

Rekonstrukcija poluportalne dizalice u luci Porto Baroš

Ivić, Simona

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:341444>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Simona Ivić

Rekonstrukcija poluportalne dizalice u luci Porto Baroš

Diplomski rad

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij građevinarstva
Modul konstrukcije
Čelične konstrukcije**

**Simona Ivić
JMBAG: 0114031081**

Rekonstrukcija poluportalne dizalice u luci Porto Baroš

Diplomski rad

Rijeka, srpanj 2024.

IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Simona Ivić

U Rijeci, 5. srpnja 2024.

Diplomski rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta „Unaprjeđenje modela stjecanja stručnih kompetencija učenjem uz rad kroz izradu diplomskog rada (GraDiS)“.

Voditelj projekta: izv. prof. dr. sc. Silvija Mrakovčić

Financijer projekta: Sveučilište u Rijeci - programska linija A3 Praktične kompetencije za budućnost

U Rijeci, 5. srpnja 2024.

ZAHVALA

Želim se zahvaliti svojim mentorima, prof. dr. sc. Mladenu Buliću i dr.sc. Saši Mitroviću na susretljivosti, trudu i stručnom vođenju. Hvala Vam što ste svojim znanjem i iskustvom pridonijeli uspješnoj realizaciji ovog projekta. Veliko hvala mojoj obitelji, na strpljenju i pruženoj ljubavi kroz cijelo školovanje. I na kraju, od srca zahvaljujem prijateljima i kolegama na podršci i zajedničkim trenucima koji su obogatili moje studiranje. Hvala svima što ste bili uz mene, bez vas, moj uspjeh ne bi bio potpun.

SAŽETAK

U svrhu očuvanja kulturne baštine grada Rijeke, predviđena je rekonstrukcija lučke dizalice na lukobranu u luci Porto Baroš. Kompletna analiza dizalice bit će provedena kroz glavni projekt tvrtke I.T.T. d.o.o., dok je ovim radom obuhvaćen samo dio gornjih prostornih rešetki. Prateći dokumentaciju iz 1950ih godina, kada je dizalica projektirana, napravljeni su nacrti te računalni model konstrukcije. Opisana je lokacija na kojoj se dizalica nalazi te je detaljno opisana konstrukcija i svi njezini elementi. Zbog nejasnih podataka o kvaliteti čelika navedenih u dokumentaciji, provedeno je ispitivanje materijala dizalice. Uzorci dizalice testirani su u laboratoriju na uređaju za vlačno ispitivanje. Rezultat eksperimenta je dijagram koji daje podatke o mehaničkim svojstvima, a samim time i o kvaliteti čelika. Uz poznatu kvalitetu čelika, moguće je provesti statički proračun. Dizalica je modelirana u računalnom programskom paketu Tower gdje je proveden statički proračun uz poštivanje europskih normi i nacionalnog dodatka za Hrvatsku. Analiza je provedena za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Kao rezultat analize, prikazane su reakcije u osloncima, dijagrami opterećenja, unutarnjih sila i pomaka, kao i kontrola stabilnosti. Proračun spoja proveden je u računalnom programu IDEA StatiCa. Zadovoljeni su svi uvjeti mehaničke otpornosti i stabilnosti konstrukcije.

Ključne riječi: čelična konstrukcija, rešetkasta konstrukcija, lučka dizalica, poluportalna dizalica, vlačno ispitivanje, statički proračun

ABSTRACT

In order to preserve the cultural heritage of the city of Rijeka, the reconstruction of the port crane on the breakwater in Porto Baroš harbor is planned. The full analysis of the crane will be conducted as part of the main project by I.T.T. d.o.o., focusing solely on a portion of the upper spatial trusses of the crane, which consist of four truss girders. Drawing upon documentation from the 1950s when the crane was originally designed, blueprints and a computer model of the structure were created. Due to unclear steel quality data in the documentation, material testing of the crane was conducted. Crane samples were tested in a laboratory using a tension testing machine. The experiment yielded a diagram providing mechanical property data, hence discerning steel quality. With the known steel quality, a static calculation could be conducted. The crane was modeled using the Tower computer software package for static calculations conforming to European standards and National Annex for Croatia. The analysis was conducted for the ultimate limit state and the serviceability limit state. The results included reactions at supports, load diagrams, internal forces, displacements, and stability checks. The connection calculation was performed in the IDEA StatiCa computer program, meeting all requirements for structural mechanical resistance and stability

Key words: steel structure, truss structure, port crane, semi-gantry crane, tensile testing, static calculation

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEHNIČKI OPIS.....	3
2.1. Opis lokacije.....	3
2.2. Opis konstrukcije.....	4
2.2.1. Tlačni nosač.....	8
2.2.2. Vlačni nosač.....	9
2.2.3. Vršni nosač.....	10
2.2.4. Nosač protuutega.....	11
3. ISPITIVANJE.....	12
3.1. Ispitni uzorci.....	12
3.2. Eksperiment.....	18
3.3. Rezultati ispitivanja.....	22
4. PRORAČUN MEHANIČKE OTPORNOSTI I STABILNOSTI.....	26
4.1. Model.....	26
4.2. Analiza djelovanja.....	45
4.2.1. Vlastita težina.....	45
4.2.2. Stalno opterećenje.....	45
4.2.3. Vjetar.....	47
4.2.4. Kombinacije opterećenja.....	60
4.3. Provjera elemenata na granično stanje nosivosti.....	60
4.3.1. Dijagrami unutarnjih sila.....	60
4.3.2. Reakcije u osloncima.....	67
4.3.3. Dimenzioniranje.....	69
4.4. Provjera elemenata na granično stanje uporabljivosti.....	86
4.5. Priključak.....	104
5. ZAKLJUČAK.....	120
6. LITERATURA.....	122
7. NACRTI.....	123

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1: Težina dizalice prema dijelovima</i>	5
<i>Tablica 2: Izmjere uzoraka</i>	17
<i>Tablica 3: Rezultati ispitivanja</i>	25
<i>Tablica 4: Nominalne vrijednosti granice popuštanja f_y i krajnje vlačne čvrstoće f_u za konstrukcijske čelike u skladu s EN 10025, EN 10210 i EN 10219 [1]</i>	25
<i>Tablica 5: Tablica materijala (Tower)</i>	27
<i>Tablica 6: Karakteristike setova</i>	27
<i>Tablica 7: Rekapitulacija količina materijala</i>	45
<i>Tablica 8: Izračun osnovne brzine vjetra po Eurocodu [4]</i>	47
<i>Tablica 9: Izračun pritiska pri vršnoj brzini po Eurocodu [4]</i>	47
<i>Tablica 10: Proračun koeficijenata sile za tlačni nosač po Eurocodu [4]</i>	49
<i>Tablica 11: Proračun sila vjetra za tlačni nosač - ploha TN 1</i>	50
<i>Tablica 12: Proračun sila vjetra za tlačni nosač - ploha TN 2</i>	50
<i>Tablica 13: Proračun sila vjetra za tlačni nosač - ploha TN 3</i>	51
<i>Tablica 14: Proračun koeficijenata sile za vlačni nosač po Eurocodu [4]</i>	52
<i>Tablica 15: Proračun sila vjetra za vlačni nosač - ploha VN 1</i>	52
<i>Tablica 16: Proračun sila vjetra za vlačni nosač - ploha VN 2</i>	53
<i>Tablica 17: Proračun sila vjetra za vlačni nosač - ploha VN 3</i>	53
<i>Tablica 18: Proračun koeficijenata sile za vršni nosač po Eurocodu [4]</i>	54
<i>Tablica 19: Proračun sila vjetra za vršni nosač - ploha VRN 1</i>	54
<i>Tablica 20: Proračun sila vjetra za vršni nosač - ploha VRN 2</i>	55
<i>Tablica 21: Proračun sila vjetra za vršni nosač - ploha VRN 3</i>	55
<i>Tablica 22: Proračun koeficijenata sile za nosač protuutega po Eurocodu [4]</i>	56
<i>Tablica 23: Proračun sila vjetra za nosač protuutega - ploha NPU 1</i>	56
<i>Tablica 24: Proračun sila vjetra za nosač protuutega - ploha NPU 2</i>	56
<i>Tablica 25: Proračun sila vjetra za nosač protuutega - ploha NPU 3</i>	56
<i>Tablica 26: Slučajevi opterećenja i kombinacije</i>	60
<i>Tablica 27: Svojstva materijala</i>	75
<i>Tablica 28: Klasifikacija poprečnog presjeka</i>	75
<i>Tablica 29: Otpornost poprečnog presjeka</i>	76
<i>Tablica 30: Provjera otpornosti elementa na izvijanje</i>	76

POPIS SLIKA

Slika 1: Lokacija dizalice na lukobranu	3
Slika 2: Trenutačno stanje dizalice	4
Slika 3: Dijelovi dizalice	6
Slika 4: Donji portal dizalice	6
Slika 5: Kabina dizalice	7
Slika 6: Tlačni nosač	8
Slika 7: Vlačni nosač	9
Slika 8: Vršni nosač	10
Slika 9: Nosač protuutega	11
Slika 10: Pozicija elementa br. 1 na konstrukciji	12
Slika 11: Pozicija elementa br. 2 na konstrukciji	13
Slika 12: Pozicija elementa br. 3 na konstrukciji	13
Slika 13: Elementi od kojih će biti napravljeni ispitni uzorci	14
Slika 14: Strojno obrađeni standardni ispitni uzorak pravokutnog poprečnog presjeka [5]	14
Slika 15: Shema rezanja Elementa 1 za dobivanje ispitnih uzoraka	15
Slika 16: Shema rezanja Elementa 2 za dobivanje ispitnih uzoraka	15
Slika 17: Shema rezanja Elementa 3 za dobivanje ispitnih uzoraka	16
Slika 18: Izrezani uzorci	16
Slika 19: Kidalica Zwick/Roell Z600	18
Slika 20: Ugrađeni uzorak za ispitivanje	19
Slika 21: Dijagram sila-pomak za uzorak S1	20
Slika 22: Dijagram sila-pomak za uzorak S2	20
Slika 23: Dijagram sila-pomak za uzorak S3	20
Slika 24: Dijagram sila-pomak za uzorak S4	21
Slika 25: Dijagram sila-pomak za uzorak S5	21
Slika 26: Karakteristični dijagram naprezanje-deformacija za čelik [6]	22
Slika 27: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S1	23
Slika 28: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S2	23
Slika 29: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S3	23
Slika 30: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S4	24
Slika 31: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S5	24
Slika 32: 3D prikaz modela	26
Slika 33: Tlačni nosač – bočni pojas rešetke	39

Slika 34: Tlačni nosač – donji pojas rešetke	40
Slika 35: Tlačni nosač - gornji pojas rešetke	40
Slika 36: Vlačni nosač - bočni pojas rešetke	41
Slika 37: Vlačni nosač - donji pojas rešetke.....	42
Slika 38: Vlačni nosač - gornji pojas rešetke	42
Slika 39: Vršni nosač - bočni pojas rešetke	43
Slika 40: Vršni nosač - donji pojas rešetke	44
Slika 41: Vršni nosač - gornji pojas rešetke	44
Slika 42: Stalno opterećenje	46
Slika 43: Grafički prikaz vršnog pritiska po visini konstrukcije	48
Slika 44: Ukupna omeđena površina i projicirana površina elemenata za tlačni nosač	49
Slika 45: Ukupna omeđena površina i projicirana površina elemenata za vlačni nosač	51
Slika 46: Ukupna omeđena površina i projicirana površina elemenata za vršni nosač.....	54
Slika 47: Ukupna omeđena površina i projicirana površina elemenata za nosač protuutega	55
Slika 48: Opterećenje vjetra - smjer +x	57
Slika 49: Opterećenje vjetra - smjer -x	58
Slika 50: Opterećenje vjetra - smjer y	59
Slika 51: Dijagrami uzdužnih sila za tlačni nosač - bočni pojas	61
Slika 52: Dijagrami uzdužnih sila za tlačni nosač - donji pojas	62
Slika 53: Dijagrami uzdužnih sila za vlačni nosač - bočni pojas	63
Slika 54: Dijagrami uzdužnih sila za vlačni nosač - donji pojas	64
Slika 55: Dijagram uzdužnih sila za vršni nosač - bočni pojas	65
Slika 56: Dijagram uzdužnih sila za vršni nosač - donji pojas	66
Slika 57: Reakcije u ležaju 1 i 2	67
Slika 58: Reakcije u ležaju 3	68
Slika 59: Kontrola stabilnosti elemenata tlačnog nosača – bočni, donji i gornji pojas	69
Slika 60: Kontrola stabilnosti elemenata vlačnog nosača – bočni pojas	70
Slika 61: Kontrola stabilnosti elemenata vlačnog nosača – donji i gornji pojas	71
Slika 62: Kontrola stabilnosti elemenata vršnog nosača – bočni pojas	72
Slika 63: Kontrola stabilnosti elemenata vršnog nosača – donji i gornji pojas	73
Slika 64: Oznaka elementa 1 na tlačnom nosaču (bočni pojas)	74
Slika 65: Oznaka elementa 2 na tlačnom nosaču (bočni pojas)	77
Slika 66: Oznaka elementa 3 na tlačnom nosaču (bočni pojas)	78

Slika 67: Oznaka elementa 4 na tlačnom nosaču (donji pojas)	79
Slika 68: Oznaka elementa 1 na vlačnom nosaču (donji pojas)	80
Slika 69: Oznaka elementa 2 na vlačnom nosaču (bočni pojas)	81
Slika 70: Oznaka elementa 3 na vlačnom nosaču (bočni pojas)	82
Slika 71: Oznaka elementa 1 na vršnom nosaču (donji pojas)	83
Slika 72: Oznaka elementa 2 na vršnom nosaču (donji pojas)	84
Slika 73: Oznaka elementa 3 na vršnom nosaču (gornji pojas).....	85
Slika 74: Dijagrami pomaka u x smjeru za tlačni nosač - bočni pojas	86
Slika 75: Dijagrami pomaka u x smjeru za tlačni nosač - bočni pojas	87
Slika 76: Dijagrami pomaka u z smjeru za tlačni nosač - bočni pojas	88
Slika 77: Dijagrami pomaka u y smjeru za tlačni nosač - bočni pojas	89
Slika 78: Slika 59: Dijagrami pomaka u x smjeru za tlačni nosač - donji pojas	90
Slika 79: Dijagrami pomaka u z smjeru za tlačni nosač - donji pojas.....	91
Slika 80: Dijagrami pomaka u y smjeru za tlačni nosač - donji pojas	92
Slika 81: Dijagrami pomaka u x smjeru za vlačni nosač - bočni pojas	93
Slika 82: Dijagrami pomaka u z smjeru za vlačni nosač - bočni pojas	94
Slika 83: Dijagrami pomaka u y smjeru za vlačni nosač - bočni pojas	95
Slika 84: Dijagrami pomaka u x smjeru za vlačni nosač - donji pojas.....	96
Slika 85: Dijagrami pomaka u z smjeru za vlačni nosač - donji pojas.....	97
Slika 86: Dijagrami pomaka u y smjeru za vlačni nosač - donji pojas.....	98
Slika 87: Dijagrami pomaka u x smjeru za vršni nosač - bočni pojas.....	99
Slika 88: Dijagrami pomaka u z smjeru za vršni nosač - bočni pojas	100
Slika 89: Dijagrami pomaka u y smjeru za vršni nosač - bočni pojas.....	101
Slika 90: Dijagrami pomaka u x smjeru za vršni nosač - donji pojas	102
Slika 91: Dijagrami pomaka u z smjeru za vršni nosač - donji pojas.....	103
Slika 92: Dijagrami pomaka u y smjeru za vršni nosač - donji pojas	103
Slika 93: Pozicija priključka na vršnom nosaču	104
Slika 94: Model priključka vršnog nosača	105
Slika 95: Model priključka vršnog nosača	105
Slika 96: Oznake elemenata priključka	110
Slika 97: Prikaz deformacija u priključku	111
Slika 98: Prikaz naprezanja u priključku	111

1. UVOD

Izrada ovog rada ostvarena je projektom GraDiS Građevinskog fakulteta u Rijeci u suradnji sa tvrtkom I.T.T. d.o.o. gdje je omogućeno pisanje diplomskog rada kroz iskustvo stručne prakse.

Riječka luka smještena je u Kvarnerskom zaljevu te je, u pomorskom smislu, najveća luka u Republici Hrvatskoj. U njoj se prekrcajavu velike količine raznog tereta uključujući kontejnere, rudu, rezanu građu, žito, fosfat te sirove i rafinirane naftne proizvode. [8] Zbog izuzetnog geografskog položaja, luka iza sebe ima dugu i uspješnu povijest. Naime, prvi tekstovi u kojima se spominje luka datiraju još iz 1281. godine. [7] Bila je glavna luka Kraljevine Ugarske u 19. stoljeću i početkom 20. Stoljeća te glavna luka Jugoslavije između Drugog svjetskog rata i 1991. godine. [11] Lučke dizalice imale su glavnu ulogu u lukama pa su tako bile važan faktor u napredovanju trgovačkog i pomorskog prometa. Prvi put se javljaju još u Srednjem vijeku, a u Rijeci su postavljane u 20. stoljeću. S napretkom tehnologije u transportu, dizalice su zamijenjene nekim drugim načinom utovara pa većina više ne služi svojoj svrsi. Unatoč tome, lučke dizalice postale su simbolom grada Rijeke te se nalaze unutar zaštićene Urbanističke cjeline grada zbog čega podliježu Zakonu o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara. [9] Kako bi se dizalice zadržale na riječkoj obali, potrebno ih je održavati te sanirati eventualna oštećenja. Upravo je to tema ovog rada - rekonstrukcija lučke dizalice u luci Porto Baroš.

Naime, riječ je o jednoj od tri lučke dizalice koje se nalaze na Sušačkom lukobranu u Rijeci. Provedena je detaljna analiza kako bi se osigurala sigurnost i stabilnost konstrukcije. Konačni cilj proračuna je obnova dizalice u svrhu njezina izlaganja kao eksponata industrijske baštine grada Rijeke u sklopu projekta uređenja luke nautičkog turizma Porto Baroš. Sama dizalica predmet je građevinskog glavnog projekta koji je trenutno u izradi pod nazivom "Konzervacija lučkih dizalica u luci nautičkog turizma Porto Baroš" tvrtke I.T.T. d.o.o. Koncept glavnog projekta bit će prilagođen i sažet kako bi se zadovoljili svi kriteriji i struktura diplomskog rada.

Rad je moguće podijeliti u dva dijela. Naime, u dostupnoj dokumentaciji proizvođača dizalice, kvaliteta čelika navedena je nesuvremenim načinom označavanja. Stoga, prvi dio bit će eksperimentalnog karaktera kako bi se ustanovilo o kojoj klasi čelika se radi kako bi

se uopće moglo krenuti u daljnju analizu konstrukcije. Ispitivanje se provodi na uzorcima standardiziranih dimenzija na uređaju za vlačno ispitivanje – kidalici. Dimenzije uzorka i sam postupak ispitivanja propisani su normom HRN ISO 6892-1 :2009. Krajnji rezultat ispitivanja je radni dijagram čelika koji daje podatke o mehaničkim svojstvima materijala iz kojih se zatim određuje kvaliteta čelika po suvremenim oznakama. Klasa čelika ključan je podatak za daljnji tijek proračuna konstrukcije.

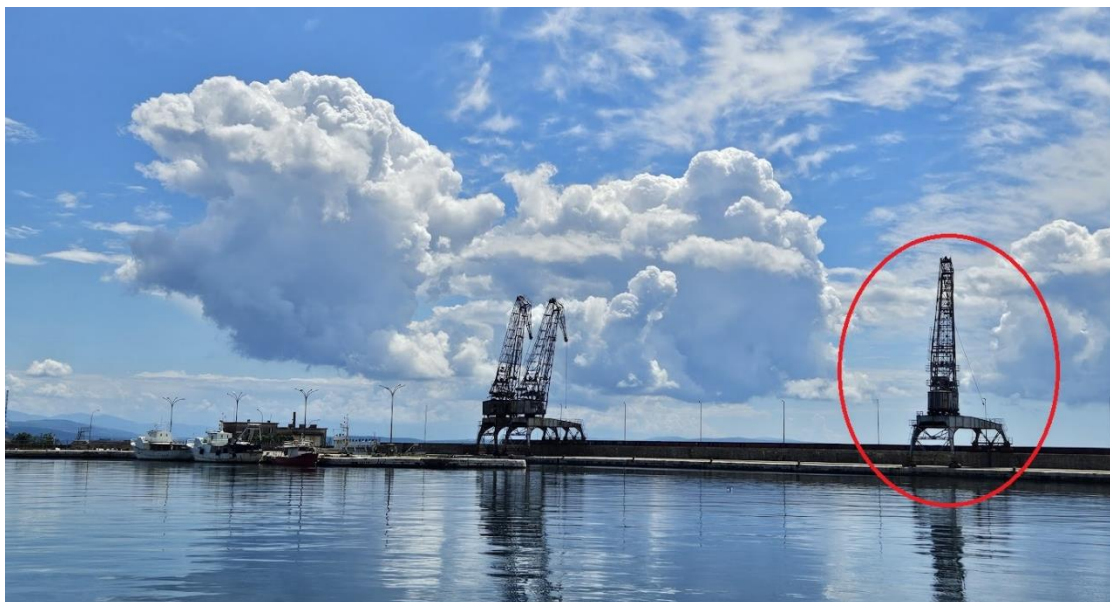
Proračun konstrukcije i čini drugi dio rada. Odvija se na način da se prema nominalnim presjecima i geometriji iz dostupne dokumentacije za sva predviđena opterećenja izvrši dokaz mehaničke otpornosti i stabilnosti konstrukcije. Statička analiza provedena je modeliranjem konstrukcije u računalnom programskom paketu Tower dok je proračun spoja proveden u programu IDEA StatiCa. Kompletni proračun sustava proveden je u skladu s europskim normama (Eurocode) za čelične konstrukcije i pripadajućem Nacionalnom dodatku za primjenu u Republici Hrvatskoj (HRN EN 1991, HRN EN 1993).

2. TEHNIČKI OPIS

2.1. Opis lokacije

U luci nautičkog turizma Porto Baroš, na Sušačkom lukobranu u Rijeci, trenutno se nalaze tri dizalice. Uslijed nevremena popraćenim jakim vjetrom dvije dizalice (smještene jugoistočno) su se sudarile. Tijekom sudara došlo je do iskakanja jedne dizalice iz ležaja te su nastala nepovratna konstrukcijska oštećenja na obje dizalice zbog kojih nije moguća rekonstrukcija već se moraju ukloniti. Treća po redu dizalica, koja se nalazi najzapadnije na lukobranu, pretrpjela je manja oštećenja te će uz numeričku provjeru, koja će biti provedena kroz ovaj rad, biti omogućena njezina sanacija.

Lukobran na kojem se dizalica nalazi smješten je u južnom dijelu akvatorija Sušačkog bazena. Pruža se u smjeru istok- zapad i štiti akvatorij bazena od valova iz južnih smjerova. Vanjsku stranu lukobrana čini okomiti betonski zid, dok je unutrašnja strana građena od kamenih blokova. Duljina lukobrana iznosi 320 m. [3] Točna pozicija dizalice na lukobranu naznačena je na Slika 1.



Slika 1: Lokacija dizalice na lukobranu

2.2. Opis konstrukcije

Lučka dizalica projektirana je u razdoblju od 1955. do 1957. godine. Proizvođač je Brodogradilište „Treći maj“ Rijeka, a izgrađena je i montirana na Sušački lukobran 1957. godine. Riječ je o lučkoj poluportalnoj dizalici s promjenjivim dohvatom i električnim pogonom čije je maksimalno dozvoljeno opterećenje (nosivost) 5000 kg (Slika 2). To je pokretna dizalica koja se je, kada je bila u funkciji, kretala metalnim šinama duž gata luke i tako opsluživala brodove u luci. [10] Godine 1986. izvršen je generalni remont dizalice koji je obuhvaćao strojarske radove i elektro radove.



Slika 2: Trenutačno stanje dizalice

Prema dostupnoj nacrtnoj dokumentaciji iz 1957. godine ukupna težina dizalice je 103.300,00 kg. U ukupnu težinu uračunati su dijelovi: most, mačka s mehanizmom, portal, kuke, toranj, stube, kabina, krak, protuuteg i balast u kabini.

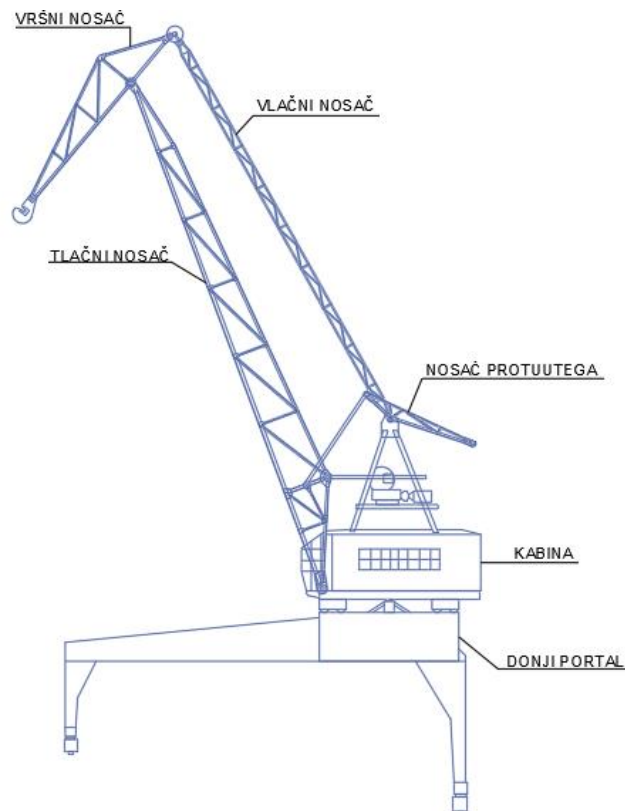
Tablica 1: Težina dizalice prema dijelovima

1)	Protuuteg u kabini	22000	kg
2)	Mehanizam translacije	6600	kg
3)	Protuuteg kraka	4750	kg
4)	Vitlo za teret	3300	kg
5)	Oplata kabina	1810	kg
6)	Nadgrađe sa strukturom	9500	kg
7)	Nosač protuutega	670	kg
8)	Koloturi u vrhu nadgrađa	320	kg
9)	Glavna rasklopna ploča	1500	kg
10)	Kotači za okretanje	2100	kg
11)	Centralna osovina	350	kg
12)	Šina za okretanje	900	kg
13)	Ozubljeni vijenac	700	kg
14)	Portal	31250	kg
15)	Mehanizam za krak	2600	kg
16)	Mehanizam za okretanje	1000	kg
17)	Ozubljena letva	400	kg
18)	Oslonci tlačnog nosača	100	kg
19)	Poluga	500	kg
20)	Kabina upravljanja	1500	kg
21)	Kotači translacije	2000	kg
22)	Vlačni nosač	1720	kg
23)	Tlačni nosač	5200	kg
24)	Koloturi u vrhu vlačnog nosača	320	kg
25)	Spoj tlačnog i vršnog nosača	100	kg
26)	Vršni nosač	1600	kg
27)	Koloturi vršnog nosača	320	kg
UKUPNO		103110	kg

Također, u postojećoj dokumentaciji navedena je kvaliteta čelične konstrukcije:

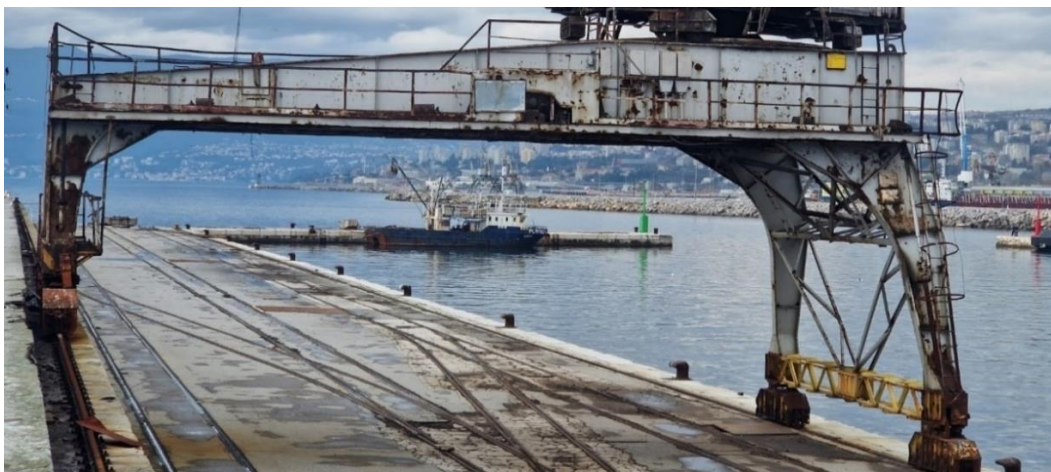
- SM ČELIK čvrstoće 37-46 kg/mm² i istežanje 20% (portal, krak, itd.)
- ČELIČNI LIJEV čvrstoće 52-60 kg/mm² i istežanje 10% (svi okretni kotači i zupčanici)

Visina dizalice od kote hodne površine lukobrana do vrha rešetke iznosi cca 32 m. Moguće ju je podijeliti u 3 cjeline: donji portal, kabina i gornje prostorne rešetke (nosači) kao što je prikazano na Slika 3. Glavnim projektom obuhvaćena je cijela dizalica, a za potrebe diplomskog rada, problem je sažet na jedan dio – dio gornjih prostornih rešetki.



Slika 3: Dijelovi dizalice

Donji portal se sastoji od dva poprečna i dva uzdužna okvira koji su međusobno povezani prostornim rešetkama (Slika 4). Poprečni okviri nalaze se sa sjeverne i južne strane i nagnuti su prema unutrašnjosti dizalice, jedan prema drugom. Okvir sa južne strane nalazi se na zidu lukobrana pa je samim time i manji okvir, dok se drugi, veći okvir, nalazi na hodnoj površini lukobrana. Oba poprečna okvira sadrže prostorne rešetke. Oba uzdužna okvira jednake su geometrije, te su zakrenuti jedan prema drugome. Povezuju ih horizontalne i vertikalne rešetke u nekoliko razina.



Slika 4: Donji portal dizalice

Kabina dizalice je prostor u kojem je smještena osoba ovlaštena za upravljanje dizalicom (Slika 5). U kabini se nalazi elektrooprema i protuuteg težine 22.000,00 kg. Kabina se sastoji od hodne površine kabine, kućice s upravljačkom pločom dizaličara, krovne konstrukcije, plašta kabine te profila spojenih u obliku obrnutog slova V međusobno povezanih platformom. Kabina je oslonjena na horizontalnu rešetku portala preko postolja te 4 kotača simetrično raspoređenih s obzirom na dužu os dizalice. Kotači preko vodilica rotiraju po najvišoj horizontalnoj površini kabine i na taj način je kabini (a time i prostornim rešetkama dizalice) omogućena rotacija od 360 stupnjeva.



Slika 5: Kabina dizalice

Gornje prostorne rešetke sastoje se od tlačnog nosača, vlačnog nosača, vršnog nosača i nosača protuutega. Tlačni nosač zglobno je oslonjen na rubni profil kabine UPE300 te je zglobno povezan s nosačem protuutega profilima UPE160 i mehanizmom translacije koji se nalazi na platformi kabine (nadgrađa). Nosač protuutega zglobno je oslonjen na vrhu nosača kabine (nadgrađa) i povezan s tlačnim nosačem profilima UPE 160. Na kraju nosača protuutega nalazi se protuuteg težine 4.750,00 kg. Vlačni nosač zglobno je oslonjen na vrhu nosača kabine (nadgrađa) i zglobno povezan s vršnim nosačem. Vršni nosač nalazi se na samom vrhu dizalice, zglobno je povezan s tlačnim i vlačnim nosačem. Na kraju vršnog nosača nalazi se vitlo za teret težine 3.300,00 kg. Svi profili i dimenzije nosača preuzeti su iz dostupne dokumentacije, osim za vlačni nosač. Zbog nedostatka nacrtne dokumentacije za vlačni nosač, profili i dimenzije su pretpostavljeni te će biti provjereni nakon demontaže dizalice.

2.2.1. Tlačni nosač

Prostorna rešetka tlačnog nosača prikazana je na Slika 6. Proteže se od 8,0 m do 29,0 m visine mjereno od hodne površine lukobrana, duljine je cca 24,20 m, širine 3,80 m prvi dnu i 1,80 m prvi vrhu, te razmaka između gornje i donje pojasnice na najširem dijelu cca od 2,20 m. Sastoji se od donjeg i gornjeg pojasa rešetke koji su međusobno povezani poprečnim okvirima. Donji pojas rešetke sastoji se od rubnih profila 2xL kojima se poprečni presjek smanjuje prema vrhu nosača, od 2xL150x100x12, 2xL150x100x10 do 2xL130x90x10. Donja pojasnica u najnižem polju dodatno je ojačana. Donji pojas rešetke moguće je podijeliti na 7 polja. Prvo polje je omeđeno poprečnim profilima 2xL50x65x5 i ispunom dijagonala 2xL65x80x6, dok su ostala polja omeđena profilima 2xL50x65x5 (odnosno 2xL60x40x5 prema vrhu) i ispunom dijagonala i poprečnim profilom L60x60x6 mm. Gornji pojas rešetke sastoji se od rubnih profila 2xL kojima se poprečni presjek smanjuje prema vrhu nosača, od 2xL100x75x11, 2xL100x75x9 do 2xL100x75x7. Poprečni profili su L70x70x7 i L60x60x6. Poprečni okviri sastoje se od rubnih vertikalnih profila L60x60x6, dijagonala L50x50x6 i središnjeg vertikalnog profila L50x50x6, na međusobnom razmaku od 320,0 cm. Prema vrhu, poprečni okviri se smanjuju na rubne vertikalne profile L60x60x6, dijagonale L50x50x5 i središnji vertikalni profil L50x50x5 mm.



Slika 6: Tlačni nosač

2.2.2. Vlačni nosač

Prostorna rešetka vlačnog nosača proteže se od 15,0 m do 32,0 m visine mjereno od hodne površine lukobrana, duljine je cca 19,60 m, širine 3,80 m pri dnu i 1,80 m pri vrhu, te razmaka između gornje i donje pojasnice cca 0,80 m. Sastoji se od donjeg i gornjeg pojasa rešetke koji su međusobno povezani poprečnim okvirima. Donji pojas rešetke sastoji se od rubnih profila 2xL i L kojima se poprečni presjek smanjuje prema vrhu nosača, od 2xL100x75x12 do L100x75x10. Donja pojasnica u najnižem polju dodatno je ojačana. Donji pojas rešetke moguće je podijeliti na 5 polja. Prvo polje je omeđeno poprečnim profilima L70x70x9 i L70x70x9 te ispunom dijagonalom 2xL60x60x6, dok su ostala polja omeđena profilima L60x40x5 i ispunom dijagonalom i poprečnim profilom L50x50x5 mm. Gornji pojas rešetke sastoji se od rubnih profila 2xL i L kojima se poprečni presjek smanjuje prema vrhu nosača, od 2xL75x50x9 do L75x50x7. Poprečni profili su L70x70x9 i L60x60x6. Poprečni okviri sastoje se od rubnih vertikalnih profila L50x50x5, dijagonala L50x50x5 i središnjeg vertikalnog profila L50x50x5, na međusobnom razmaku od 370,0 cm. Prvi poprečni okvir prvi dnu sastoji se od rubnih vertikalnih profila UPE120, dijagonale L60x60x6 i središnji vertikalni profil L60x60x6 mm. Vlačni nosač prikazan je na Slika 7.



Slika 7: Vlačni nosač

2.2.3. Vršni nosač

Prostorna rešetka vršnog nosača (Slika 8) proteže se od 24,0 m do 32,0 m visine mjereno od hodne površine lukobrana, duljine je cca 10,80 m, širine 1,55 m pri dnu i 0,55 m pri vrhu, te razmaka između gornje i donje pojasnice na najširem dijelu cca od 2,00 m. Sastoji se od donjeg i gornjeg pojasa rešetke koji su međusobno povezani poprečnim okvirima. Donji pojas rešetke sastoji se od rubnih profila 2xL100x750x9 mm. Prvo polje donjeg pojasa je jednake širine, ispune dijagonala 2xL65x50x4, omeđeno poprečnim profilima UPE160 i 2xUPE220 (omeđuju zglobni oslonac). Ostala polja se sužavaju prvi vrhu, poprečni profili su L60x60x6 te ispune dijagonalama L50x50x5. Zadnje polje sadrži samo jednu dijagonalu profila L60x60x6. Gornji pojas rešetke sastoji se od rubnih profila L kojima se poprečni presjek smanjuje prema vrhu nosača, od L90x90x9 do L80x80x10. Prvo polje (nagib u suprotnom smjeru od ostatka nosača) jednake je širine, ispune dijagonala L70x70x7, omeđeno poprečnim profilima L100x65x7 i 2xL40x80x6. Ostala polja se sužavaju prvi vrhu, poprečni profili su L50x50x5 te ispune dijagonalama L50x50x5. Zadnje polje sadrži samo jednu dijagonalu profila L60x60x6 (suprotan smjer od dijagonale u donjem pojasu rešetke). Poprečni okviri sastoje se od rubnih vertikalnih profila L50x50x5 i dijagonala L50x50x2, na međusobnom razmaku od 225,0 cm. Središnji poprečni okvir sastoji se od rubnih vertikalnih profila 2xL75x55x9 i dijagonala L50x50x5.



Slika 8: Vršni nosač

2.2.4. Nosač protuutega

Prostorna rešetka nosača protuutega proteže se od 15,0 m do 17,0 m visine mjereno od hodne površine lukobrana, duljine je cca 5,40 m, širine 2,80 m, te razmaka između gornje i donje pojasnice na najširem dijelu cca od 0,75 m. Sastoji se od donjeg i gornjeg pojasa rešetke koji su međusobno povezani poprečnim okvirima. Donji pojas rešetke sastoji se od rubnih profila 2xL50x100x8. Donje pojasnice međusobno su povezane poprečnim profilom L55x55x6 mm te rubnim profilima UPE100. Ispuna dijagonalama je L60x60x6 mm te L80x80x8 mm. Gornji pojas rešetke sastoji se od rubnih profila 2xL60x60x6 te poprečnim profilima L50x50x6 mm. Poprečni okviri sastoje se od rubnih vertikalnih profila 2xL50x65x5 te dijagonala L50x50x6. Nosač protuutega prikazan je na Slika 9.



Slika 9: Nosač protuutega

3. ISPITIVANJE

Kao što je već rečeno, u dostupnoj dokumentaciji iz 1950ih godina, kvaliteta čelika navedena je tadašnjim načinom označavanja preko čvrstoće (kg/mm^2) i istežanja (%). Suvremeni način razredbe čelika u graditeljstvu određen je Europskom normom HRN EN 10027-1:2016. Glavna oznaka čelika definirana je namjenom, mehaničkim i fizikalnim svojstvima te najmanjom granicom popuštanja u Mpa. Čelik koji se koristi u modernom građevinarstvu je građevinski ili konstrukcijski čelik, oznake S. Drugi dio oznake, odnosno broj koji stoji uz S, odnosi se na minimalnu granicu popuštanja (npr. S235, S 275, S335,...).

Kako bi dobili kvalitetu čelika, koja je temeljni podatak za sve daljnje proračune, potrebno je ispitati vlačnu čvrstoću uzorka dizalice. Ispitivanje se provodi u skladu s normom HRN EN 6892-1: 2019. Rezultat eksperimenta je radni dijagram čelika koji daje najvažnije podatke o mehaničkim svojstvima čelika kao što su granica popuštanja, vlačna čvrstoća, modul elastičnosti, itd.

3.1. Ispitni uzorci

Kako su sve tri dizalice koje se nalaze na lukobranu izrađene od istog materijala, kako ne bi narušili stabilnost dizalice, uzorci za ispitivanje uzeti su od elemenata susjedne dizalice koji više nemaju nosivu funkciju. Odabrana su 3 elementa različitih poprečnih presjeka, a njihove pozicije prije rezanja označene su i prikazane na Slici 10, 11 i 12.



Slika 10: Pozicija elementa br. 1 na konstrukciji



Slika 11: Pozicija elementa br. 2 na konstrukciji



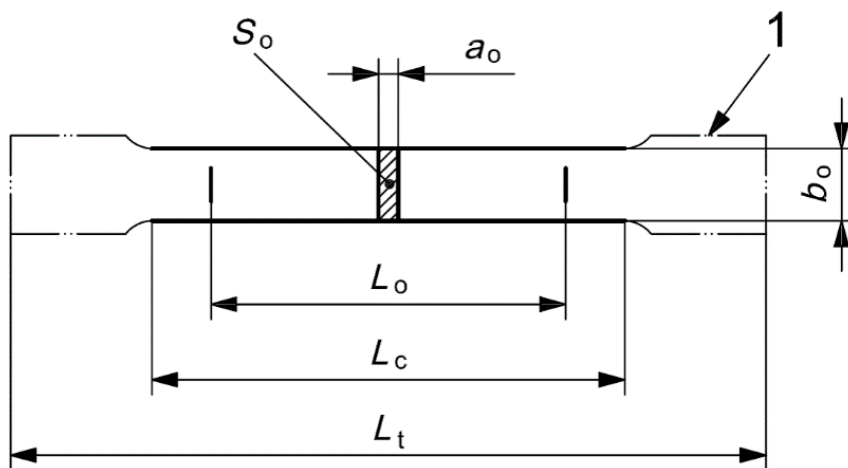
Slika 12: Pozicija elementa br. 3 na konstrukciji

Na Slika 13 prikazani su odrezani elementi, a radi se o dva elementa L profila i jednom UPN profilu. Na slici lijevo nalazi se element br. 1, L profila dimenzija $55 \times 55 \times 5$ mm i duljine 440 mm. Element br.2 prikazan na slici u sredini je također L profil dimenzija $50 \times 50 \times 5$ mm, duljine 470 mm. Element br. 3 na slici desno je UPN100 profil čije su pojasnice promjenjive debljine i duljine 50 mm, dok je hrbat debljine 6 mm i duljine 100 mm. Ukupna duljina elementa je 470 mm.



Slika 13: Elementi od kojih će biti napravljeni ispitni uzorci

Kako bi uzorci bili prigodni za ispitivanje, potrebno ih je izrezati da budu točno određenog oblika i dimenzija, ovisno o obliku poprečnog presjeka elementa. Uzorak mora biti takav da odgovara zahtjevima uređaja na koji se postavlja, a da pritom zadovoljava i pravila propisana normom. Oblikovanje i dimenzioniranje uzoraka određeno je europskom normom HRN EN ISO 6892-1 (dodatak D – uzorci čija je debljina veća od 3mm).



Slika 14: Strojno obrađeni standardni ispitni uzorak pravokutnog poprečnog presjeka [5]

Na Sliku 14 označene su dimenzije uzorka za ispitivanje pravokutnog poprečnog presjeka, gdje je:

a_0 – početna debljina ispitnog uzorka

b_0 – početna širina suženog dijela ispitnog uzorka

L_c – duljina suženog dijela ispitnog uzorka

L_0 – mjerna duljina ispitnog uzorka (razmak između mjernih instrumenata -ekstenzometara)

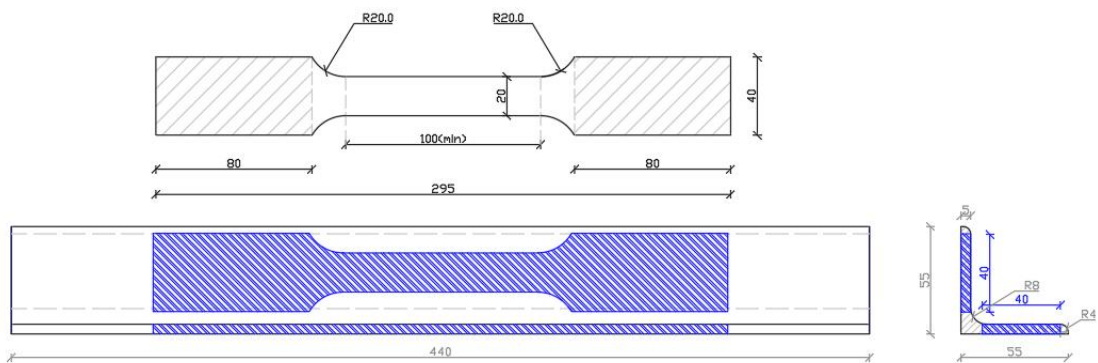
L_t – ukupna duljina ispitnog uzorka

S_0 – početna površina poprečnog presjeka suženog dijela ispitnog uzorka

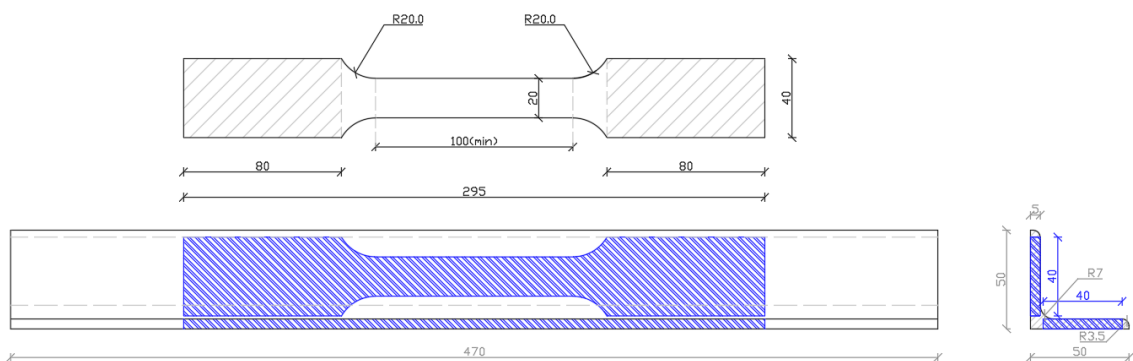
1 – oznaka krajeva uzorka koji se prihvaćaju u čeljusti ispitnog stroja

Najmanji prijelazni polumjer između suženog dijela i kraja uzorka koji se prihvaća u čeljusti ispitnog stroja je 12 mm. Preporuča se da omjer širine i debljine suženog dijela uzorka pravokutnog poprečnog presjeka ne prelazi 8:1. Minimalna vrijednost mjerne duljine ispitnog uzorka je 15 mm, a za duljinu suženog dijela L_c vrijedi $L_c \geq L_0 + 1,5\sqrt{S_0}$. [6]

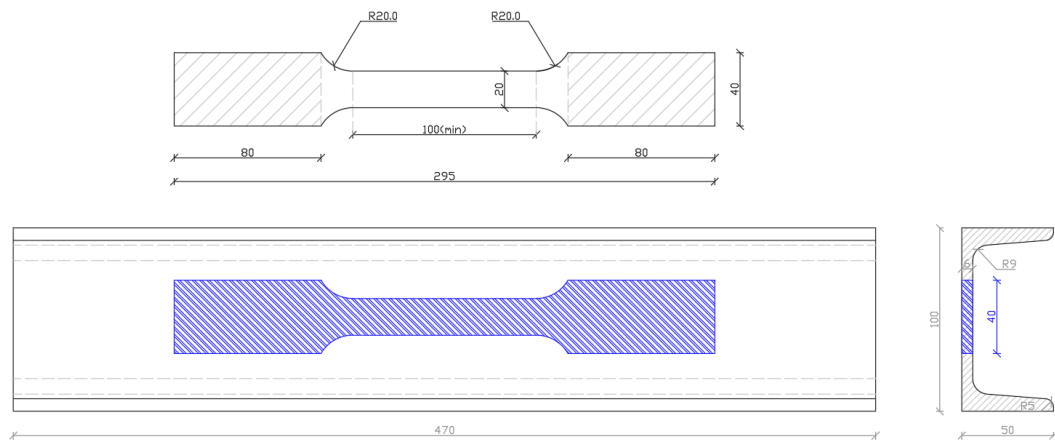
Prema tome, od gore navedena tri elementa dobiveno je pet testnih uzoraka pravokutnog poprečnog presjeka. Od L profila dobivena su po 2 uzorka, dok je od UPE profila dobiven jedan uzorak. Točne veličine i pozicije rezanja prikazane su na Slici 15, 16 i 17.



Slika 15: Shema rezanja Elementa 1 za dobivanje ispitnih uzoraka



Slika 16: Shema rezanja Elementa 2 za dobivanje ispitnih uzoraka



Slika 17: Shema rezanja Elementa 3 za dobivanje ispitnih uzoraka

Rezanje uzoraka omogućila je tvrtka AR – Metal d.o.o. iz Rijeke, a korištena je tehnika rezanja vodenim mlazom. Vodeno rezanje je postupak u kojem se mješavina vode i abrazivnog sredstva pod visokim tlakom usmjerava prema elementu čime se odvajaju čestice metala i nastaje rez u elementu. Ovakav način rezanja ne zagrijava materijal, što je povoljno za čelik pošto izlaganje visokim temperaturama može promijeniti njegove karakteristike. Izrezani uzorci prikazani su na Slika 18.

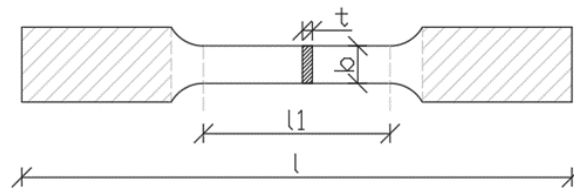


Slika 18: Izrezani uzorci

Uzorci su nakon rezanja označeni (S1, S2, S3, S4, S5), izvagani te su izmjerene sve dimenzije kako bi se utvrdila odstupanja od nominalnih dimenzija. Radi boljeg prijanjanja, izbrušene su prihvatne površine uzoraka. Izmjere su prikazane u *Tablica 2*.

Tablica 2: Izmjere uzoraka

Uzorak	Masa [g]	l [mm]	b [mm]	l1 [mm]	t [mm]
S1	351.2	295	20.26	100	5.95
S2	369.2	295	20.28	100	5.54
S3	388.3	294	20.25	100	6.97
S4	384.7	295	20.28	100	6.97
S5	497.7	294.5	20.53	100	8.18



3.2. Eksperiment

Ispitivanje je provedeno u laboratoriju za konstrukcije Građevinskog fakulteta u Rijeci. Uvjeti u kojima je proveden eksperiment su temperatura prostora od 22,1 °C te relativna vlažnost zraka od 59%. Uzorci su ispitani na univerzalnom tlačno-vlačnom stroju (kidalici) Zwick/Roell Z600, u gornjem radnom prostoru, primjenom hidrauličnih čeljusti kapaciteta 500 kN (Slika 19). Kidalicom upravlja računalo (program testXpert II) u koje su uneseni svi potrebni ulazni podaci o uzorcima i ispitivanju.



