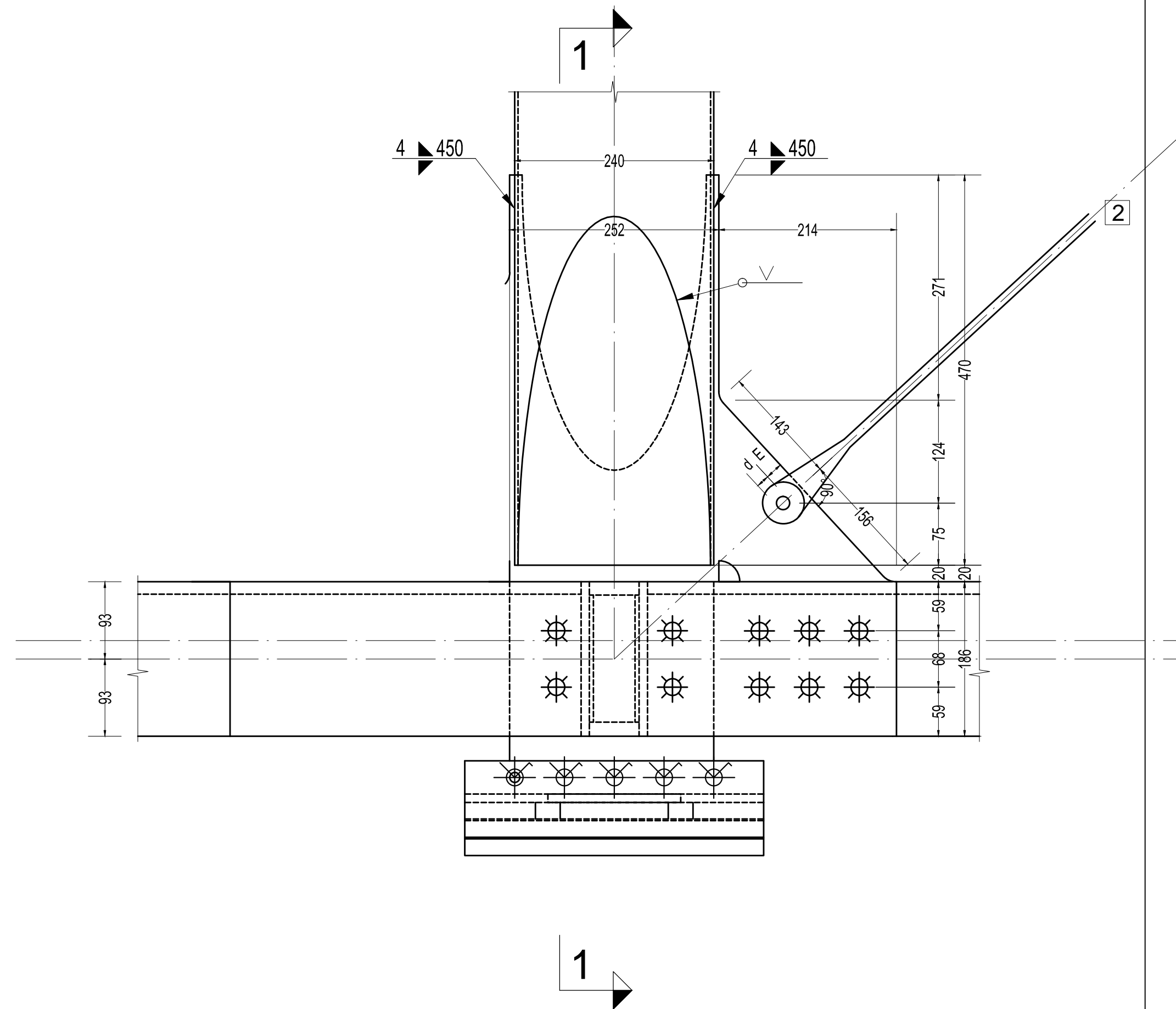
	KABEL		Premer luknje d mm	E mm	tL mm	A+10 mm
	pozicija	tip				
TYP 3.1	1	PG75	42	76	30	129
	2	PG10	16	29	12	53
TYP 3.2	1	PG55	35	66	25	113
	2	PG10	16	29	12	53
TYP 3.3	1	PG40	32	58	25	94
	2	PG10	16	29	12	53
TYP 3.4	1	PG20	23	41	18	71
	2	PG20	23	41	18	71