Slika 19: Kidalica Zwick/Roell Z600

U normi HRN ISO 6892-1 :2009 opisane su dvije metode ispitivanja - metoda A i metoda B. Metoda A temelji se na kontroli brzine deformacije (strain rate), dok se metoda B bazira na kontroli napreznja (stress rate). Potrebno je napomenuti da će obje metode dati isti rezultat, razlika je samo u veličini koja se kontrolira. U ovom ispitivanju korištena je metoda A, dakle opterećivanje uzoraka je ostvareno kontroliranim pomakom pomične grede ispitnog

stroja. Izduženje čelika mjereno je uz pomoć ekstenzometra na mjernom području od 45 mm.

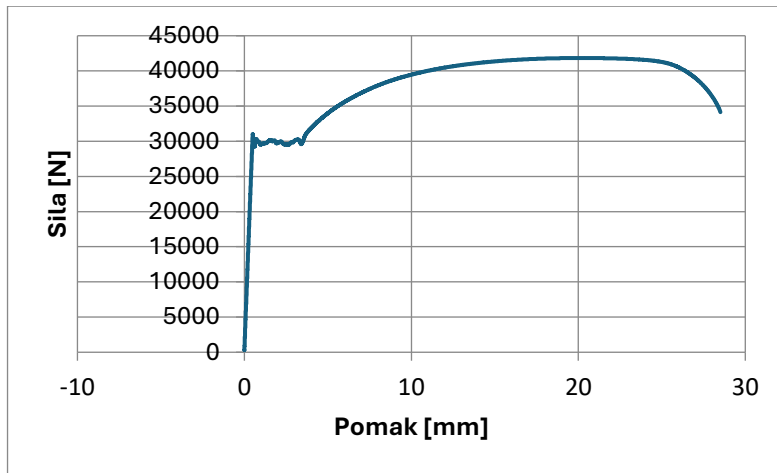
Vlačno ispitivanje je provedeno prema sljedećoj proceduri:

- Do granice popuštanja čelika, vlak u uzorku nanesen je kontrolom deformacije (pomoću ekstenzometra) s brzinom prirasta od $0,00025 \text{ s}^{-1}$
- Nakon granice popuštanja, vlak u uzorku nanesen je kontrolom pomaka pomične grede s brzinom prirasta od $0,0067 \text{ s}^{-1}$
- Kraj ispitivanja definiran je kao pad vlačne čvrstoće od 80% ili nakon sloma uzorka

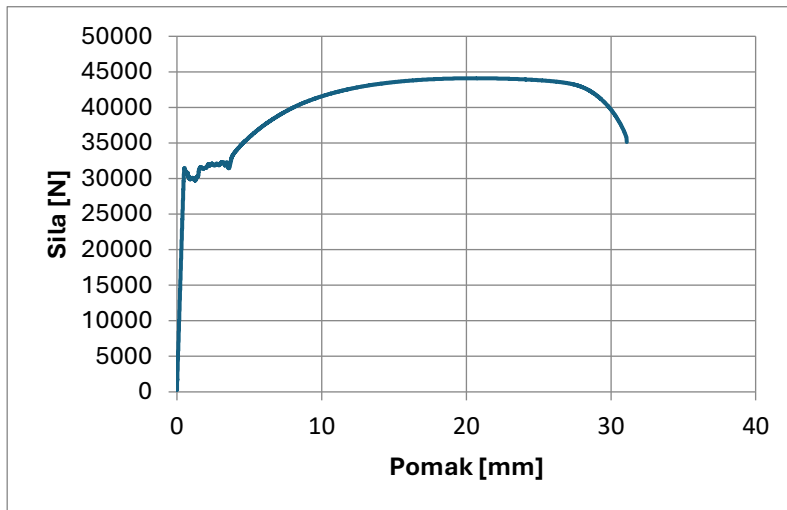


Slika 20: Ugrađeni uzorak za ispitivanje

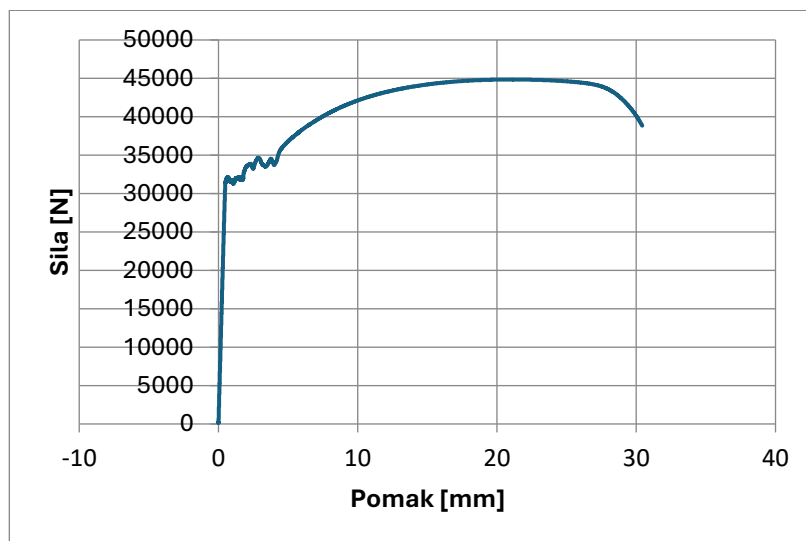
Na Slika 20 prikazan je ugrađeni uzorak u kidalici. Odnos nanese vlačne sile i pomaka u stroju tijekom ispitivanja prikazan je grafički za svaki uzorak. (Slika 21, 22, 23, 24 i 25)



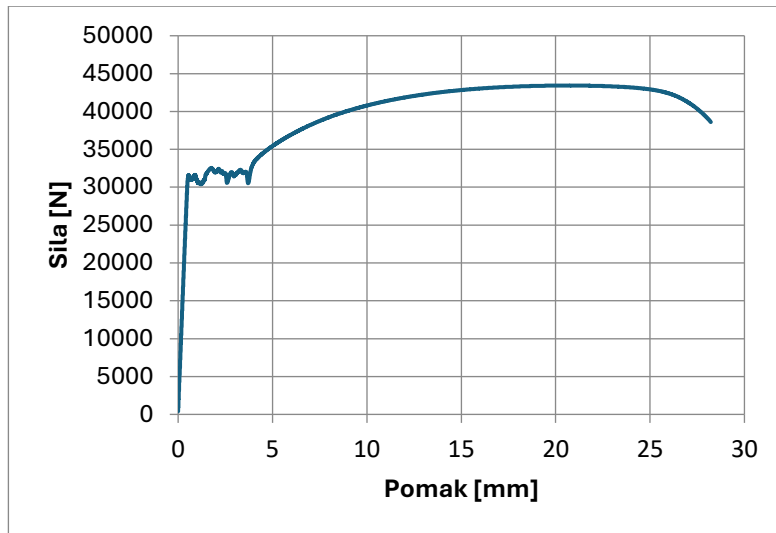
Slika 21: Dijagram sila-pomak za uzorak S1



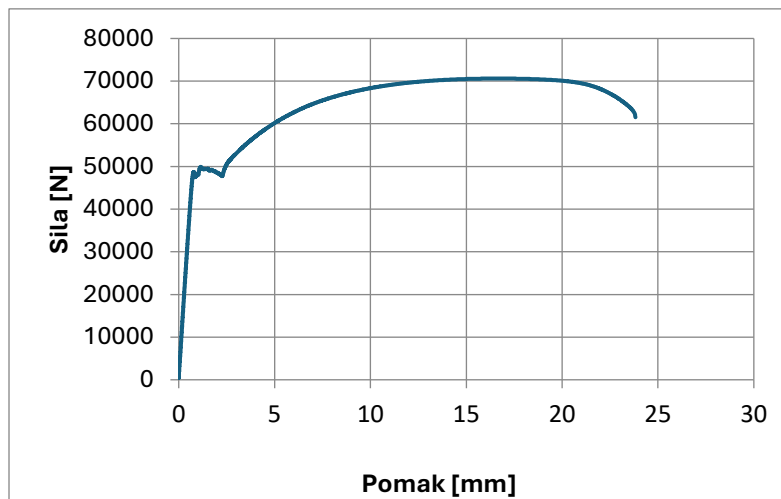
Slika 22: Dijagram sila-pomak za uzorak S2



Slika 23: Dijagram sila-pomak za uzorak S3



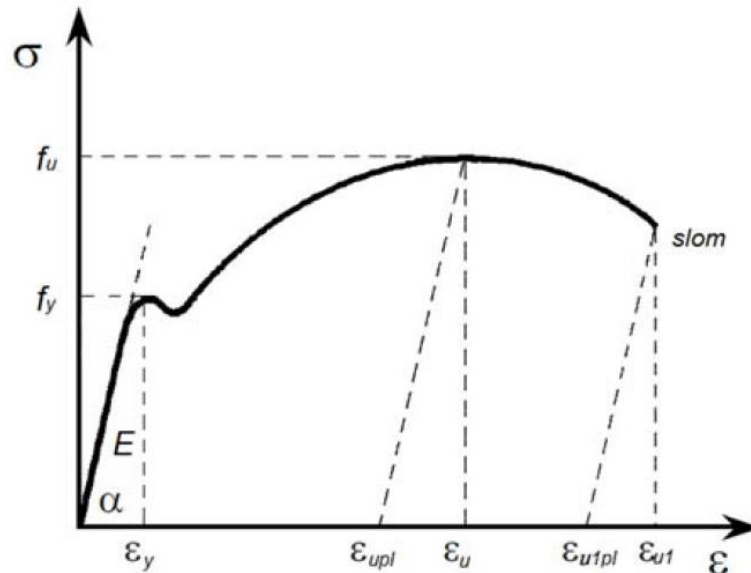
Slika 24: Dijagram sila-pomak za uzorak S4



Slika 25: Dijagram sila-pomak za uzorak S5

3.3. Rezultati ispitivanja

Kao rezultat ispitivanja dobiveni su dijagrami koji prikazuju međusobnu ovisnost naprezanja σ i deformacije ε , odnosno relativnog produljenja uzorka s obzirom na početnu duljinu.



Slika 26: Karakteristični dijagram naprezanje-deformacija za čelik [6]

Slika 26 prikazuje karakteristični radni dijagram čelika, gdje je:

E - Youngov modul elastičnosti ($\tan \alpha$)

f_y - gornja granica popuštanja čelika

f_u - vlačna čvrstoća

ε_y - deformacija na granici popuštanja

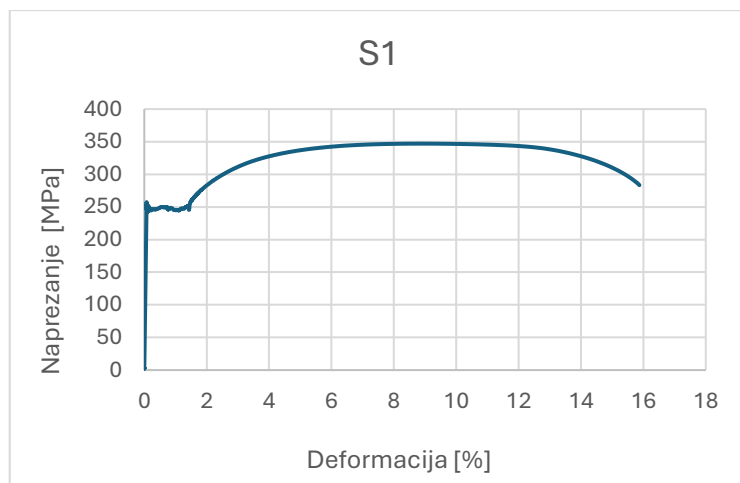
ε_u - deformacija pri najvećoj vlačnoj čvrstoći

ε_{upl} - plastična komponenta deformacije pri najvećoj vlačnoj čvrstoći

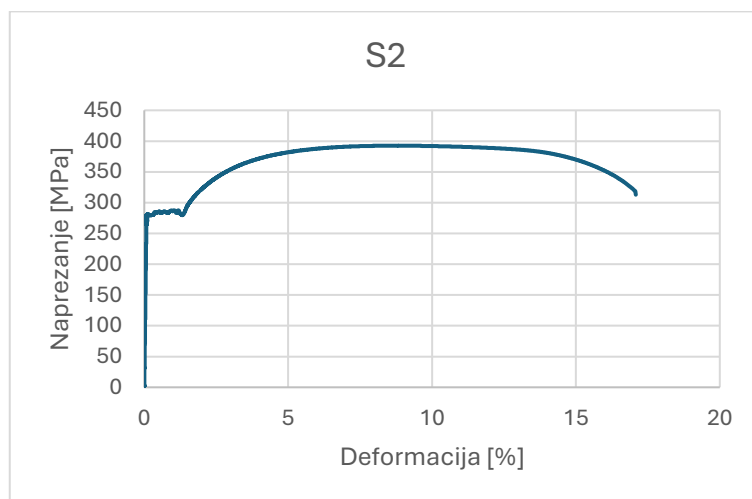
ε_{u1} - deformacija pri lomu

ε_{u1pl} - plastična komponenta deformacije pri lomu

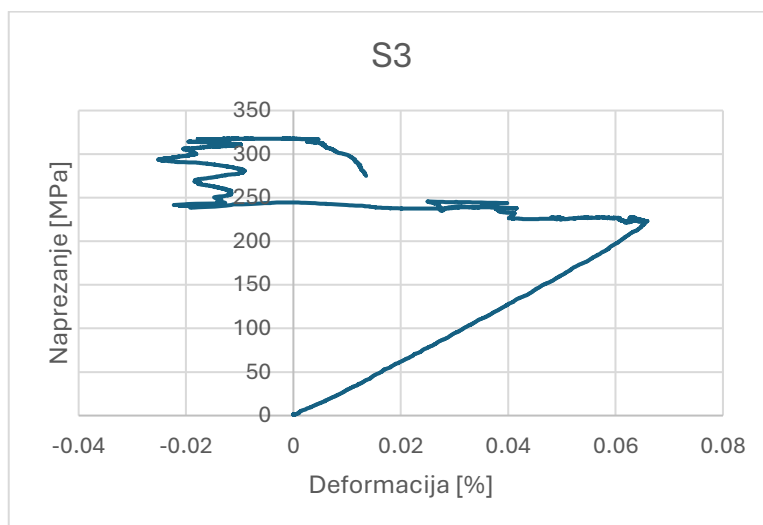
U nastavku, na Slici 27, 28, 29,30 i 31 prikazani su dijagrami naprezanje – deformacija za svaki ispitni uzorak.



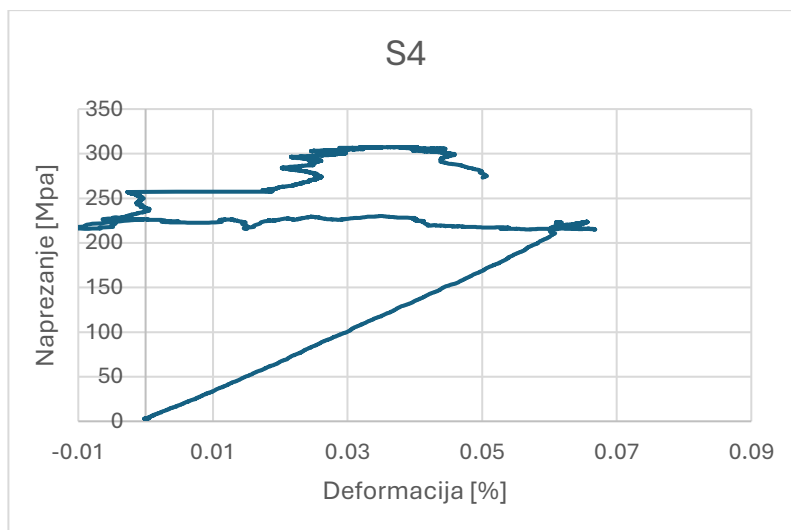
Slika 27: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S1



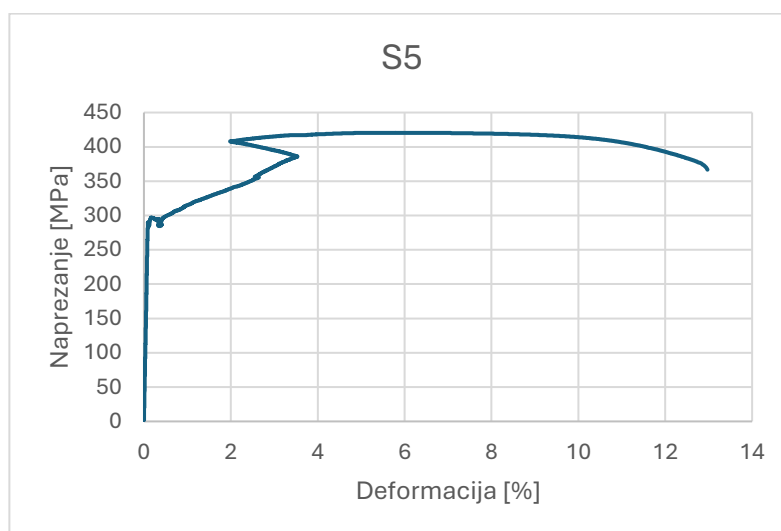
Slika 28: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S2



Slika 29: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S3



Slika 30: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S4



Slika 31: Dijagram naprezanje - deformacija za uzorak S5

Krivulje na Slici 29, 30 i 31 za uzorke S3, S4 i S5 nisu karakterističnog oblika. Razlog tome je što je prije ispitivanja boja skinuta samo na krajevima uzoraka, ne i na mjernom području. Zbog toga je, nakon granice popuštanja došlo do odvajanja boje nakon čega ekstenzometar više nije bio u kontaktu s uzorkom već je mjerio promjene pomaka na sloju boje. To je rezultiralo poremećajem u grafovima. Usprkos tome, u elastičnom području ekstenzometri su dobro mjerili pomak te su dobiveni podaci za gornju granicu popuštanja i Youngov modul relevantni. Također, nakon dosegnute granice popuštanja, pomak je kontroliran pomicanjem grede, ne ekstenzometara pa je i vrijednost vlačne čvrstoće vjerodostojna. Za određivanje kvalitete čelika su dovoljni upravo ti podaci. U nastavku u *Tablica 3* prikazani su rezultati ispitivanja svih pet uzoraka.

Tablica 3: Rezultati ispitivanja

	Date/Clock time	m_E GPa	$R_{p0.2}$ MPa	R_{eH} MPa	A_e %	R_{eL} MPa	R_m MPa	A_g %	A_{gt} %	R_B MPa	A_t %	t_{test} s	a_0 mm	b_0 mm	S_0 mm ²
S1	45432.43	154.79	248.25	257.30	3.02	242.81	347.07	19.68	19.91	283.36	35.27	86.25	5.95	20.26	120.55
S2	45432.44	156.34	279.52	280.40	2.77	264.50	392.55	19.35	19.60	312.72	37.96	119.36	5.54	20.28	112.35
S3	45432.46	146.06	-	227.79	0.00	221.73	317.78	-0.24	-0.02	275.18	0.03	121.94	6.97	20.25	141.14
S4	45432.47	149.11	-	223.82	-0.01	215.12	307.24	-0.13	0.08	273.23	0.11	111.84	6.97	20.28	141.35
S5	45432.47	145.88	297.03	289.90	0.63	282.85	420.45	12.57	12.86	366.52	28.83	85.87	8.18	20.53	167.94

Oznake u programu testXpert II se razlikuju od onih uobičajenih, a za određivanje kvalitete čelika najbitniji su podaci R_{eH} i R_m gdje je

$R_{eH} = f_y$ – granica popuštanja čelika

$R_m = f_u$ – vlačna čvrstoća

Tablica 4: Nominalne vrijednosti granice popuštanja f_y i krajnje vlačne čvrstoće f_u za konstrukcijske čelike u skladu s EN 10025, EN 10210 i EN 10219 [1]

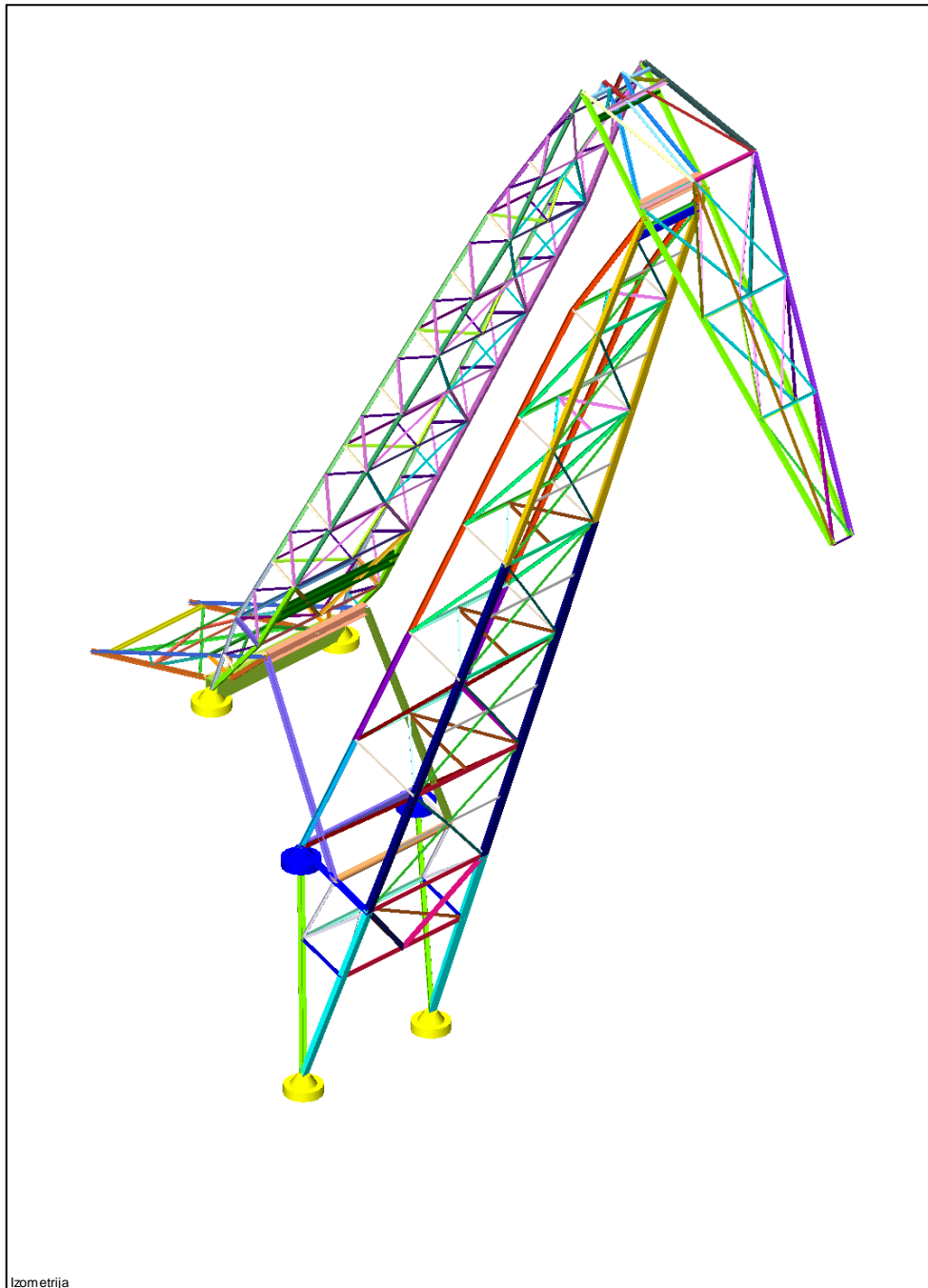
Kvaliteta čelika	Nominalna debljina elementa t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
S 235	235	360	215	360
S 275	275	390	245	370
S 355	355	490	325	470
S 420	420	510	390	490
S 460	460	540	410	510
S 500	500	580	450	580
S 550	550	600	500	600
S 600	600	650	550	650
S 620	620	700	560	660
S 650	650	700	-	-
S 690	690	770	630	710
S 700	700	750	-	-

Srednja vrijednost za granicu popuštanja iznosi 256 MPa, dok je prosječna vrijednost vlačne čvrstoće 357 MPa što prema Tablica 4 minimalnih vrijednosti granice popuštanja i krajnje vlačne čvrstoće okvirno odgovara današnjoj kvaliteti čelika S235.

4. PRORAČUN MEHANIČKE OTPORNOSTI I STABILNOSTI

Konstrukcija je modelirana i proračunata u računalnom programskom paketu Tower. Tower je profesionalni alat koji radi na principu metode konačnih elemenata, a služi za modeliranje, analizu i dimenzioniranje betonskih, čeličnih i drvenih konstrukcija.

4.1. Model



Slika 32: 3D prikaz modela

Model (Slika 32) se sastoji od štapnih elemenata L, UPE i 2×L profila različitih dimenzija. 2×L profili modelirani su kao T profili. Kvaliteta čelika je S235.

Tablica 5: Tablica materijala (Tower)

No	Naziv materijala	E[kN/m ²]	μ	γ [kN/m ³]	α [1/C]	Em[kN/m ²]	μ
1	Čelik	2.100e+8	0.30	78.50	1.000e-5	2.100e+8	0.30

Kako je za potrebe diplomskog rada obrađen samo gornji dio prostornih rešetki, na mjestima spojeva s ostatkom dizalice postavljeni su ležajevi. Konstrukcija ima ukupno 6 ležajeva koji su modelirani kao točkasti ležajevi, od kojih su 4 nepomična (na Slika 32 obojani žutom bojom) i 2 pomična (na Slika 32 obojani plavom bojom). U nastavku, na Slikama 33-41, prikazani su pogledi svakog pojedinog nosača sa označenim profilima elemenata i pripadajućem setu. Model ima ukupno 62 seta koji su na Slika 32 prikazani različitim bojama, a karakteristike svakog seta prikazane su u nastavku u Tablica 6.

Tablica 6: Karakteristike setova

Set: 1 Presjek: UPE 100, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.250e-3	8.250e-4	4.500e-4	1.787e-8	2.067e-6	3.820e-7	

Set: 2 Presjek: UPE 120, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.542e-3	6.000e-4	9.600e-4	2.457e-8	5.530e-7	3.634e-6	

Set: 3 Presjek: UPE 120, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.542e-3	6.000e-4	9.600e-4	2.457e-8	5.530e-7	3.634e-6	

Set: 4 Presjek: UPE 140, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.842e-3	7.000e-4	1.170e-3	3.631e-8	7.864e-7	5.992e-6	

[cm]

Set: 5 Presjek: UPE 140, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.842e-3	7.000e-4	1.170e-3	3.631e-8	7.864e-7	5.992e-6	

[cm]

Set: 6 Presjek: UPE 160, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	2.167e-3	1.330e-3	8.800e-4	4.735e-8	9.104e-6	1.066e-6	

[cm]

Set: 7 Presjek: UPE 160, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	2.167e-3	8.800e-4	1.330e-3	4.735e-8	1.066e-6	9.104e-6	

[cm]

Set: 8 Presjek: UPE 160, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	2.167e-3	8.800e-4	1.330e-3	4.735e-8	1.066e-6	9.104e-6	

[cm]

Set: 9 Presjek: T 20/15, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	5.712e-3	3.185e-3	2.603e-3	7.511e-7	8.159e-6	1.311e-5	

[cm]

Set: 10 Presjek: T 20/15, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	4.800e-3	2.648e-3	2.068e-3	4.400e-7	6.760e-6	1.115e-5

[cm]

Set: 11 Presjek: T 18/13, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	4.200e-3	2.299e-3	1.907e-3	3.800e-7	4.940e-6	7.241e-6

[cm]

Set: 12 Presjek: T 15/10, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	2.988e-3	1.597e-3	1.453e-3	2.134e-7	2.575e-6	2.990e-6

[cm]

Set: 13 Presjek: T 15/10, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	3.608e-3	1.963e-3	1.887e-3	3.824e-7	3.173e-6	3.548e-6

[cm]

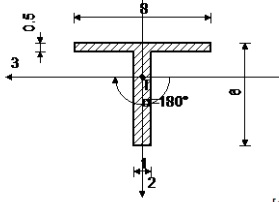
Set: 14 Presjek: T 15/10, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	2.352e-3	1.236e-3	1.064e-3	1.022e-7	1.990e-6	2.396e-6

[cm]

Set: 15 Presjek: T 15/10, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	2.988e-3	1.597e-3	1.453e-3	2.134e-7	2.575e-6	2.990e-6

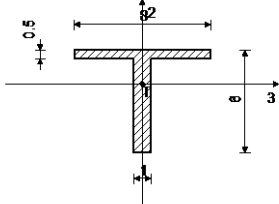
[cm]

Set: 16 Presjek: T 8/6, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	9.500e-4	5.312e-4	4.391e-4	2.167e-8	2.179e-7	3.479e-7



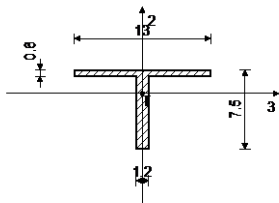
[cm]

Set: 17 Presjek: T 8/6, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	9.500e-4	5.312e-4	4.391e-4	2.167e-8	2.179e-7	3.479e-7



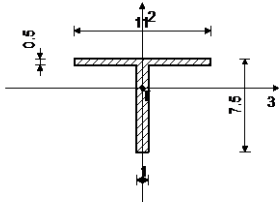
[cm]

Set: 18 Presjek: T 13/7.5, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	1.608e-3	7.964e-4	7.846e-4	4.910e-8	1.108e-6	8.957e-7



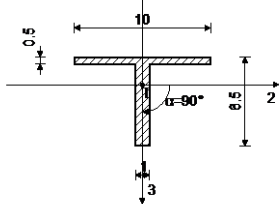
[cm]

Set: 19 Presjek: T 11/7.5, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	1.250e-3	6.617e-4	5.548e-4	2.792e-8	5.604e-7	7.201e-7



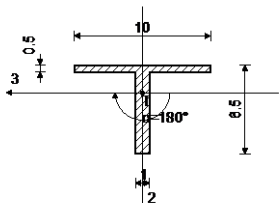
[cm]

Set: 20 Presjek: T 10/6.5, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	1.100e-3	5.138e-4	5.748e-4	2.417e-8	4.691e-7	4.217e-7



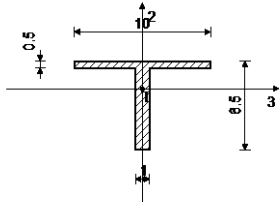
[cm]

Set: 21 Presjek: T 10/6.5, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	1.100e-3	5.748e-4	5.138e-4	2.417e-8	4.217e-7	4.691e-7



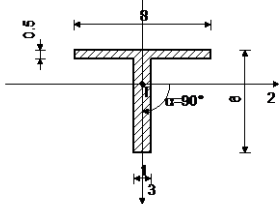
[cm]

Set: 22 Presjek: T 10/6.5, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	1.100e-3	5.748e-4	5.138e-4	2.417e-8	4.217e-7	4.691e-7



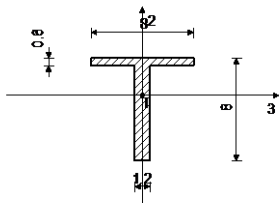
[cm]

Set: 23 Presjek: T 8/6, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	9.500e-4	4.391e-4	5.312e-4	2.167e-8	3.479e-7	2.179e-7



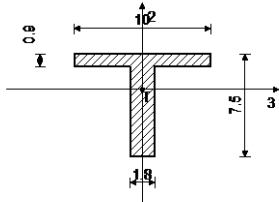
[cm]

Set: 24 Presjek: T 8/8, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	1.368e-3	8.481e-4	5.768e-4	4.838e-8	2.667e-7	9.052e-7



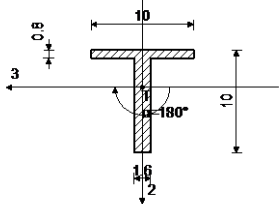
[cm]

Set: 25 Presjek: T 10/7.5, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	2.088e-3	1.206e-3	1.127e-3	1.526e-7	7.821e-7	1.157e-6



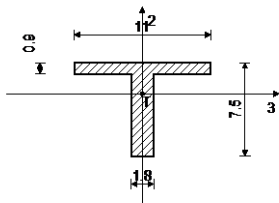
[cm]

Set: 26 Presjek: T 10/10, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	2.272e-3	1.414e-3	9.889e-4	1.427e-7	6.981e-7	2.338e-6

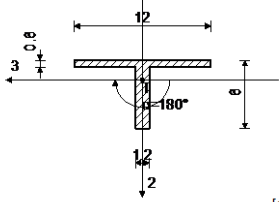


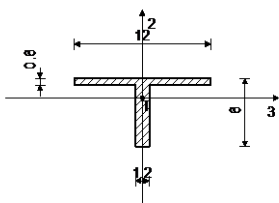
[cm]

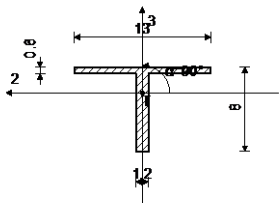
Set: 27 Presjek: T 11/7.5, Fiktivna ekscentričnost						
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - Čelik	2.178e-3	1.208e-3	1.179e-3	1.550e-7	1.030e-6	1.197e-6

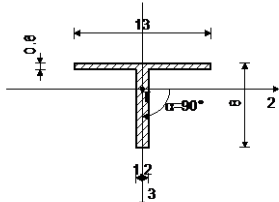


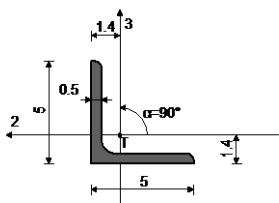
[cm]

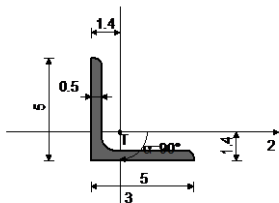
Set: 28 Presjek: T 12/6, Fiktivna ekscentričnost		Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
		1 - Čelik	1.368e-3	6.419e-4	7.318e-4	3.974e-8	8.718e-7	4.666e-7
	[cm]							

Set: 29 Presjek: T 12/6, Fiktivna ekscentričnost		Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
		1 - Čelik	1.368e-3	6.419e-4	7.318e-4	3.974e-8	8.718e-7	4.666e-7
	[cm]							

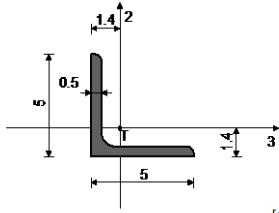
Set: 30 Presjek: T 13/8, Fiktivna ekscentričnost		Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
		1 - Čelik	1.668e-3	7.864e-4	8.484e-4	5.198e-8	1.072e-6	1.109e-6
	[cm]							

Set: 31 Presjek: T 13/8, Fiktivna ekscentričnost		Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
		1 - Čelik	1.668e-3	7.864e-4	8.484e-4	5.198e-8	1.072e-6	1.109e-6
	[cm]							

Set: 32 Presjek: L 50x50x5, Fiktivna ekscentričnost		Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
		1 - Čelik	4.800e-4	2.500e-4	2.500e-4	4.200e-9	1.100e-7	1.099e-7
	[cm]							

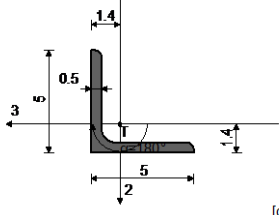
Set: 33 Presjek: L 50x50x5, Fiktivna ekscentričnost		Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
		1 - Čelik	4.800e-4	2.500e-4	2.500e-4	4.200e-9	1.100e-7	1.099e-7
	[cm]							

Set: 34 Presjek: L 50x50x5, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	4.800e-4	2.500e-4	2.500e-4	4.200e-9	1.100e-7	1.100e-7	



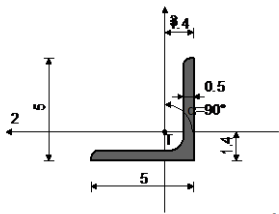
[cm]

Set: 35 Presjek: L 50x50x5, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	4.800e-4	2.500e-4	2.500e-4	4.200e-9	1.099e-7	1.100e-7	



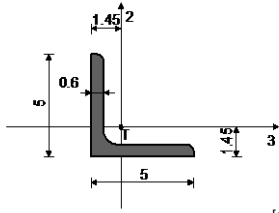
[cm]

Set: 36 Presjek: L 50x50x5, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	4.800e-4	2.500e-4	2.500e-4	4.200e-9	1.099e-7	1.100e-7	



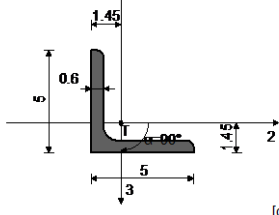
[cm]

Set: 37 Presjek: L 50x50x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	5.690e-4	3.000e-4	3.000e-4	7.200e-9	1.282e-7	1.282e-7	



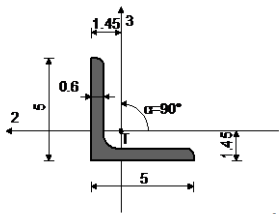
[cm]

Set: 38 Presjek: L 50x50x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	5.690e-4	3.000e-4	3.000e-4	7.200e-9	1.282e-7	1.282e-7	



[cm]

Set: 39 Presjek: L 50x50x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	5.690e-4	3.000e-4	3.000e-4	7.200e-9	1.282e-7	1.282e-7	



[cm]

Set: 40 Presjek: L 50x50x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	5.690e-4	3.000e-4	3.000e-4	7.200e-9	1.282e-7	1.282e-7	

[cm]

Set: 41 Presjek: L 70x70x7, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	9.400e-4	4.900e-4	4.900e-4	1.600e-8	4.235e-7	4.235e-7	

[cm]

Set: 42 Presjek: L 70x70x7, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	9.400e-4	4.900e-4	4.900e-4	1.600e-8	4.235e-7	4.235e-7	

[cm]

Set: 43 Presjek: L 70x70x7, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	9.400e-4	4.900e-4	4.900e-4	1.600e-8	4.235e-7	4.235e-7	

[cm]

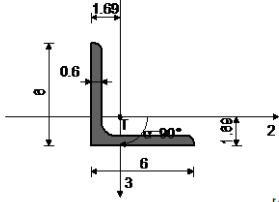
Set: 44 Presjek: L 60x60x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	6.910e-4	3.600e-4	3.600e-4	8.600e-9	2.277e-7	2.276e-7	

[cm]

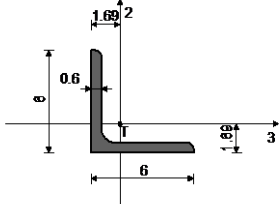
Set: 45 Presjek: L 60x60x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	6.910e-4	3.600e-4	3.600e-4	8.600e-9	2.277e-7	2.277e-7	

[cm]

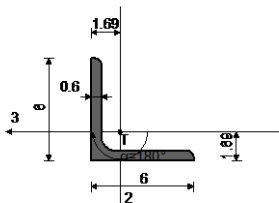
Set: 46 Presjek: L 60x60x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	6.910e-4	3.600e-4	3.600e-4	8.600e-9	2.277e-7	2.276e-7	



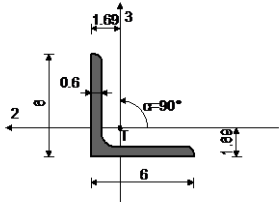
Set: 47 Presjek: L 60x60x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	6.910e-4	3.600e-4	3.600e-4	8.600e-9	2.277e-7	2.277e-7	



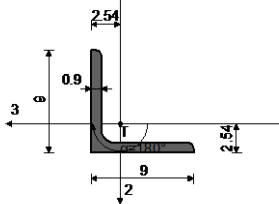
Set: 48 Presjek: L 60x60x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	6.910e-4	3.600e-4	3.600e-4	8.600e-9	2.276e-7	2.277e-7	



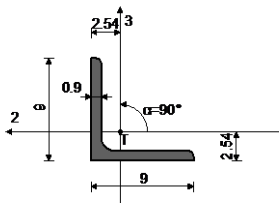
Set: 49 Presjek: L 60x60x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	6.910e-4	3.600e-4	3.600e-4	8.600e-9	2.277e-7	2.276e-7	



Set: 50 Presjek: L 90x90x9, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.550e-3	8.100e-4	8.100e-4	4.370e-8	1.159e-6	1.159e-6	



Set: 51 Presjek: L 90x90x9, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.550e-3	8.100e-4	8.100e-4	4.370e-8	1.159e-6	1.159e-6	



Set: 52 Presjek: L 80x80x10, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.510e-3	8.000e-4	8.000e-4	5.330e-8	8.745e-7	8.745e-7	

[cm]

Set: 53 Presjek: L 80x80x10, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.510e-3	8.000e-4	8.000e-4	5.330e-8	8.745e-7	8.745e-7	

[cm]

Set: 54 Presjek: L 80x80x8, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.230e-3	6.400e-4	6.400e-4	2.730e-8	7.230e-7	7.230e-7	

[cm]

Set: 55 Presjek: L 65x50x5, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	5.540e-4	3.250e-4	2.500e-4	4.800e-9	1.190e-7	2.311e-7	

[cm]

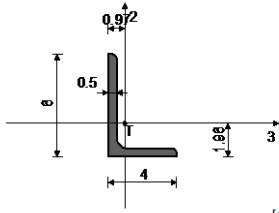
Set: 56 Presjek: L 65x50x5, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	5.540e-4	3.250e-4	2.500e-4	4.800e-9	1.190e-7	2.311e-7	

[cm]

Set: 57 Presjek: L 55x55x6, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	6.310e-4	3.300e-4	3.300e-4	7.900e-9	1.732e-7	1.732e-7	

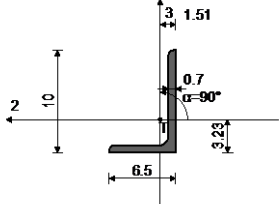
[cm]

Set: 58 Presjek: L 60x40x5, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	4.790e-4	3.000e-4	2.000e-4	4.200e-9	6.144e-8	1.716e-7	



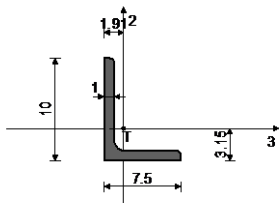
[cm]

Set: 59 Presjek: L 100x65x7, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.120e-3	4.550e-4	7.000e-4	1.890e-8	1.120e-6	3.755e-7	



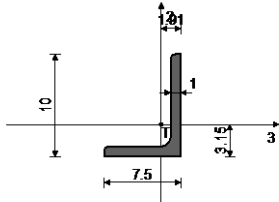
[cm]

Set: 60 Presjek: L 100x75x10, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.661e-3	1.000e-3	7.500e-4	5.445e-8	7.813e-7	1.611e-6	



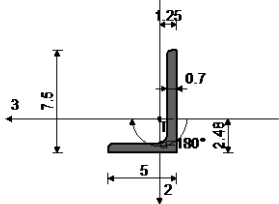
[cm]

Set: 61 Presjek: L 100x75x10, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.661e-3	1.000e-3	7.500e-4	5.445e-8	7.813e-7	1.611e-6	



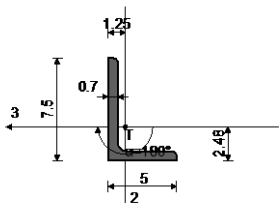
[cm]

Set: 62 Presjek: L 75x50x7, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	8.300e-4	5.250e-4	3.500e-4	1.430e-8	1.639e-7	4.647e-7	



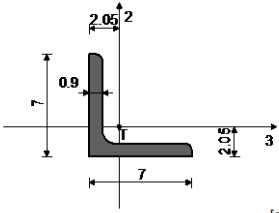
[cm]

Set: 63 Presjek: L 75x50x7, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	8.300e-4	5.250e-4	3.500e-4	1.430e-8	1.639e-7	4.647e-7	



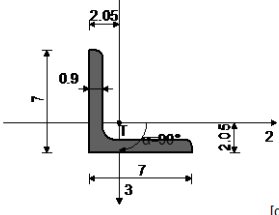
[cm]

Set: 64 Presjek: L 70x70x9, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.190e-3	6.300e-4	6.300e-4	3.400e-8	5.255e-7	5.255e-7	



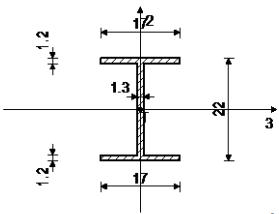
[cm]

Set: 65 Presjek: L 70x70x9, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.190e-3	6.300e-4	6.300e-4	3.400e-8	5.255e-7	5.255e-7	



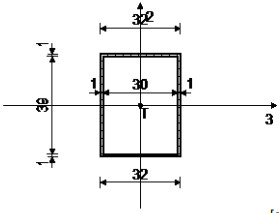
[cm]

Set: 66 Presjek: I 17/22, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	6.628e-3	2.799e-3	3.920e-3	3.394e-7	9.862e-6	5.234e-5	



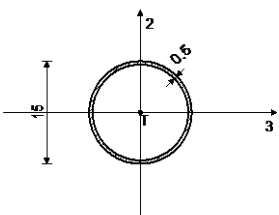
[cm]

Set: 67 Presjek: [=] 32/41, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	1.420e-2	7.959e-3	6.281e-3	4.331e-4	2.421e-4	3.549e-4	

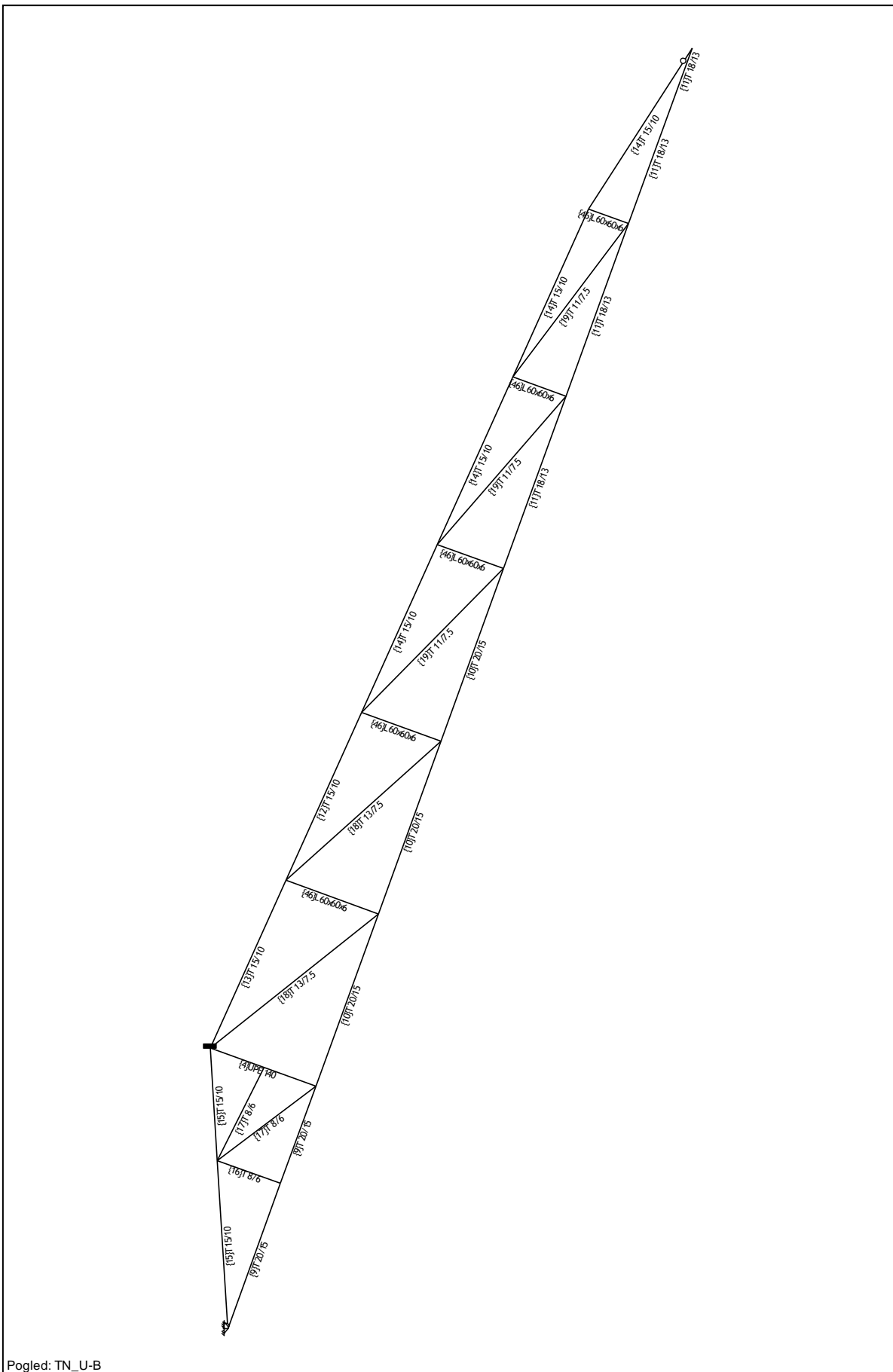


[cm]

Set: 68 Presjek: D=15/0.5, Fiktivna ekscentričnost							
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3	
1 - Čelik	2.278e-3	1.178e-3	1.178e-3	1.199e-5	5.993e-6	5.993e-6	

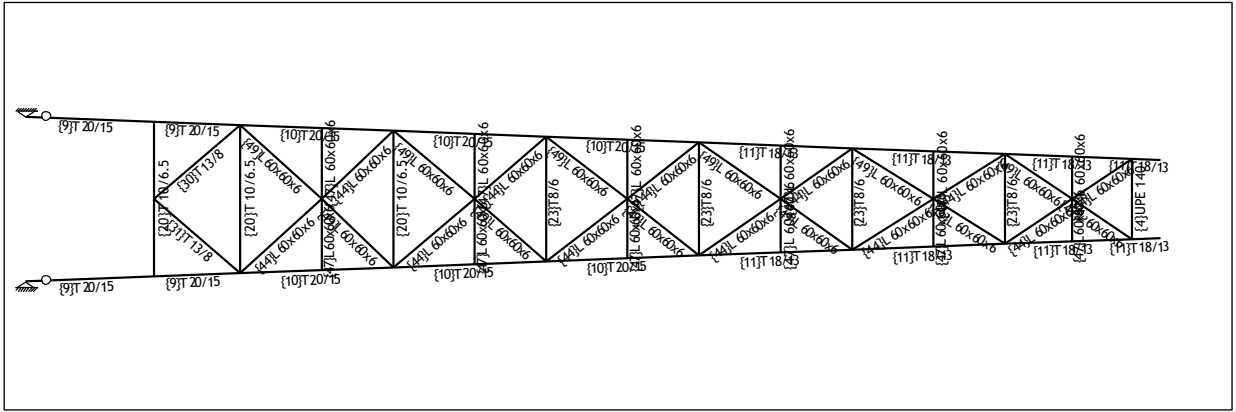


[cm]