	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova 2 1115 Ljubljana, Slovenija	
	Diplomska naloga: <b>Projekt pohodnega aluminijastega mostu in povzetek standarda EC 9</b>	
Naslov: <b>Priloga C.4: Tipični spoj TYP 3.x</b>		
ime in priimek, naziv	Vrsta načrta	Načrti za pridobitev gradbenega dovoljenja
Mentor	Prof. Dr. Jože Korelc	Merilo 1:5, 1:2
Kandidat	Pezdirc Jure	Datum 15.2.2012
Lastnik dokumentacije		dipl.-ing. Florian Kosche as Møllergata 12 0179 Oslo Norway

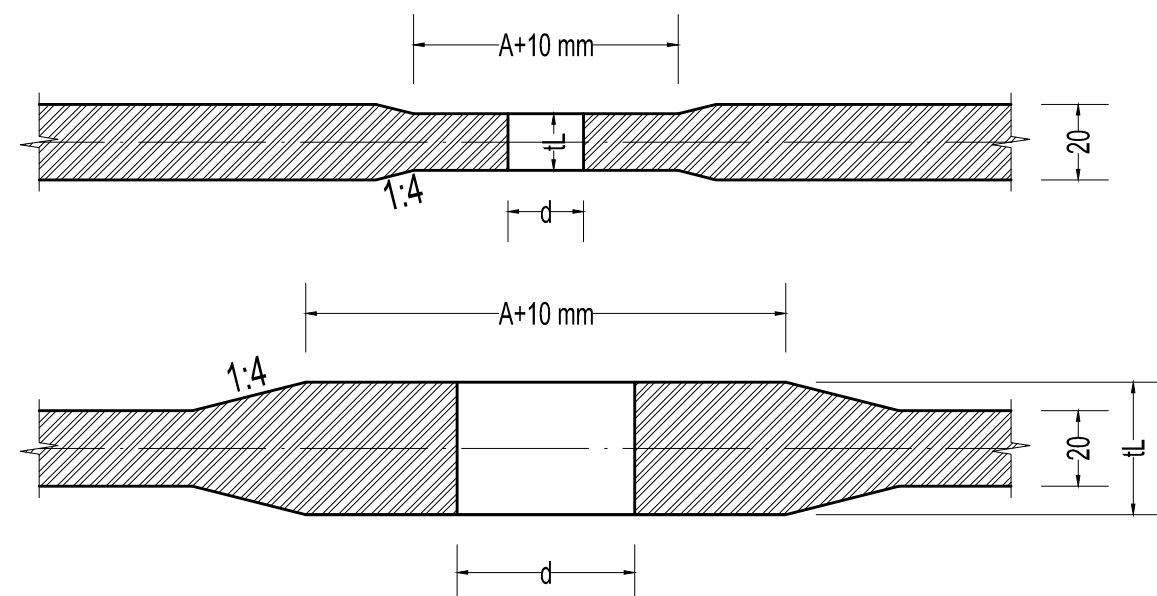
### PREREZ 1-1 M1:5



### POGLED 2-2 M1:5





### PREREZ 3-3 M1:2



Specifikacije za različne variante spoja TYP 3.X

	KABEL		Premer luknje d mm	E mm	tL mm	A+10 mm
	pozicija	tip				
TYP 3.1	1	PG75	42	76	30	129
	2	PG10	16	29	12	53
TYP 3.2	1	PG55	35	66	25	113
	2	PG10	16	29	12	53
TYP 3.3	1	PG40	32	58	25	94
	2	PG10	16	29	12	53
TYP 3.4	1	PG20	23	41	18	71
	2	PG20	23	41	18	71

	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Jamova 2 1115 Ljubljana, Slovenija	
	Diplomska naloga: <b>Projekt pohodnega aluminijastega mostu in povzetek standarda EC 9</b>	
Naslov: <b>Priloga C.5: Tipični spoj TYP 4.2 - pomična podp.</b>		
ime in priimek, naziv	Vrsta načrta	Načrti za pridobitev gradbenega dovoljenja
Mentor Prof. Dr. Jože Korelc	Merilo	1:5, 1:2
Kandidat Pezdirc Jure	Datum	15.2.2012
Lastnik dokumentacije		dipl.-ing. Florian Kosche as Møllergata 12 0179 Oslo Norway