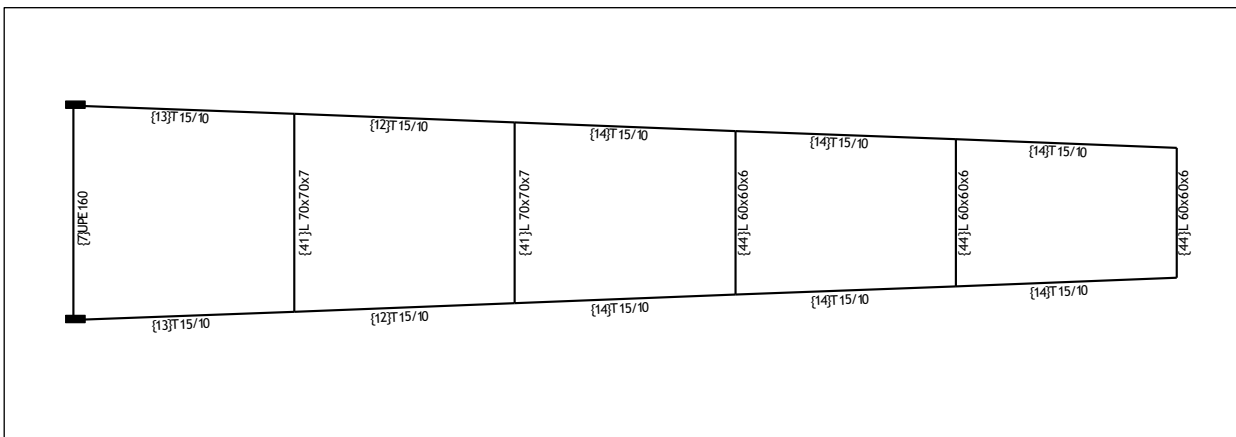


Pogled: TN_U-B

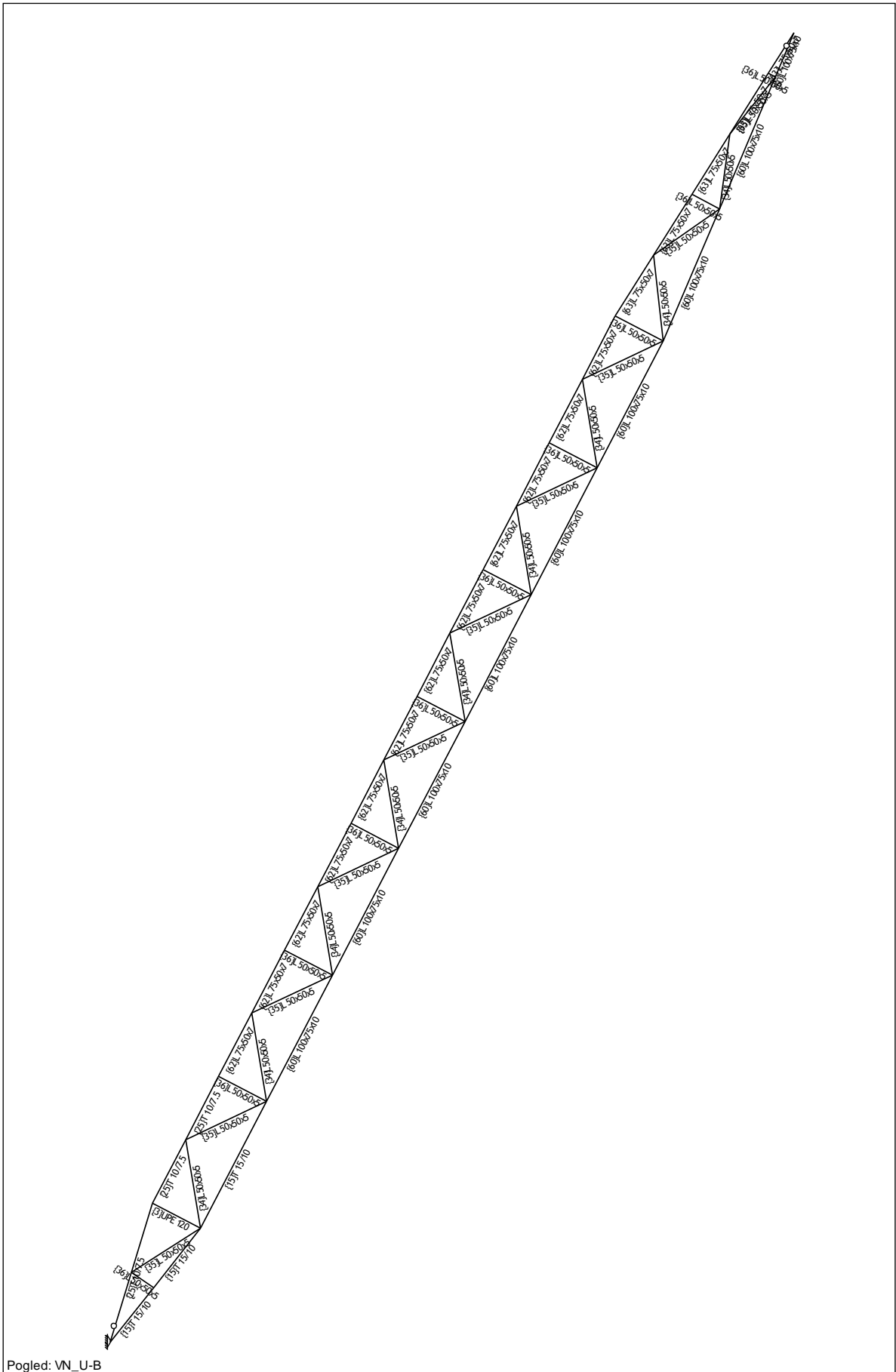
Slika 33: Tlačni nosač – bočni pojas rešetke



Slika 34: Tlačni nosač – donji pojas rešetke

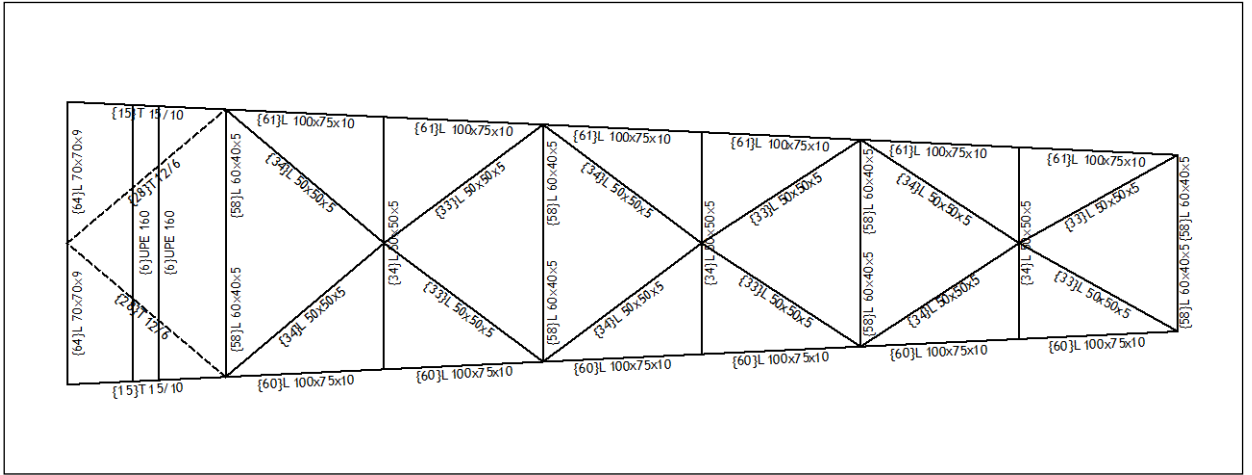


Slika 35: Tlačni nosač - gornji pojas rešetke

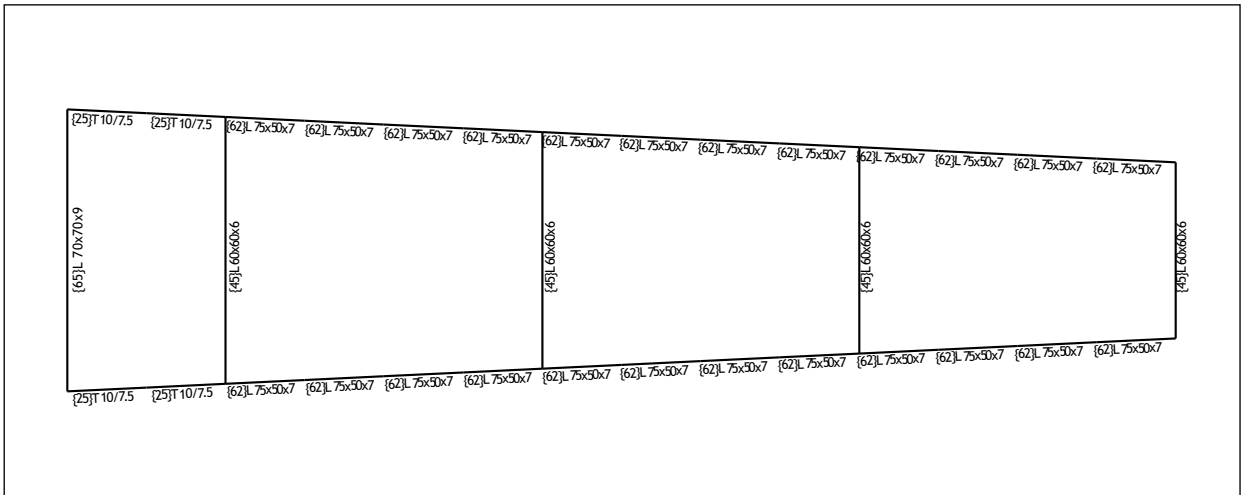


Pogled: VN_U-B

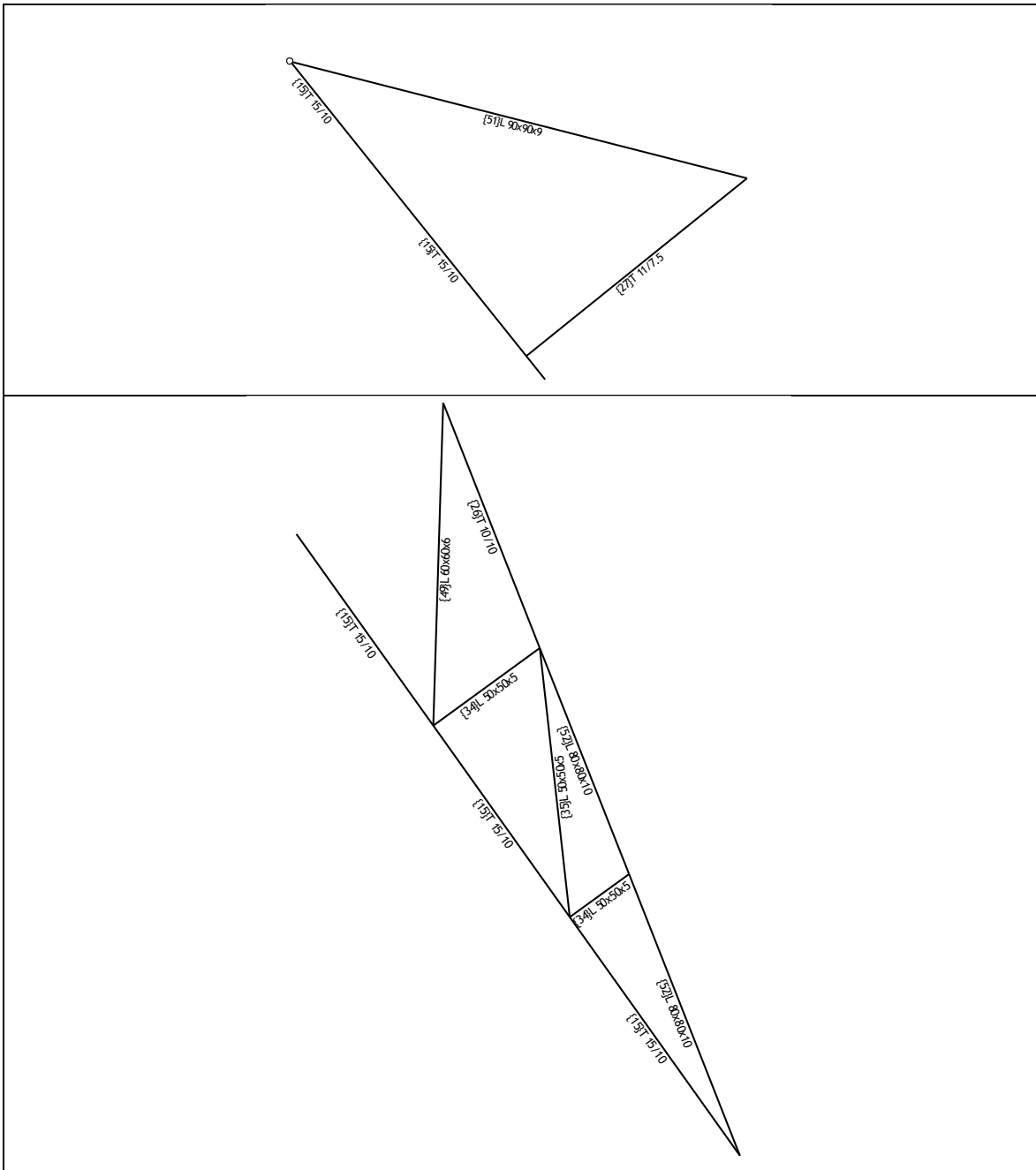
Slika 36: Vlačni nosač - bočni pojas rešetke



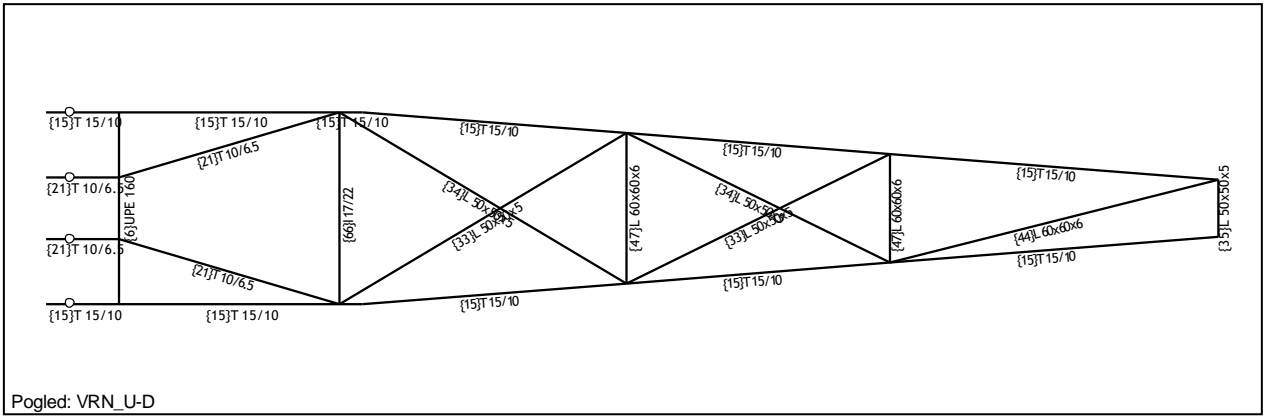
Slika 37: Vlačni nosač - donji pojas rešetke



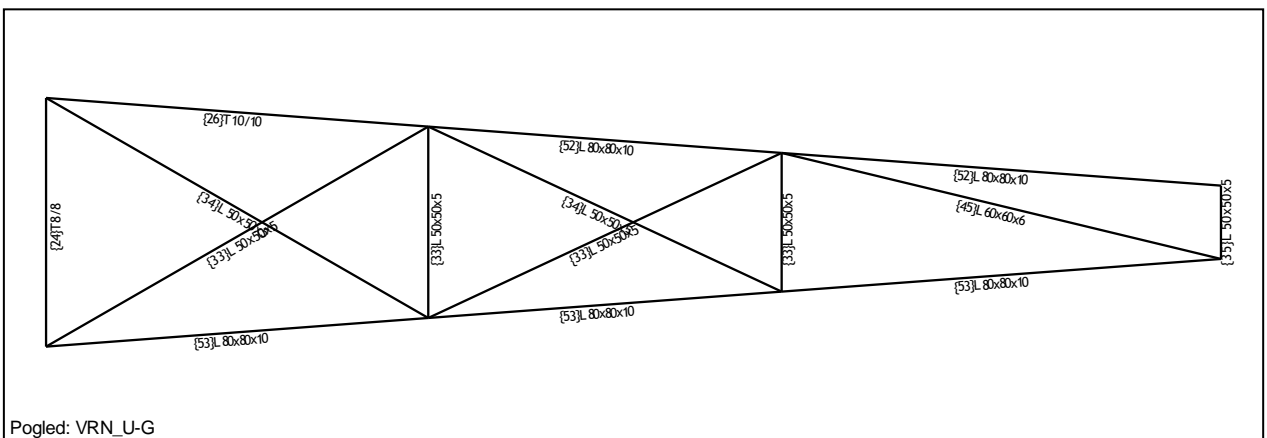
Slika 38: Vlačni nosač - gornji pojas rešetke



Slika 39: Vršni nosač - bočni pojas rešetke



Slika 40: Vršni nosač - donji pojas rešetke



Slika 41: Vršni nosač - gornji pojas rešetke

4.2. Analiza djelovanja

Analiza djelovanja provedena je sukladno pravilima EN Eurocode 1 (EC1) te pripadajućem nacionalnom dodatku (nHRN EN). Djelovanja kojima je izložena konstrukcija su opterećenje od vlastite težine, stalno opterećenje te vjetar. Opterećenja od snijega i potresa nisu mjerodavna za ovu konstrukciju pa proračun za ista nije proveden.

4.2.1. Vlastita težina

Vlastita težina konstrukcije generirana je automatski u računalnom programu Tower, uzimajući u obzir unesene podatke o poprečnim presjecima, duljini konstrukcijskih elemenata te materijalu konstrukcije. Prema tome, vlastita težina konstrukcije iznosi 8.668 t.

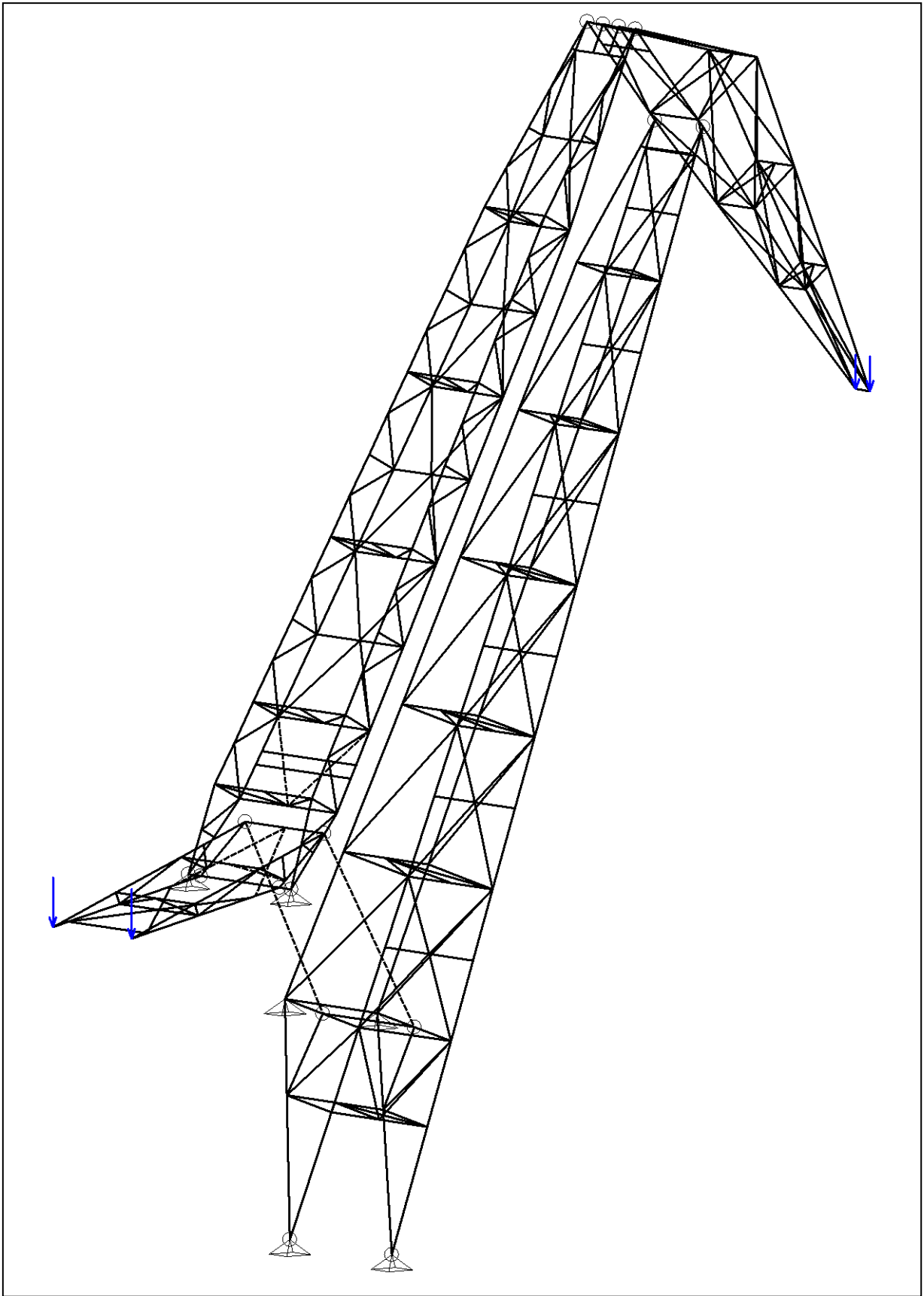
Tablica 7: Rekapitulacija količina materijala

Materijal	γ [kN/m ³]	O [m ²]	V [m ³]	m [T]
Čelik	78.500	241.81	1.083	8.668

4.2.2. Stalno opterećenje

Stalno opterećenje čine težina protuutega i težina vitla za teret. Protuuteg se nalazi na kraju nosača protuutega, a njegova masa iznosi 4750 kg. Masa protuutega nanescna je na konstrukciju kao koncentrirano opterećenje u dva čvora intenziteta 23,75 kN.

Vitlo za teret smješteno je na vršnom nosaču te ima masu 3300 kg. Kao i kod protuutega, opterećenje je u Tower nanescno kao koncentrirano opterećenje u dva čvora u iznosu od 16,5 kN, što je ekvivalentno njegovoj masi od 3300 kg. Sile od stalnog opterećenja prikazane su na Slika 42.



Slika 42: Stalno opterećenje

4.2.3. Vjetar

Proračun djelovanja vjetra na konstrukciju proveden je prema pravilima HRN EN 1991-1-4:2012/NA te je prikazan tablično u nastavku. Slike i tablice navedene u proračunu (*Tablica 8, Tablica 9, Tablica 10, Tablica 14, Tablica 18, Tablica 22*) odnose se na one iz literature navedene u naslovu tablice.

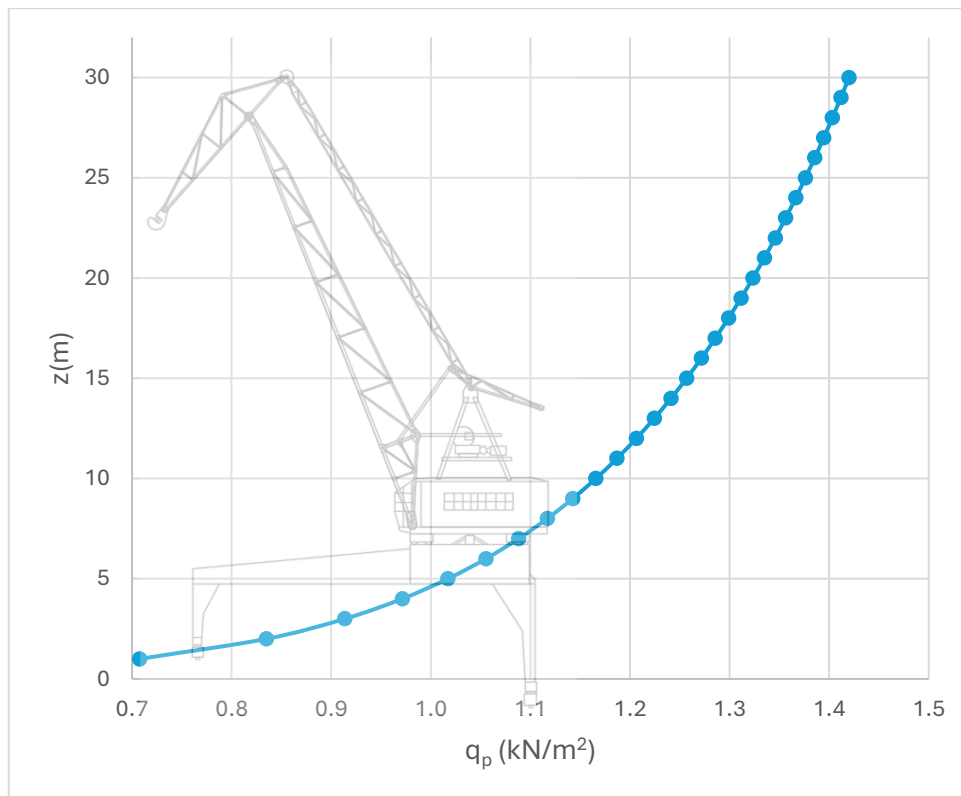
Tablica 8: Izračun osnovne brzine vjetra po Eurocodu [4]

Lokacija:	Rijeka	
Temeljna vrijednost brzine vjetra - Slika 1(HR):	$v_{b,0} =$	25.00 m/s
Faktor smjera:	$C_{dir} =$	1.00
Faktor godišnjeg doba:	$C_{season} =$	1.00
Osnovna brzina vjetra: $v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b0}$	$v_b =$	25.00 m/s

Tablica 9: Izračun pritiska pri vršnoj brzini po Eurocodu [4]

Visina iznad terena:	$z_t =$	30.00 m
Kategorija terena - Tablica 4.1(N):	KT=	I.
Duljina hrapavosti (II) - Tablica 4.1(N):	$z_{0,II} =$	0.05 m
Duljina hrapavosti - Tablica 4.1(N):	$z_0 =$	0.003 m
Najmanja visina - Tablica 4.1(N):	$z_{min} =$	1.00 m
Najveća visina:	$z_{max} =$	200.00 m
Faktor terena: $k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07}$	$k_r =$	0.16
Faktor hrapavosti ($z_{min} \leq z \leq z_{max}$): $c_r(z_t) = k_r \cdot \ln(z_t/z_0)$	$c_r(z_t) =$	1.437
Faktor vertikalne razvedenosti:	$c_0(z) =$	1.00
Srednja brzina vjetra: $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$	$v_m =$	35.93 m/s
Gustoća vjetra:	$\rho =$	1.25 kg/m ³
Faktor turbulencije:	$k_t =$	1.00
Turbulencija vjetra ($z_{min} \leq z \leq z_{max}$): $I_v(z) = k_t / (c_0(z) \cdot \ln(z/z_0))$	$I_v(z) =$	0.109
Tlak pri vršnoj brzini: $q_p(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$	$q_p(z) =$	1.42 kN/m²

Tlak pri vršnoj brzini vjetra ovisi o visini konstrukcije te je u *Tablica 9* dobiven uzimajući u obzir maksimalnu visinu od 30 m. Budući je visina konstrukcije značajna, tlak pri vršnoj brzini će se uvelike razlikovati u podnožju i na vrhu konstrukcije.



Slika 43: Grafički prikaz vršnog pritiska po visini konstrukcije

Iz grafa ovisnosti tlaka pri vršnoj brzini i visine konstrukcije (Slika 43) zaključujemo kako je ta vrijednost dvostruko veća na vrhu dizalice od vrijednosti u podnožju. Zbog toga, u nastavku proračuna neće biti uzeta u obzir jedna vrijednost (ona maksimalna, dobivena u tablici), već će vrijednost biti varijabilna za svaki metar konstrukcije od nulte kote do vrha konstrukcije.

Djelovanje vjetra analizirano je za tri smjera strujanja. Svaki nosač je zbog toga podijeljen na tri plohe na koje djeluje vjetar. Ukupna omeđena površina i projicirana ploština elemenata za svaki nosač prikazane su u nastavku (Slika 44, 45, 46 i 47). Sila kojom vjetar djeluje na konstrukciju ili konstrukcijski element može se odrediti direktno pomoću „koeficijena sila“:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (1)$$

gdje je

$c_s c_d$ faktor konstrukcije ($c_s c_d = 1$)

c_f koeficijent sile za konstrukciju ili konstrukcijski element

$q_p(z_e)$ pritisak brzine vjetra pri udaru za referentnu visinu z_e

A_{ref} referentna površina konstrukcije ili konstrukcijskog elementa. [4]

Sile vjetra nanese su na svaki nosač linijski, kao kontinuirano opterećenje te su izračunate za svaki od tri smjera djelovanja vjetra. Izraz (1) zbog toga poprima sljedeći oblik:

$$F_{w,i} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b_i \quad (2)$$

gdje je

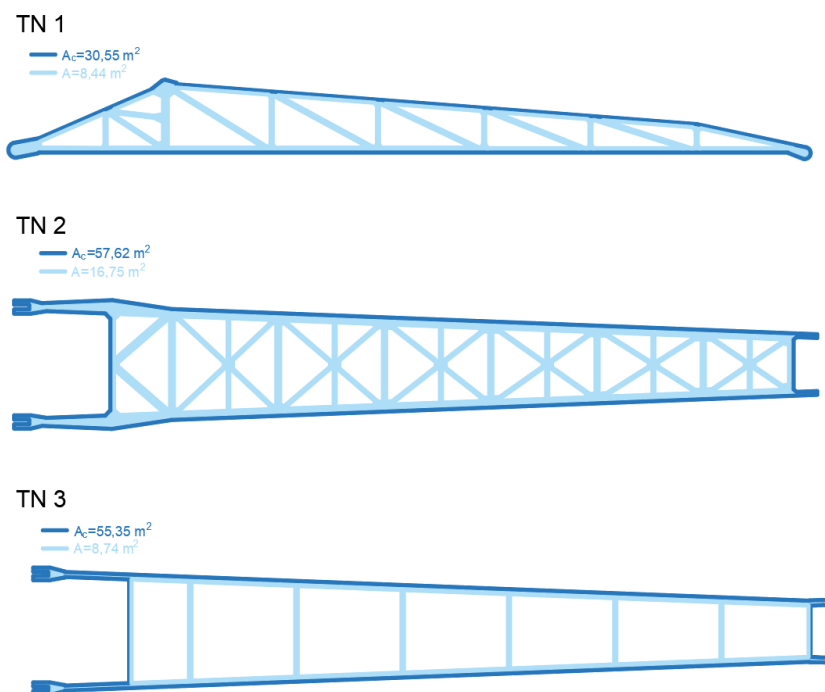
$c_s c_d$ konstrukcijski faktor ($c_s c_d = 1$)

c_f koeficijent sile za konstrukciju ili konstrukcijski element

$q_p(z_e)$ tlak pri vršnoj brzini na referentnoj visini z_e

b_i širina elementa

Proračun je prikazan za svaku plohu pojedinog nosača u *Tablicama 10-25* u nastavku.



Slika 44: Ukupna omeđena površina i projicirana površina elemenata za tlačni nosač

Tablica 10: Proračun koeficijenata sile za tlačni nosač po Eurocodu [4]

		TN 1	TN 2	TN 3	
Zbroj projiciranih ploština elemenata	$A =$	8.44	16.75	8.74	m^2
Ukupna omeđena površina	$A_c =$	30.55	57.62	55.35	m^2
Omjer punoće $\varphi = A/A_c$	$\varphi =$	0.276	0.291	0.158	
Koeficijent sile - Slika 7.33	$c_{f,0} =$	2.58	2.52	3.15	
Duljina nosača	$l =$	24.16	24.20	24.17	m
Širina nosača	$b =$	2.20	3.88	3.84	m
Proračunska vitkost - Tablica 4(HR) $\lambda = (l/b)(2/c_{f,0})$	$\lambda =$	8.53	4.95	4.00	
Koeficijent slobodnog kraja - Slika 7.36 (N)	$\psi_\lambda =$	0.97	0.96	0.98	
Koeficijent sile $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$	$c_f =$	2.503	2.419	3.087	

Tablica 11: Proračun sila vjetra za tlačni nosač - ploha TN 1

TN 1 (6-28 m)												
z [m]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	c_f	b1 [m]	b2 [m]	b3 [m]	b4 [m]	b5 [m]	Fw1 [kN/m]	Fw2 [kN/m]	Fw3 [kN/m]	Fw4 [kN/m]	Fw5 [kN/m]
6	1.06	2.503	0.150	0.100	-	-	-	0.40	0.26	-	-	-
7	1.09	2.503	0.150	0.100	-	-	-	0.41	0.27	-	-	-
8	1.12	2.503	0.150	0.100	-	-	-	0.42	0.28	-	-	-
9	1.14	2.503	0.150	0.100	0.060	-	-	0.43	0.29	0.17	-	-
10	1.17	2.503	0.150	0.100	0.060	-	-	0.44	0.29	0.18	-	-
11	1.19	2.503	0.150	0.100	0.060	0.140	0.075	0.45	0.30	0.18	0.42	0.22
12	1.21	2.503	0.150	0.100	0.075	-	-	0.45	0.30	0.23	-	-
13	1.22	2.503	0.150	0.100	0.075	0.060	-	0.46	0.31	0.23	0.18	-
14	1.24	2.503	0.150	0.100	0.075	0.060	-	0.47	0.31	0.23	0.19	-
15	1.26	2.503	0.150	0.100	0.075	-	-	0.47	0.31	0.24	-	-
16	1.27	2.503	0.150	0.100	0.075	-	-	0.48	0.32	0.24	-	-
17	1.29	2.503	0.150	0.100	0.075	0.060	-	0.48	0.32	0.24	0.19	-
18	1.30	2.503	0.150	0.100	0.075	-	-	0.49	0.33	0.24	-	-
19	1.31	2.503	0.150	0.100	0.075	-	-	0.49	0.33	0.25	-	-
20	1.32	2.503	0.130	0.100	0.075	0.060	-	0.43	0.33	0.25	0.20	-
21	1.33	2.503	0.130	0.100	0.075	-	-	0.43	0.33	0.25	-	-
22	1.35	2.503	0.130	0.100	0.075	-	-	0.44	0.34	0.25	-	-
23	1.36	2.503	0.130	0.100	0.075	0.060	-	0.44	0.34	0.25	0.20	-
24	1.37	2.503	0.130	0.100	0.075	-	-	0.44	0.34	0.26	-	-
25	1.38	2.503	0.130	0.100	0.075	-	-	0.45	0.34	0.26	-	-
26	1.39	2.503	0.130	0.100	-	0.060	-	0.45	0.35	-	0.21	-
27	1.39	2.503	0.130	0.100	-	-	-	0.45	0.35	-	-	-
28	1.40	2.503	0.130	0.100	-	-	-	0.46	0.35	-	-	-

Tablica 12: Proračun sila vjetra za tlačni nosač - ploha TN 2

TN 2 (6-28 m)											
z [m]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	c_f	b1 [m]	b2 [m]	b3 [m]	b4 [m]	Fw1 [kN/m]	Fw2 [kN/m]	Fw3 [kN/m]	Fw4 [kN/m]	
6	1.055	2.419	0.210	-	-	-	0.536	-	-	-	
7	1.088	2.419	0.210	-	-	-	0.553	-	-	-	
8	1.117	2.419	0.210	-	-	-	0.567	-	-	-	
9	1.143	2.419	0.210	0.112	0.142	-	0.581	0.310	0.393	-	
10	1.166	2.419	0.210	0.112	0.142	-	0.592	0.316	0.400	-	
11	1.187	2.419	0.210	-	-	0.050	0.603	-	-	0.144	
12	1.206	2.419	0.210	-	-	0.050	0.613	-	-	0.146	
13	1.224	2.419	0.210	0.112	-	0.050	0.622	0.332	-	0.148	
14	1.241	2.419	0.210	-	-	0.050	0.631	-	-	0.150	
15	1.257	2.419	0.210	-	-	0.050	0.639	-	-	0.152	
16	1.272	2.419	0.210	0.092	-	0.050	0.646	0.283	-	0.154	
17	1.286	2.419	0.210	-	-	0.050	0.653	-	-	0.156	
18	1.299	2.419	0.210	-	-	0.050	0.660	-	-	0.157	
19	1.312	2.419	0.210	0.092	-	0.050	0.666	0.292	-	0.159	
20	1.323	2.419	0.190	-	-	0.050	0.608	-	-	0.160	
21	1.335	2.419	0.190	-	-	0.050	0.614	-	-	0.161	
22	1.346	2.419	0.190	0.092	-	0.050	0.619	0.300	-	0.163	
23	1.356	2.419	0.190	-	-	0.050	0.623	-	-	0.164	
24	1.366	2.419	0.190	-	-	0.050	0.628	-	-	0.165	
25	1.376	2.419	0.190	0.092	-	0.050	0.633	0.306	-	0.166	
26	1.386	2.419	0.190	-	-	0.050	0.637	-	-	0.168	
27	1.395	2.419	0.190	-	-	0.050	0.641	-	-	0.169	
28	1.403	2.419	0.190	-	0.140	0.050	0.645	-	0.475	0.170	

Tablica 13: Proračun sila vjetra za tlačni nosač - ploha TN 3

TN 3 (6-28 m)						
z [m]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	c_f	b1 [m]	b2 [m]	Fw1 [kN/m]	Fw2 [kN/m]
6	1.055	3.087	0.150	-	0.489	-
7	1.088	3.087	0.150	-	0.504	-
8	1.117	3.087	0.150	-	0.517	-
9	1.143	3.087	0.150	0.070	0.529	0.247
10	1.166	3.087	0.150	-	0.540	-
11	1.187	3.087	0.150	0.050	0.550	0.183
12	1.206	3.087	0.150	-	0.559	-
13	1.224	3.087	0.150	-	0.567	-
14	1.241	3.087	0.150	0.070	0.575	0.268
15	1.257	3.087	0.150	-	0.582	-
16	1.272	3.087	0.150	-	0.589	-
17	1.286	3.087	0.150	0.070	0.595	0.278
18	1.299	3.087	0.150	-	0.601	-
19	1.312	3.087	0.150	-	0.607	-
20	1.323	3.087	0.150	0.060	0.613	0.245
21	1.335	3.087	0.150	-	0.618	-
22	1.346	3.087	0.150	-	0.623	-
23	1.356	3.087	0.150	0.060	0.628	0.251
24	1.366	3.087	0.150	-	0.633	-
25	1.376	3.087	0.150	-	0.637	-
26	1.386	3.087	0.150	0.060	0.642	0.257
27	1.395	3.087	0.150	-	0.646	-
28	1.403	3.087	0.150	0.060	0.650	0.260

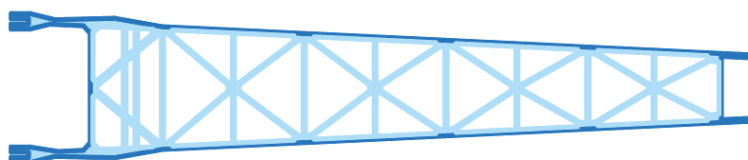
VN 1

— $A_c=13,40 \text{ m}^2$
— $A=5,07 \text{ m}^2$



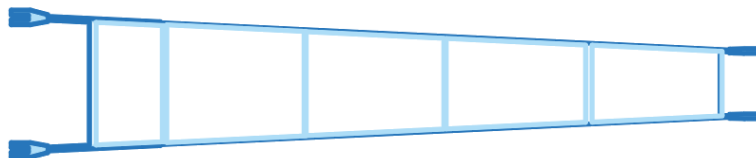
VN 2

— $A_c=44,12 \text{ m}^2$
— $A=8,31 \text{ m}^2$



VN 3

— $A_c=43,32 \text{ m}^2$
— $A=3,72 \text{ m}^2$



Slika 45: Ukupna omeđena površina i projicirana površina elemenata za vlačni nosač

Tablica 14: Proračun koeficijenata sile za vlačni nosač po Eurocodu [4]

		VN 1	VN 2	VN 3	
Zbroj projiciranih ploština elemenata	A=	5.07	8.31	3.72	m ²
Ukupna omeđena površina	A _c =	13.4	44.12	43.32	m ²
Omjer punoće $\phi = A/A_c$	ϕ=	0.378	0.188	0.086	
Koeficijent sile - Slika 7.33	c _{f,0} =	2.25	2.80	3.45	
Duljina nosača	l=	19.58	19.39	19.53	m
Širina nosača	b=	0.78	3.88	3.84	m
Proračunska vitkost - Tablica 4(HR) $\lambda = (l/b)(2/c_{f,0})$	λ =	22.37	3.57	2.95	
Koeficijent slobodnog kraja - Slika 7.36 (N)	ψ_λ=	0.96	0.97	0.99	
Koeficijent sile $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$	c_f=	2.160	2.716	3.416	

Tablica 15: Proračun sila vjetra za vlačni nosač - ploha VN 1

VN 1 (14-30 m)								
z [m]	q _p (z _e) [kN/m ²]	c _f	b1 [m]	b2 [m]	b3 [m]	Fw1 [kN/m]	Fw2 [kN/m]	Fw3 [kN/m]
14	1.24	2.16	0.075	0.100	-	0.20	0.27	-
15	1.26	2.16	0.075	0.100	0.050	0.20	0.27	0.14
16	1.27	2.16	0.075	0.100	0.050	0.21	0.27	0.14
17	1.29	2.16	0.075	0.100	0.050	0.21	0.28	0.14
18	1.30	2.16	0.075	0.100	0.050	0.21	0.28	0.14
19	1.31	2.16	0.075	0.100	0.050	0.21	0.28	0.14
20	1.32	2.16	0.075	0.100	0.050	0.21	0.29	0.14
21	1.33	2.16	0.075	0.100	0.050	0.22	0.29	0.14
22	1.35	2.16	0.075	0.100	0.050	0.22	0.29	0.15
23	1.36	2.16	0.075	0.100	0.050	0.22	0.29	0.15
24	1.37	2.16	0.075	0.100	0.050	0.22	0.30	0.15
25	1.38	2.16	0.075	0.100	0.050	0.22	0.30	0.15
26	1.39	2.16	0.075	0.100	0.050	0.22	0.30	0.15
27	1.39	2.16	0.075	0.100	0.050	0.23	0.30	0.15
28	1.40	2.16	0.075	0.100	0.050	0.23	0.30	0.15
29	1.41	2.16	0.075	0.100	0.050	0.23	0.30	0.15
30	1.42	2.16	0.075	0.100	0.050	0.23	0.31	0.15

Tablica 16: Proračun sila vjetra za vlačni nosač - ploha VN 2

VN 2 (14-30 m)										
z [m]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	c_f	b1 [m]	b2 [m]	b3 [m]	b4 [m]	Fw1 [kN/m]	Fw2 [kN/m]	Fw3 [kN/m]	Fw4 [kN/m]
14	1.24	2.72	0.160	-	-	-	0.54	-	-	-
15	1.26	2.72	0.160	0.070	0.110	-	0.55	0.24	0.38	-
16	1.27	2.72	0.160	0.070	0.110	-	0.55	0.24	0.38	-
17	1.29	2.72	0.160	0.060	0.050	0.075	0.56	0.21	0.17	0.26
18	1.30	2.72	0.075	-	0.050	-	0.26	-	0.18	-
19	1.31	2.72	0.075	-	0.050	-	0.27	-	0.18	-
20	1.32	2.72	0.075	0.060	0.050	-	0.27	0.22	0.18	-
21	1.33	2.72	0.075	-	0.050	-	0.27	-	0.18	-
22	1.35	2.72	0.075	-	0.050	-	0.27	-	0.18	-
23	1.36	2.72	0.075	0.060	0.050	-	0.28	0.22	0.18	-
24	1.37	2.72	0.075	-	0.050	-	0.28	-	0.19	-
25	1.38	2.72	0.075	-	0.050	-	0.28	-	0.19	-
26	1.39	2.72	0.075	-	0.050	-	0.28	-	0.19	-
27	1.39	2.72	0.075	0.060	0.050	-	0.28	0.23	0.19	-
28	1.40	2.72	0.075	-	0.050	-	0.29	-	0.19	-
29	1.41	2.72	0.075	-	0.050	-	0.29	-	0.19	-
30	1.42	2.72	0.075	0.060	0.050	0.070	0.29	0.23	0.19	0.27

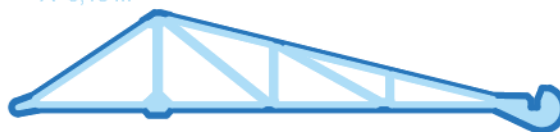
Tablica 17: Proračun sila vjetra za vlačni nosač - ploha VN 3

VN 3 (14-30 m)						
z [m]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	c_f	b1 [m]	b2 [m]	Fw1 [kN/m]	Fw2 [kN/m]
14	1.24	3.42	0.100	-	0.42	-
15	1.26	3.42	0.100	-	0.43	-
16	1.27	3.42	0.100	0.070	0.43	0.30
17	1.29	3.42	0.100	0.060	0.44	0.26
18	1.30	3.42	0.050	-	0.22	-
19	1.31	3.42	0.050	-	0.22	-
20	1.32	3.42	0.050	0.060	0.23	0.27
21	1.33	3.42	0.050	-	0.23	-
22	1.35	3.42	0.050	-	0.23	-
23	1.36	3.42	0.050	-	0.23	-
24	1.37	3.42	0.050	0.060	0.23	0.28
25	1.38	3.42	0.050	-	0.24	-
26	1.39	3.42	0.050	-	0.24	-
27	1.39	3.42	0.050	0.060	0.24	0.29
28	1.40	3.42	0.050	-	0.24	-
29	1.41	3.42	0.050	-	0.24	-
30	1.42	3.42	0.050	-	0.24	-

VRN 1

$$A_c = 10,60 \text{ m}^2$$

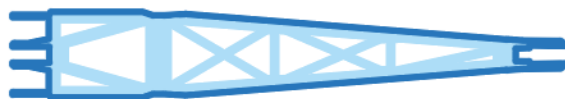
$$A = 3,18 \text{ m}^2$$



VRN 2

$$A_c = 11,57 \text{ m}^2$$

$$A = 5,18 \text{ m}^2$$



VRN 3

$$A_c = 12,16 \text{ m}^2$$

$$A = 3,60 \text{ m}^2$$



Slika 46: Ukupna omeđena površina i projicirana površina elemenata za vršni nosač

Tablica 18: Proračun koeficijenta sile za vršni nosač po Eurocodu [4]

		VRN 1	VRN 2	VRN 3	
Zbroj projiciranih ploština elemenata	A=	3.18	5.18	3.6	m ²
Ukupna omeđena površina	A _c =	10.6	11.57	12.16	m ²
Omjer punoće $\phi = A/A_c$	ϕ =	0.300	0.448	0.296	
Koeficijent sile - Slika 7.33	c _{f,0} =	2.50	2.18	2.40	
Duljina nosača	l=	10.71	10.76	11.45	m
Širina nosača	b=	1.99	1.66	1.59	m
Proračunska vitkost - Tablica 4(HR) $\lambda = (l/b)(2/c_{f,0})$	λ =	4.30	5.94	6.00	
Koeficijent slobodnog kraja - Slika 7.36 (N)	ψ_λ =	0.94	0.91	0.94	
Koeficijent sile $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$	c_f =	2.350	1.984	2.256	

Tablica 19: Proračun sila vjetra za vršni nosač - ploha VRN 1

VRN 1 (23-30 m)										
z [m]	q _p (z _e) [kN/m ²]	c _f	b1 [m]	b2 [m]	b3 [m]	b4 [m]	Fw1	Fw2	Fw3	Fw4
23	1.36	2.350	0.100	0.080	-	-	0.32	0.26	-	-
24	1.37	2.350	0.100	0.080	-	-	0.32	0.26	-	-
25	1.38	2.350	0.100	0.080	0.050	-	0.32	0.26	0.16	-
26	1.39	2.350	0.100	0.080	0.050	-	0.33	0.26	0.16	-
27	1.39	2.350	0.100	0.080	0.050	0.060	0.33	0.26	0.16	0.20
28	1.40	2.350	0.100	0.080	-	0.060	0.33	0.26	-	0.20
29	1.41	2.350	0.100	0.080	0.075	0.060	0.33	0.27	0.25	0.20
30	1.42	2.350	0.100	0.090	0.075	0.060	0.33	0.30	0.25	0.20

Tablica 20: Proračun sila vjetra za vršni nosač - ploha VRN 2

VRN 2 (23-30 m)								
z [m]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	c_f	b1 [m]	b2 [m]	b3 [m]	Fw1	Fw2	Fw3
23	1.36	1.984	0.160	0.060	0.050	0.43	0.16	0.13
24	1.37	1.984	0.160	0.060	-	0.43	0.16	-
25	1.38	1.984	0.160	0.060	0.050	0.44	0.16	0.14
26	1.39	1.984	0.160	-	0.050	0.44	-	0.14
27	1.39	1.984	0.160	0.060	0.050	0.44	0.17	0.14
28	1.40	1.984	0.160		0.050	0.45	-	0.14
29	1.41	1.984	0.160	0.110	0.170	0.45	0.31	0.48
30	1.42	1.984	0.160	0.110	-	0.45	0.31	-

Tablica 21: Proračun sila vjetra za vršni nosač - ploha VRN 3

VRN 3 (23-30 m)								
z [m]	$q_p(z_e)$ [kN/m ²]	c_f	b1 [m]	b2 [m]	b3 [m]	Fw1	Fw2	Fw3
23	1.36	2.256	0.080	-	0.060	0.24	-	0.18
24	1.37	2.256	0.080	-	0.060	0.25	-	0.18
25	1.38	2.256	0.080	0.050	0.060	0.25	0.16	0.19
26	1.39	2.256	0.080	0.050	-	0.25	0.16	-
27	1.39	2.256	0.080	0.050	-	0.25	0.16	-
28	1.40	2.256	0.080	0.050	-	0.25	0.16	-
29	1.41	2.256	0.080	0.050	-	0.25	0.16	-
30	1.42	2.256	0.080	0.070	0.060	0.26	0.22	0.19
	1.42	2.256	0.090	0.100	0.05	0.29	0.32	0.16

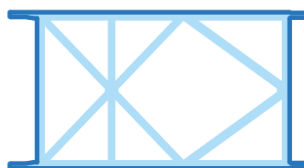
NPU 1

— $A_c=2,13 \text{ m}^2$
— $A=1,20 \text{ m}^2$



NPU 2

— $A_c=13,17 \text{ m}^2$
— $A=2,61 \text{ m}^2$



NPU 3

— $A_c=6,21 \text{ m}^2$
— $A=1,56 \text{ m}^2$



Slika 47: Ukupna omeđena površina i projicirana površina elemenata za nosač protutege

Tablica 22: Proračun koeficijentata sile za nosač protuutega po Eurocodu [4]

		NPU 1	NPU 2	NPU 3	
Zbroj projiciranih ploština elemenata	A=	1.2	2.61	1.56	m ²
Ukupna omeđena površina	A _c =	2.13	13.17	6.21	m ²
Omjer punoće $\varphi = A/A_c$	ϕ =	0.563	0.198	0.251	
Koeficijent sile - Slika 7.33	c _{f,0} =	3.05	2.75	2.60	
Duljina nosača	l=	5.39	5.40	5.40	m
Širina nosača	b=	0.72	2.83	2.85	m
Proračunska vitkost - Tablica 4(HR) $\lambda = (l/b)(2/c_{f,0})$	λ =	4.91	1.39	1.46	
Koeficijent slobodnog kraja - Slika 7.36 (N)	ψ_λ =	0.900	0.965	0.970	
Koeficijent sile $c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$	c_f =	2.745	2.654	2.522	

Tablica 23: Proračun sila vjetra za nosač protuutega - ploha NPU 1

NPU (13-14 m)								
z [m]	q _p (z _e) [kN/m ²]	c _f	b1 [m]	b2 [m]	b3 [m]	Fw1	Fw2	Fw3
13	1.22	2.745	0.060	0.100	0.065	0.20	0.34	0.22
14	1.24	2.745	0.060	0.100	0.065	0.20	0.34	0.22
15	1.26	2.745	0.060	0.100	-	0.21	0.35	-

Tablica 24: Proračun sila vjetra za nosač protuutega - ploha NPU 2

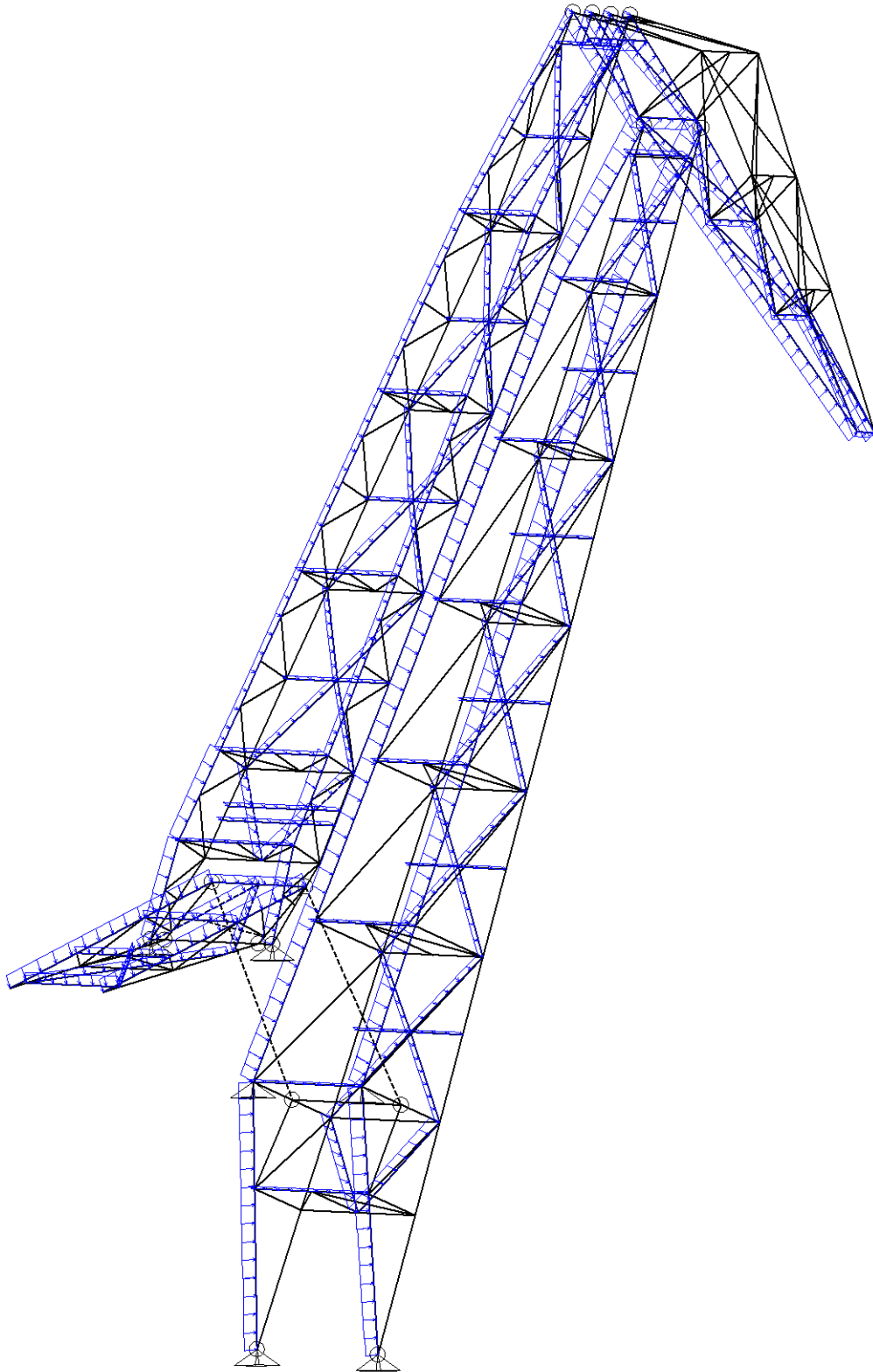
NPU (13-14 m)										
z [m]	q _p (z _e) [kN/m ²]	c _f	b1 [m]	b2 [m]	b3 [m]	b4 [m]	Fw1	Fw2	Fw3	Fw4
13	1.22	2.654	0.100	0.110	0.060	0.055	0.32	0.36	0.19	0.18
14	1.24	2.654	-	0.110	0.060	0.080	-	0.36	0.20	0.26
15	1.26	2.654	0.100	0.110	-	0.080	0.33	0.37	-	0.27

Tablica 25: Proračun sila vjetra za nosač protuutega - ploha NPU 3

NPU (13-14 m)						
z [m]	q _p (z _e) [kN/m ²]	c _f	b1 [m]	b2 [m]	Fw1	Fw2
13	1.22	2.522	0.130	0.050	0.40	0.15
14	1.24	2.522	0.130	0.050	0.41	0.16
15	1.26	2.522	0.130	-	0.41	-

Kontinuirano opterećenje vjetra izračunato je i nanoseno na elemente za svaki metar konstrukcije, za svaki smjer djelovanja vjetra (Slika 48, 49 i 50).

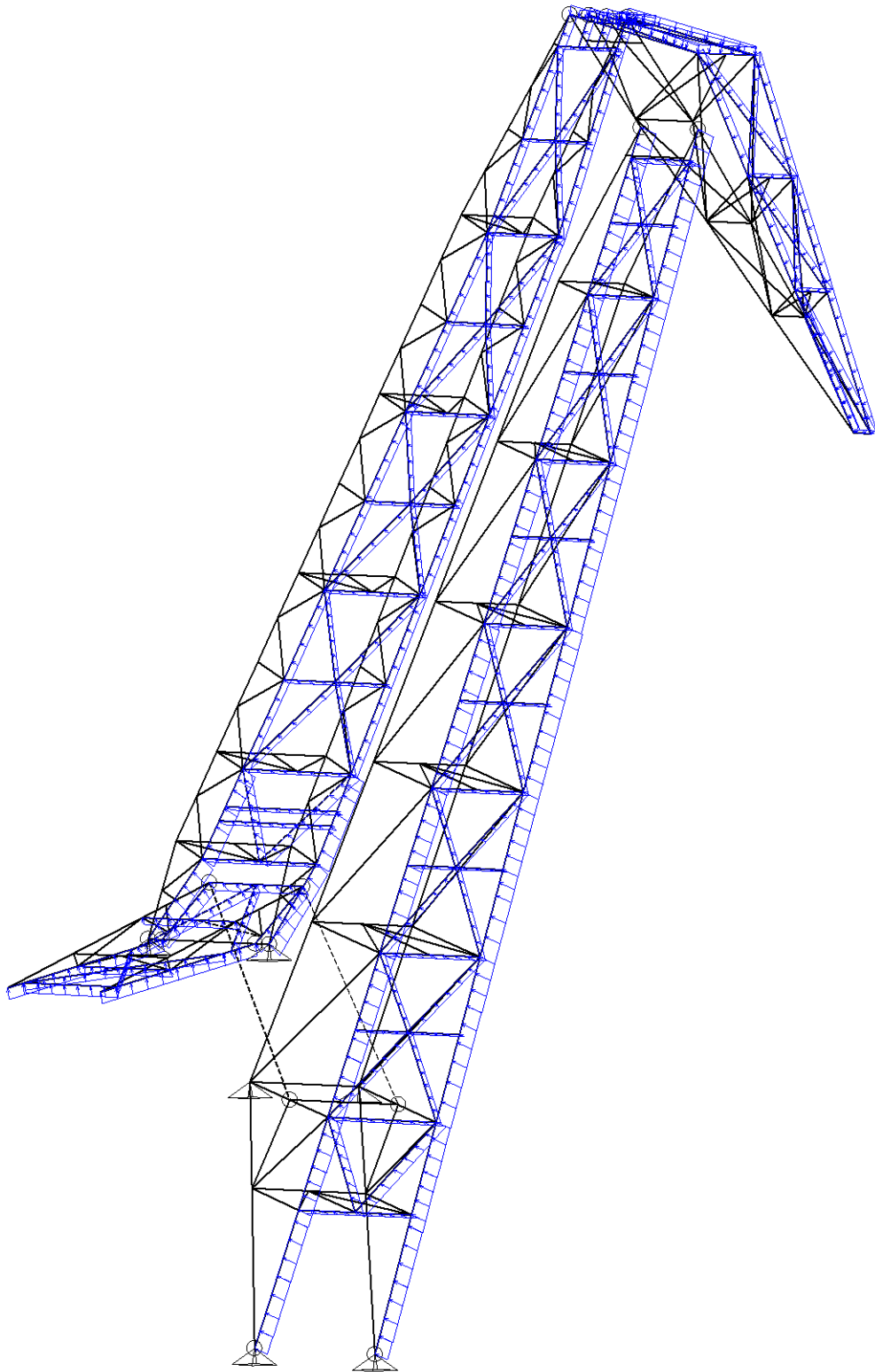
Opt. 2: Vjetar +x



Ravnina: VRN_U-B2

Slika 48: Opterećenje vjetra - smjer +x

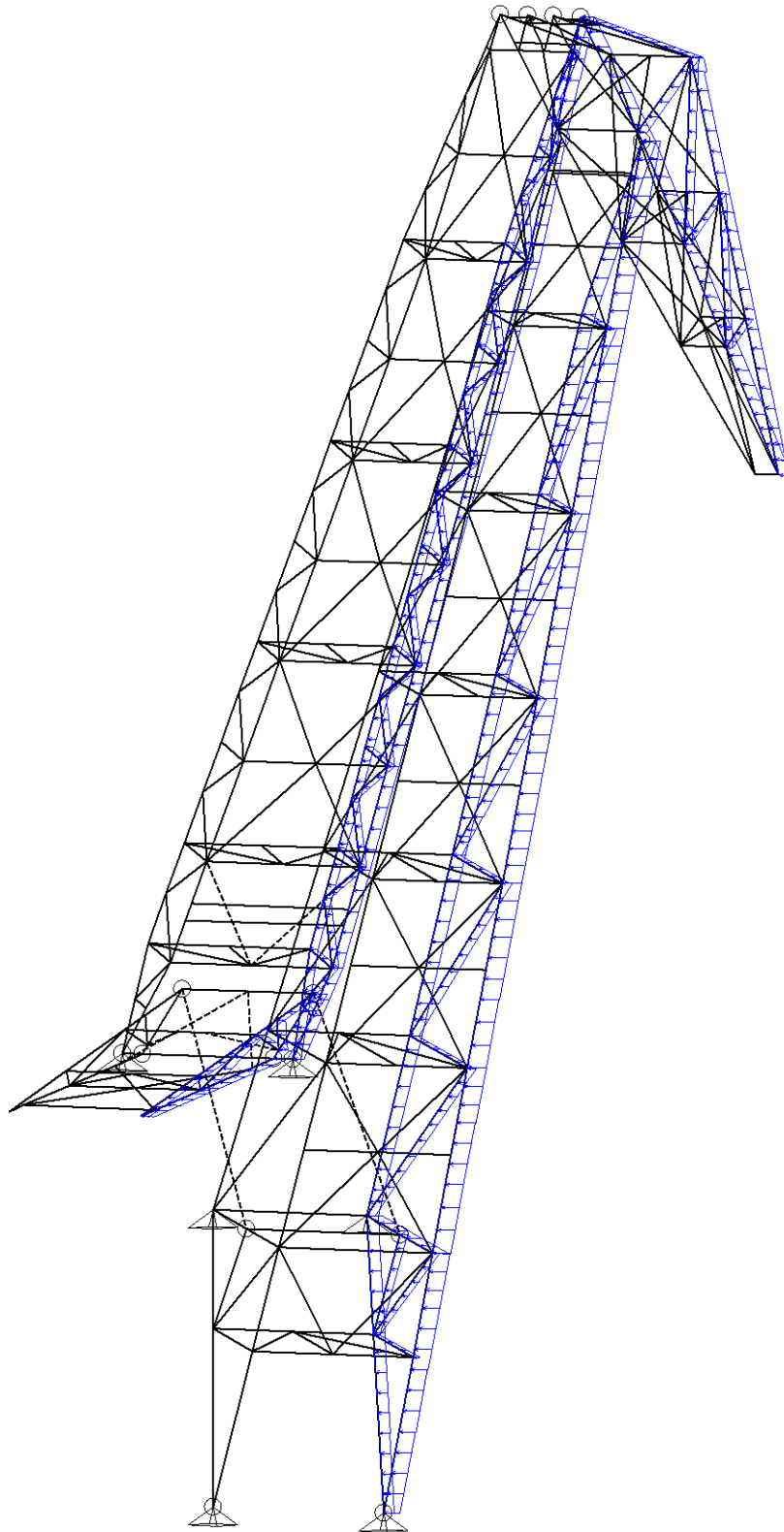
Opt. 3: Vjetar -x



Ravnina: VRN_U-B2

Slika 49: Opterećenje vjetra - smjer -x

Opt. 4: Vjetar y



Ravnina: VRN_U-B2

Slika 50: Opterećenje vjetra - smjer y

4.2.4. Kombinacije opterećenja

Proračun je proveden za ukupno osam kombinacija opterećenja. Opterećenja i kombinacije opterećenja sa pripadajućim faktorima sigurnosti prikazani su u *Tablica 26*. Četiri su kombinacije za granično stanje nosivosti (u tablici od broja 6 do 9) i četiri za granično stanje uporabljivosti (u tablici od broja 10 do 13).

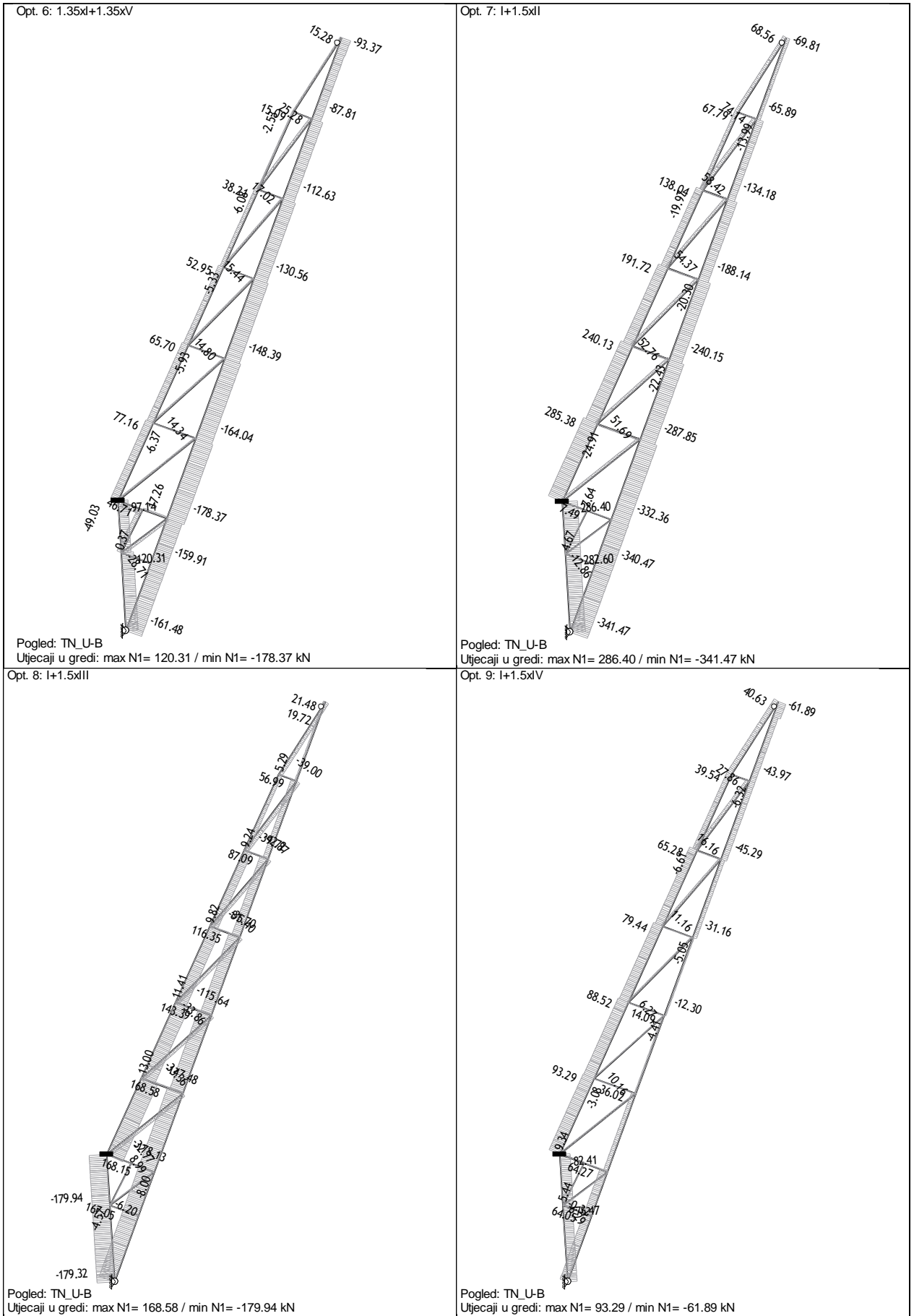
Tablica 26: Slučajevi opterećenja i kombinacije

1	Vlastita težina (g)
2	Vjetar +x
3	Vjetar -x
4	Vjetar y
5	Stalno
6	Komb.: $1.35xI+1.35xV$
7	Komb.: $I+1.5xII$
8	Komb.: $I+1.5xIII$
9	Komb.: $I+1.5xIV$
10	Komb.: $I+V$
11	Komb.: $I+II$
12	Komb.: $I+III$
13	Komb.: $I+IV$

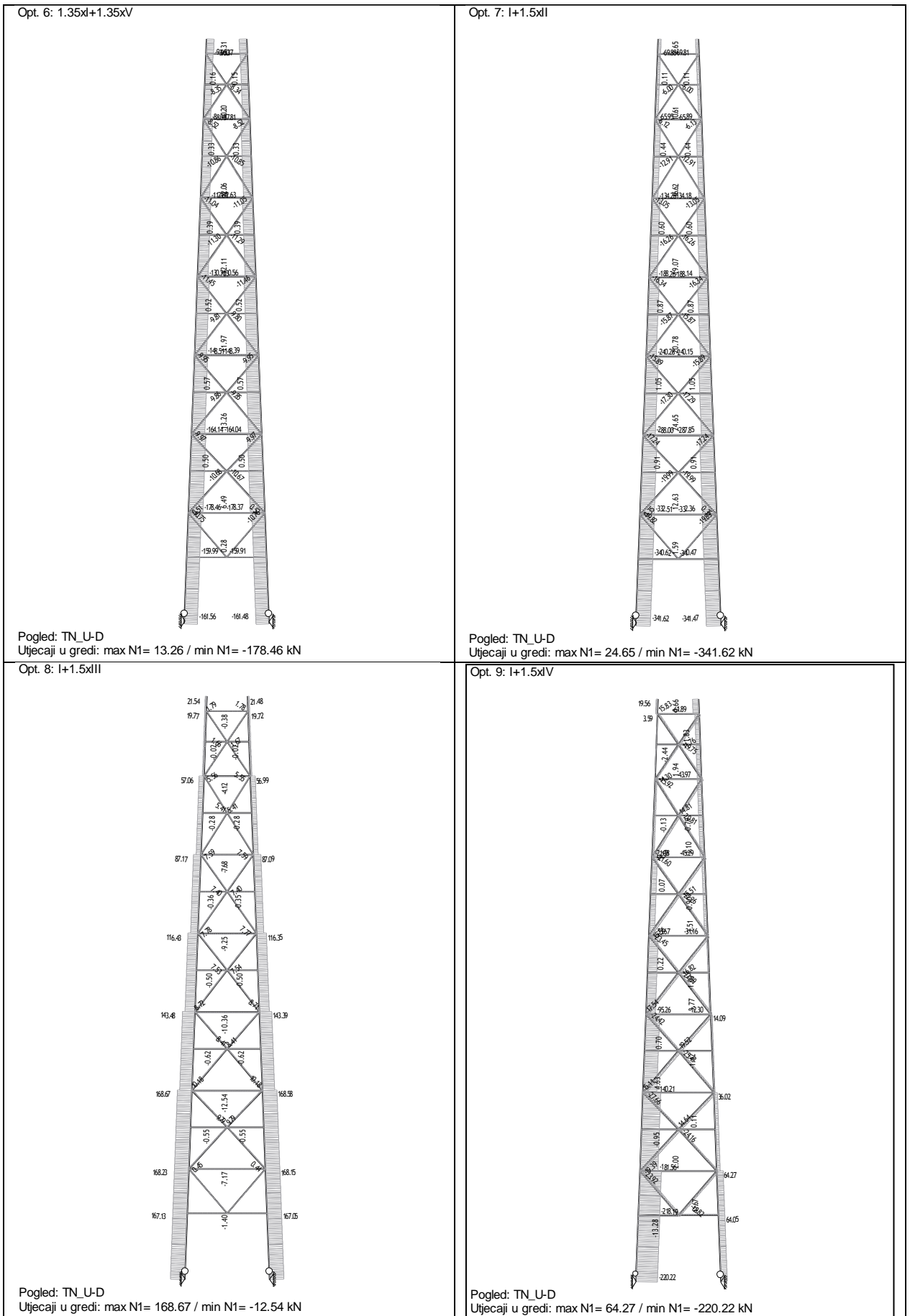
4.3. Provjera elemenata na granično stanje nosivosti

4.3.1. Dijagrami unutarnjih sila

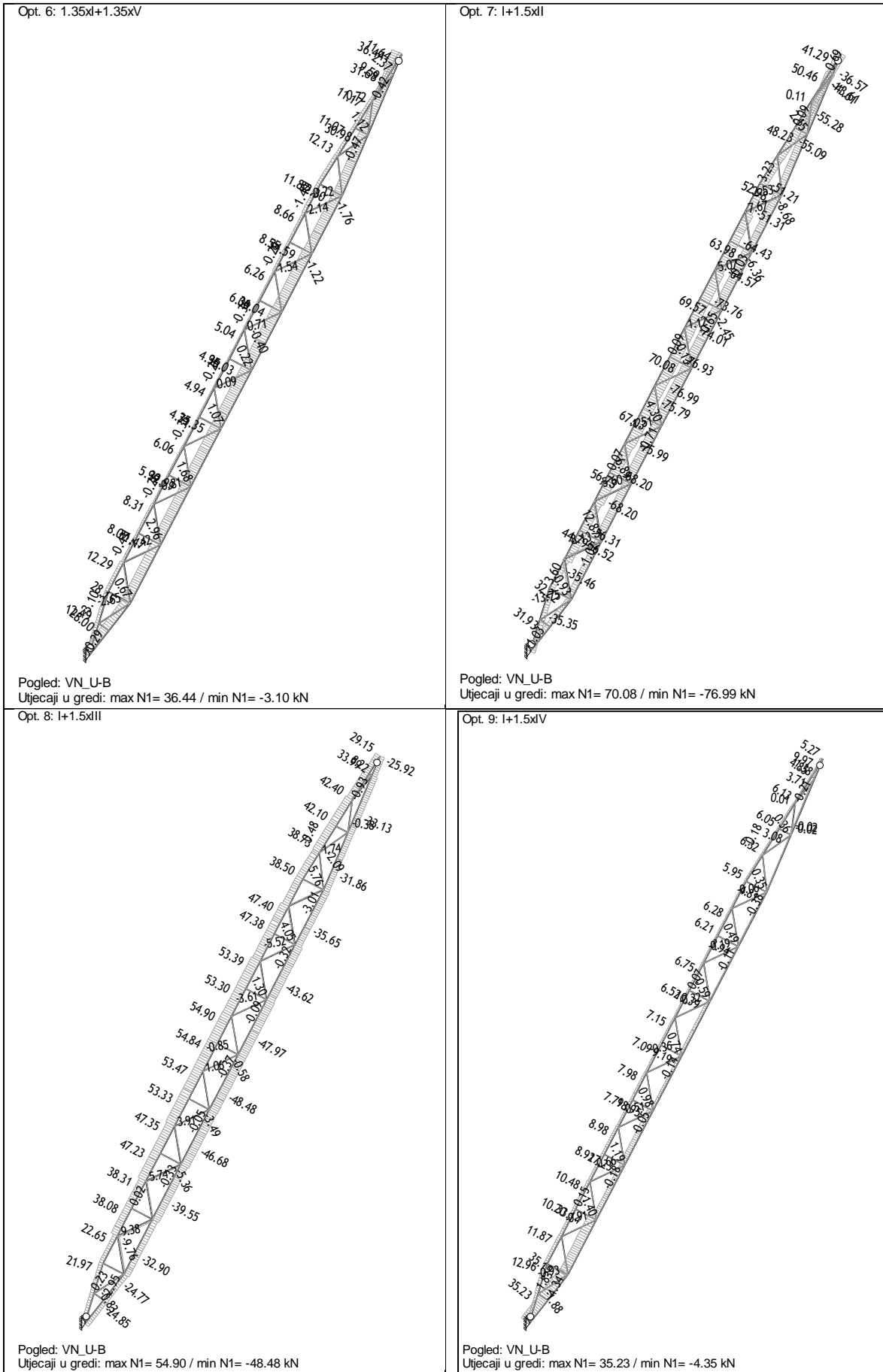
Dijagrami unutarnjih sila prikazani su za svaki nosač i četiri kombinacije opterećenja za granično stanje nosivosti na Slikama 51-56. Prikazani su samo dijagrami uzdužnih sila, pošto su uzdužne sile dominantne. Ostale sile i momenti su također prisutni u konstrukciji, ali nisu grafički prikazani zbog puno manjeg intenziteta.



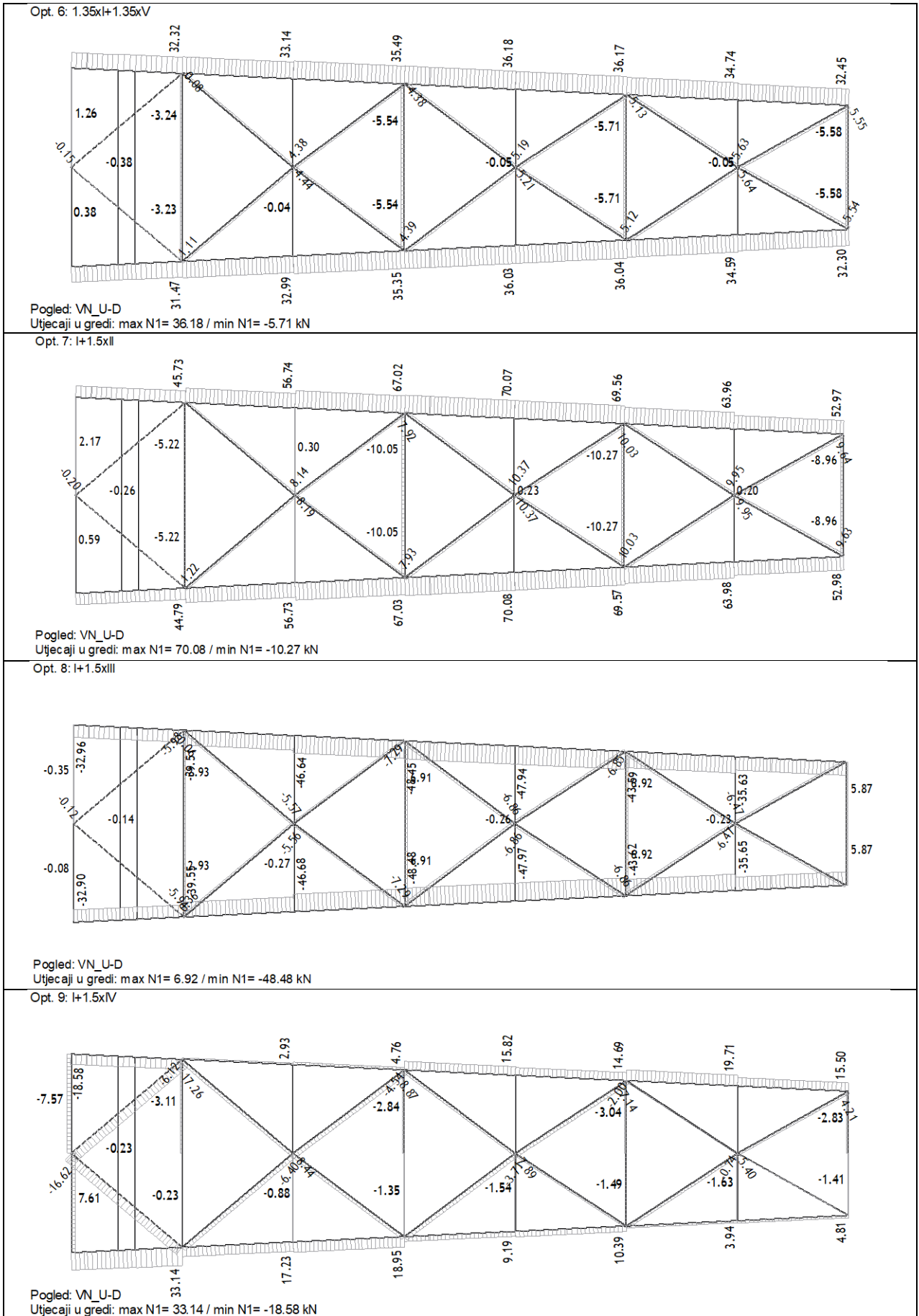
Slika 51: Dijagrami uzdužnih sila za tlačni nosač - bočni pojas



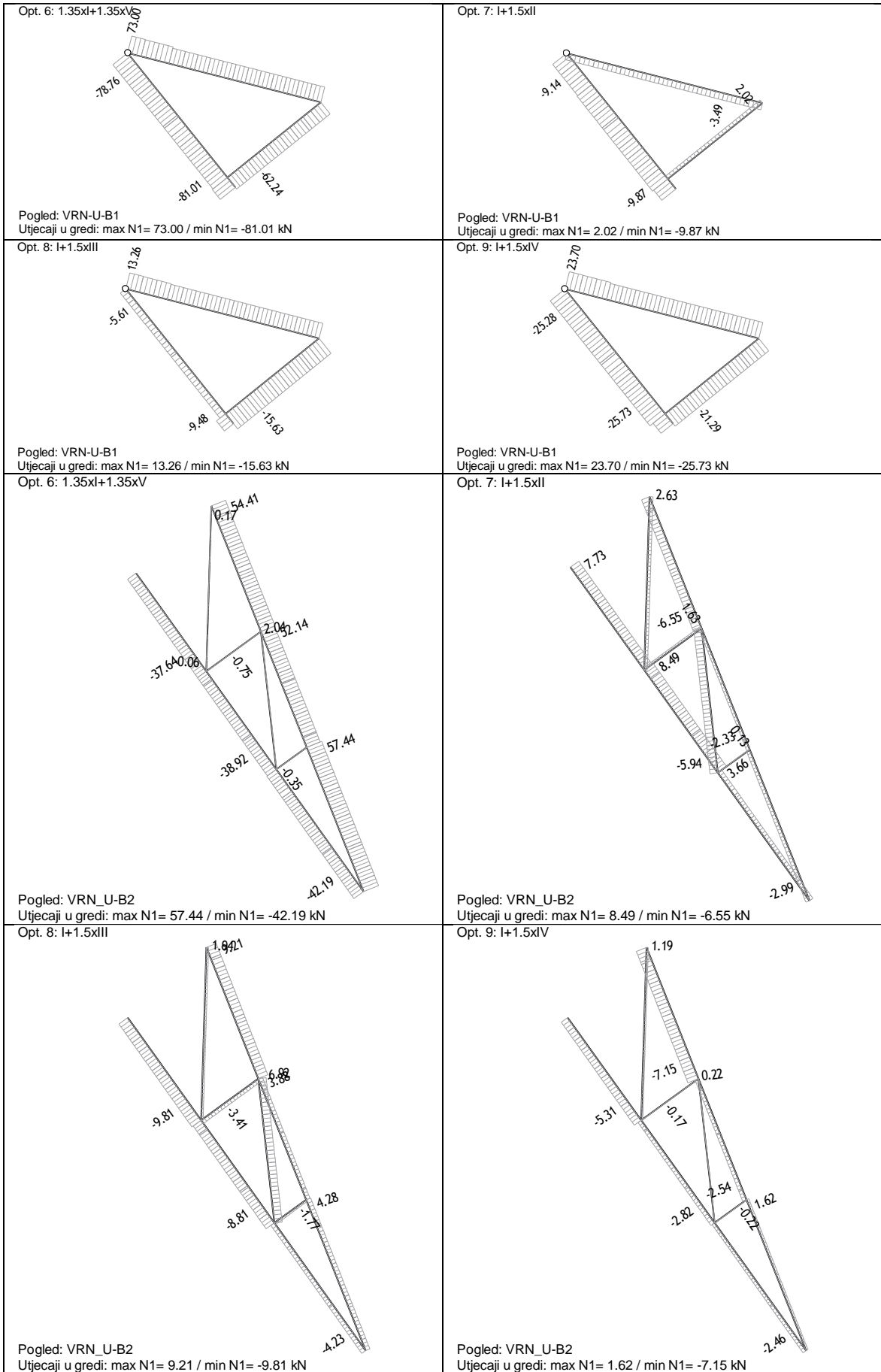
Slika 52: Dijagrami uzdužnih sila za tlačni nosač - donji pojas



Slika 53: Dijagrami uzdužnih sila za vlačni nosač - bočni pojas

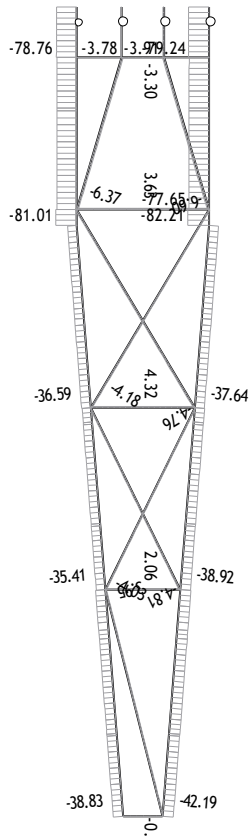


Slika 54: Dijagrami uzdužnih sila za vlačni nosač - donji pojas



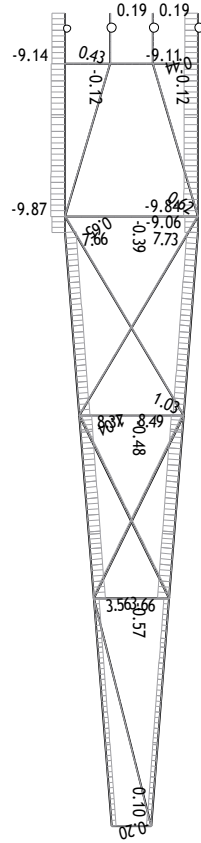
Slika 55: Dijagram uzdužnih sila za vršni nosač - bočni pojas

Opt. 6: 1.35xl+1.35xV



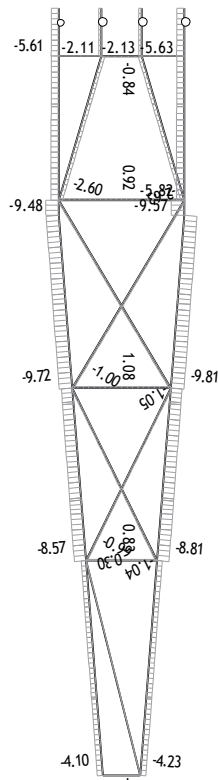
Pogled: VRN_U-D
 Utjecaji u gredi: max N1= 4.32 / min N1=-82.21 kN

Opt. 7: I+1.5xI



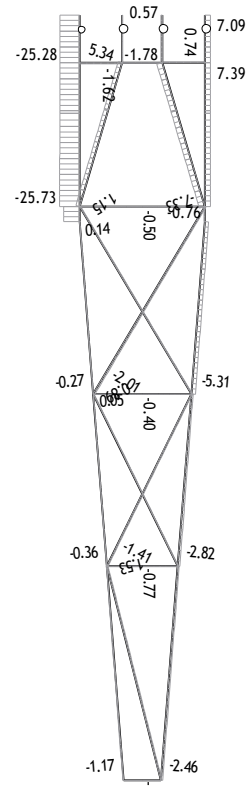
Pogled: VRN_U-D
 Utjecaji u gredi: max N1= 8.49 / min N1= -9.87 kN

Opt. 8: I+1.5xII



Pogled: VRN_U-D
 Utjecaji u gredi: max N1= 1.08 / min N1=-9.81 kN

Opt. 9: I+1.5xIV

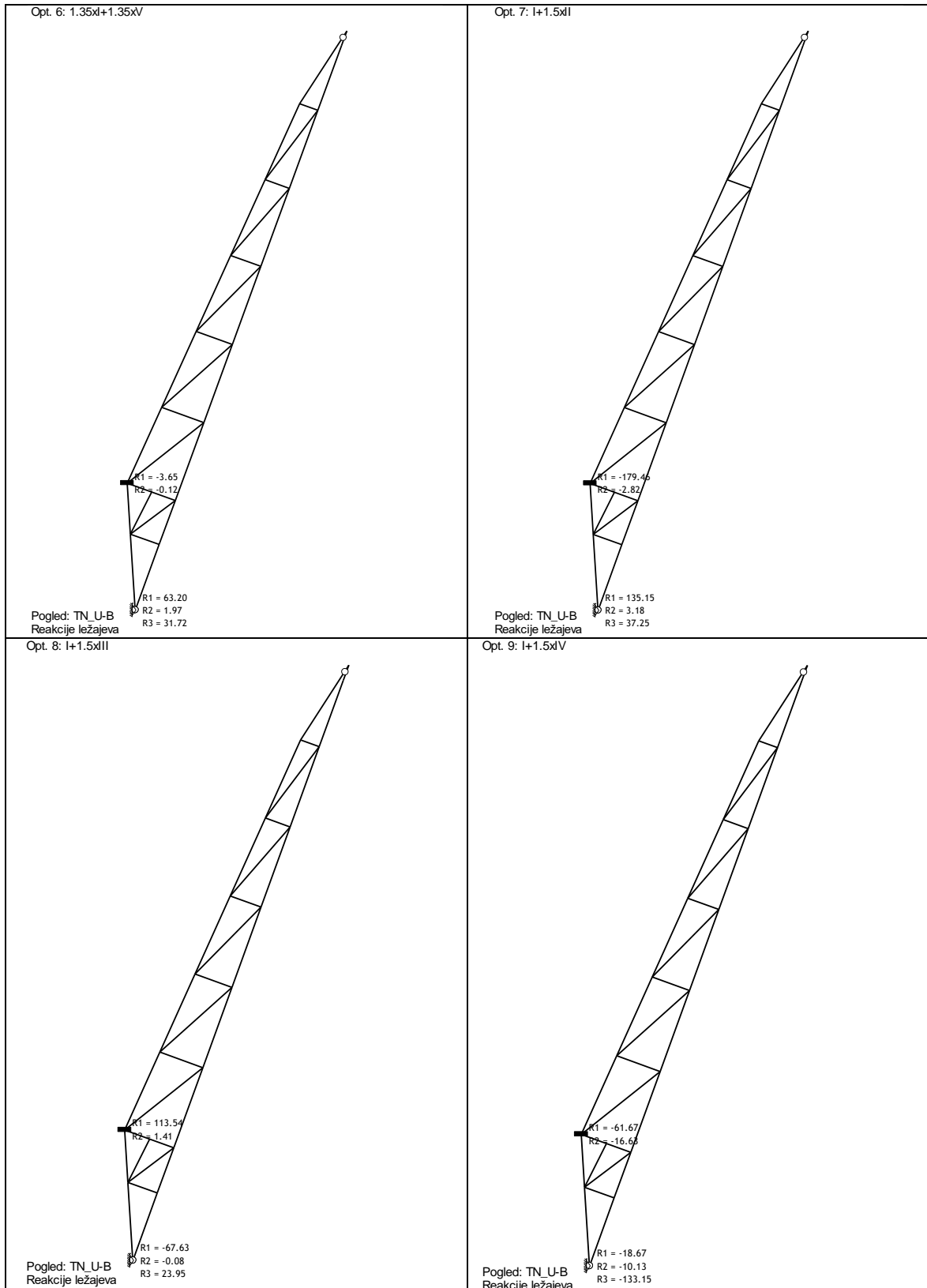


Pogled: VRN_U-D
 Utjecaji u gredi: max N1= 7.39 / min N1=-25.73 kN

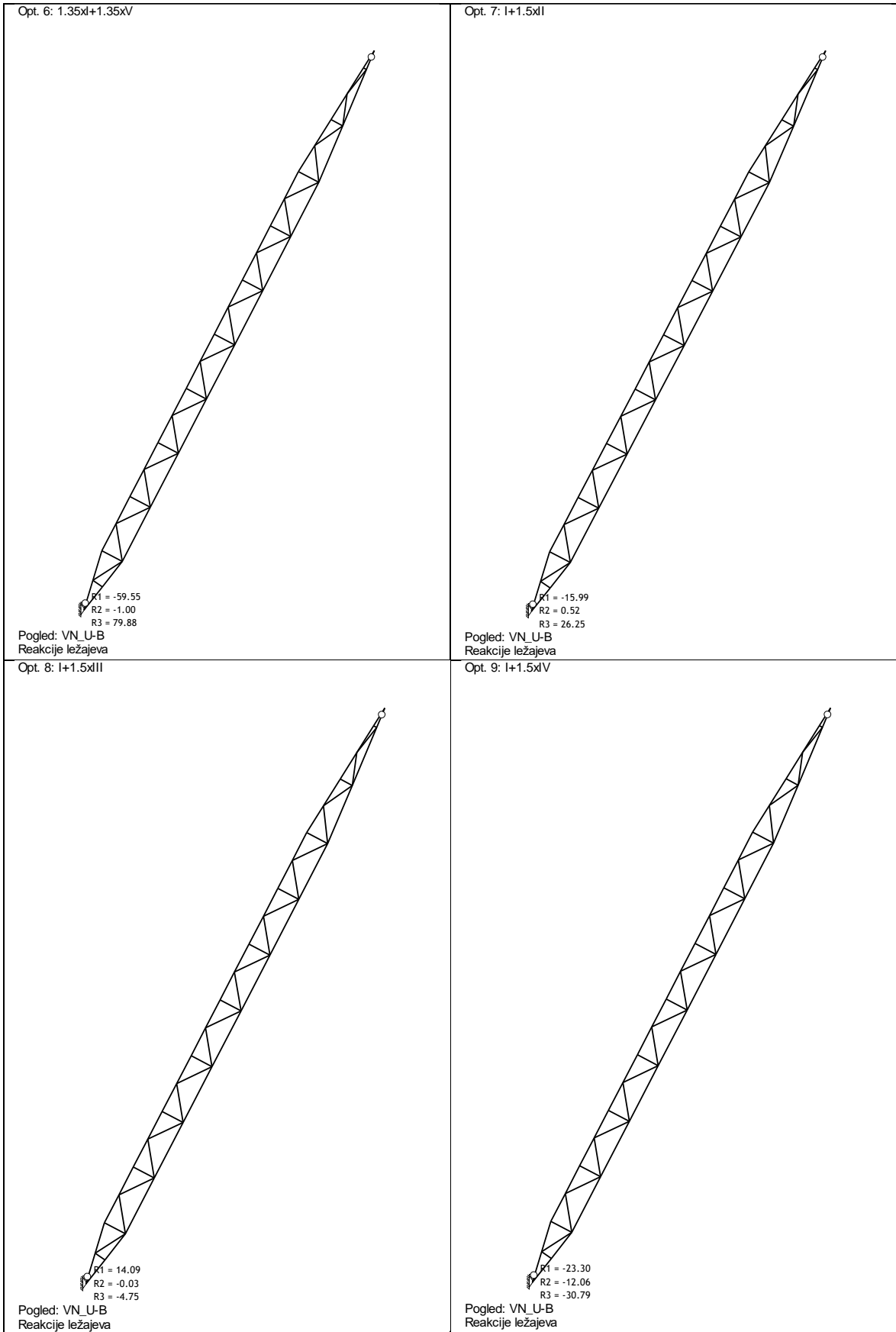
Slika 56: Dijagram uzdužnih sila za vršni nosač - donji pojas

4.3.2. Reakcije u osloncima

Na Slici 57 i 58 u nastavku prikazane su reakcije u ležajevima za četiri kombinacije opterećenja za granično stanje nosivosti,



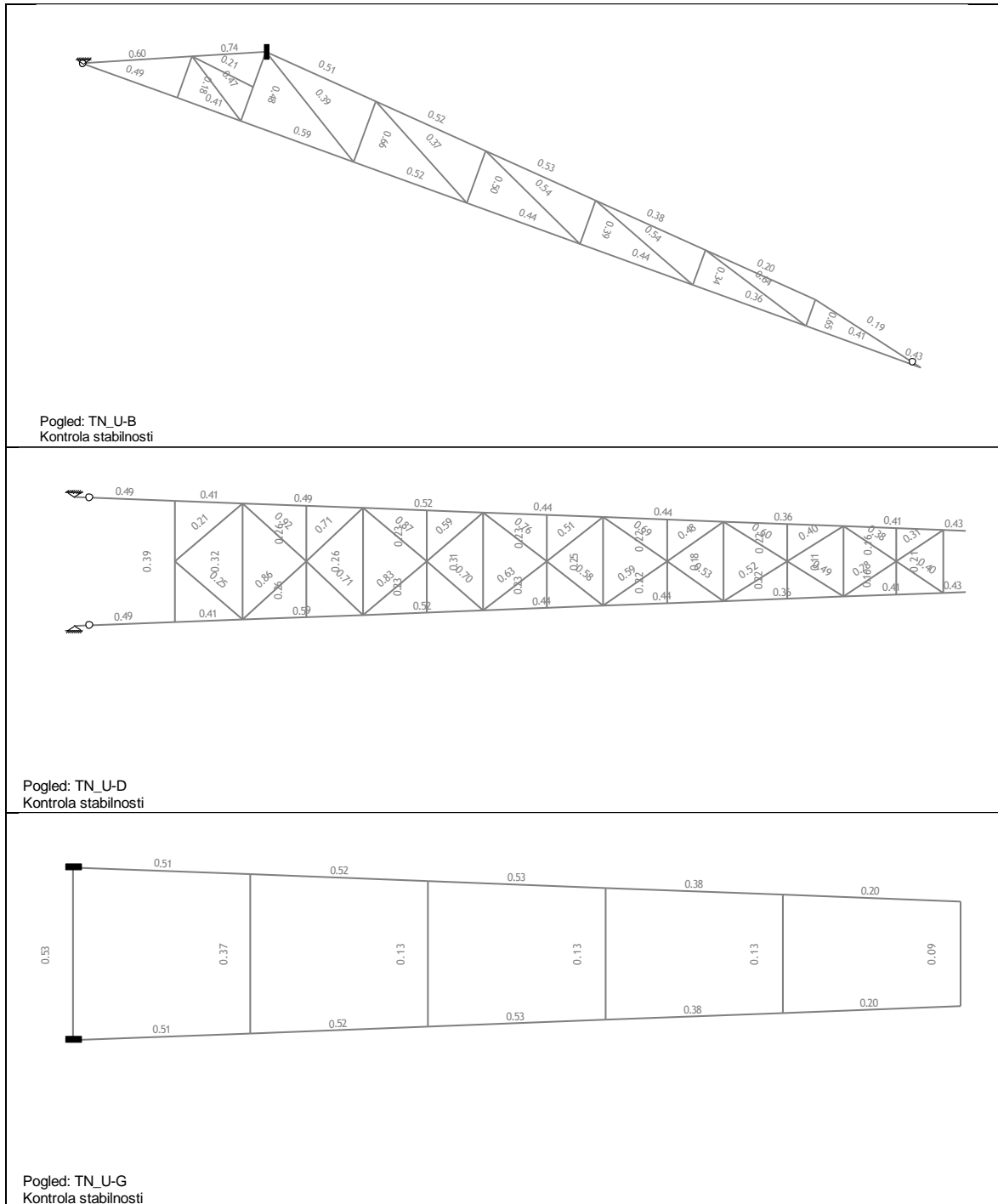
Slika 57: Reakcije u ležaju 1 i 2



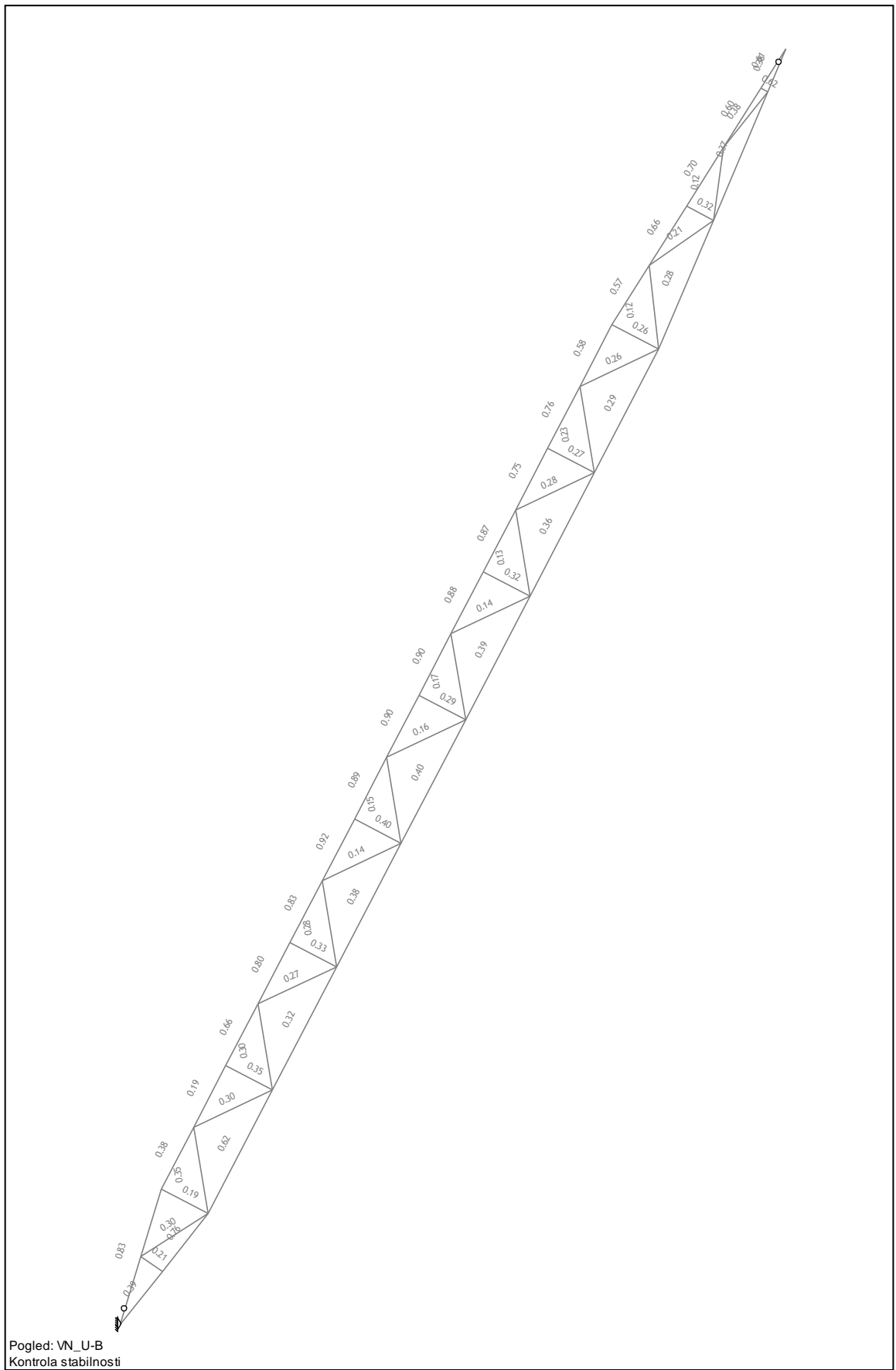
Slika 58: Reakcije u ležaju 3

4.3.3. Dimenzioniranje

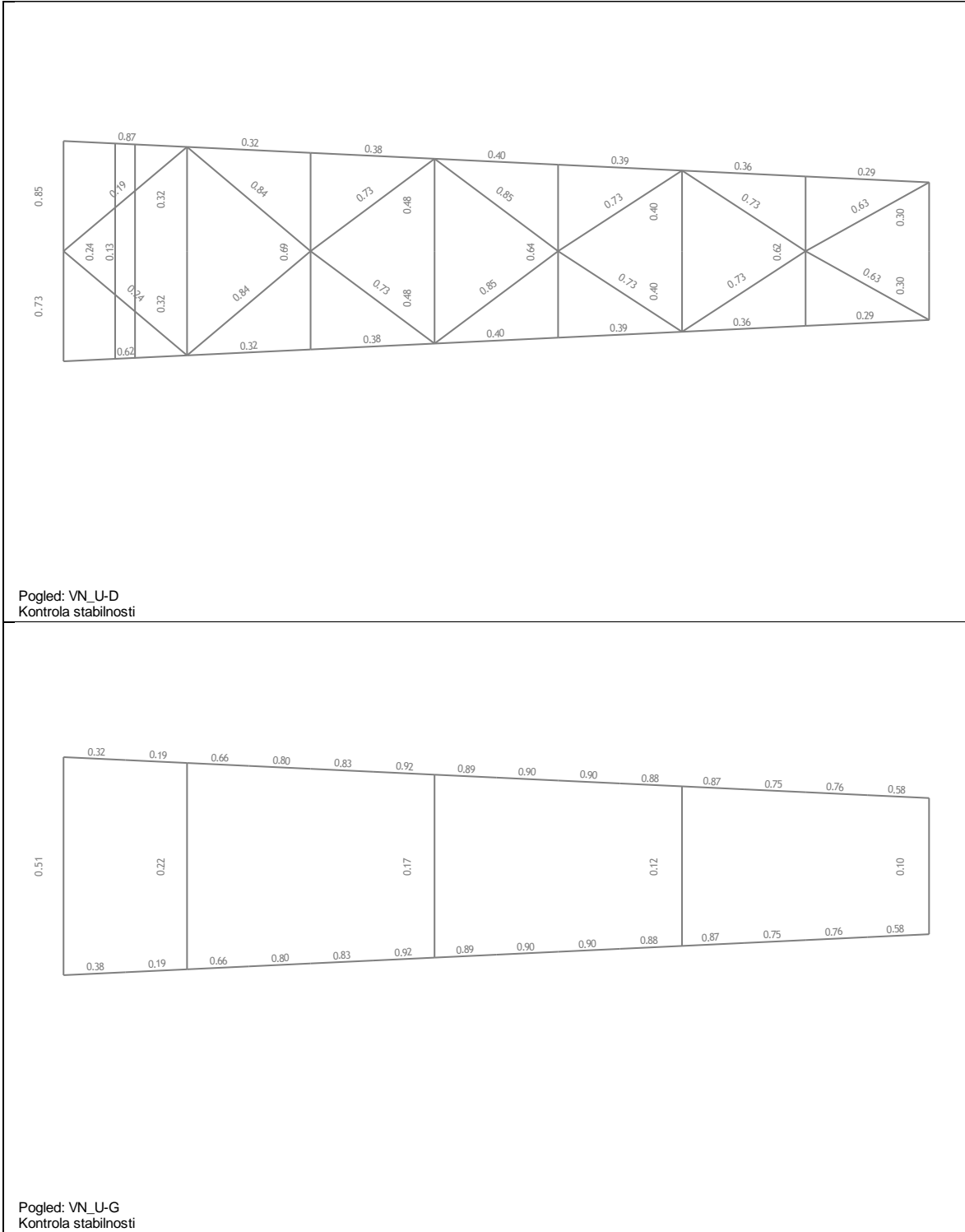
Proveden je proračun konstrukcije te su dimenzionirani svi elementi. Svi elementi zadovoljavaju uvjete stabilnosti, a udjeli iskoristivosti elemenata za pojedini nosač prikazani su na Slikama 59-63.



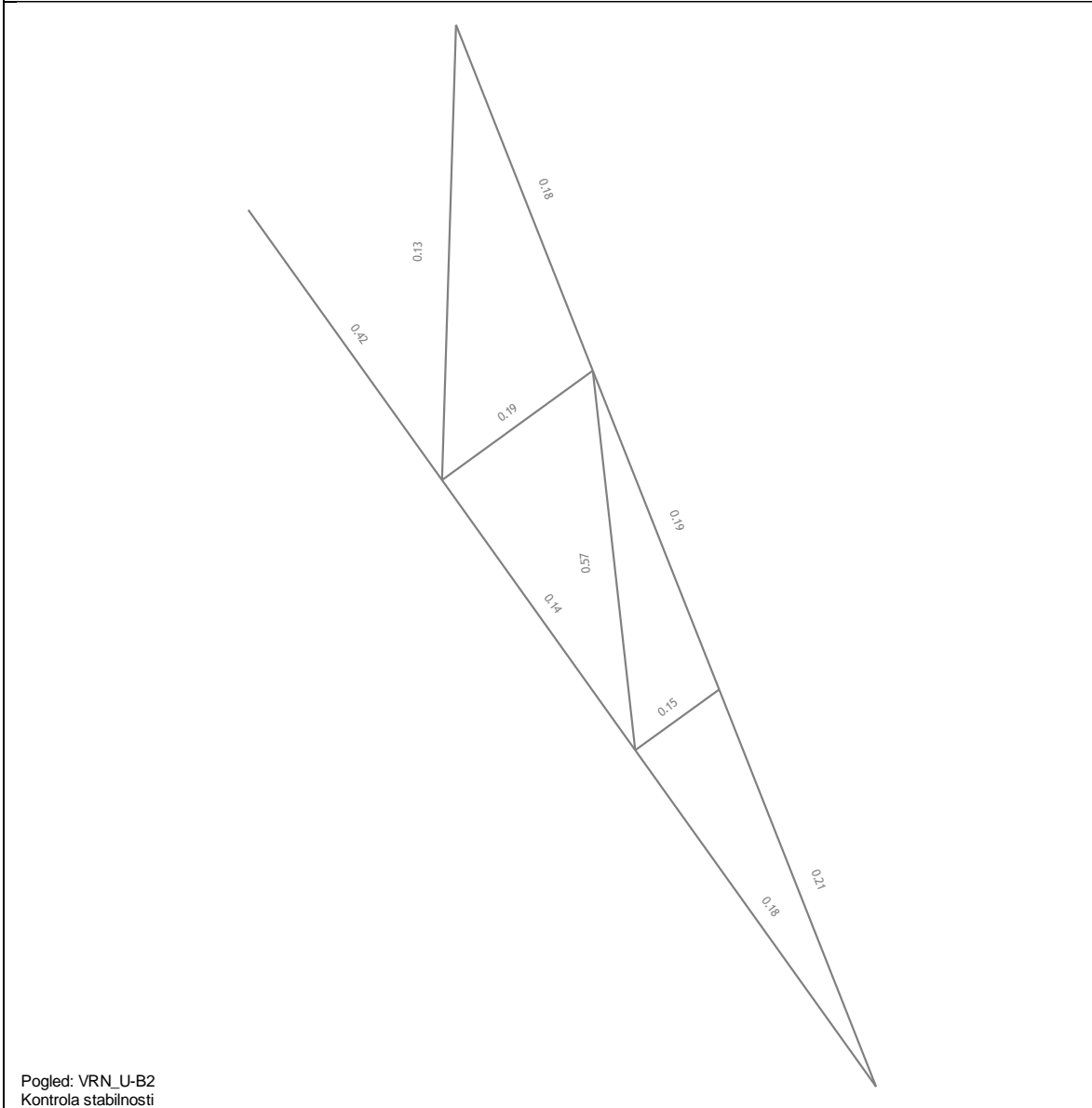
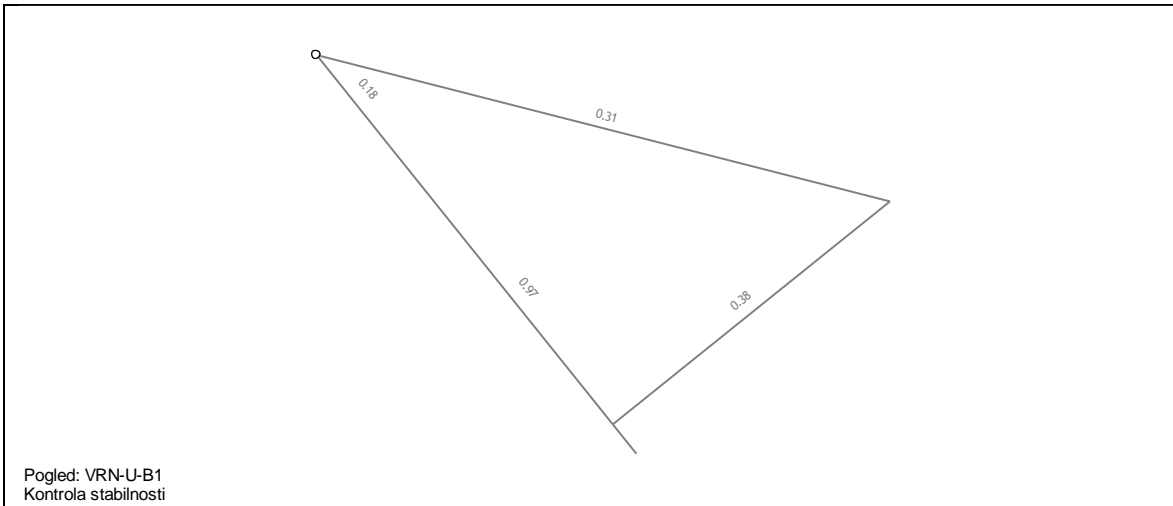
Slika 59: Kontrola stabilnosti elemenata tlačnog nosača – bočni, donji i gornji pojas



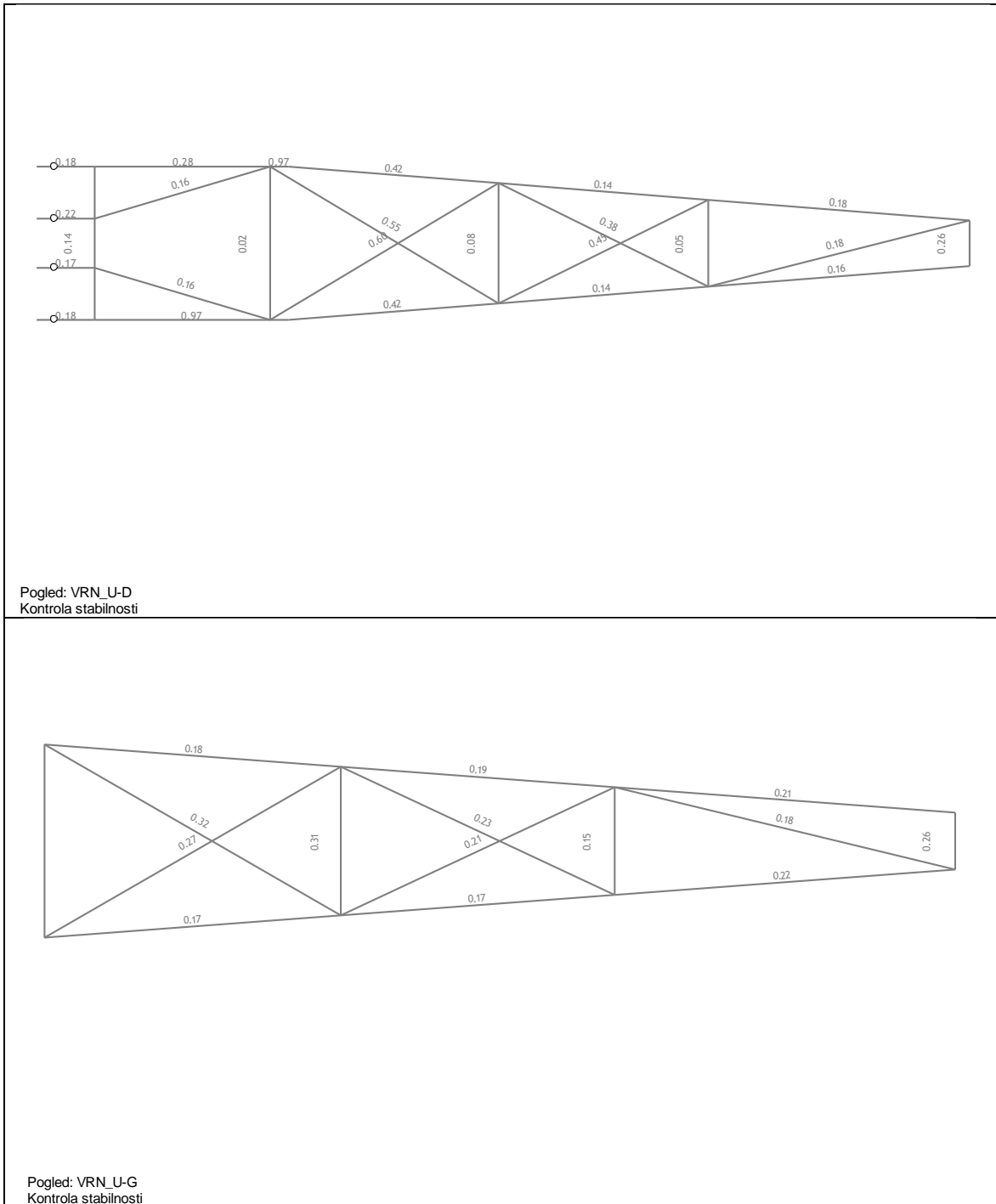
Slika 60: Kontrola stabilnosti elemenata vlačnog nosača – bočni pojnas



Slika 61: Kontrola stabilnosti elemenata vlačnog nosača – donji i gornji pojas

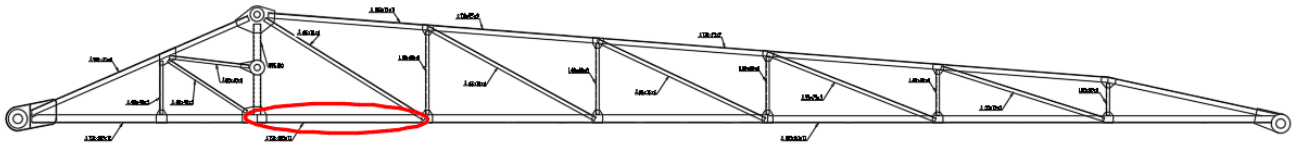


Slika 62: Kontrola stabilnosti elemenata vršnog nosača – bočni pojas



Slika 63: Kontrola stabilnosti elemenata vršnog nosača – donji i gornji pojas

U nastavku je prikazan proračun iz Towera za nekoliko karakterističnih elemenata svakog nosača. Na skici iznad svakog proračuna označen je element na kojem se proračun odnosi (Slike 64-73). Prvi prikazani element tlačnog nosača proračunat je i ručno, a proračun je prikazan tablično.

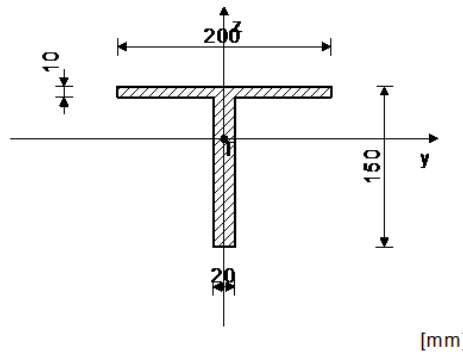


Slika 64: Oznaka elementa 1 na tlačnom nosaču (bočni pojas)

ŠTAP 810-327

POPREČNI PRESJEK: T-presjek [S 235] [Set: 9]
EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



Ax =	48.000 cm ²
Ay =	20.000 cm ²
Az =	28.000 cm ²
Ix =	44.000 cm ⁴
Iy =	1115.3 cm ⁴
Iz =	676.00 cm ⁴
Wy =	110.15 cm ³
Wz =	67.600 cm ³
Wy,pl =	198.00 cm ³
Wz,pl =	100.00 cm ³
γM0 =	1.000
γM1 =	1.100
γM2 =	1.250
Anet/A =	0.900

(fy = 23.5 kN/cm², fu = 36.0 kN/cm²)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA

7. γ=0.59	6. γ=0.31	8. γ=0.15
9. γ=0.09		

ŠTAP IZLOŽEN TLAKU

(slučaj opterećenja 7, početak štapa)

Računska uzdužna sila	NEd =	-332.36 kN
Poprečna sila u y pravcu	VEd,y =	0.259 kN
Poprečna sila u z pravcu	VEd,z =	0.822 kN
Momenat savijanja oko y osi	MEd,y =	2.066 kNm
Momenat savijanja oko z osi	MEd,z =	0.039 kNm
Moment torzije	Mt =	-0.063 kNm
Sistemska dužina štapa	L =	320.24 cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA

Klasa presjeka 1

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA

6.2.4 Tlak

Računska otpornost na tlak	Nc,Rd =	1128.0 kN
----------------------------	---------	-----------

Uvjet 6.9: NEd ≤ Nc,Rd (332.36 ≤ 1128.00)

6.3 NOSIVOST ELEMENATA NA IZVIJANJE

6.3.1.1 Nosivost na izvijanje

Dužina izvijanja y-y	ly =	160.12 cm
Relativna vitkost y-y	λ _y =	0.354
Krivulja izvijanja za os y-y: C	α =	0.490
Elastična kritična sila	Ncr,y =	9015.7 kN
Redukcijski koeficijent	χ _y =	0.922
Računska otpornost na izvijanje	Nb,Rd,y =	945.00 kN

Uvjet 6.46: NEd ≤ Nb,Rd,y (332.36 ≤ 945.00)

Dužina izvijanja z-z	lz =	320.24 cm
Relativna vitkost z-z	λ _z =	0.909
Krivulja izvijanja za os z-z: C	α =	0.490
Redukcijski koeficijent	χ _z =	0.595
Računska otpornost na izvijanje	Nb,Rd,z =	609.66 kN

Uvjet 6.46: NEd ≤ Nb,Rd,z (332.36 ≤ 609.66)

Tablica 27: Svojstva materijala

Klasa čelika:	S235		
Svojstva čelika	E=	210000	N/mm ²
	G=	81000	N/mm ²
	f _y =	235	N/mm ²
	f _u =	360	N/mm ²
	ε=	$\sqrt{\frac{235}{f_y}}$	1

Tablica 28: Klasifikacija poprečnog presjeka [2]

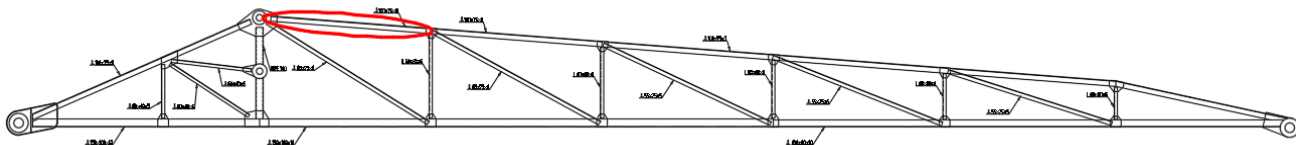
1. KLASIFIKACIJA POPREČNOG PRESJEKA		
Profil:	2L 150×100×10	
Duljina hrpta:	c _h = 120,5	mm
Debljina hrpta:	t _h = 20	mm
Duljina pojasnice:	c _p = 70,5	mm
Debljina hrpta:	t _p = 10	mm
Površina:	A= 4836	mm ²
Moment tromosti:	I _y = 11153000	mm ⁴
	I _z = 6760000	mm ⁴
Uvjet za klasu 1:	$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$	
	6,025 < 33	✓
	Hrbat je klasa 1.	
Provjera pojasnice - tlak		
Uvjet za klasu 1:	$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$	
	7,050 < 9	✓
	Pojasnica je klasa 1.	
Poprečni presjek je klasa 1.		

Tablica 29: Otpornost poprečnog presjeka [2]

2. OTPORNOST POPREČNOG PRESJEKA			
Otpornost poprečnog presjeka na tlak za klasu 1:	$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$		$\gamma_{M0} = 1,0$
	$N_{c,Rd} =$	1136460 N 1136,46 kN	
Uzdužna tlačna sila u elementu:	$N_{Ed} =$	332,36 kN	
Uvjet nosivosti:	$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$		
	332,36 <	1136,46	✓
Nosivost poprečnog presjeka zadovoljava na tlak.			
Iskoristivost poprečnog presjeka:			29% ✓

Tablica 30: Provjera otpornosti elementa na izvijanje [2]

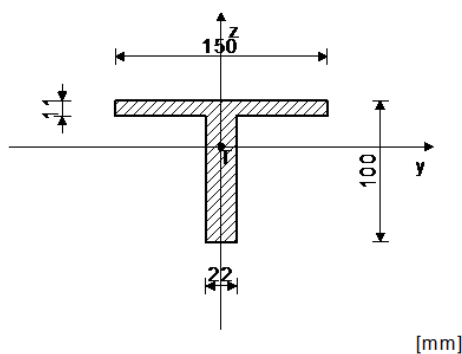
3. OTPORNOST ELEMENTA			
Otpornost tlačnog elementa na izvijanje:	$N_{b,Rd} = \chi \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$		$\gamma_{M1} = 1,1$
			Faktor imperfekcije
			Krivulja c $\alpha = 0,49$
Oko osi:	y-y	z-z	
Kritična duljina izvijanja	$l_{cr,y} =$ 1601,2	$l_{cr,z} =$ 3202,4	mm
Eulerova kritična sila izvijanja $N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2}$	$N_{cr,y} =$ 9016117,8	$N_{cr,z} =$ 2254029	N
Vitkost elemenata $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$	$\lambda_{cr,y} =$ 0,355	$\lambda_{cr,z} =$ 0,710	
Izvijanje $\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$	$\phi_y =$ 0,601	$\phi_z =$ 0,877	
Faktor redukcije $\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1$	$\chi_y =$ 0,921	$\chi_z =$ 0,718	<1
	$\chi = \min(\chi_y; \chi_z)$		$\chi =$ 0,718
Otpornost tlačnog elementa na izvijanje:	$N_{b,Rd} =$	742262,86 N	
		742,26 kN	
Uzdužna tlačna sila u elementu:	$N_{Ed} =$	332,36 kN	
Uvjet nosivosti:	$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$		
	332,36 <	742,26	✓
Nosivost elementa zadovoljava na izvijanje.			
Iskoristivost poprečnog presjeka:			45%



Slika 65: Oznaka elementa 2 na tlačnom nosaču (bočni pojas)

ŠTAP 675-200
 POPREČNI PRESJEK: T-presjek [S 235] [Set: 12]
 EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



A_x	=	36.080	cm ²
A_y	=	16.500	cm ²
A_z	=	19.580	cm ²
I_x	=	38.244	cm ⁴
I_y	=	354.76	cm ⁴
I_z	=	317.27	cm ⁴
W_y	=	52.662	cm ³
W_z	=	42.303	cm ³
$W_{y,pl}$	=	95.128	cm ³
$W_{z,pl}$	=	61.875	cm ³
y_{M0}	=	1.000	
y_{M1}	=	1.100	
y_{M2}	=	1.250	
A_{net}/A	=	0.900	

($f_y = 23.5$ kN/cm², $f_u = 36.0$ kN/cm²)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA

8. $\gamma = 0.51$	7. $\gamma = 0.34$	9. $\gamma = 0.22$
6. $\gamma = 0.09$		

ŠTAP IZLOŽEN TLAKU

(slučaj opterećenja 8, na 140.5 cm od početka štapa)

Računska uzdužna sila	N_{Ed}	=	-177.77	kN
Momenat savijanja oko y osi	$M_{Ed,y}$	=	0.190	kNm
Momenat savijanja oko z osi	$M_{Ed,z}$	=	-0.012	kNm
Sistemska dužina štapa	L	=	321.16	cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA

Klasa presjeka 1

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA

6.2.4 Tlak

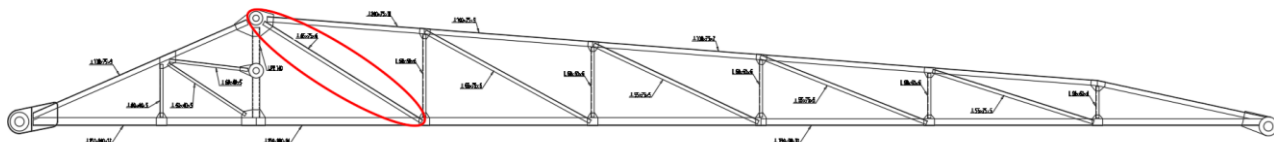
Računska otpornost na tlak	$N_{c,Rd}$	=	847.88	kN
Uvjet 6.9: $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ (177.77 <= 847.88)				

6.3 NOSIVOST ELEMENATA NA IZVIJANJE

6.3.1.1 Nosivost na izvijanje

Dužina izvijanja y-y	l_y	=	321.16	cm
Relativna vitkost y-y	λ_y	=	1.091	
Krivulja izvijanja za os y-y: C	α	=	0.490	
Elastična kritična sila	$N_{cr,y}$	=	712.86	kN
Redukcijski koeficijent	χ_y	=	0.489	
Računska otpornost na izvijanje	$N_{b,Rd,y}$	=	377.13	kN
Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,y}$ (177.77 <= 377.13)				

Dužina izvijanja z-z	l_z	=	321.16	cm
Relativna vitkost z-z	λ_z	=	1.153	
Krivulja izvijanja za os z-z: C	α	=	0.490	
Redukcijski koeficijent	χ_z	=	0.457	
Računska otpornost na izvijanje	$N_{b,Rd,z}$	=	352.02	kN
Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,z}$ (177.77 <= 352.02)				

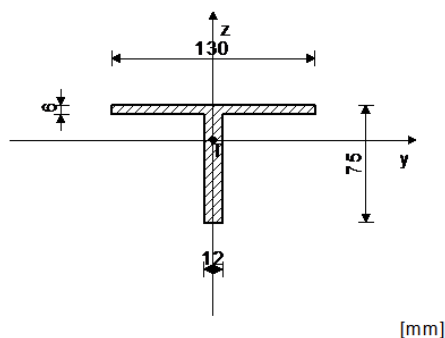


Slika 66: Oznaka elementa 3 na tlačnom nosaču (bočni pojas)

ŠTAP 200-810

POPREČNI PRESJEK: T-presjek [S 235] [Set: 17]
EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



A_x	=	16.080	cm ²
A_y	=	7.800	cm ²
A_z	=	8.280	cm ²
I_x	=	4.910	cm ⁴
I_y	=	89.566	cm ⁴
I_z	=	110.84	cm ⁴
W_y	=	16.999	cm ³
W_z	=	17.053	cm ³
$W_{y,pl}$	=	30.858	cm ³
$W_{z,pl}$	=	25.350	cm ³
γ_{M0}	=	1.000	
γ_{M1}	=	1.100	
γ_{M2}	=	1.250	
A_{net}/A	=	0.900	

($f_y = 23.5$ kN/cm², $f_u = 36.0$ kN/cm²)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA

8. $\gamma = 0.39$	9. $\gamma = 0.16$	7. $\gamma = 0.14$
6. $\gamma = 0.04$		

ŠTAP IZLOŽEN TLAKU

(slučaj opterećenja 8, kraj štapa)

Računska uzdužna sila	N_{Ed}	=	-32.767	kN
Poprečna sila u y pravcu	$V_{Ed,y}$	=	0.055	kN
Poprečna sila u z pravcu	$V_{Ed,z}$	=	0.203	kN
Momenat savijanja oko y osi	$M_{Ed,y}$	=	-0.113	kNm
Momenat savijanja oko z osi	$M_{Ed,z}$	=	-0.066	kNm
Sistemska dužina štapa	L	=	375.46	cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA

Klasa presjeka 1

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA

6.2.4 Tlak

Računska otpornost na tlak

$N_{c,Rd} = 377.88$ kN

Uvjet 6.9: $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ (32.77 ≤ 377.88)

6.3 NOSIVOST ELEMENATA NA IZVIJANJE

6.3.1.1 Nosivost na izvijanje

Dužina izvijanja y-y

$l_y = 375.46$ cm

Relativna vitkost y-y

$\lambda_y = 1.694$

Krivulja izvijanja za os y-y: C

$\alpha = 0.490$

Elastična kritična sila

$N_{cr,y} = 131.69$ kN

Redukcijski koeficijent

$\chi_y = 0.259$

Računska otpornost na izvijanje

$N_{b,Rd,y} = 89.048$ kN

Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,y}$ (32.77 ≤ 89.05)

Dužina izvijanja z-z

$l_z = 375.46$ cm

Relativna vitkost z-z

$\lambda_z = 1.523$

Krivulja izvijanja za os z-z: C

$\alpha = 0.490$

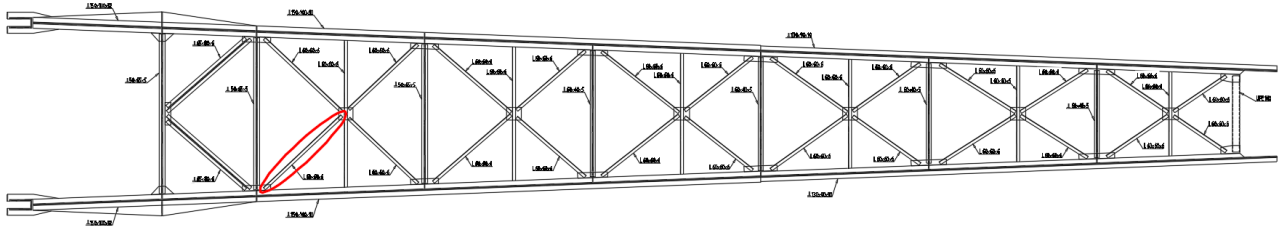
Redukcijski koeficijent

$\chi_z = 0.307$

Računska otpornost na izvijanje

$N_{b,Rd,z} = 105.56$ kN

Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,z}$ (32.77 ≤ 105.56)



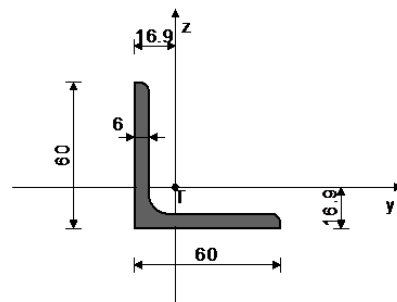
Slika 67: Oznaka elementa 4 na tlačnom nosaču (donji pojas)

ŠTAP 742-327

POPREČNI PRESJEK: L 60x60x6 [S 235] [Set: 38]

EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



$A_x =$	6.910 cm ²
$A_y =$	3.600 cm ²
$A_z =$	3.600 cm ²
$I_x =$	0.860 cm ⁴
$I_\xi =$	9.430 cm ⁴
$I_\eta =$	36.100 cm ⁴
$I_y =$	22.765 cm ⁴
$I_z =$	22.765 cm ⁴
$W_y =$	5.282 cm ³
$W_z =$	5.282 cm ³
$W_{y,pl} =$	9.828 cm ³
$W_{z,pl} =$	11.718 cm ³
$\gamma_{M0} =$	1.000
$\gamma_{M1} =$	1.100
$\gamma_{M2} =$	1.250
$A_{net}/A =$	0.900

($f_y = 23.5$ kN/cm², $f_u = 36.0$ kN/cm²)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA

7. $\gamma = 0.86$	6. $\gamma = 0.38$	8. $\gamma = 0.21$
9. $\gamma = 0.20$		

ŠTAP IZLOŽEN TLAKU

(slučaj opterećenja 7, početak štapa)

Računska uzdužna sila	$N_{Ed} =$	-19.825 kN
Poprečna sila u y pravcu	$V_{Ed,y} =$	-0.282 kN
Poprečna sila u z pravcu	$V_{Ed,z} =$	-0.391 kN
Moment savijanja oko y osi	$M_{Ed,y} =$	-0.281 kNm
Moment savijanja oko z osi	$M_{Ed,z} =$	-0.194 kNm
Sistemska dužina štapa	$L =$	231.15 cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA

Klasa presjeka 3

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA

6.2.4 Tlak

Računska otpornost na tlak $N_{c,Rd} = 162.39$ kN

Uvjet 6.9: $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ (19.83 \leq 162.39)

6.3 NOSIVOST ELEMENATA NA IZVIJANJE

6.3.1.1 Nosivost na izvijanje

Dužina izvijanja $\xi-\xi$

Relativna vitkost $\xi-\xi$

Krivulja izvijanja za os $\xi-\xi$: C

Elastična kritična sila

Redukcijski koeficijent

Računska otpornost na izvijanje

Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,\xi}$ (19.83 \leq 31.72)

$l_{\xi} =$	208.04 cm
$\lambda_{\xi} =$	1.896
$\alpha =$	0.490
$N_{cr,z} =$	172.88 kN
$\chi_{\xi} =$	0.215
$N_{b,Rd,\xi} =$	31.717 kN

Dužina izvijanja $\eta-\eta$

Relativna vitkost $\eta-\eta$

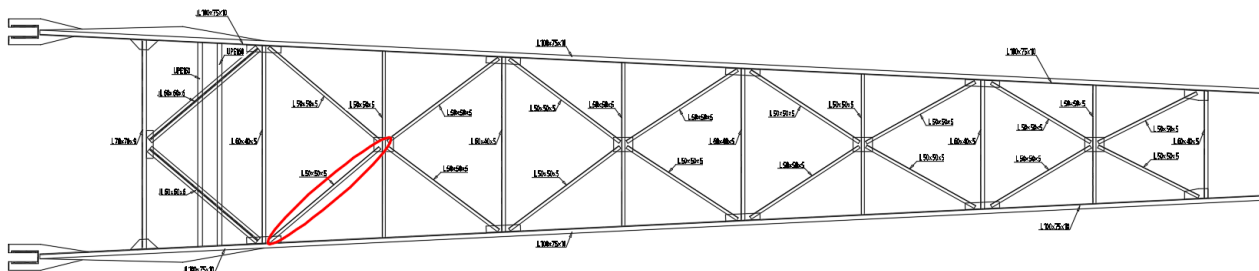
Krivulja izvijanja za os $\eta-\eta$: C

Redukcijski koeficijent

Računska otpornost na izvijanje

Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,\eta}$ (19.83 \leq 82.38)

$l_{\eta} =$	208.04 cm
$\lambda_{\eta} =$	0.969
$\alpha =$	0.490
$\chi_{\eta} =$	0.558
$N_{b,Rd,\eta} =$	82.377 kN



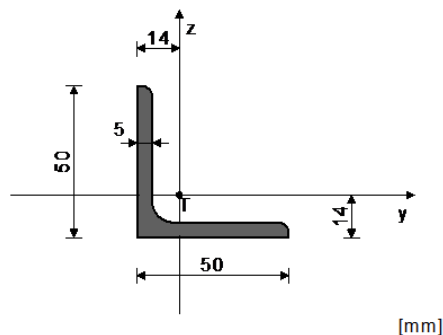
Slika 68: Oznaka elementa 1 na vlačnom nosaču (donji pojas)

ŠTAP 835-1224

POPREČNI PRESJEK: L 50x50x5 [Set: 28]

EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



$A_x =$	4.800 cm ²
$A_y =$	2.500 cm ²
$A_z =$	2.500 cm ²
$I_x =$	0.420 cm ⁴
$I_\xi =$	4.590 cm ⁴
$I_\eta =$	17.400 cm ⁴
$I_y =$	10.995 cm ⁴
$I_z =$	10.995 cm ⁴
$W_y =$	3.054 cm ³
$W_z =$	3.054 cm ³
$W_{y,pl} =$	5.688 cm ³
$W_{z,pl} =$	6.781 cm ³
$\gamma_{M0} =$	1.000
$\gamma_{M1} =$	1.100
$\gamma_{M2} =$	1.250
$A_{net}/A =$	0.900

($f_y = 23.5$ kN/cm², $f_u = 36.0$ kN/cm²)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA

8. $\gamma=0.83$	7. $\gamma=0.36$	9. $\gamma=0.22$
6. $\gamma=0.07$		

ŠTAP IZLOŽEN TLAKU
(slučaj opterećenja 8, kraj štapa)

Računska uzdužna sila	$N_{Ed} =$	-5.944 kN
Poprečna sila u y pravcu	$V_{Ed,y} =$	-0.364 kN
Poprečna sila u z pravcu	$V_{Ed,z} =$	-0.273 kN
Momenat savijanja oko y osi	$M_{Ed,y} =$	0.182 kNm
Momenat savijanja oko z osi	$M_{Ed,z} =$	0.234 kNm
Sistemska dužina štapa	$L =$	242.16 cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA
Klasa presjeka 3

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA

6.2.4 Tlak

Računska otpornost na tlak $N_{c,Rd} = 112.80$ kN

Uvjet 6.9: $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ (5.94 \leq 112.80)

6.3 NOSIVOST ELEMENATA NA IZVIJANJE

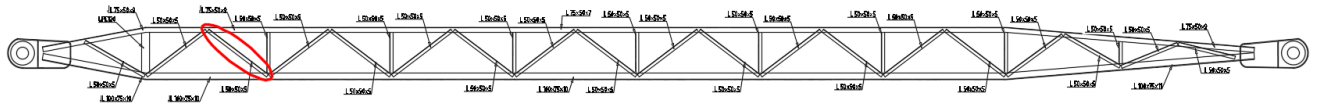
6.3.1.1 Nosivost na izvijanje

Dužina izvijanja $\xi-\xi$	$l_\xi =$	242.16 cm
Relativna vitkost $\xi-\xi$	$\lambda_\xi =$	2.637
Krivulja izvijanja za os $\xi-\xi$: C	$\alpha =$	0.490
Elastična kritična sila	$N_{cr,z} =$	61.498 kN
Redukcijski koeficijent	$\chi_\xi =$	0.120
Računska otpornost na izvijanje	$N_{b,Rd,\xi} =$	12.339 kN

Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,\xi}$ (5.94 \leq 12.34)

Dužina izvijanja $\eta-\eta$	$l_\eta =$	242.16 cm
Relativna vitkost $\eta-\eta$	$\lambda_\eta =$	1.354
Krivulja izvijanja za os $\eta-\eta$: C	$\alpha =$	0.490
Redukcijski koeficijent	$\chi_\eta =$	0.367
Računska otpornost na izvijanje	$N_{b,Rd,\eta} =$	37.600 kN

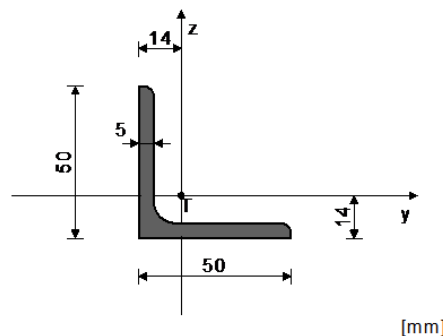
Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,\eta}$ (5.94 \leq 37.60)



Slika 69: Oznaka elementa 2 na vlačnom nosaču (bočni pojas)

ŠTAP 632-835
 POPREČNI PRESJEK: L 50x50x5 [S 235] [Set: 29]
 EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



$A_x =$	4.800 cm ²
$A_y =$	2.500 cm ²
$A_z =$	2.500 cm ²
$I_x =$	0.420 cm ⁴
$I_\xi =$	4.590 cm ⁴
$I_\eta =$	17.400 cm ⁴
$I_y =$	10.995 cm ⁴
$I_z =$	10.995 cm ⁴
$W_y =$	3.054 cm ³
$W_z =$	3.054 cm ³
$W_{y,pl} =$	5.688 cm ³
$W_{z,pl} =$	6.781 cm ³
$\gamma_{M0} =$	1.000
$\gamma_{M1} =$	1.100
$\gamma_{M2} =$	1.250
$A_{net}/A =$	0.900

($f_y = 23.5$ kN/cm², $f_u = 36.0$ kN/cm²)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA
 8. $\gamma = 0.30$ 7. $\gamma = 0.17$ 9. $\gamma = 0.05$
 6. $\gamma = 0.04$

ŠTAP IZLOŽEN TLAKU
 (slučaj opterećenja 8, početak štapa)

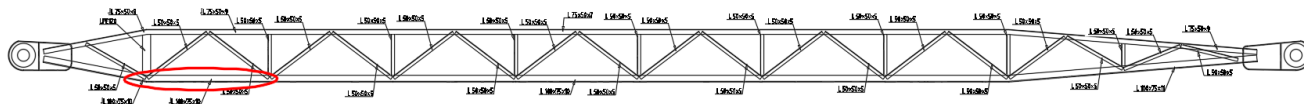
Računska uzdužna sila	$NE_d =$	-9.745 kN
Poprečna sila u y pravcu	$VE_d,y =$	-0.085 kN
Poprečna sila u z pravcu	$VE_d,z =$	0.016 kN
Moment savijanja oko z osi	$ME_d,z =$	-0.074 kNm
Sistemska dužina štapa	$L =$	116.09 cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA
 Klasa presjeka 3

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA
 6.2.4 Tlak
 Računska otpornost na tlak $N_{c,Rd} = 112.80$ kN
Uvjet 6.9: $NE_d \leq N_{c,Rd}$ (9.75 \leq 112.80)

6.3 NOSIVOST ELEMENATA NA IZVIJANJE
 6.3.1.1 Nosivost na izvijanje
 Dužina izvijanja $\xi-\xi$ $l_\xi = 116.09$ cm
 Relativna vitkost $\xi-\xi$ $\lambda_\xi = 1.264$
 Krivulja izvijanja za os $\xi-\xi$: C $\alpha = 0.490$
 Elastična kritična sila $N_{cr,z} = 267.61$ kN
 Redukcijski koeficijent $\chi_\xi = 0.404$
 Računska otpornost na izvijanje $N_{b,Rd,\xi} = 41.463$ kN
Uvjet 6.46: $NE_d \leq N_{b,Rd,\xi}$ (9.75 \leq 41.46)

Dužina izvijanja $\eta-\eta$ $l_\eta = 116.09$ cm
 Relativna vitkost $\eta-\eta$ $\lambda_\eta = 0.649$
 Krivulja izvijanja za os $\eta-\eta$: C $\alpha = 0.490$
 Redukcijski koeficijent $\chi_\eta = 0.756$
 Računska otpornost na izvijanje $N_{b,Rd,\eta} = 77.507$ kN
Uvjet 6.46: $NE_d \leq N_{b,Rd,\eta}$ (9.75 \leq 77.51)

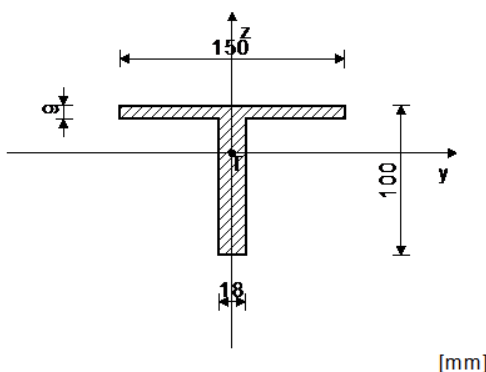


Slika 70: Oznaka elementa 3 na vlačnom nosaču (bočni pojas)

ŠTAP 835-523

POPREČNI PRESJEK: T-presjek [S 235] [Set: 14]
EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



Ax =	29.880 cm ²
Ay =	13.500 cm ²
Az =	16.380 cm ²
Ix =	21.335 cm ⁴
Iy =	298.96 cm ⁴
Iz =	257.55 cm ⁴
Wy =	43.907 cm ³
Wz =	34.340 cm ³
Wy,pl =	79.452 cm ³
Wz,pl =	50.625 cm ³
γM0 =	1.000
γM1 =	1.100
γM2 =	1.250
Anet/A =	0.900

($f_y = 23.5 \text{ kN/cm}^2$, $f_u = 36.0 \text{ kN/cm}^2$)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA

9. $\gamma=0.62$	8. $\gamma=0.10$	7. $\gamma=0.06$
6. $\gamma=0.04$		

ŠTAP IZLOŽEN VLAKU

(slučaj opterećenja 9, početak štapa)

Računska uzdužna sila	NEd =	32.085 kN
Poprečna sila u y pravcu	VEd,y =	-4.903 kN
Poprečna sila u z pravcu	VEd,z =	-0.345 kN
Momenat savijanja oko y osi	MEd,y =	-0.617 kNm
Momenat savijanja oko z osi	MEd,z =	-6.936 kNm
Moment torzije	Mt =	-0.040 kNm
Sistemska dužina štapa	L =	185.21 cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA

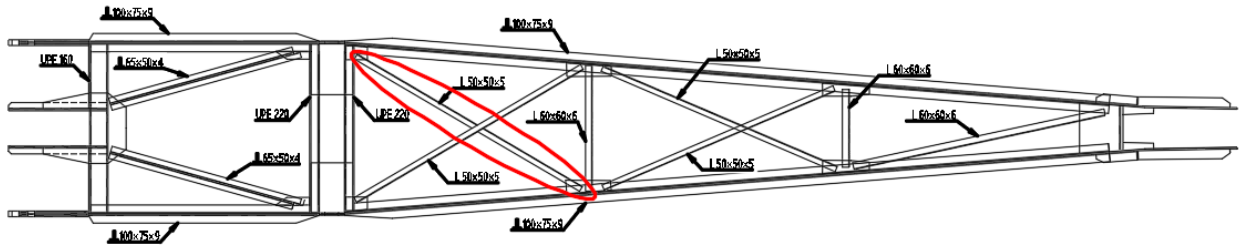
Klasa presjeka 1

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA

6.2.3 Vlak

Plast.rač.otpornost bruto presjeka	Npl,Rd =	702.18 kN
Granicna rač.otpornost neto pres.	Nu,Rd =	697.04 kN
Računska otp. na vlak	Nt,Rd =	697.04 kN

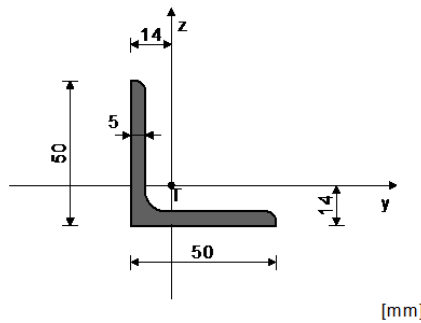
Uvjet 6.5: NEd <= Nt,Rd (32.09 <= 697.04)



Slika 71: Oznaka elementa 1 na vršnom nosaču (donji pojas)

ŠTAP 2569-2920
 POPREČNI PRESJEK: L 50x50x5 [S 235] [Set: 28]
 EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



Ax =	4.800 cm ²
Ay =	2.500 cm ²
Az =	2.500 cm ²
Ix =	0.420 cm ⁴
Iξ =	4.590 cm ⁴
Iη =	17.400 cm ⁴
Iy =	10.995 cm ⁴
Iz =	10.995 cm ⁴
Wy =	3.054 cm ³
Wz =	3.054 cm ³
Wy,pl =	5.688 cm ³
Wz,pl =	6.781 cm ³
γM0 =	1.000
γM1 =	1.100
γM2 =	1.250
Anet/A =	0.900

(fy = 23.5 kN/cm², fu = 36.0 kN/cm²)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA

6. γ=0.55	7. γ=0.32	9. γ=0.25
8. γ=0.21		

ŠTAP IZLOŽEN TLAKU
 (slučaj opterećenja 6, početak štapa)

Računska uzdužna sila	NEd =	-4.070 kN
Poprečna sila u y pravcu	VEd,y =	0.031 kN
Poprečna sila u z pravcu	VEd,z =	-0.069 kN
Momenat savijanja oko y osi	MEd,y =	-0.072 kNm
Momenat savijanja oko z osi	MEd,z =	0.047 kNm
Sistemska dužina štapa	L =	285.59 cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA
 Klasa presjeka 3

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA

6.2.4 Tlak

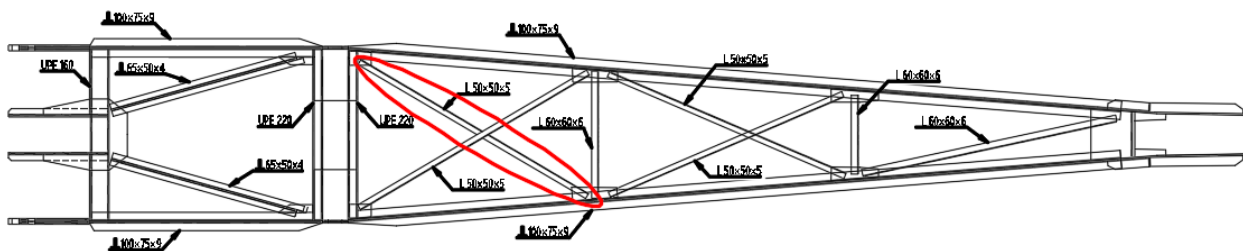
Računska otpornost na tlak	Nc,Rd =	112.80 kN
Uvjet 6.9: NEd <= Nc,Rd (4.07 <= 112.80)		

6.3 NOSIVOST ELEMENATA NA IZVIJANJE

6.3.1.1 Nosivost na izvijanje

Dužina izvijanja ξ-ξ	I,ξ =	285.59 cm
Relativna vitkost ξ-ξ	λ_ξ =	3.110
Krivulja izvijanja za os ξ-ξ: C	α =	0.490
Elastična kritična sila	Ncr,z =	44.216 kN
Redukcijski koeficijent	χ_ξ =	0.089
Računska otpornost na izvijanje	Nb,Rd,ξ =	9.127 kN
Uvjet 6.46: NEd <= Nb,Rd,ξ (4.07 <= 9.13)		

Dužina izvijanja η-η	I,η =	285.59 cm
Relativna vitkost η-η	λ_η =	1.597
Krivulja izvijanja za os η-η: C	α =	0.490
Redukcijski koeficijent	χ_η =	0.285
Računska otpornost na izvijanje	Nb,Rd,η =	29.227 kN



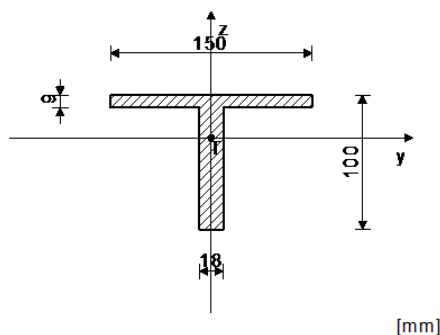
Slika 72: Oznaka elementa 2 na vršnom nosaču (donji pojas)

ŠTAP 2569-2607

POPREČNI PRESJEK: T-presjek [S 235] [Set: 14]

EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



A_x	=	29.880	cm ²
A_y	=	13.500	cm ²
A_z	=	16.380	cm ²
I_x	=	21.335	cm ⁴
I_y	=	298.96	cm ⁴
I_z	=	257.55	cm ⁴
W_y	=	43.907	cm ³
W_z	=	34.340	cm ³
$W_{y,pl}$	=	79.452	cm ³
$W_{z,pl}$	=	50.625	cm ³
γ_{M0}	=	1.000	
γ_{M1}	=	1.100	
γ_{M2}	=	1.250	
A_{net}/A	=	0.900	

($f_y = 23.5$ kN/cm², $f_u = 36.0$ kN/cm²)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA

8. $\gamma = 0.42$	7. $\gamma = 0.41$	6. $\gamma = 0.19$
9. $\gamma = 0.09$		

ŠTAP IZLOŽEN TLAKU

(slučaj opterećenja 8, početak štapa)

Računska uzdužna sila	N_{Ed}	=	-9.303	kN
Poprečna sila u y pravcu	$V_{Ed,y}$	=	0.127	kN
Poprečna sila u z pravcu	$V_{Ed,z}$	=	2.671	kN
Moment savijanja oko y osi	$M_{Ed,y}$	=	4.368	kNm
Moment savijanja oko z osi	$M_{Ed,z}$	=	0.226	kNm
Sistemska dužina štapa	L	=	225.71	cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA

Klasa presjeka 1

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA

6.2.4 Tlak

Računska otpornost na tlak

$N_{c,Rd} = 702.18$ kN

Uvjet 6.9: $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ (9.30 \leq 702.18)

6.3 NOSIVOST ELEMENATA NA IZVIJANJE

6.3.1.1 Nosivost na izvijanje

Dužina izvijanja y-y

$l_y = 225.71$ cm

Relativna vitkost y-y

$\lambda_y = 0.760$

Krivulja izvijanja za os y-y: C

$\alpha = 0.490$

Elastična kritična sila

$N_{cr,y} = 1216.3$ kN

Redukcijski koeficijent

$\chi_y = 0.687$

Računska otpornost na izvijanje

$N_{b,Rd,y} = 438.79$ kN

Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,y}$ (9.30 \leq 438.79)

Dužina izvijanja z-z

$l_z = 225.71$ cm

Relativna vitkost z-z

$\lambda_z = 0.819$

Krivulja izvijanja za os z-z: C

$\alpha = 0.490$

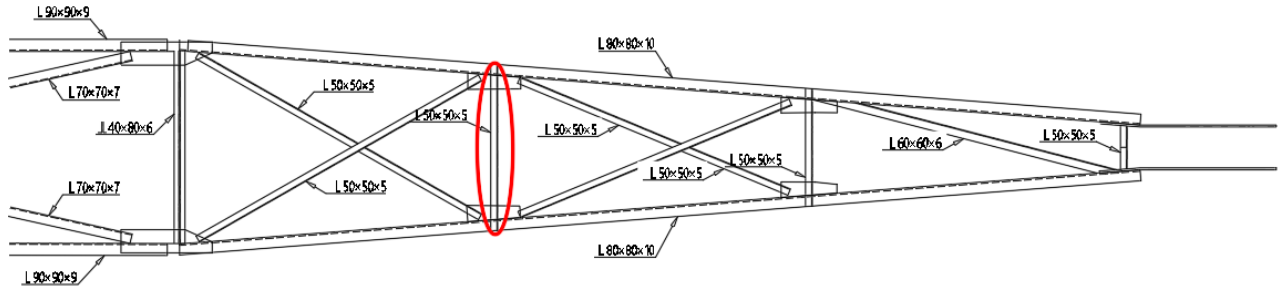
Redukcijski koeficijent

$\chi_z = 0.650$

Računska otpornost na izvijanje

$N_{b,Rd,z} = 415.22$ kN

Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,z}$ (9.30 \leq 415.22)

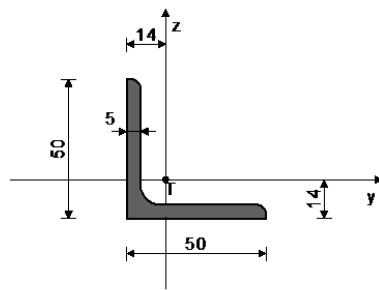


Slika 73: Oznaka elementa 3 na vršnom nosaču (gornji pojas)

ŠTAP 2914-3061

POPREČNI PRESJEK: L 50x50x5 [S 235] [Set: 27]
EUROCODE 3 (EN 1993-1-1:2005)

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE PRESJEKA



$A_x =$	4.800 cm ²
$A_y =$	2.500 cm ²
$A_z =$	2.500 cm ²
$I_x =$	0.420 cm ⁴
$I_{\xi} =$	4.590 cm ⁴
$I_{\eta} =$	17.400 cm ⁴
$I_y =$	10.995 cm ⁴
$I_z =$	10.995 cm ⁴
$W_y =$	3.054 cm ³
$W_z =$	3.054 cm ³
$W_{y,pl} =$	5.688 cm ³
$W_{z,pl} =$	6.781 cm ³
$\gamma_{M0} =$	1.000
$\gamma_{M1} =$	1.100
$\gamma_{M2} =$	1.250
$A_{net}/A =$	0.900

($f_y = 23.5$ kN/cm², $f_u = 36.0$ kN/cm²)

FAKTORI ISKORIŠTENJA PO KOMBINACIJAMA OPTEREĆENJA

6. $\gamma = 0.31$	8. $\gamma = 0.20$	9. $\gamma = 0.09$
7. $\gamma = 0.03$		

ŠTAP IZLOŽEN TLAKU

(slučaj opterećenja 6, početak štapa)

Računska uzdužna sila	$N_{Ed} =$	-10.112 kN
Poprečna sila u y pravcu	$V_{Ed,y} =$	-0.036 kN
Poprečna sila u z pravcu	$V_{Ed,z} =$	0.048 kN
Moment savijanja oko y osi	$M_{Ed,y} =$	0.017 kNm
Sistemska dužina štapa	$L =$	126.91 cm

5.5 KLASIFIKACIJA POPREČNIH PRESJEKA
Klasa presjeka 3

6.2 NOSIVOST POPREČNIH PRESJEKA

6.2.4 Tlak

Računska otpornost na tlak $N_{c,Rd} = 112.80$ kN

Uvjet 6.9: $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ (10.11 \leq 112.80)

6.3 NOSIVOST ELEMENATA NA IZVIJANJE

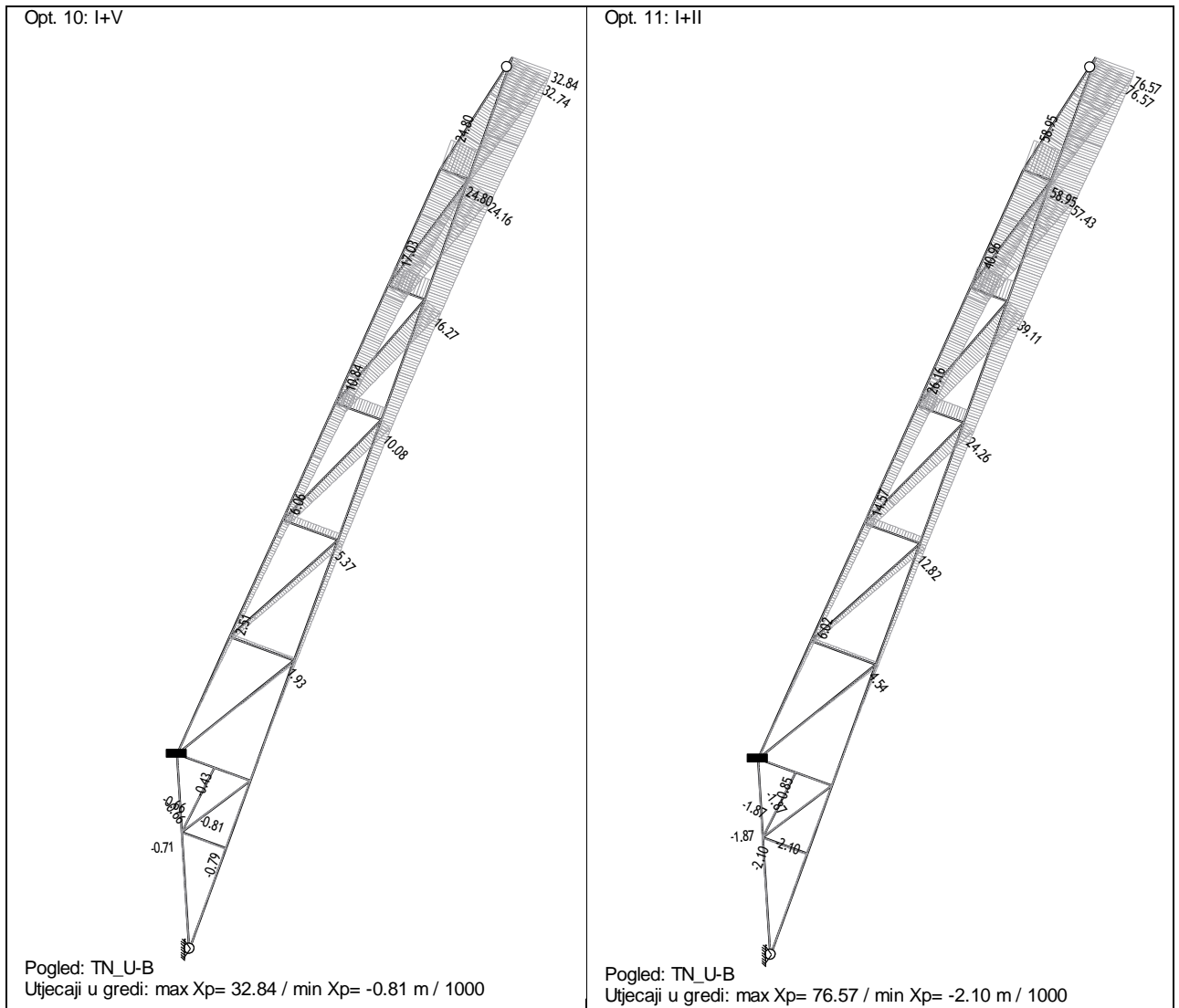
6.3.1.1 Nosivost na izvijanje

Dužina izvijanja ξ - ξ	$l_{\xi} =$	126.91 cm
Relativna vitkost ξ - ξ	$\lambda_{\xi} =$	1.382
Krivulja izvijanja za os ξ - ξ : C	$\alpha =$	0.490
Elastična kritična sila	$N_{cr,z} =$	223.91 kN
Redukcijski koeficijent	$\chi_{\xi} =$	0.356
Računska otpornost na izvijanje	$N_{b,Rd,\xi} =$	36.506 kN
Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,\xi}$ (10.11 \leq 36.51)		

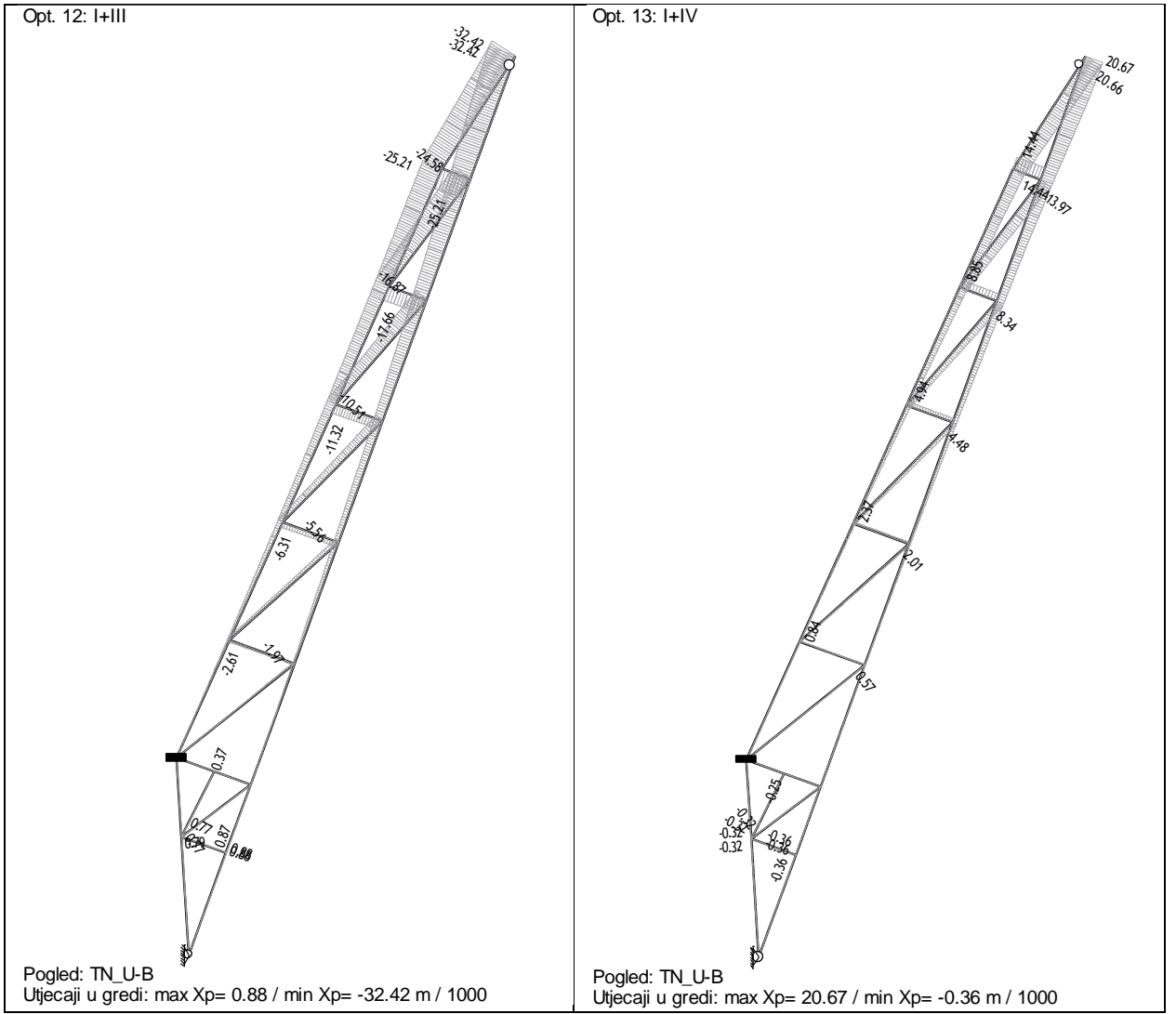
Dužina izvijanja η - η	$l_{\eta} =$	126.91 cm
Relativna vitkost η - η	$\lambda_{\eta} =$	0.710
Krivulja izvijanja za os η - η : C	$\alpha =$	0.490
Redukcijski koeficijent	$\chi_{\eta} =$	0.719
Računska otpornost na izvijanje	$N_{b,Rd,\eta} =$	73.693 kN
Uvjet 6.46: $N_{Ed} \leq N_{b,Rd,\eta}$ (10.11 \leq 73.69)		

4.4. Provjera elemenata na granično stanje uporabljivosti

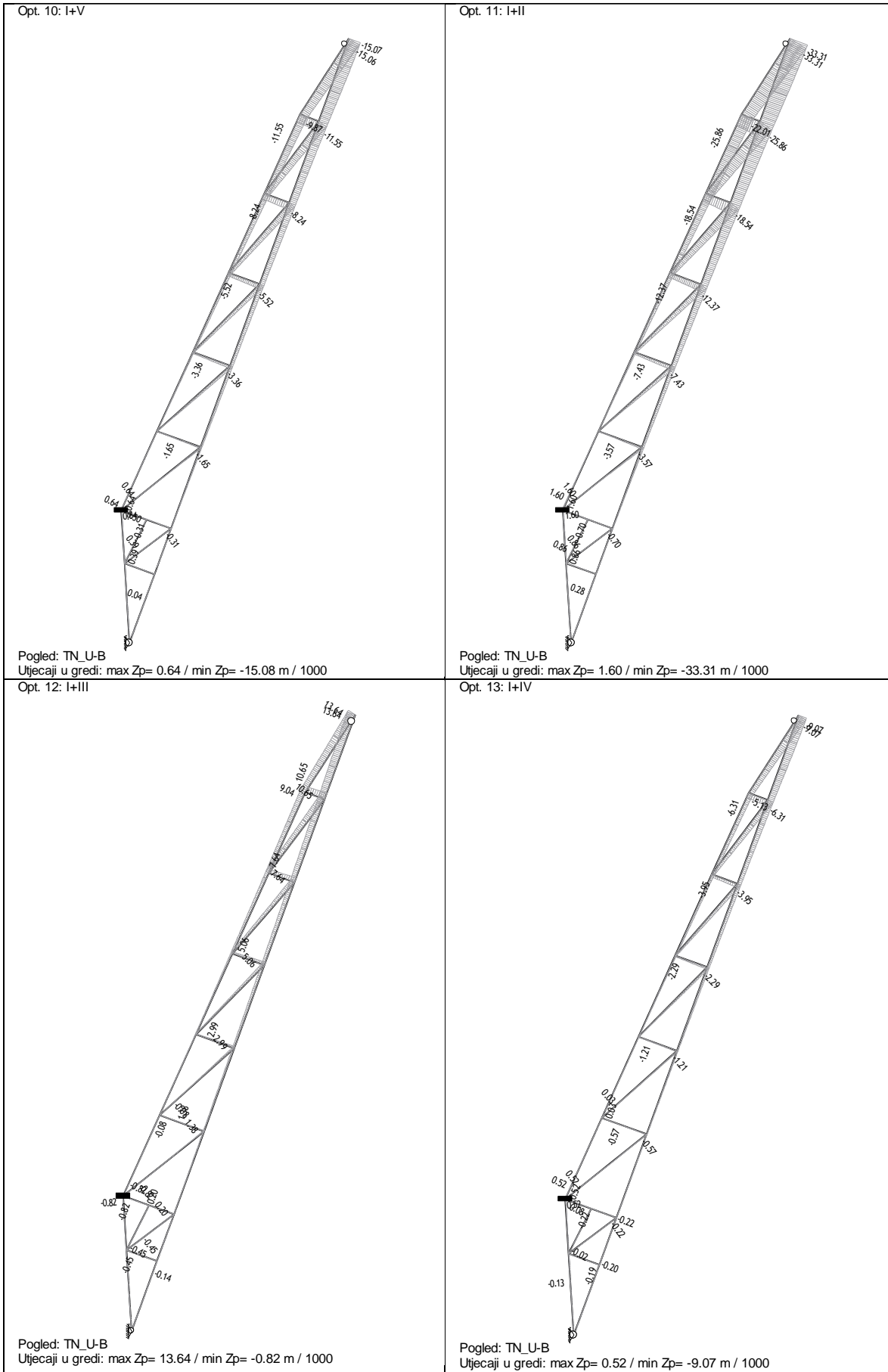
U nastavku, na Slikama 74-92, prikazani su dijagrami pomaka za svaki nosač. Dijagrami su prikazani za x i z smjer i sve kombinacije graničnog stanja nosivosti, dok je pomak u y smjeru prikazan samo za kombinaciju pod brojem 13. Dobiveni pomaci prihvatljivih su razmjera za ovu vrstu konstrukcije.



Slika 74: Dijagrami pomaka u x smjeru za tlačni nosač - bočni pojas



Slika 75: Dijagrami pomaka u x smjeru za tlačni nosač - bočni pojas



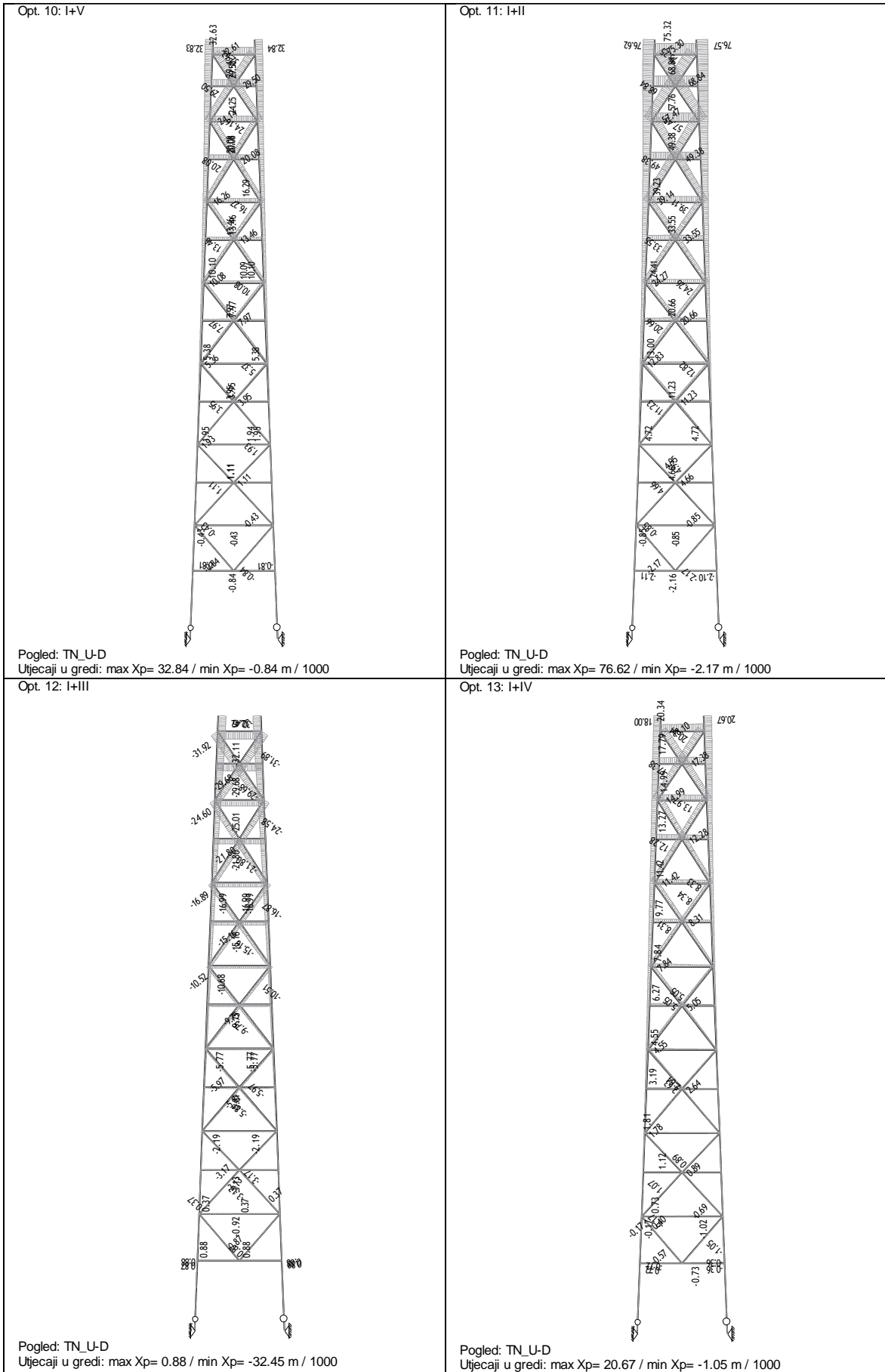
Slika 76: Dijagrami pomaka u z smjeru za tlačni nosač - bočni pojas

Opt. 13: I+IV

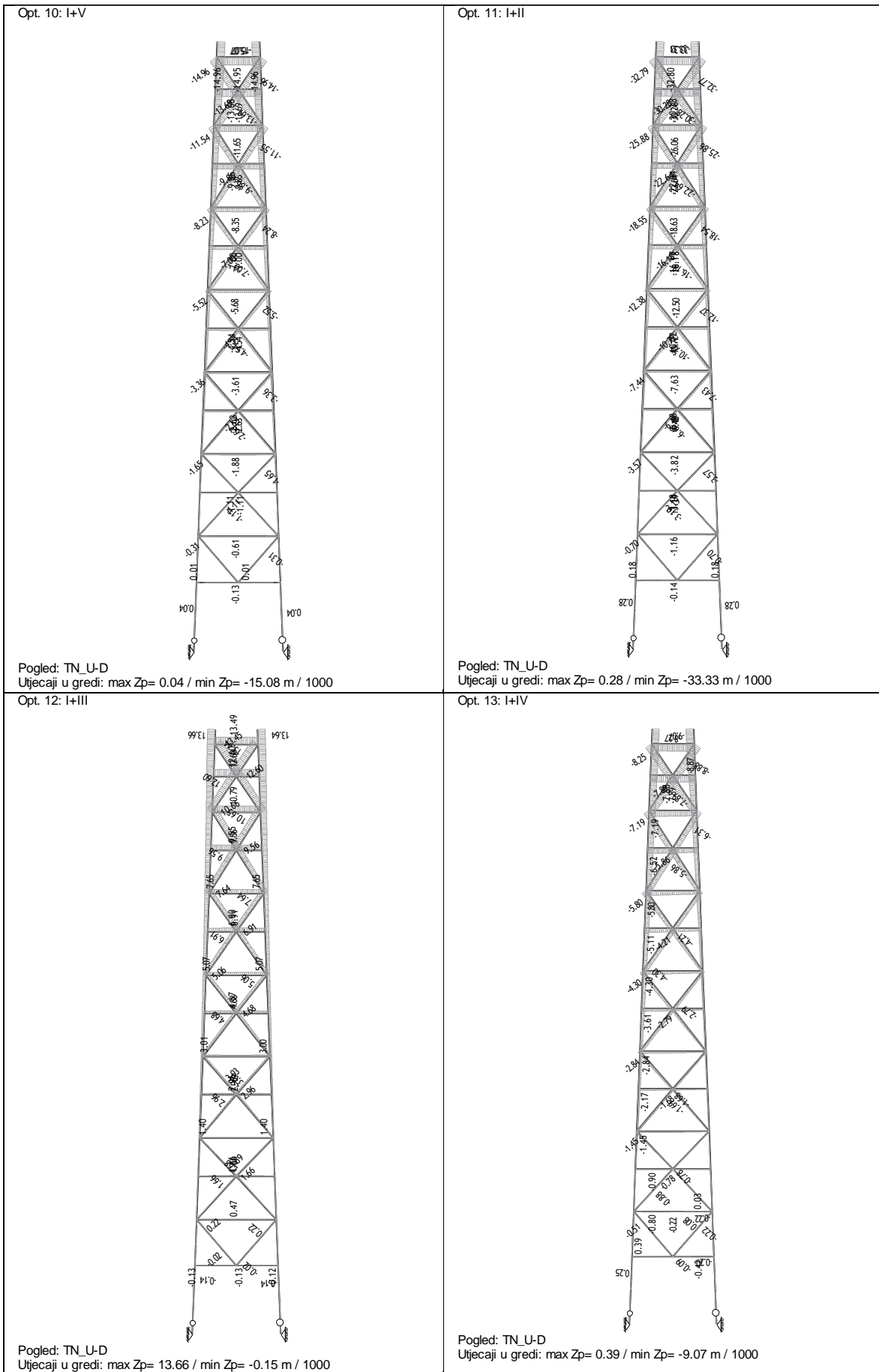


Pogled: TN_U-B
Utjecaji u gredi: max Yp= 17.44 / min Yp= 0.00 m / 1000

Slika 77: Dijagrami pomaka u y smjeru za tlačni nosač - bočni pojas

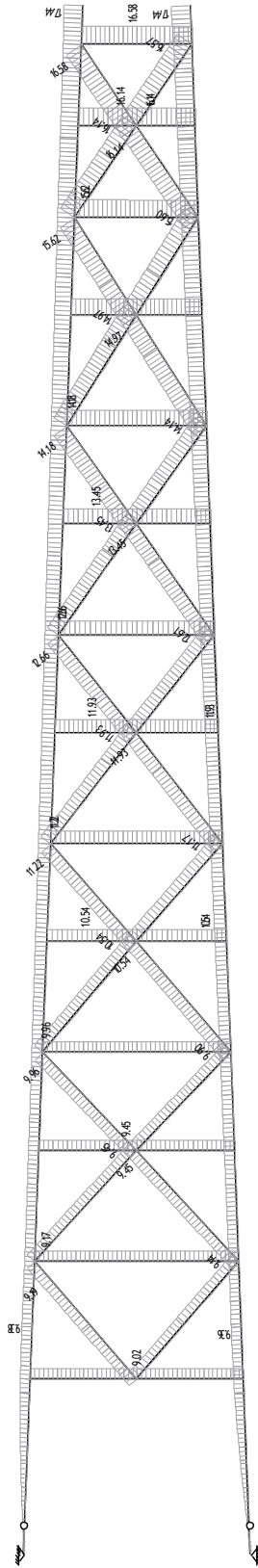


Slika 78: Slika 59: Dijagrami pomaka u x smjeru za tlačni nosač - donji pojas



Slika 79: Dijagrami pomaka u z smjeru za tlačni nosač - donji pojas

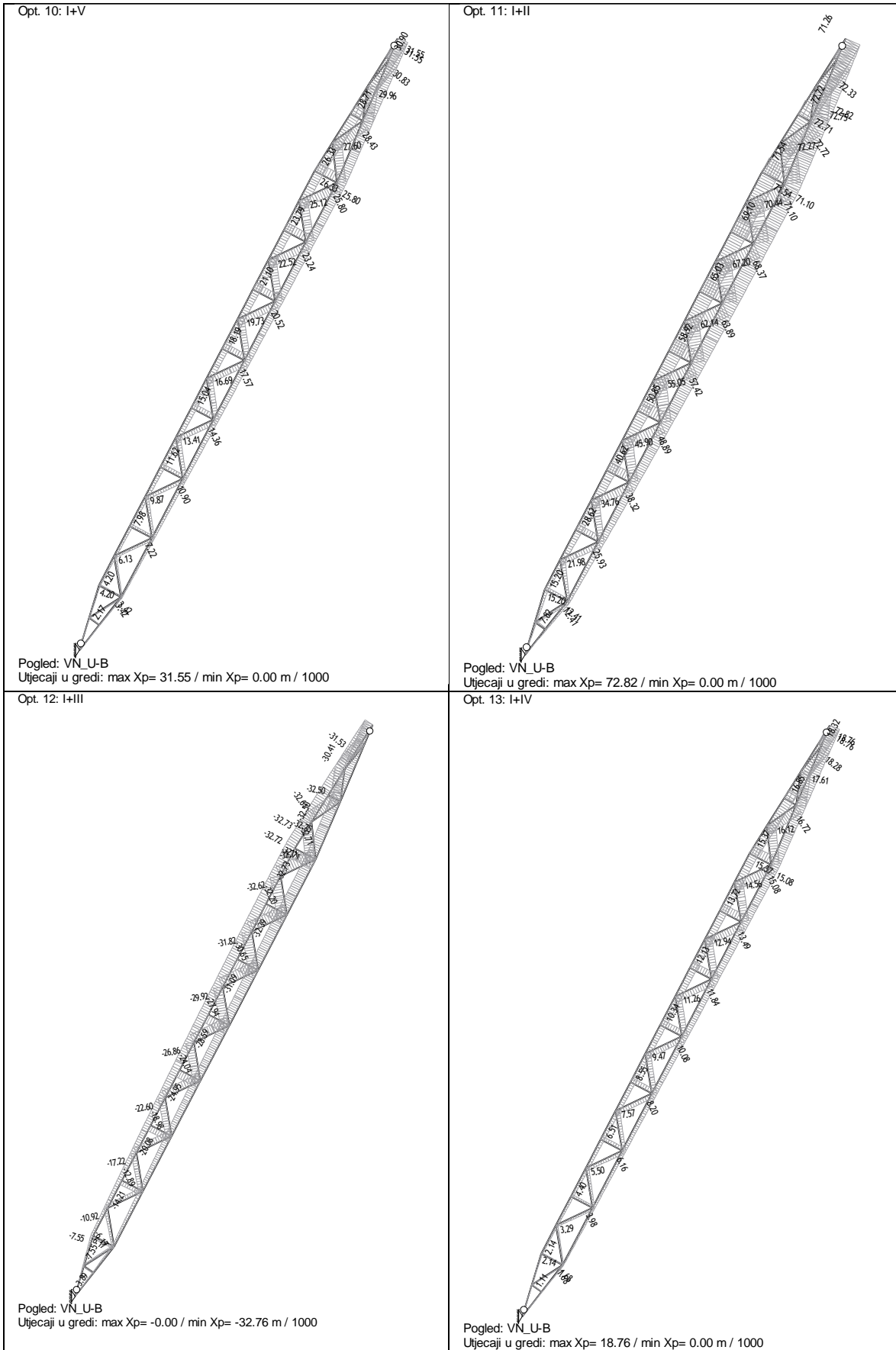
Opt. 13: I+IV



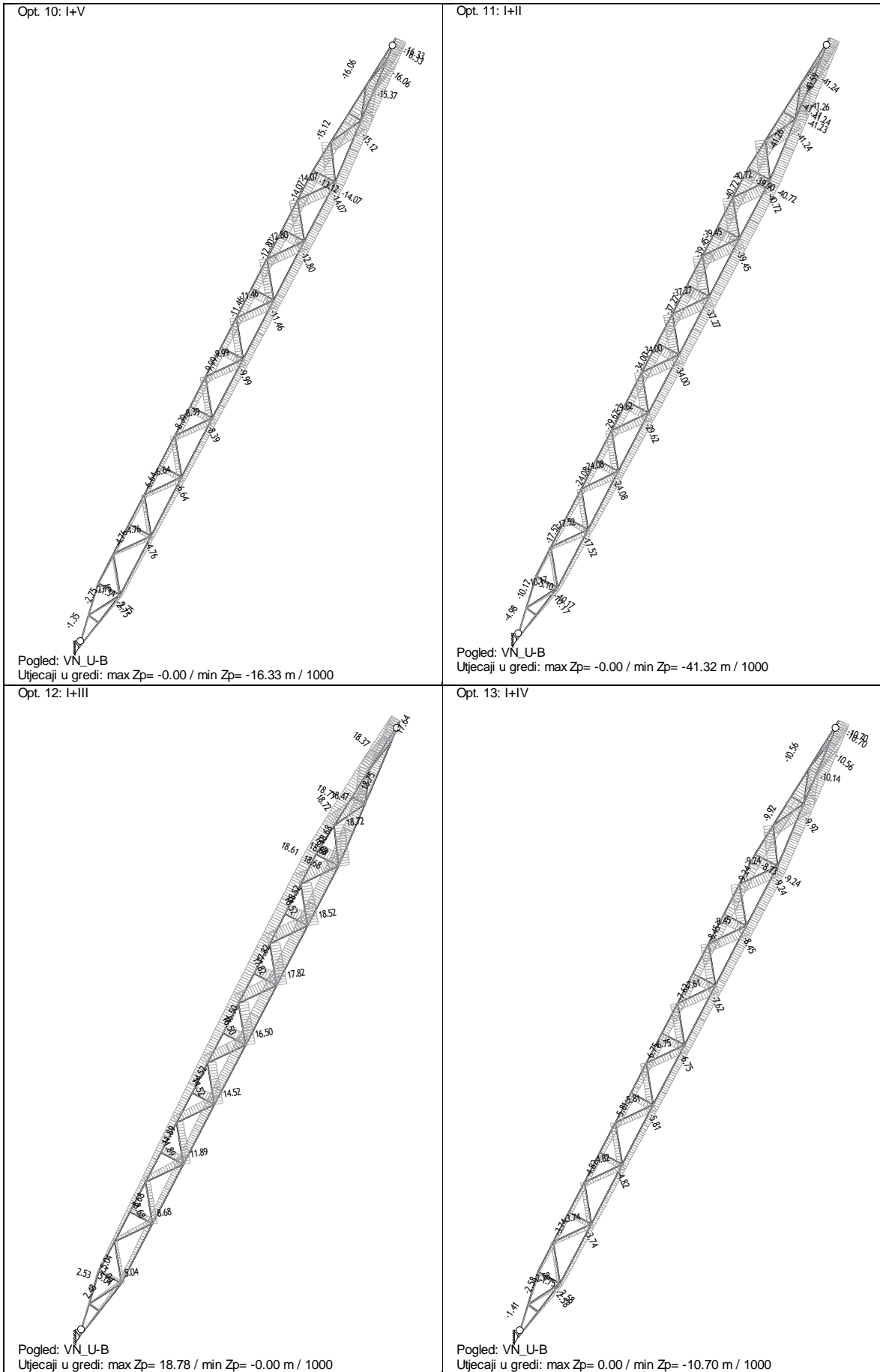
Pogled: TN_U-D

Utjecaji u gredi: max $Y_p = 17.44$ / min $Y_p = 0.00$ m / 1000

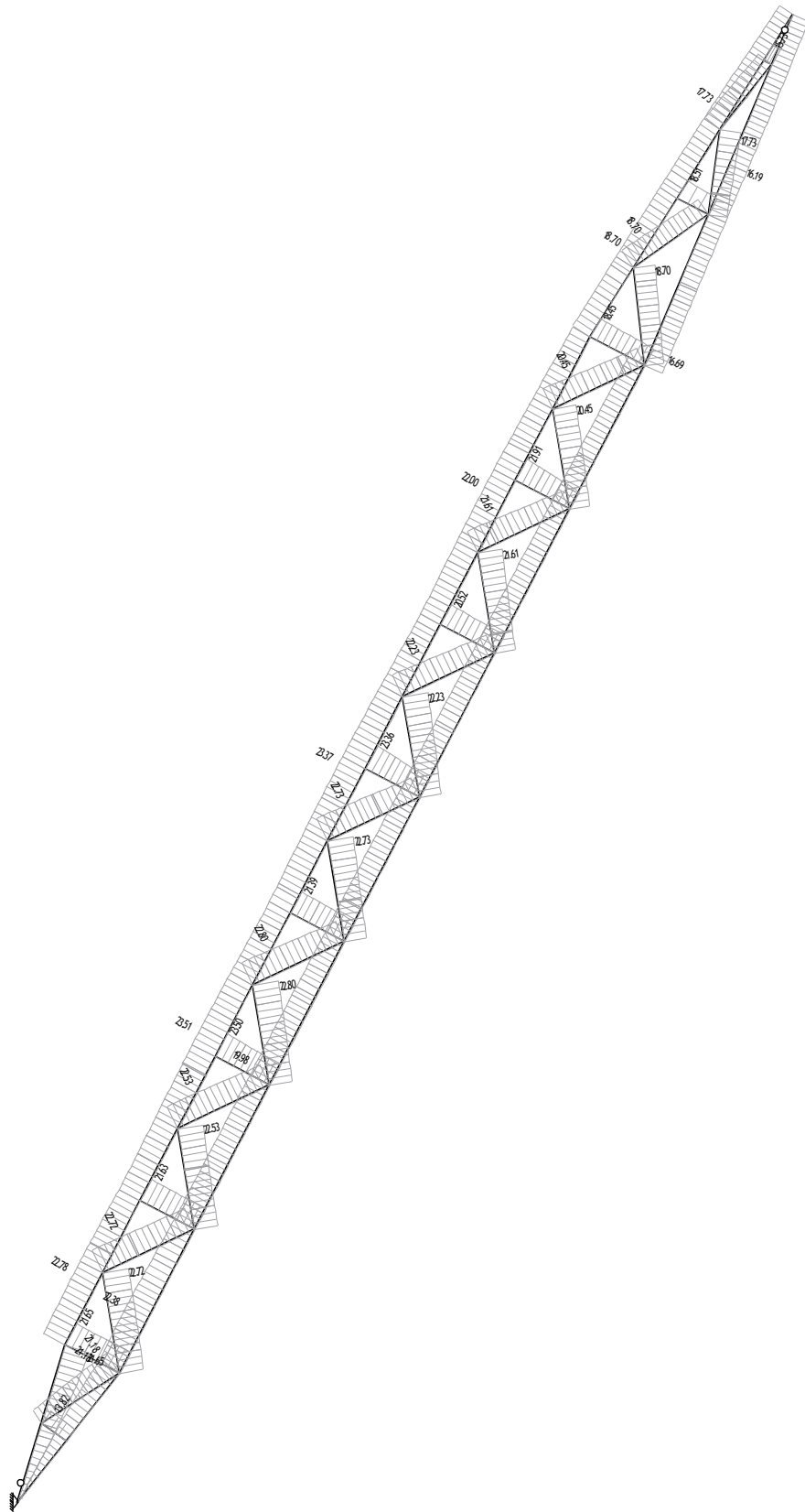
Slika 80: Dijagrami pomaka u y smjeru za tlačni nosač - donji pojas



Slika 81: Dijagrami pomaka u x smjeru za vlačni nosač - bočni pojas



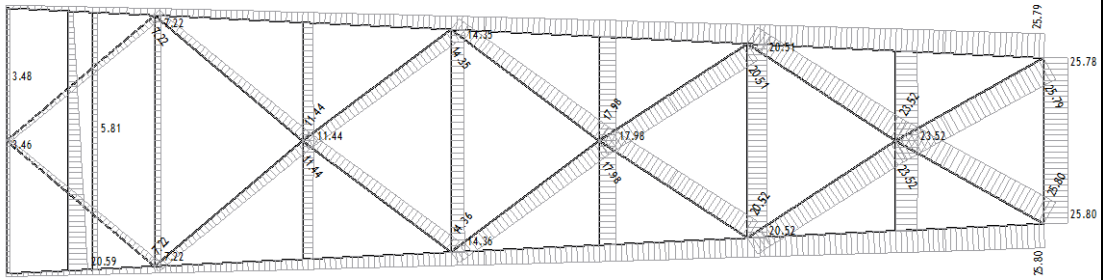
Slika 82: Dijagrami pomaka u z smjeru za vlačni nosač - bočni pojas



Pogled: VN_U-B
Utjecaji u gredi: max $Y_p = 23.51$ / min $Y_p = 0.00$ m / 1000

Slika 83: Dijagrami pomaka u y smjeru za vlačni nosač - bočni pojas

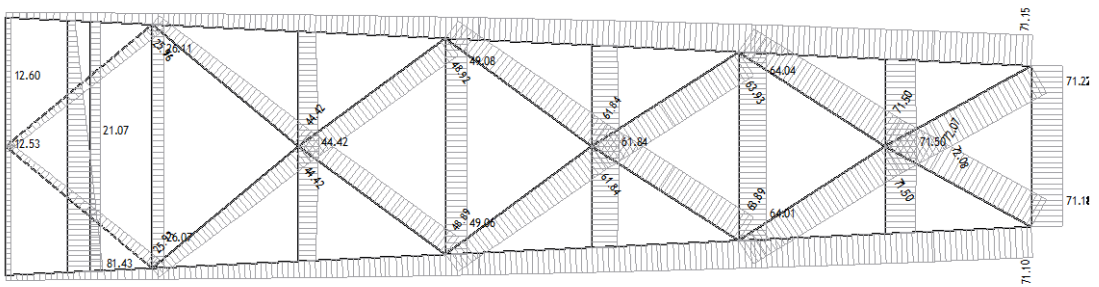
Opt. 10: I+V



Pogled: VN_U-D

Utjecaji u gredi: max Xp= 25.80 / min Xp= 3.42 m / 1000

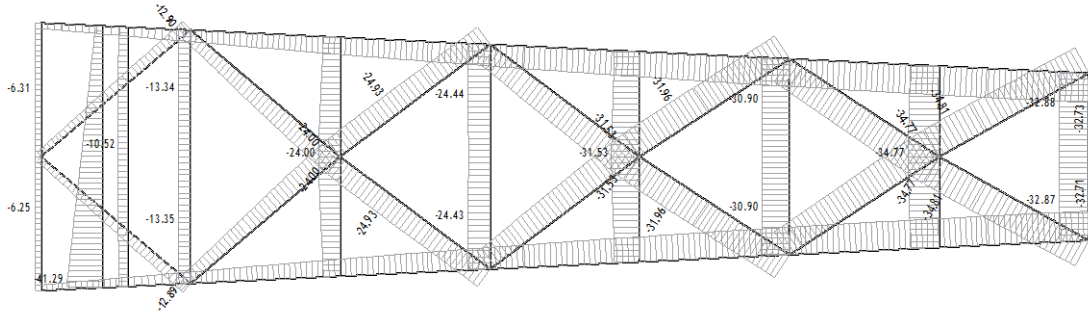
Opt. 11: I+II



Pogled: VN_U-D

Utjecaji u gredi: max Xp= 81.43 / min Xp= 12.41 m / 1000

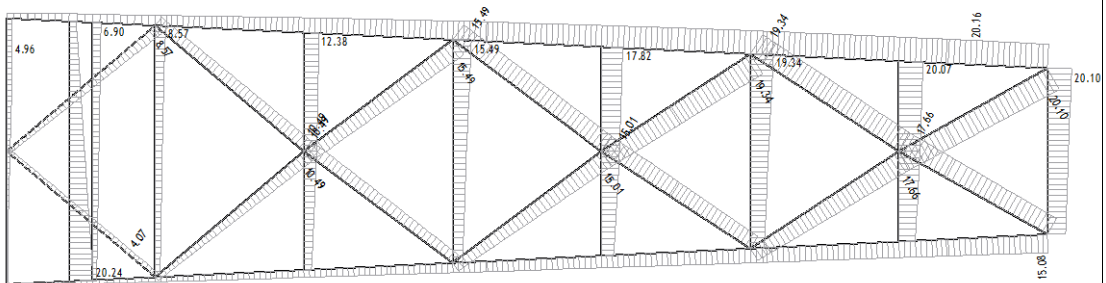
Opt. 12: I+III



Pogled: VN_U-D

Utjecaji u gredi: max Xp= -6.17 / min Xp= -41.29 m / 1000

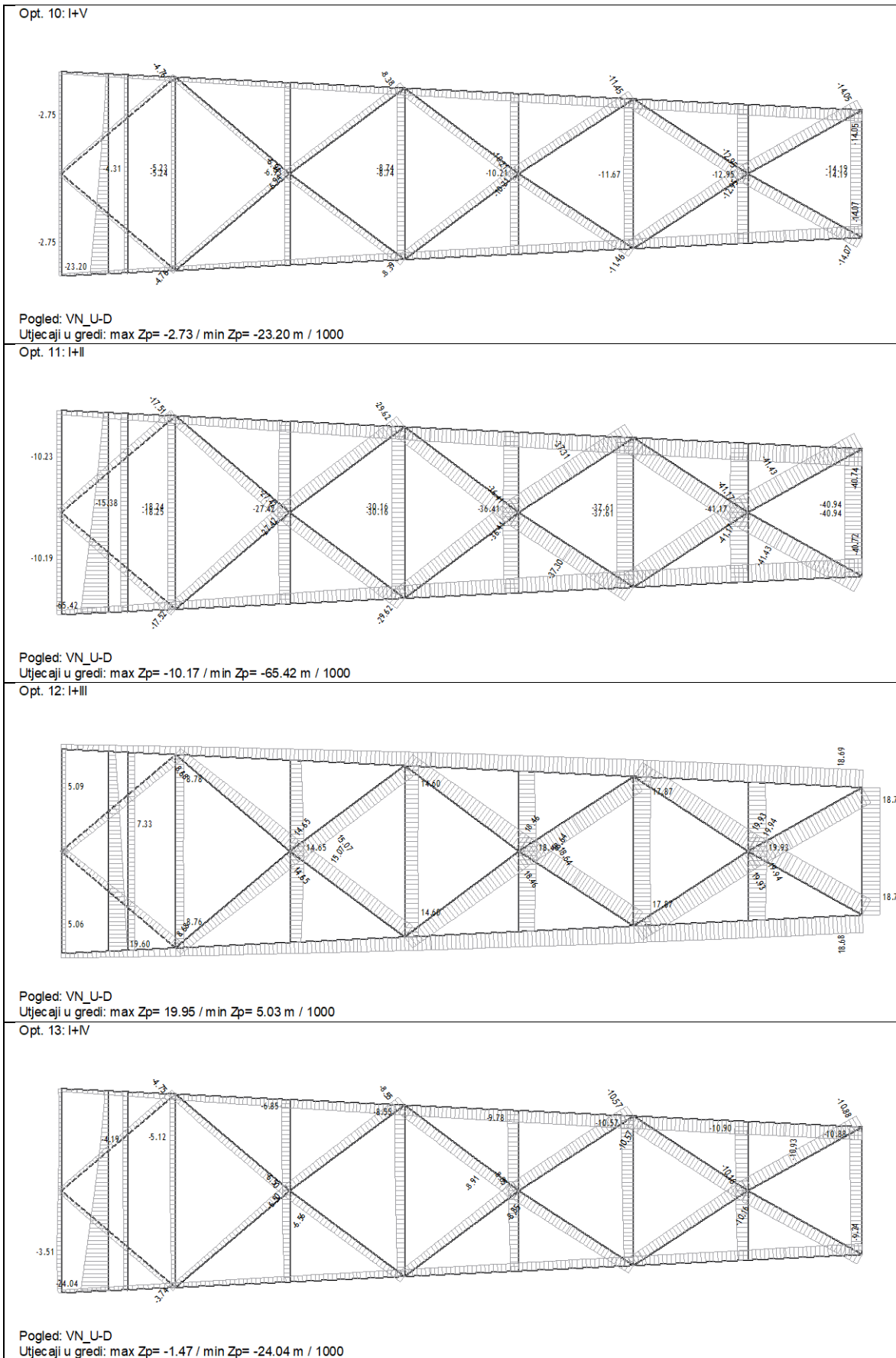
Opt. 13: I+IV



Pogled: VN_U-D

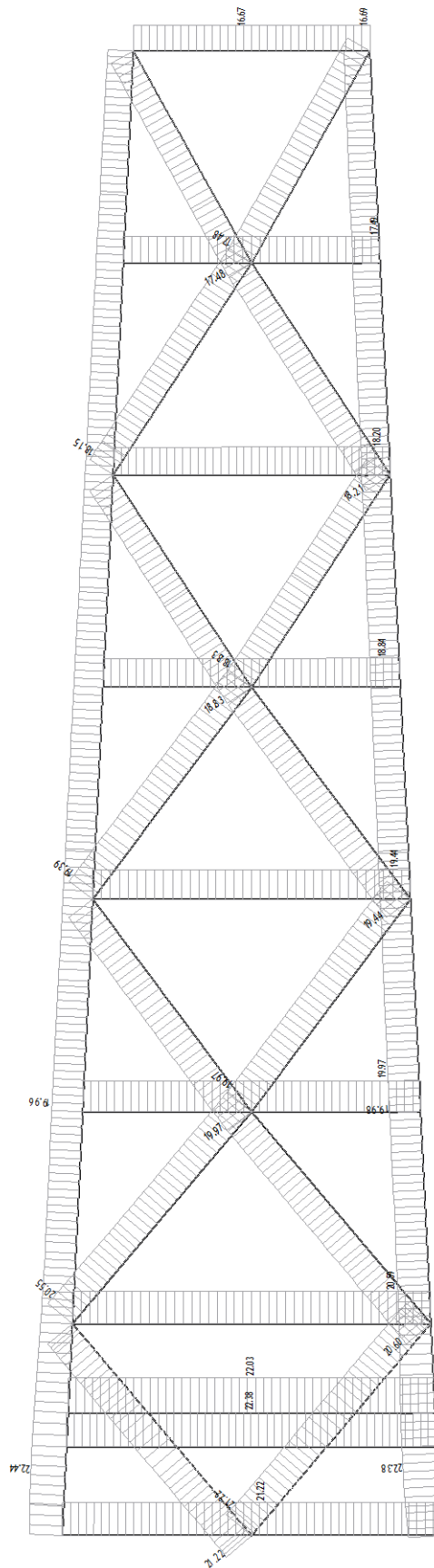
Utjecaji u gredi: max Xp= 20.24 / min Xp= 1.13 m / 1000

Slika 84: Dijagrami pomaka u x smjeru za vlačni nosač - donji pojas



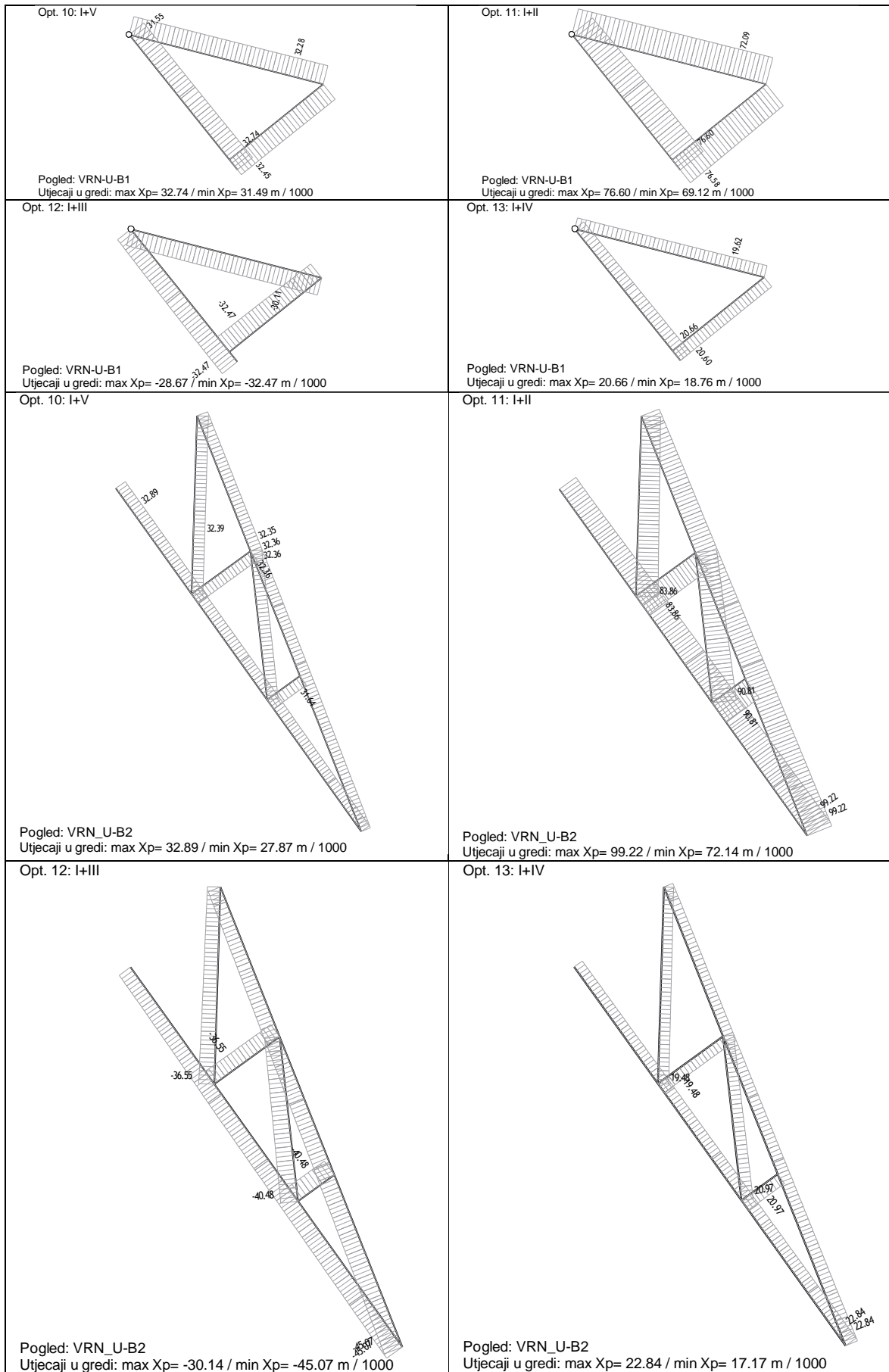
Slika 85: Dijagrami pomaka u z smjeru za vlačni nosač - donji pojas

Opt. 13: I+IV

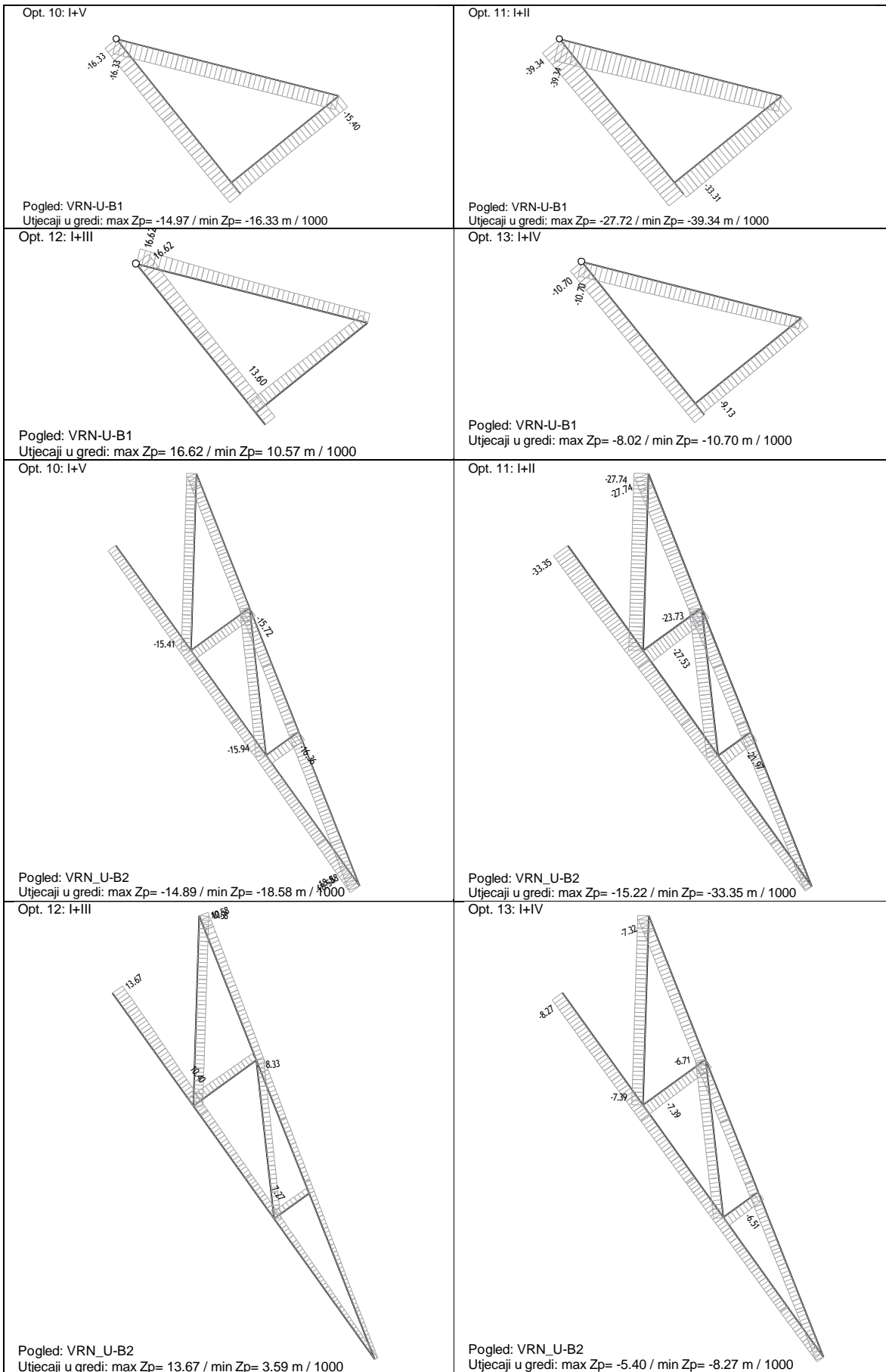


Pogled: VN_U-D
Učecaji u gredi: max Yp= 22.44 / min Yp= 16.65 m / 1000

Slika 86: Dijagrami pomaka u y smjeru za vlačni nosač - donji pojas

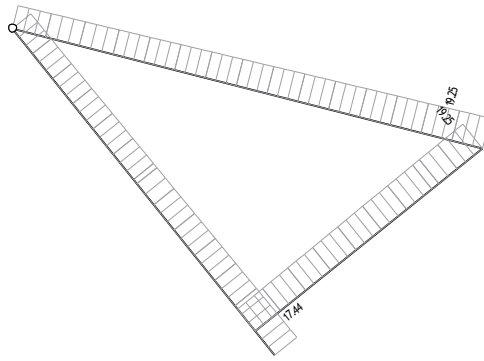


Slika 87: Dijagrami pomaka u x smjeru za vršni nosač - bočni pojas



Slika 88: Dijagrami pomaka u z smjeru za vršni nosač - bočni pojas

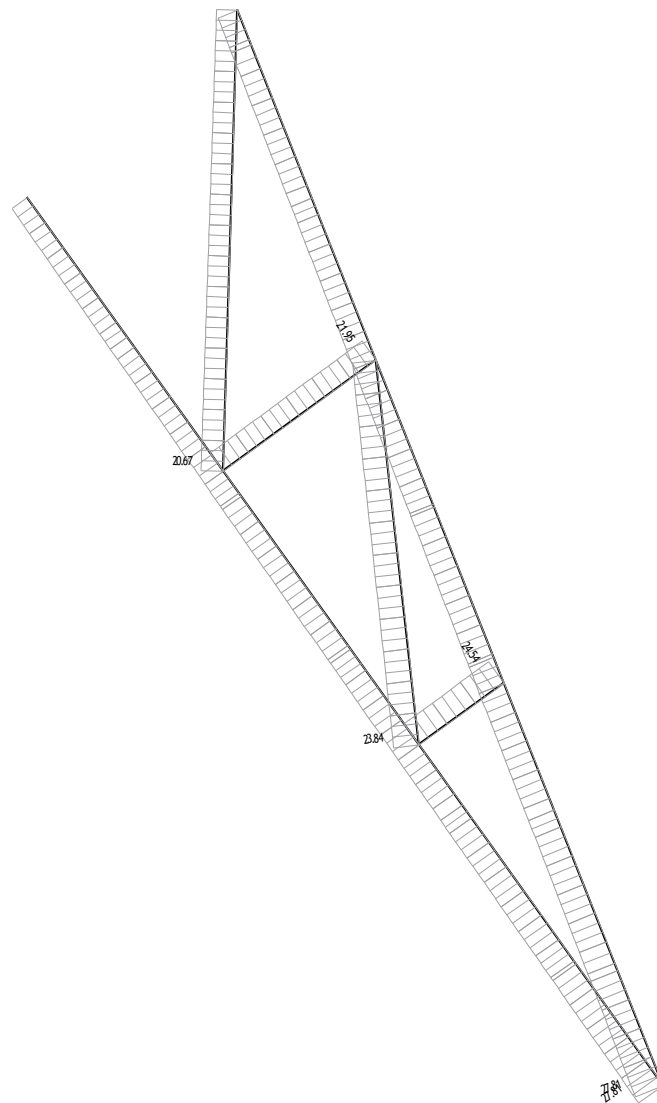
Opt. 13: I+IV



Pogled: VRN-U-B1

Uljecaji u gredi: max $Y_p = 19.25$ / min $Y_p = 17.44$ m / 1000

Opt. 13: I+IV

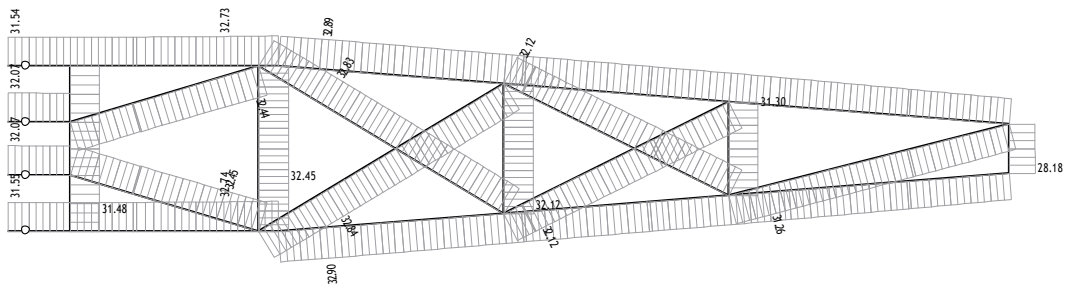


Pogled: VRN_U-B2

Uljecaji u gredi: max $Y_p = 27.81$ / min $Y_p = 17.44$ m / 1000

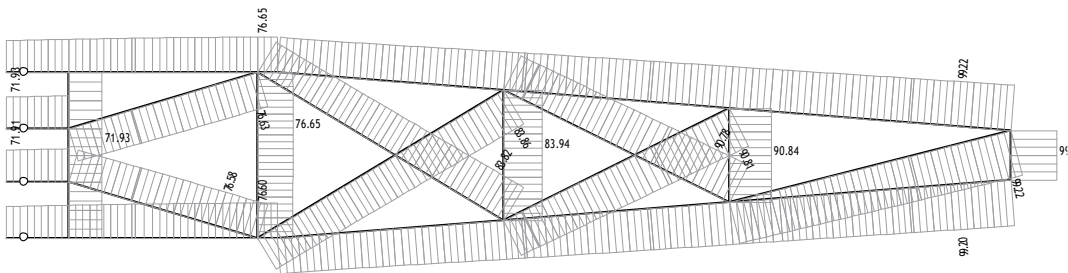
Slika 89: Dijagrami pomaka u y smjeru za vršni nosač - bočni pojas

Opt. 10: I+V



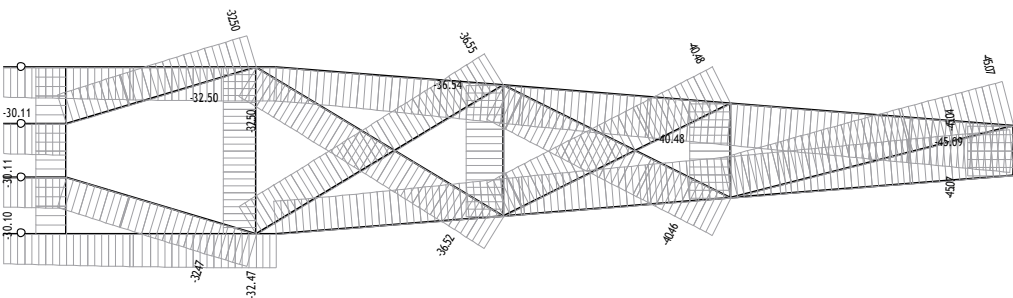
Pogled: VRN_U-D
 Utjecaji u gredi: max $X_p = 32.91$ / min $X_p = 27.87$ m / 1000

Opt. 11: I+II



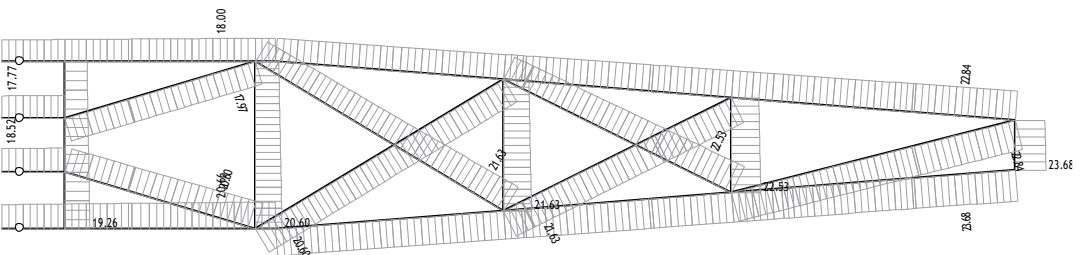
Pogled: VRN_U-D
 Utjecaji u gredi: max $X_p = 99.23$ / min $X_p = 69.12$ m / 1000

Opt. 12: I+III



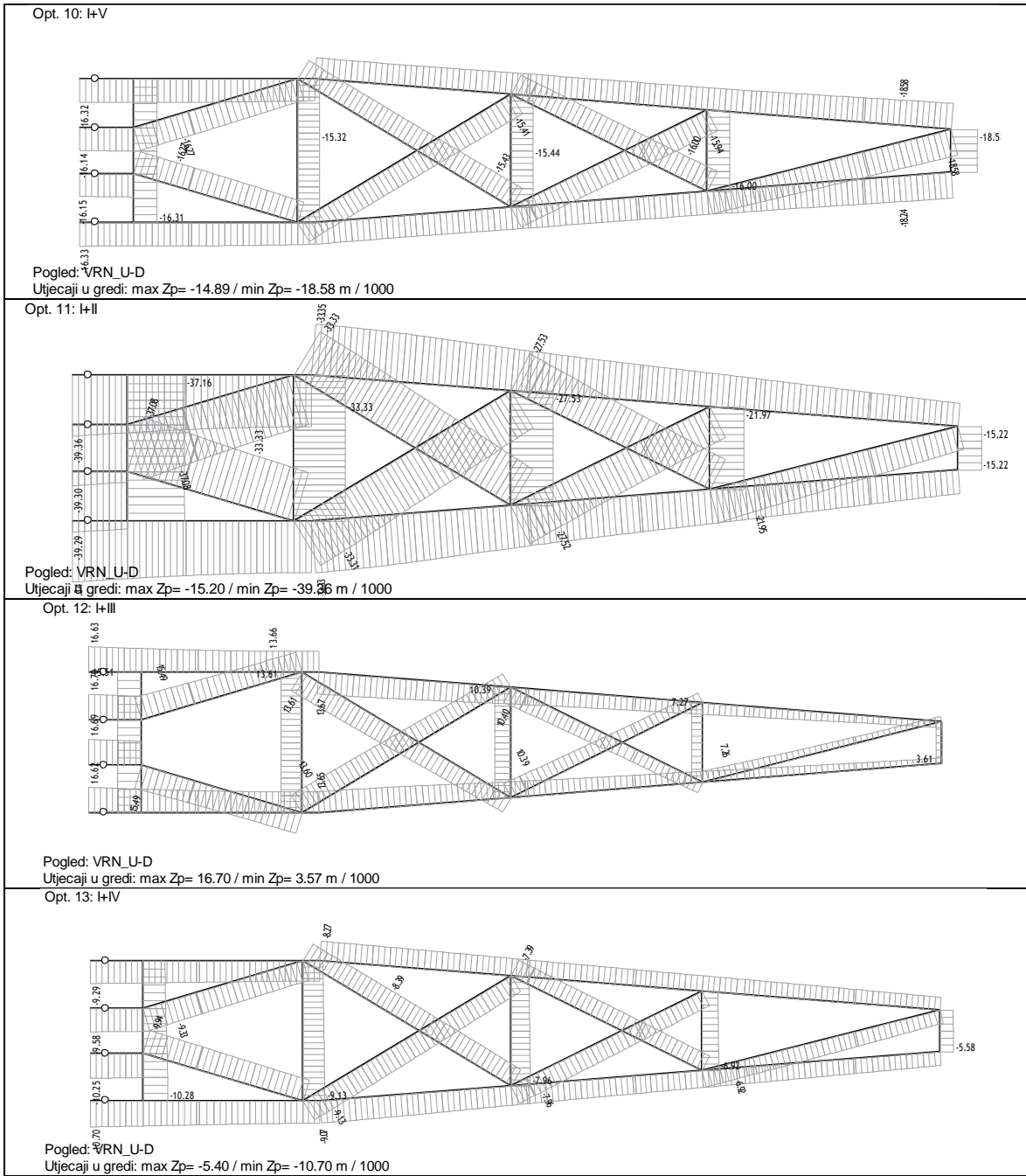
Pogled: VRN_U-D
 Utjecaji u gredi: max $X_p = -28.59$ / min $X_p = -45.09$ m / 1000

Opt. 13: I+IV

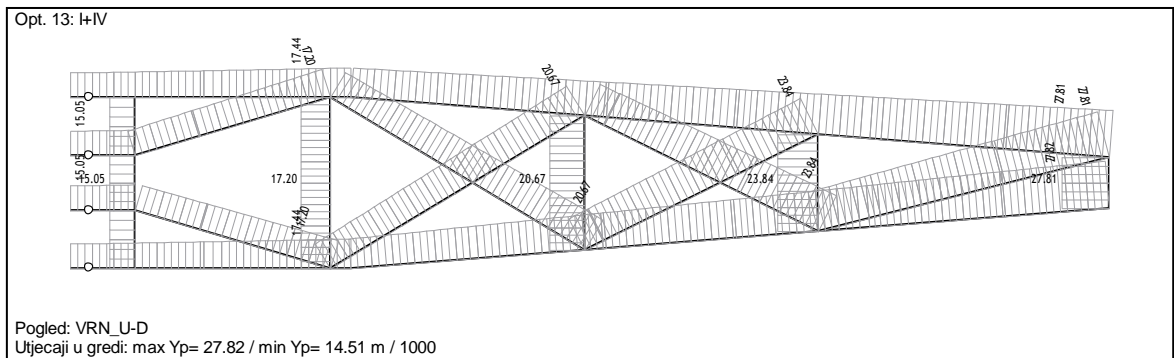


Pogled: VRN_U-D
 Utjecaji u gredi: max $X_p = 23.68$ / min $X_p = 16.72$ m / 1000

Slika 90: Dijagrami pomaka u x smjeru za vršni nosač - donji pojas



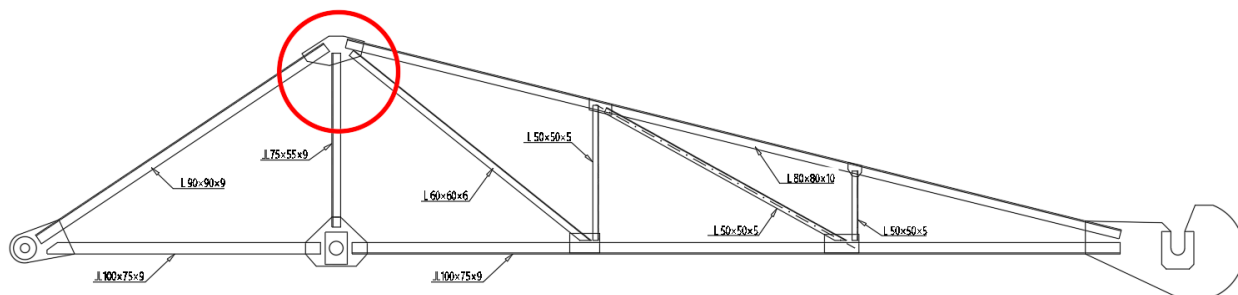
Slika 91: Dijagrami pomaka u z smjeru za vršni nosač - donji pojas



Slika 92: Dijagrami pomaka u y smjeru za vršni nosač - donji pojas

4.5. Priključak

Svi spojevi elemenata izvedeni su zavarima. Proračun priključka proveden je u računalnom programu IDEA StatiCa. Provjerena je otpornost postojećeg priključka vršnog nosača (Slika 93).



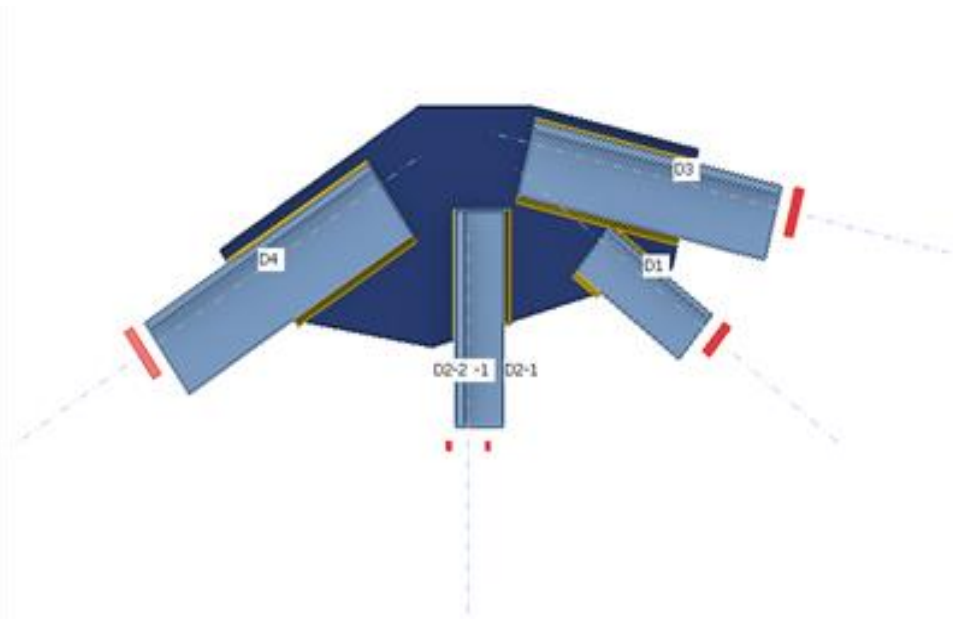
Slika 93: Pozicija priključka na vršnom nosaču

Geometry

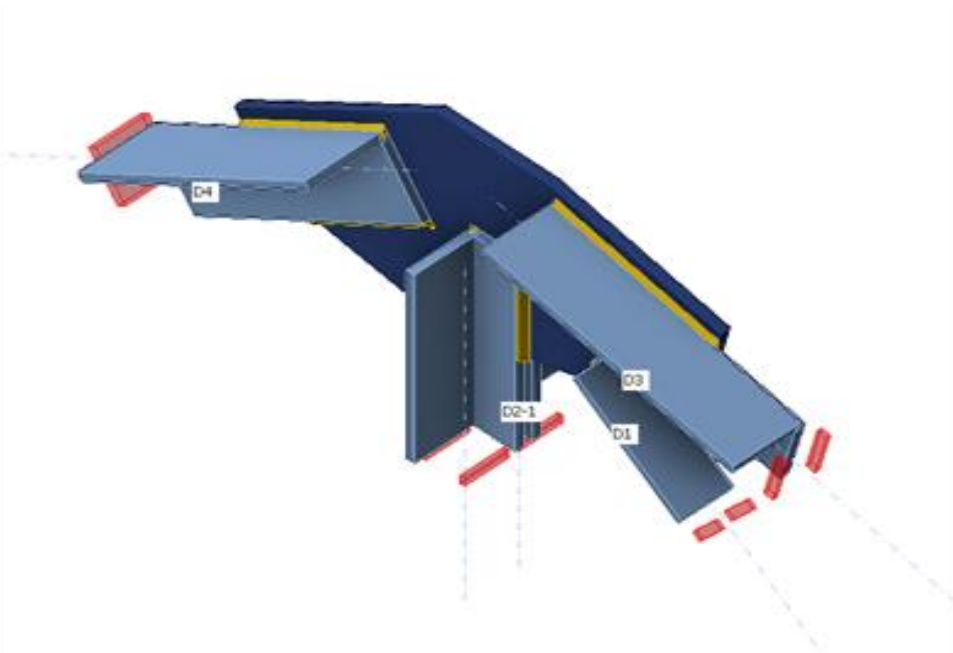
Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
D1	3 - L60X60X6(L60X6)	0.0	-38.6	180.0	0	0	-80
D2-1	8 - L75X55X9	0.0	-90.0	90.0	0	0	0
D3	4 - L80X80X10(L80X10)	0.0	-13.8	180.0	0	0	-100
D4	1 - L90X90X9(L90X9)	180.0	-33.6	0.0	0	0	90
D2-2	8 - L75X55X9	0.0	-90.0	-90.0	0	0	0

Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
D1 / end	Vy-Mx-Mz	Node	0
D2-1 / end	Vy-Mx-Mz	Node	0
D3 / end	Vy-Mx-Mz	Node	0
D4 / end	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
D2-2 / end	Vy-Mx-Mz	Node	0



Slika 94: Model priključka vršnog nosača



Slika 95: Model priključka vršnog nosača

Cross-sections

Name	Material	Drawing
3 - L60X60X6(L60X6)	S 235	
8 - L75X55X9	S 235	
4 - L80X80X10(L80X10)	S 235	
1 - L90X90X9(L90X9)	S 235	

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	D1 / End	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D2-1 / End	-31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D3 / End	55.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D4 / End	73.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D2-2 / End	-31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.0 < 5.0%	OK
Welds	Detailing	Not OK!
Buckling	Not calculated	

Komentar: Oblikovanje izvedenog priključka nije zadovoljeno. Objašnjenje je navedeno u nastavku proračuna.

Plates

Name	t _p [mm]	Loads	σ _{Ed} [MPa]	ε _{pl} [%]	σ _{c,Ed} [MPa]	Status
D1-bfl 1	6.0	LE1	96.5	0.0	0.0	OK
D1-w 1	6.0	LE1	100.9	0.0	0.0	OK
D2-1-bfl 1	9.0	LE1	60.8	0.0	0.0	OK
D2-1-w 1	9.0	LE1	72.1	0.0	0.0	OK
D3-bfl 1	10.0	LE1	128.6	0.0	0.0	OK
D3-w 1	10.0	LE1	145.2	0.0	0.0	OK
D4-tfl 1	9.0	LE1	125.6	0.0	0.0	OK
D4-w 1	9.0	LE1	163.7	0.0	0.0	OK
D2-2-bfl 1	9.0	LE1	63.9	0.0	0.0	OK
D2-2-w 1	9.0	LE1	73.5	0.0	0.0	OK
SP1	10.0	LE1	103.8	0.0	0.0	OK

Design data

Material	f _y [MPa]	ε _{lim} [%]
S 235	235.0	5.0

Detailed result for D1-bfl 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for D1-w 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for D2-1-bfl 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for D2-1-w 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for D3-bfl 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for D3-w 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for D4-tfl 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for D4-w 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for D2-2-bfl 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for D2-2-w 1

Design values used in the analysis

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$

Detailed result for SP1

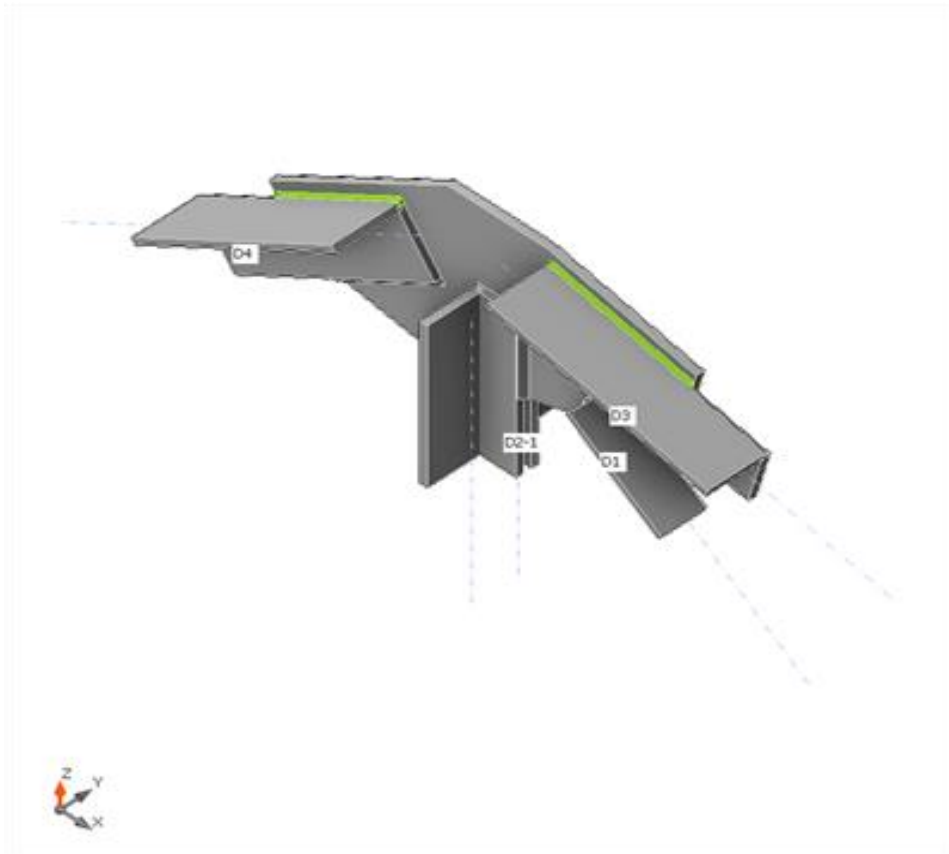
Design values used in the analysis

$$f_{y,d} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 235.0 \text{ MPa}$$

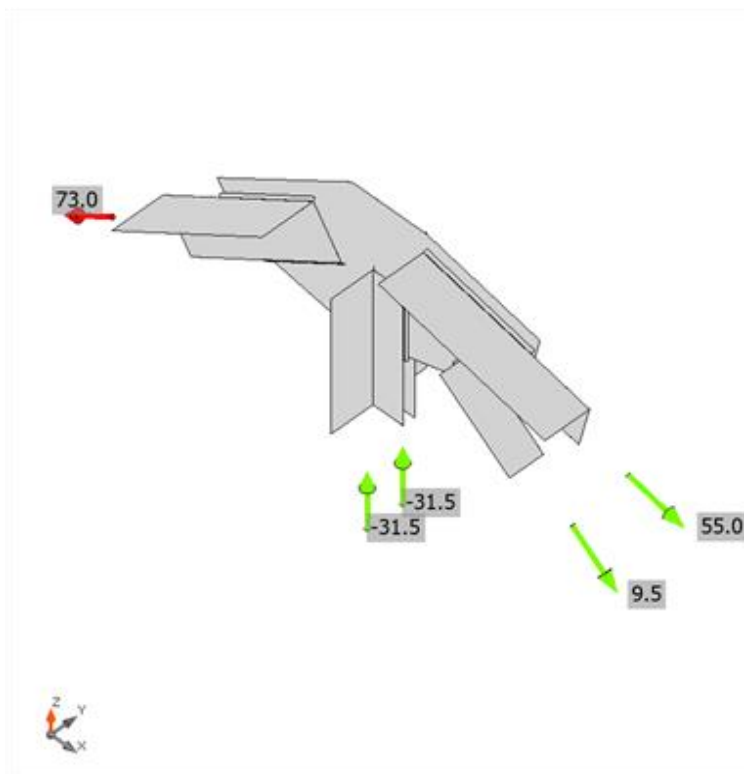
Where:

$$f_{yk} = 235.0 \text{ MPa} \quad \text{– characteristic yield strength}$$

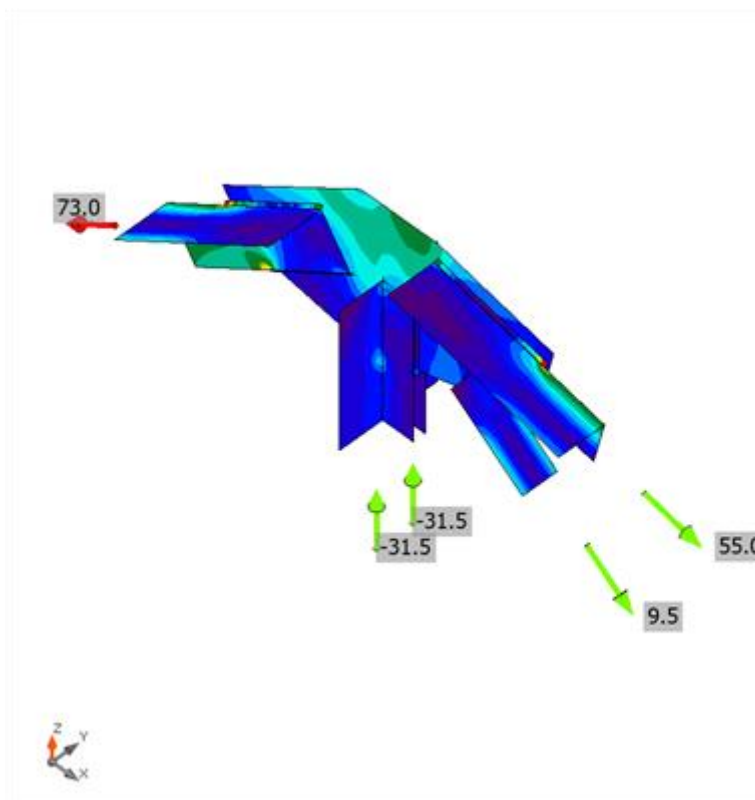
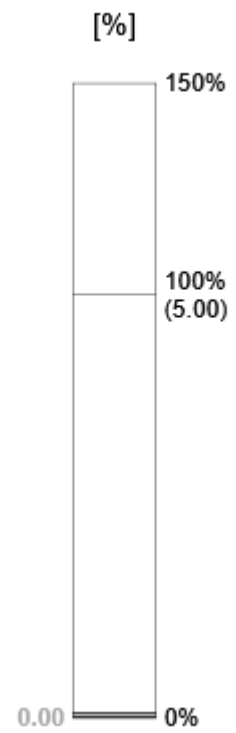
$$\gamma_{M0} = 1.00 \quad \text{– partial safety factor for steel material EN 1993-1-1 – 6.1}$$



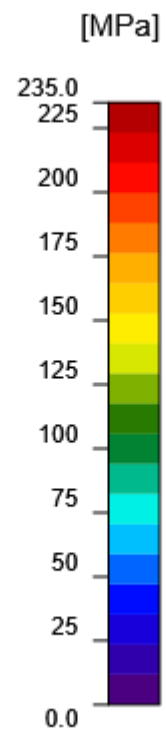
Slika 96: Oznake elemenata priključka



Slika 97: Prikaz deformacija u priključku



Slika 98: Prikaz naprežanja u priključku



Welds

Item	Edge	T_w [mm]	L [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	ϵ_{PI} [%]	σ_{\perp} [MPa]	τ_{\perp} [MPa]	τ_{\parallel} [MPa]	Ut [%]	Ut _c [%]	Detailing	Status
SP1	D1-w 1	▲ 5.0	74	LE1	159.0	0.0	43.5	-35.3	-80.9	44.2	36.2	Not OK!	OK
SP1	D1-w 1	▲ 5.0	35	LE1	60.5	0.0	7.7	8.4	33.6	16.8	14.2	Not OK!	OK
SP1	D2-1-bfl 1	▲ 5.0	134	LE1	177.0	0.0	10.4	78.3	65.4	49.2	45.5	OK	OK
SP1	D2-1-bfl 1	▲ 5.0	118	LE1	63.2	0.0	24.8	-26.1	-21.1	17.6	17.2	OK	OK
SP1	D3-w 1	▲ 6.0	185	LE1	220.5	0.0	33.2	-31.6	-121.8	61.2	37.9	OK	OK
SP1	D3-w 1	▲ 6.0	186	LE1	151.0	0.0	87.5	24.0	66.9	41.9	30.3	OK	OK
SP1	D4-w 1	▲ 6.0	160	LE1	125.6	0.0	25.3	2.9	-70.9	34.9	29.2	OK	OK
SP1	D4-w 1	▲ 6.0	188	LE1	292.2	0.0	30.5	-70.9	152.1	81.2	62.6	OK	OK
SP1	D2-2-bfl 1	▲ 5.0	119	LE1	62.7	0.0	-23.6	2.2	33.5	17.4	17.4	OK	OK
SP1	D2-2-bfl 1	▲ 5.0	134	LE1	224.3	0.0	11.7	105.1	-75.3	62.3	50.7	OK	OK

KOMENTAR: Oblikovanje zavara elementa D1 i pločice SP1 nije zadovoljeno. Uvjet za optimalnu debljinu kutnog zavora je 0.7d za djelovanje vlaka/tlaka na zavar te 0.4d za djelovanje posmika, gdje je d debljina stijenke elementa koji se vari.

Detailed result for SP1 / D1-w 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = 159.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} = 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 65.3 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Ultimate strength}$$

$$\beta_w = 0.80 \quad \text{– Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25 \quad \text{– Safety factor}$$

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.44 \leq 1.0$$

Where:

$$\sigma_{w,Ed} = 159.0 \text{ MPa} \quad \text{– Maximum normal stress transverse to the axis of the weld}$$

$$\sigma_{w,Rd} = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Equivalent stress resistance}$$

$$\sigma_{\perp} = -65.3 \text{ MPa} \quad \text{– Normal stress perpendicular to the throat}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 259.2 \text{ MPa} \quad \text{– Perpendicular stress resistance}$$

Detailing check

- Weld is too big. Throat thickness should be lesser or equal to 4.2 mm.

KOMENTAR: Debljina zavora je prevelika. Izvedeni zavar od 5 mm premašuje optimalnu debljinu zavora od 4.2 mm (za profil debljine stijenke 6 mm i uvjet 0.7d).

Detailed result for SP1 / D1-w 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = 60.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} = 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 8.4 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Ultimate strength}$$

$$\beta_w = 0.80 \quad \text{– Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25 \quad \text{– Safety factor}$$

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.17 \leq 1.0$$

Where:

$$\sigma_{w,Ed} = 60.5 \text{ MPa} \quad \text{– Maximum normal stress transverse to the axis of the weld}$$

$$\sigma_{w,Rd} = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Equivalent stress resistance}$$

$$\sigma_{\perp} = 8.4 \text{ MPa} \quad \text{– Normal stress perpendicular to the throat}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 259.2 \text{ MPa} \quad \text{– Perpendicular stress resistance}$$

Detailing check

- Weld is too big. Throat thickness should be lesser or equal to 4.2 mm.

KOMENTAR: Debljina zavora je prevelika. Izvedeni zavar od 5 mm premašuje optimalnu debljinu zavora od 4.2 mm (za profil debljine stijenke 6 mm i uvjet 0.7d).

Detailed result for SP1 / D2-1-bfl 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 360.0 \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = 177.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} = 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 45.4 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Ultimate strength}$$

$$\beta_w = 0.80 \quad \text{– Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25 \quad \text{– Safety factor}$$

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.49 \leq 1.0$$

Where:

$$\sigma_{w,Ed} = 177.0 \text{ MPa} \quad \text{– Maximum normal stress transverse to the axis of the weld}$$

$$\sigma_{w,Rd} = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Equivalent stress resistance}$$

$$\sigma_{\perp} = -45.4 \text{ MPa} \quad \text{– Normal stress perpendicular to the throat}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 259.2 \text{ MPa} \quad \text{– Perpendicular stress resistance}$$

Detailing check

- Weld is too small. Throat thickness should be greater or equal to 6.0 mm where rupture of the weld is to be avoided for ductility purposes. (FprEN 1993-1-8:2023 – 6.9(4))

KOMENTAR: Debljina zavara je premala. Izvedeni zavar od 5 mm je manji od optimalne debljine zavara.

Detailed result for SP1 / D2-1-bfl 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = \frac{360.0}{0} \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = \frac{63.0}{2} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} = 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 25.7 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Ultimate strength}$$

$$\beta_w = 0.80 \quad \text{– Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25 \quad \text{– Safety factor}$$

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.18 \leq 1.0$$

Where:

$$\begin{aligned} \sigma_{w,Ed} &= 63.2 \text{ MPa} && \text{– Maximum normal stress transverse to the axis of the weld} \\ \sigma_{w,Rd} &= 360.0 \text{ MPa} && \text{– Equivalent stress resistance} \\ \sigma_{\perp} &= 25.7 \text{ MPa} && \text{– Normal stress perpendicular to the throat} \\ \sigma_{\perp,Rd} &= 259.2 \text{ MPa} && \text{– Perpendicular stress resistance} \end{aligned}$$

Detailing check

- Weld is too small. Throat thickness should be greater or equal to 6.0 mm where rupture of the weld is to be avoided for ductility purposes. (FprEN 1993-1-8:2023 – 6.9(4))

KOMENTAR: Debljina zavora je premala. Izvedeni zavar od 5 mm je manji od optimalne debljine zavora.

Detailed result for SP1 / D3-w 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\begin{aligned} \sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) &= \frac{360.0}{0} \frac{\text{MP}}{\text{a}} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = \frac{220.5}{5} \frac{\text{MP}}{\text{a}} \\ \sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} &= 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 33.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

where:

$$\begin{aligned} f_u &= 360.0 \text{ MPa} && \text{– Ultimate strength} \\ \beta_w &= 0.80 && \text{– Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1} \\ \gamma_{M2} &= 1.25 && \text{– Safety factor} \end{aligned}$$

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.61 \leq 1.0$$

Where:

$$\begin{aligned} \sigma_{w,Ed} &= 220.5 \text{ MPa} && \text{– Maximum normal stress transverse to the axis of the weld} \\ \sigma_{w,Rd} &= 360.0 \text{ MPa} && \text{– Equivalent stress resistance} \\ \sigma_{\perp} &= 33.2 \text{ MPa} && \text{– Normal stress perpendicular to the throat} \\ \sigma_{\perp,Rd} &= 259.2 \text{ MPa} && \text{– Perpendicular stress resistance} \end{aligned}$$

Detailing check

- Weld is too small. Throat thickness should be greater or equal to 6.6 mm where rupture of the weld is to be avoided for ductility purposes. (FprEN 1993-1-8:2023 – 6.9(4))

KOMENTAR: Debljina zavora je premala. Izvedeni zavar od 5 mm je manji od optimalne debljine zavora.

Detailed result for SP1 / D3-w 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = \frac{360.0}{0} \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = \frac{151.0}{0} \text{ MPa}$$
$$\sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} = 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 87.5 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Ultimate strength}$$
$$\beta_w = 0.80 \quad \text{– Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1}$$
$$\gamma_{M2} = 1.25 \quad \text{– Safety factor}$$

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.42 \leq 1.0$$

Where:

$$\sigma_{w,Ed} = 151.0 \text{ MPa} \quad \text{– Maximum normal stress transverse to the axis of the weld}$$
$$\sigma_{w,Rd} = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Equivalent stress resistance}$$
$$\sigma_{\perp} = 87.5 \text{ MPa} \quad \text{– Normal stress perpendicular to the throat}$$
$$\sigma_{\perp,Rd} = 259.2 \text{ MPa} \quad \text{– Perpendicular stress resistance}$$

Detailing check

- Weld is too small. Throat thickness should be greater or equal to 6.6 mm where rupture of the weld is to be avoided for ductility purposes. (FprEN 1993-1-8:2023 – 6.9(4))

KOMENTAR: Debljina zavara je premala. Izvedeni zavar od 5 mm je manji od optimalne debljine zavara.

Detailed result for SP1 / D4-w 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = \frac{360.0}{0} \text{ MPa} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = \frac{125.6}{6} \text{ MPa}$$
$$\sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} = 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 51.2 \text{ MPa}$$

where:

$$f_u = 360.0 \text{ MPa} \quad \text{– Ultimate strength}$$
$$\beta_w = 0.80 \quad \text{– Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1}$$
$$\gamma_{M2} = 1.25 \quad \text{– Safety factor}$$

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.35 \leq 1.0$$

Where:

- $\sigma_{w,Ed} = 125.6 \text{ MPa}$ – Maximum normal stress transverse to the axis of the weld
- $\sigma_{w,Rd} = 360.0 \text{ MPa}$ – Equivalent stress resistance
- $\sigma_{\perp} = 51.2 \text{ MPa}$ – Normal stress perpendicular to the throat
- $\sigma_{\perp,Rd} = 259.2 \text{ MPa}$ – Perpendicular stress resistance

Detailed result for SP1 / D4-w 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = \frac{360.0 \text{ MPa}}{0} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = \frac{292.2 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} = 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 30.5 \text{ MPa}$$

where:

- $f_u = 360.0 \text{ MPa}$ – Ultimate strength
- $\beta_w = 0.80$ – Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1
- $\gamma_{M2} = 1.25$ – Safety factor

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.81 \leq 1.0$$

Where:

- $\sigma_{w,Ed} = 292.2 \text{ MPa}$ – Maximum normal stress transverse to the axis of the weld
- $\sigma_{w,Rd} = 360.0 \text{ MPa}$ – Equivalent stress resistance
- $\sigma_{\perp} = 30.5 \text{ MPa}$ – Normal stress perpendicular to the throat
- $\sigma_{\perp,Rd} = 259.2 \text{ MPa}$ – Perpendicular stress resistance

Detailed result for SP1 / D2-2-bfl 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = \frac{360.0 \text{ MPa}}{0} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = \frac{62.7 \text{ MPa}}{7}$$

$$\sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} = 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 23.6 \text{ MPa}$$

where:

- $f_u = 360.0 \text{ MPa}$ – Ultimate strength
- $\beta_w = 0.80$ – Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1
- $\gamma_{M2} = 1.25$ – Safety factor

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.17 \leq 1.0$$

Where:

$$\begin{aligned} \sigma_{w,Ed} &= 62.7 \text{ MPa} && \text{– Maximum normal stress transverse to the axis of the weld} \\ \sigma_{w,Rd} &= 360.0 \text{ MPa} && \text{– Equivalent stress resistance} \\ \sigma_{\perp} &= -23.6 \text{ MPa} && \text{– Normal stress perpendicular to the throat} \\ \sigma_{\perp,Rd} &= 259.2 \text{ MPa} && \text{– Perpendicular stress resistance} \end{aligned}$$

Detailing check

- Weld is too small. Throat thickness should be greater or equal to 6.0 mm where rupture of the weld is to be avoided for ductility purposes. (FprEN 1993-1-8:2023 – 6.9(4))

KOMENTAR: Debljina zavora je premala. Izvedeni zavar od 5 mm je manji od optimalne debljine zavora.

Detailed result for SP1 / D2-2-bfl 1 - 1

Weld resistance check (EN 1993-1-8 – Cl. 4.5.3.2)

$$\begin{aligned} \sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) &= \frac{360.0}{0} \frac{\text{MP}}{\text{a}} \geq \sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} = \frac{224.3}{3} \frac{\text{MP}}{\text{a}} \\ \sigma_{\perp,Rd} = 0.9 f_u / \gamma_{M2} &= 259.2 \text{ MPa} \geq |\sigma_{\perp}| = 52.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

where:

$$\begin{aligned} f_u &= 360.0 \text{ MPa} && \text{– Ultimate strength} \\ \beta_w &= 0.80 && \text{– Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1} \\ \gamma_{M2} &= 1.25 && \text{– Safety factor} \end{aligned}$$

Stress utilization

$$U_t = \max\left(\frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}} ; \frac{|\sigma_{\perp}|}{\sigma_{\perp,Rd}}\right) = 0.62 \leq 1.0$$

Where:

$$\begin{aligned} \sigma_{w,Ed} &= 224.3 \text{ MPa} && \text{– Maximum normal stress transverse to the axis of the weld} \\ \sigma_{w,Rd} &= 360.0 \text{ MPa} && \text{– Equivalent stress resistance} \\ \sigma_{\perp} &= -52.2 \text{ MPa} && \text{– Normal stress perpendicular to the throat} \\ \sigma_{\perp,Rd} &= 259.2 \text{ MPa} && \text{– Perpendicular stress resistance} \end{aligned}$$

Detailing check

- Weld is too small. Throat thickness should be greater or equal to 6.0 mm where rupture of the weld is to be avoided for ductility purposes. (FprEN 1993-1-8:2023 – 6.9(4))

KOMENTAR: Debljina zavora je premala. Izvedeni zavar od 5 mm je manji od optimalne debljine zavora.

Symbol explanation

Symbol	Explanation
t_p	Plate thickness
σ_{Ed}	Equivalent stress
ϵ_{Pl}	Plastic strain
$\sigma_{c,Ed}$	Contact stress
f_y	Yield strength
ϵ_{lim}	Limit of plastic strain
T_w	Throat thickness a
L	Length
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
σ_{\perp}	Perpendicular stress
T_{\perp}	Shear stress perpendicular to weld axis
T_{\parallel}	Shear stress parallel to weld axis
Ut	Utilization
Ut _c	Weld capacity estimation
▲	Fillet weld
f _u	Ultimate strength of weld
β_w	Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
0.9 σ	Perpendicular stress resistance: 0.9*f _u /γ _{M2}

Code settings

Item	Value	Unit	Reference
Safety factor γ_{M0}	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor γ_{M1}	1.10	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor γ_{M2}	1.25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor γ_{M3}	1.25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Safety factor γ_c	1.50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Safety factor γ_{Inst}	1.20	-	EN 1992-4: Table 4.1
Joint coefficient β_j	0.67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5
Effective area - influence of mesh size	0.10	-	
Friction coefficient - concrete	0.25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0.30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0.05	-	EN 1993-1-5
Detailing	Yes		
Distance between bolts [d]	2.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance check	Both		EN 1992-4: 7.2.1.4 and 7.2.2.5
Use calculated ab in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		EN 1992-4
Local deformation check	Yes		CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Local deformation limit	0.03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Geometrical nonlinearity (GMNA)	Yes		Analysis with large deformations for hollow section joints
Braced system	No		EN 1993-1-8: 5.2.2.5

5. ZAKLJUČAK

Predmetna dizalica projektirana je i izvedena 50ih godina prošlog stoljeća. Od tada je prošlo 70 godina, a pravila i standardi projektiranja su se do danas uvelike promijenili. Naime, ideja o Eurokodu javlja se 1970ih godina. Razvijanje i realizacija ideje o zajedničkim Europskim normama za projektiranje konstrukcija trajalo je do 1990. godine kada je objavljen prvi set pravila Eurokoda. Od tada se neprestano radi na izmjenama i dopunama kako bi se norme unaprijedile i bile što kvalitetnije sukladno napretku i novim saznanjima u znanosti i građevinarstvu.

Glavni cilj ovog rada je rekonstrukcija lučke dizalice. Zbog velikog vremenskog razmaka od projektiranja konstrukcije pa do danas, bilo je nužno provesti analizu u svrhu provjere stabilnost konstrukcije. Provjera je potrebna kako bi se, u slučaju da se ne zadovolje uvjeti nosivosti propisani današnjim normama, konstrukcija mogla adekvatno ojačati. Osim toga, zbog starosti dizalice te uvjeta kojima je bila izložena, potrebno je provjeriti stanje postojećih elemenata te ih, po potrebi, zamijeniti.

Prije samog proračuna, zbog nedostatka podataka o kvaliteti materijala, provedeno je ispitivanje vlačne čvrstoće čelika. Ispitano je pet uzoraka te su dobivene vrijednosti vlačne čvrstoće i granice popuštanja. Prosječna vrijednost granice popuštanja i vlačne čvrstoće približno odgovara čeliku klase S235.

Svi priključci elemenata u nosačima izvedeni su zavarom. Proveden je proračun priključka vršnog nosača te su zadovoljeni uvjeti otpornosti. Zbog jednostavnosti izvedbe, zavari su izvedeni većinom istih debljina (5 i 6 mm). Provjerom postojećeg priključka današnji uvjeti oblikovanja nisu zadovoljeni – neke debljine zavara su ili premale ili predimenzionirane. Međutim, u vrijeme projektiranja nisu vrijedili isti uvjeti kao i danas. Naime, pretpostavka je da su uvjeti bili blaži, što ne znači da priključak nije siguran.

Model i proračun konstrukcije napravljeni su prvenstveno prema dostupnoj dokumentaciji, jedino su dimenzije i profili vlačnog nosača pretpostavljeni. Međutim, uočene su neke razlike između dostupnih nacrti i stvarnog stanja. Vidljive razlike su ispravljene na modelu i nacrtima, međutim, kako bi konstrukcija bila posve sigurna i stabilna, svi profili i dimenzije dizalice biti će dodatno provjereni nakon njezine demontaže. Naime, dizalica će biti demontirana i odvezena u prostor kontroliranih uvjeta gdje će se provesti sve dodatne

provjere. Također, glavnim projektom bit će provedeno ocjenjivanje stupnja korozije elemenata dizalice te će se, također nakon demontaže, izvršiti pjeskarenje u svrhu skidanja hrđe. Sve dodatne provjere bit će provedene te će sukladno tome biti napravljene izmjene koje će se prikazati u izvedbenom projektu konstrukcije. Nakon toga, dizalica je spremna za obnovu kako bi se vratila na svoju staru poziciju i zasjala kao eksponat vrijedne industrijske baštine grada Rijeke.

6. LITERATURA

- [1] Androić, B., Dujmović, D., *Čelične konstrukcije - Dio 1.*, I.A. projektiranje, Zagreb, 2021.
- [2] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., *Čelične konstrukcije 2*, I.A. projektiranje, Zagreb, 2007.
- [3] Arca Adriatica: *Sušački lukobran*,
<https://arcaadriatica.eu/?pr=iiif.v.a&id=14033&tify={%22panX%22:0.5,%22panY%22:0.25,%22view%22:%22info%22,%22zoom%22:1.478}>, pristup 30.6.2024.
- [4] HRN EN 1991-1-4:2012/NA, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetr
- [5] HRN EN ISO 6892-1:2019 - Metalni materijali - Vlačno ispitivanje - 1.dio: Metoda ispitivanja na sobnoj temperaturi
- [6] Krolo, Paulina, *Utjecaj ponašanja vijčanih priključaka na potresni odziv čeličnih okvira*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2017.
- [7] Luka Rijeka: *Povijest Luke Rijeka*, <https://lukarijeka.hr/povijest/>, pristup 30.6.2024.
- [8] Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture: *Luka Rijeka*, <https://mmpi.gov.hr/more-86/luke-106/luka-rijeka/15982>, pristup 30.6.2024.
- [9] Mojarijeka.hr - Tema: *Riječke dizalice*, <https://www.mojarijeka.hr/tema-rijecke-dizalice>, pristup 30.6.2024.
- [10] Rijeka Heritage: *Lučke dizalice*, <https://rijekaheritage.org/hr/kj/luckedizalice>, pristup 30.6.2024.
- [11] Tourist Ad Guide: *Luka Rijeka*, <https://www.tourist-ad-guide.com/luke-i-marine/luka-rijeka/>, pristup 30.6.2024.

7. NACRTI

Nacrt 1: Tlačni nosač, M 1:50

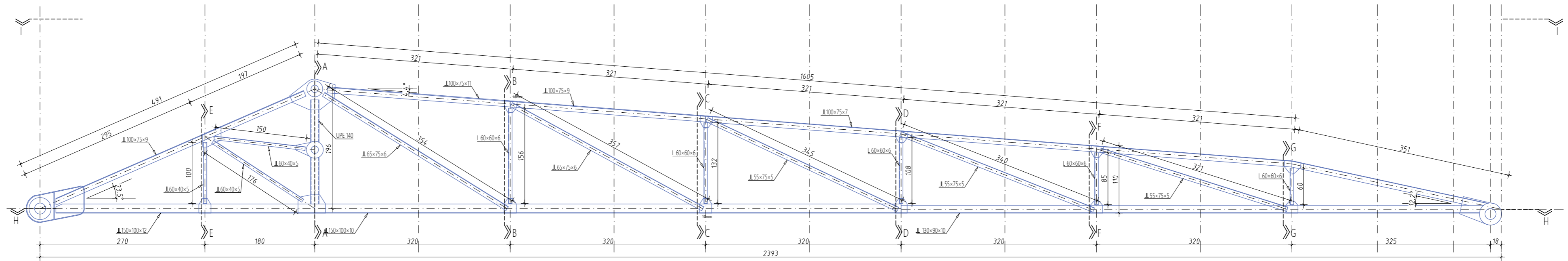
Nacrt 2: Tlačni nosač, M 1:50

Nacrt 3: Nosač protuutega, M 1:50

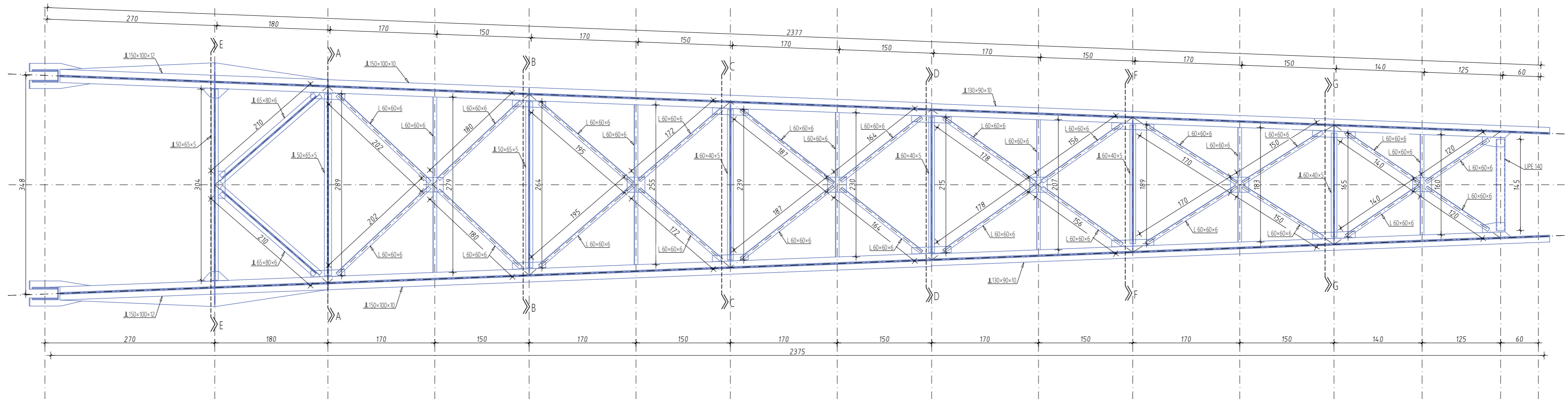
Nacrt 4: Vlačni nosač, M 1:50

Nacrt 5: Vršni nosač, M 1:50

TLAČNI NOSAČ
M 1:50



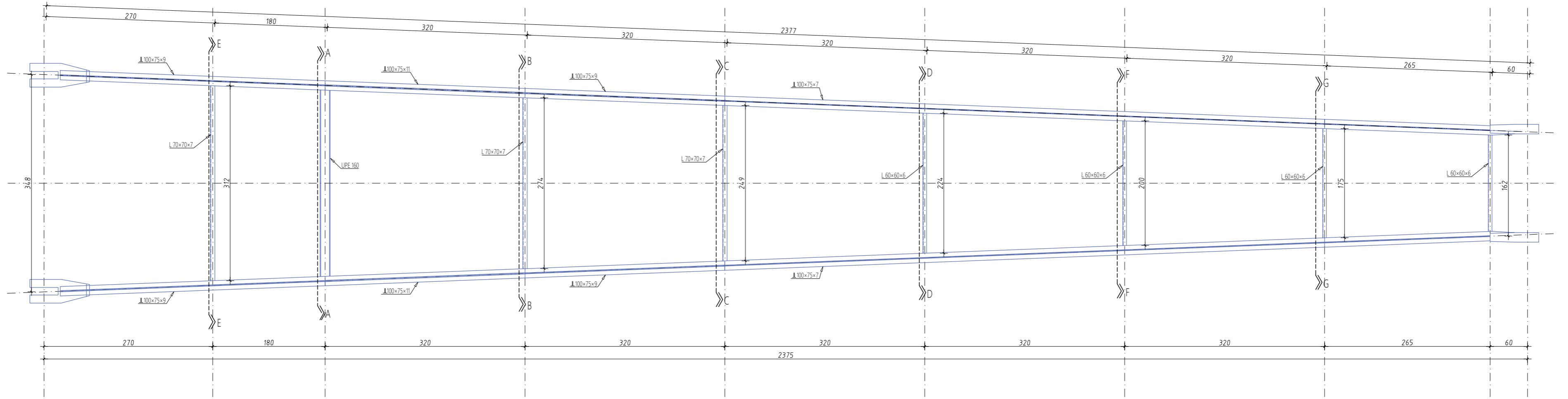
PRESJEK H-H



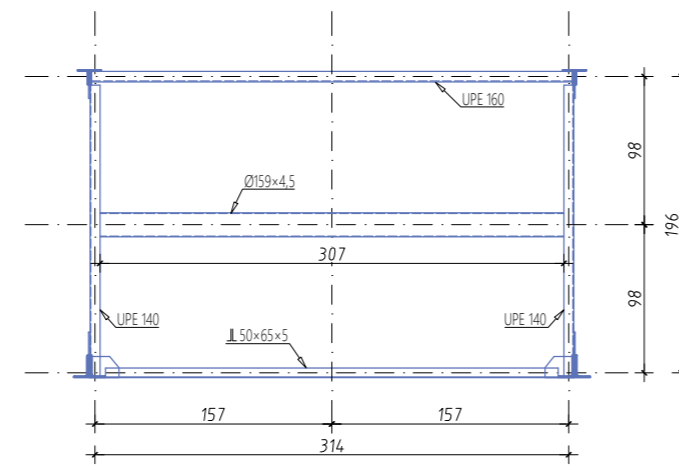
G F GRADEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad REKONSTRUKCIJA POLUPORTALNE DIZALICE U LUCI PORTO BAROŠ		Sadržaj nacrt: TLAČNI NOSAČ	
Studentica: Simona Ivić		Kolegij: ČELIČNE KONSTRUKCIJE	
Mentori: Izv. prof. dr. sc. Mladen Bulić dr. sc. Saša Mitrović		Datum: 7/2024.	Mjerilo: 1:50
		List: 1.	

TLAČNI NOSAČ
M 1:50

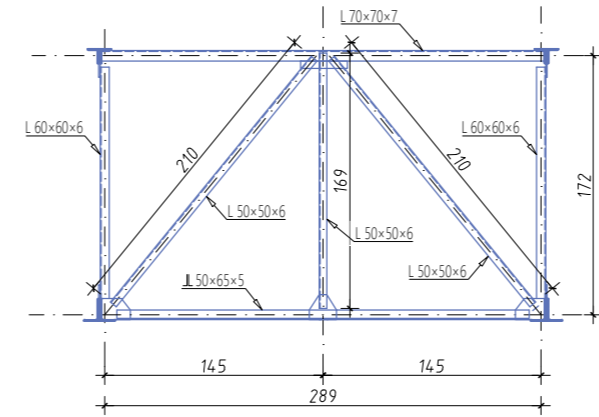
POGLED I-I



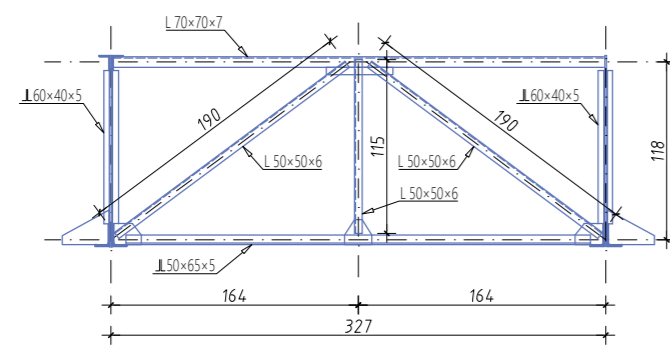
PRESJEK A-A



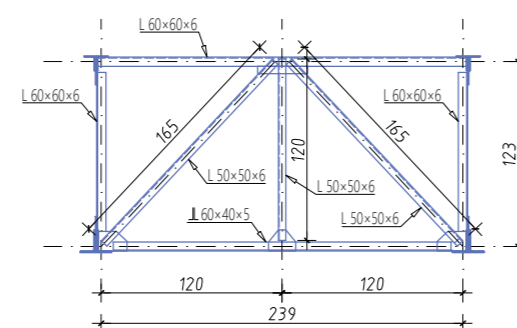
PRESJEK B-B



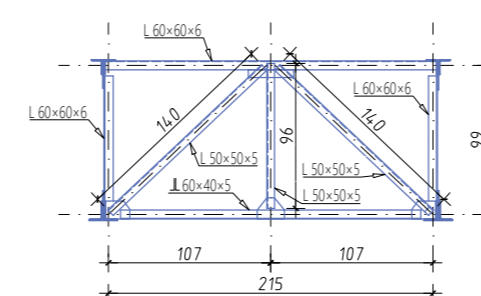
PRESJEK E-E



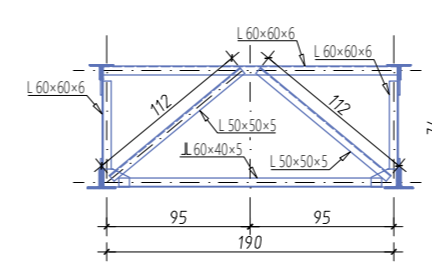
PRESJEK D-D



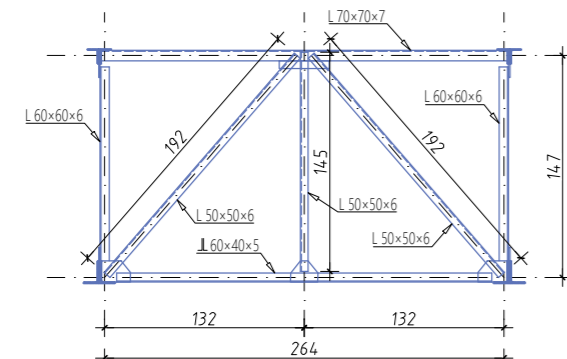
PRESJEK F-F



PRESJEK G-G

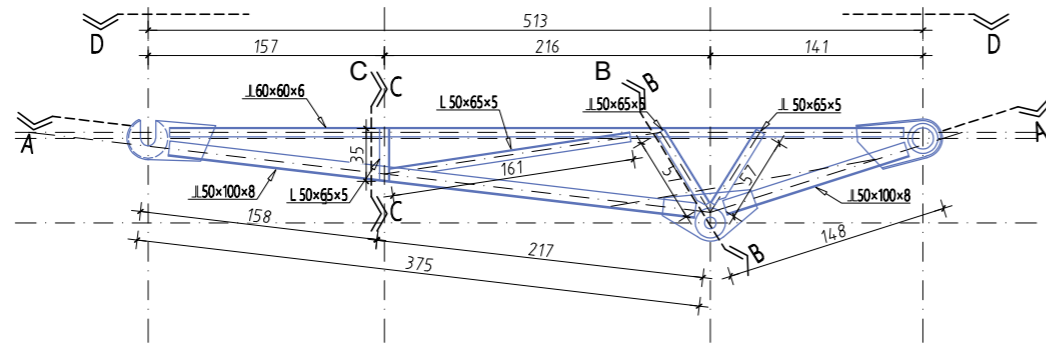


PRESJEK C-C

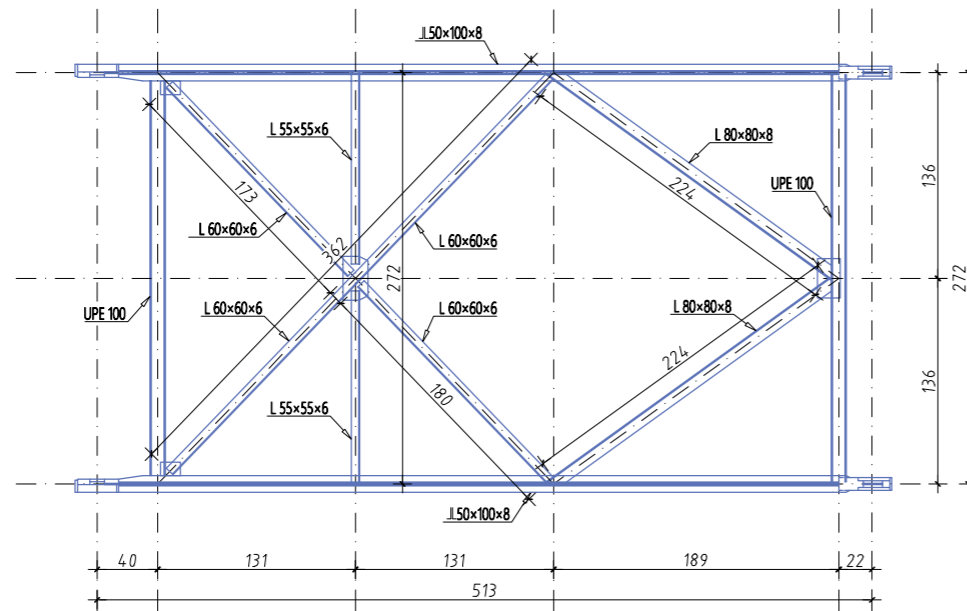


G F GRADEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad REKONSTRUKCIJA POLUPORTALNE DIZALICE U LUCI PORTO BAROŠ		Sadržaj nacrt: TLAČNI NOSAČ	
Studentica: Simona Ivić		Kolegij: ČELIČNE KONSTRUKCIJE	
Mentori: Izv. prof. dr. sc. Mladen Bulić dr. sc. Saša Mitrović	Datum: 7/2024.	Mjerilo: 1:50	List: 2.

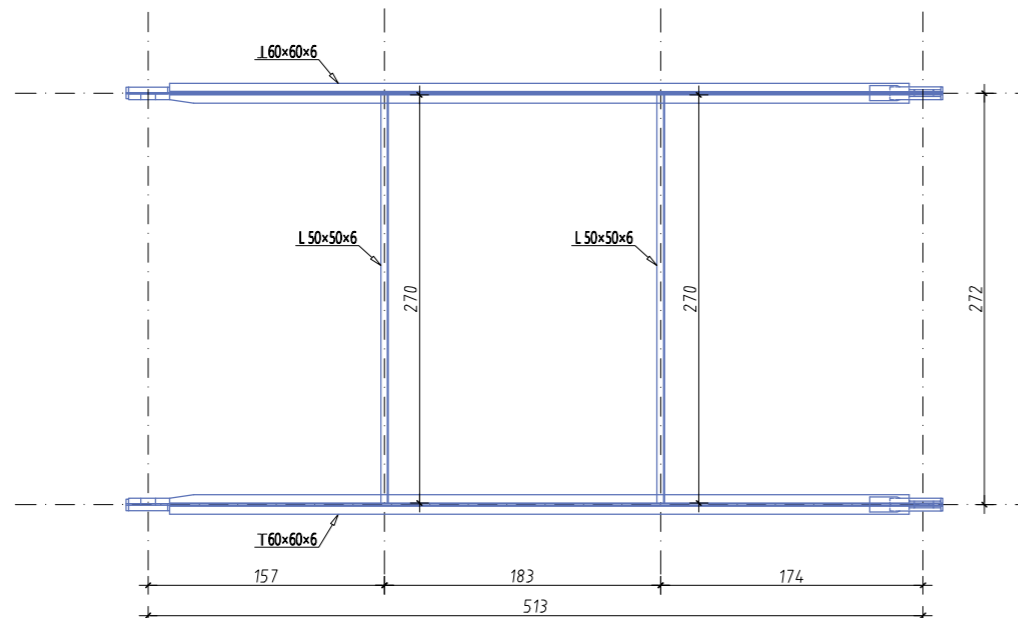
NOSAČ PROTUUTEGA
M 1:50



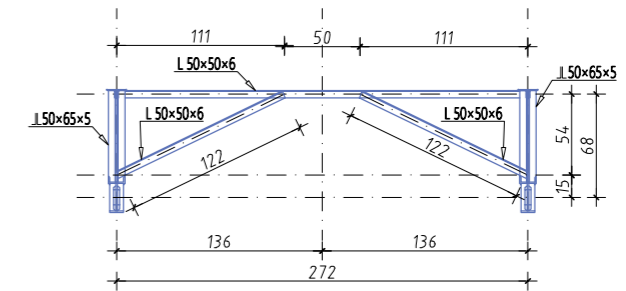
PRESJEK A-A



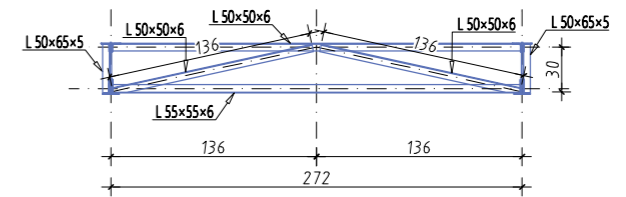
POGLED D-D



PRESJEK B-B

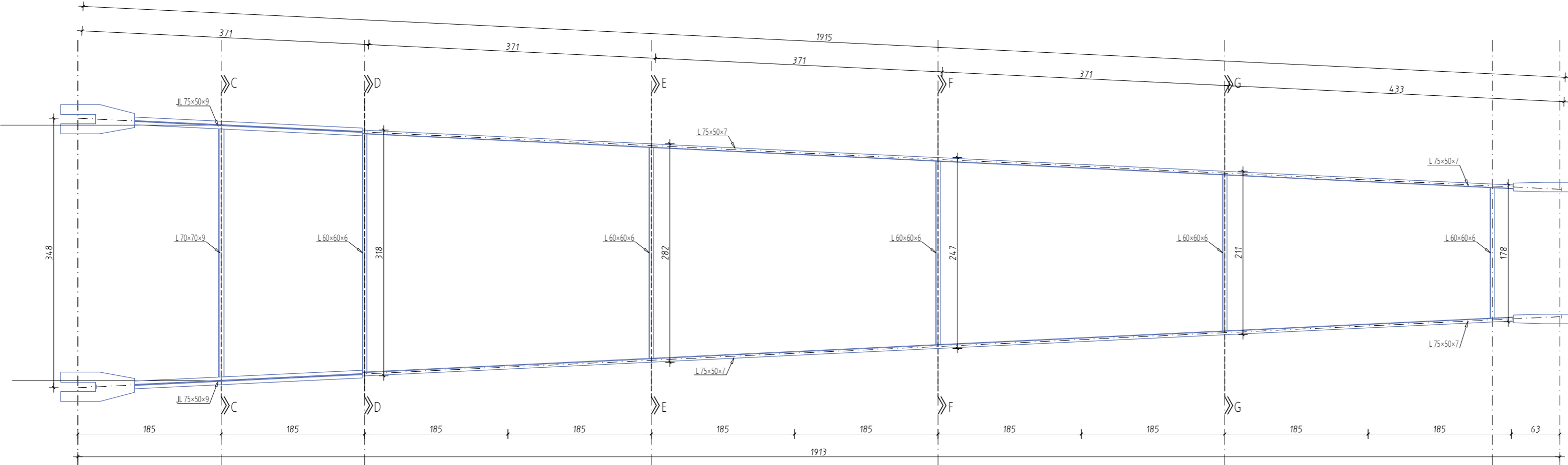
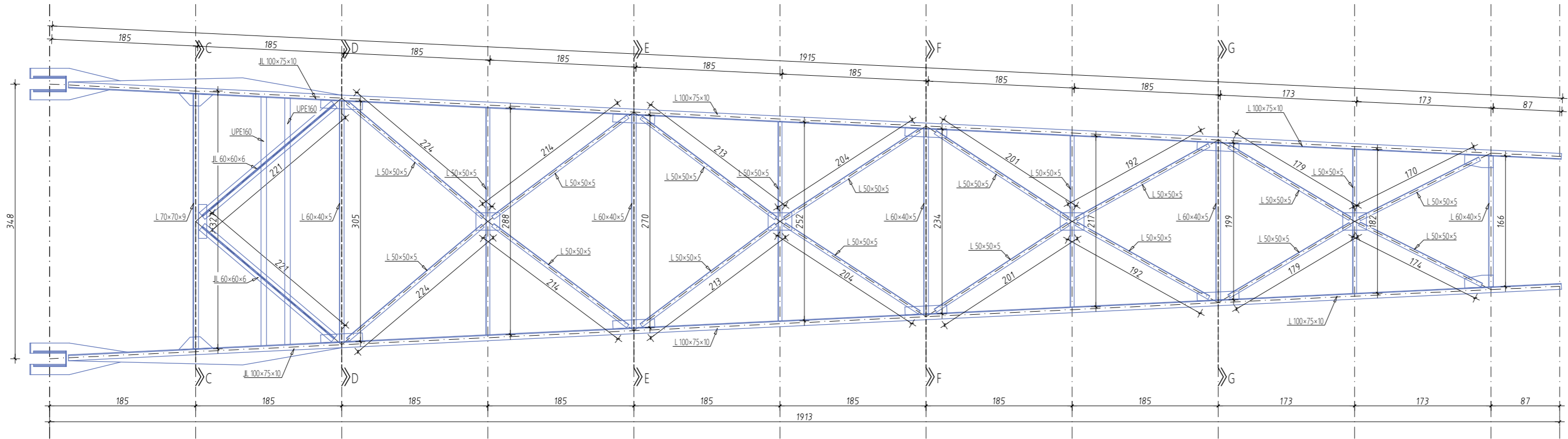
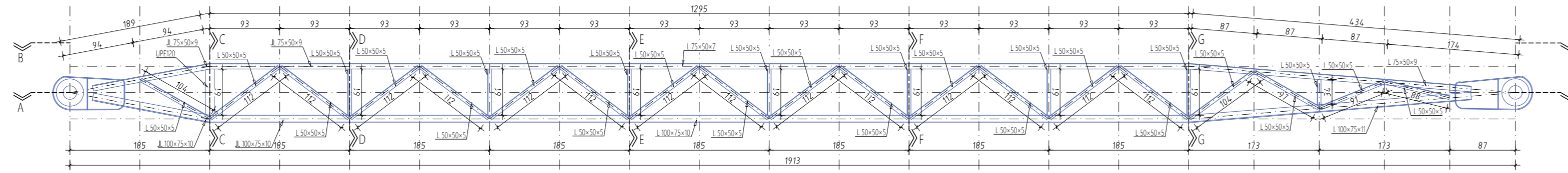


PRESJEK C-C

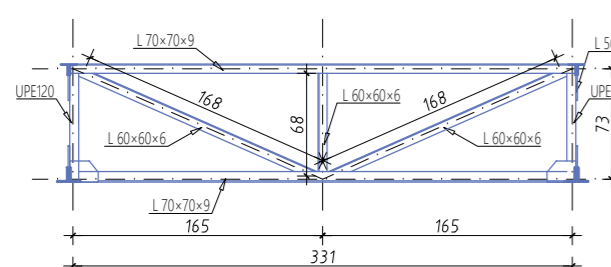


G F GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad REKONSTRUKCIJA POLUPORTALNE DIZALICE U LUCI PORTO BAROŠ		Sadržaj nacrt: NOSAČ PROTUUTEGA	
Studentica: Simona Ivić		Kolegij: ČELIČNE KONSTRUKCIJE	
Mentori: Izv. prof. dr. sc. Mladen Bulić dr. sc. Saša Mitrović		Datum: 6/2024.	Mjerilo: 1:50
		List: 3.	

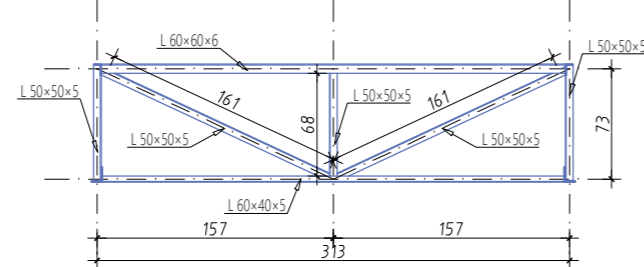
VLAČNI NOSAČ
M 1:50



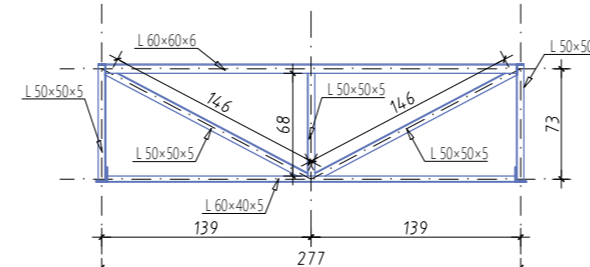
PRESJEK C-C



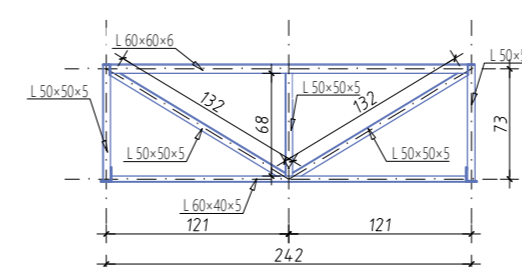
PRESJEK D-D



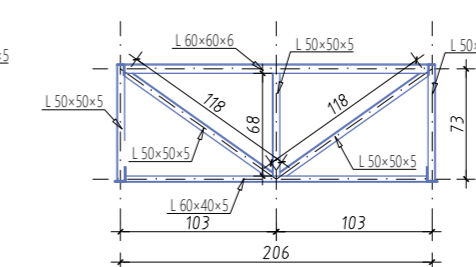
PRESJEK E-E



PRESJEK F-F

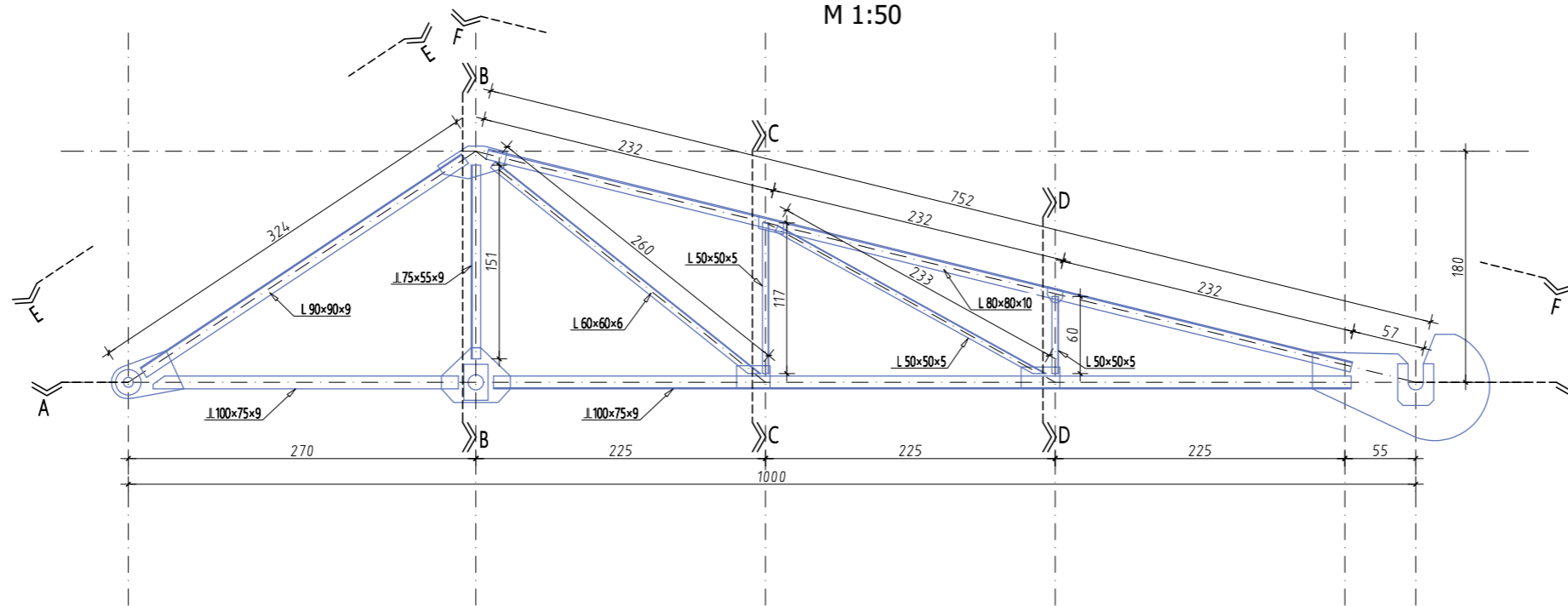


PRESJEK G-G

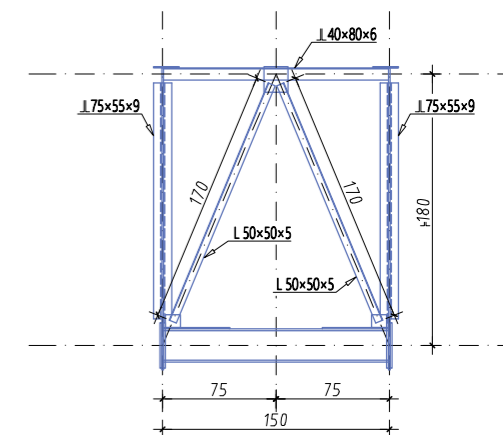


G F GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI		
Diplomski rad REKONSTRUKCIJA POLUPORTALNE DIZALICE U LUCI PORTO BAROŠ		Sadržaj nacrta: VLAČNI NOSAČ
Studentica: Simona Ivić		Kolegij: ČELIČNE KONSTRUKCIJE
Mentori: Izv. prof. dr. sc. Mladen Bulić dr. sc. Saša Mitrović		Datum: 6/2024. Mjerilo: 1:50 List: 4.

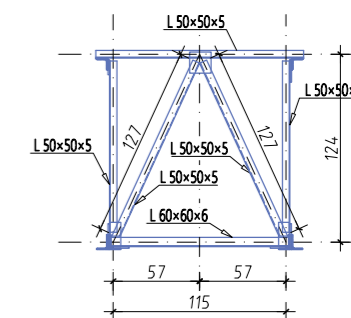
VRŠNI NOSAČ
M 1:50



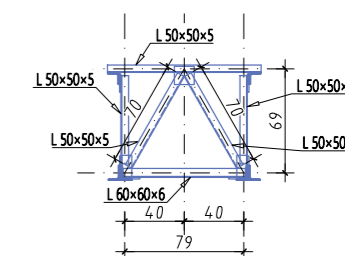
PRESJEK B-B



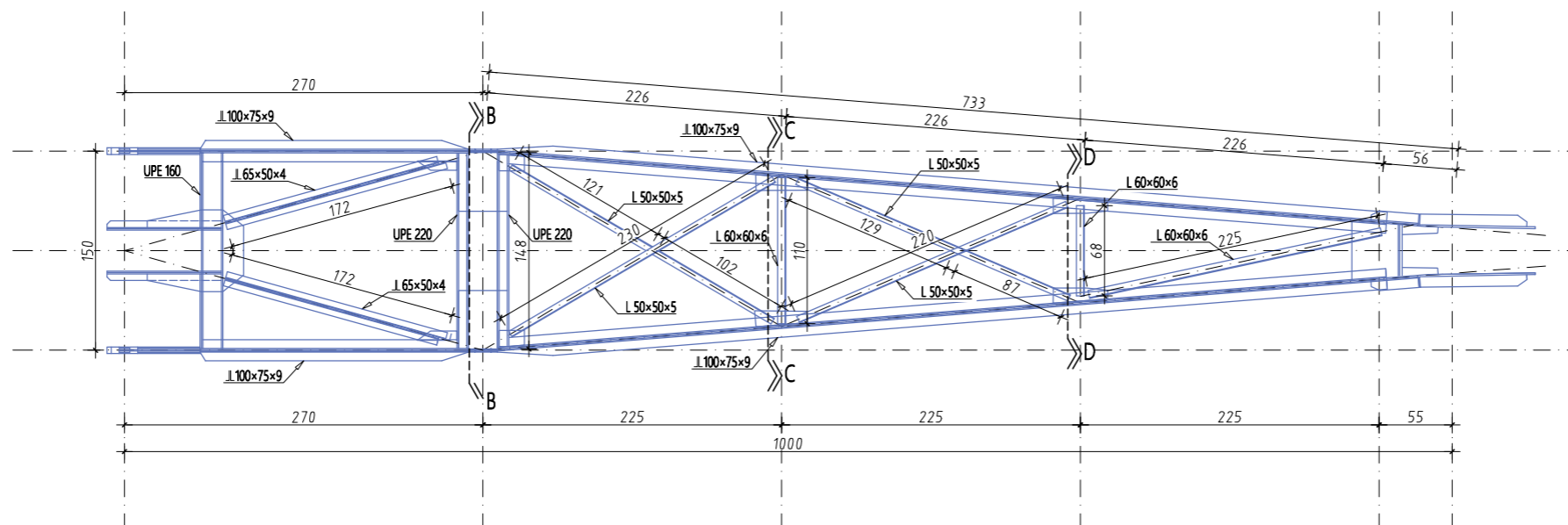
PRESJEK C-C



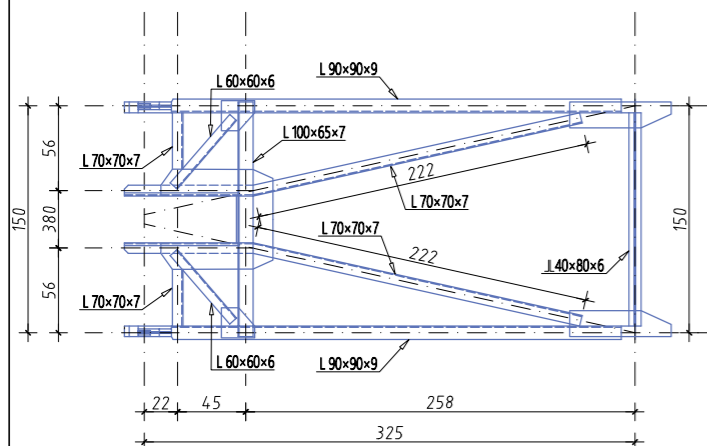
PRESJEK D-D



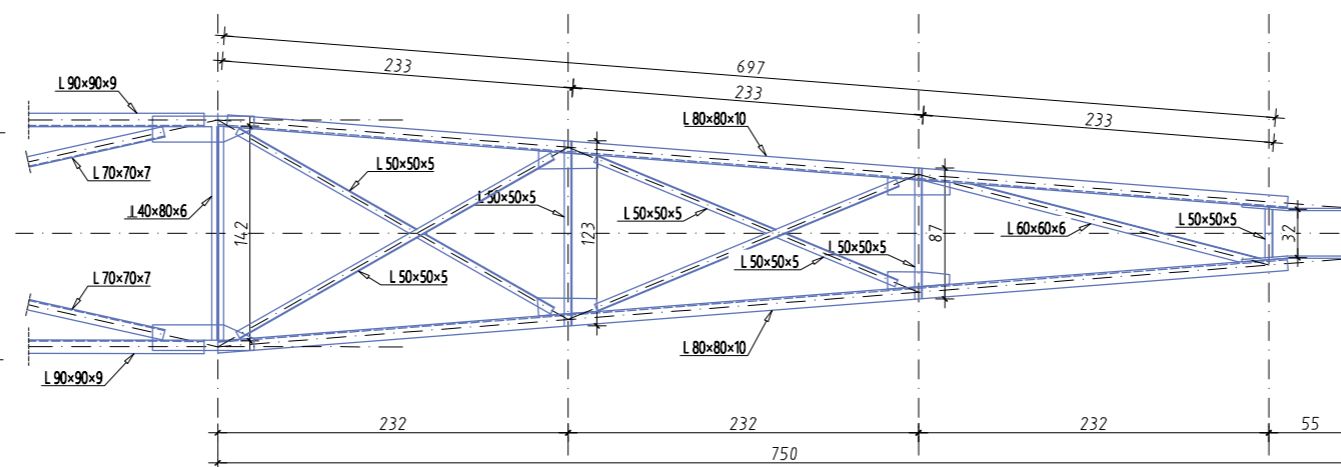
PRESJEK A-A



POGLED E-E



POGLED F-F



<p>G F GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI</p>			
<p>Diplomski rad REKONSTRUKCIJA POLUPORTALNE DIZALICE U LUCI PORTO BAROŠ</p>		<p>Sadržaj nacрта: VRŠNI NOSAČ</p>	
<p>Studentica: Simona Ivić</p>		<p>Kolegij: ČELIČNE KONSTRUKCIJE</p>	
<p>Mentori: Izv. prof. dr. sc. Mladen Bulić dr. sc. Saša Mitrović</p>		<p>Datum: 6/2024.</p>	<p>Mjerilo: 1:50</p>
		<p>List: 5.</p>	