

Projekt drvene konstrukcije edukacijskog centra sa sportskom halom

Tuka, Valentin

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:237:500706>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**PROJEKT DRVENE KONSTRUKCIJE
EDUKACIJSKOG CENTRA SA SPORTSKOM
HALOM**

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**PROJEKT DRVENE KONSTRUKCIJE
EDUKACIJSKOG CENTRA SA SPORTSKOM
HALOM**

Mentor:

prof.dr.sc. Vlatka Rajčić, dipl. ing. građ.

Student:

Valentin Tuka

Zagreb, rujan 2023.



TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **Valentin Tuka**

JMBAG: **0082065583**

Diplomski rad iz predmeta: **Drvene konstrukcije 2**

Naslov teme
diplomskog rada:

HR

**Projekt drvene konstrukcije edukacijskog
centra sa sportskom halom**

ENG

**Design project of education centre with sport
hall timber structure**

Opis teme diplomskog rada:

Kandidat ima zadatak projektirati drvenu konstrukciju edukacijskog centra sa sportskom dvoranom. Konceptija konstrukcije je prostorna. Objekt je trobrodni sa prolazom između edukacijskog centra i sportske dvorane. Konstrukcija je oblikovana od lameliranih nosača zakrivljenog oblika u jednom smjeru i sekundarnih zakrivljenih lameliranih nosača u drugom smjeru koji oblikuju sačastu konstrukciju. Bit će potrebno i adekvatno stabilizirati sustav.

Projekt treba sadržavati:

- vizualizaciju
- tehnički opis
- proračun nosivih elemenata i priključaka
- izvedbene nacрте karakterističnih detalja
- iskaz materijala
- plan montaže konstrukcije

Kandidat će se pri proračunu koristiti nizom normi HRN EN 1990 - EN 1998.

Datum: **17. travnja 2023.**

Komentor: **dr.sc. Nikola Perković**

(Ime i prezime komentora)

Mentor: **prof.dr.sc. Vlatka Rajčić**

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

Ovom prigodom izražavam iskrenu zahvalnost:

mentorici prof.dr.sc. Vlatki Rajčić i komentoru dr.sc. Nikoli Perkoviću na prenesenom znanju, idejama, savjetima, pomoći, strpljenju i susretljivošću tijekom izrade ovog rada

dragim prijateljima na potpori tijekom svih godina studiranja, osobito Mariu Glojnariću.

i na kraju najveću i neizrecivu zahvalu dugujem svojoj obitelji za sve savjete, strpljenje, potporu, povjerenje i razumijevanje tijekom svih godina studiranja.

Valentin Tuka

Sadržaj

Sadržaj.....	I
Popis slika.....	IV
Popis tablica	VII
Popis tehničke dokumentacije.....	VIII
Sažetak.....	IX
Abstract	IX
1. Uvod	1
1.1. Drvo kao građevinski materijal	1
1.2. Lijepljeno lamelirano drvo	1
1.3. Križno lamelirano drvo.....	4
1.4. Ljepila.....	7
1.5. Drvene konstrukcije u požaru.....	8
2. Tehnički opis.....	10
2.1. Tehnički opis	10
3. Analiza opterećenja	12
3.1. Vlastita težina	12
3.2. Dodatno stalno opterećenje	12
3.3. Uporabno opterećenje krova.....	12
3.4. Djelovanje snijega	12
3.5. Djelovanje vjetra.....	15
3.6. Djelovanje potresa	28
4. Proračun graničnog stanja nosivosti.....	30
4.1. Dimenzioniranje glavnih nosača	30
4.1.1. Ulazni podaci.....	30
4.1.2. Dijagrami unutarnjih sila.....	31

4.1.3.	Dokaz nosivosti elementa.....	32
4.1.4.	Dokaz stabilnosti nosača	39
4.1.5.	Rekapitulacija iskoristivosti poprečnog nosača	42
4.2.	Dimenzioniranje sekundarnog nosača	43
4.2.1.	Ulazni podaci.....	43
4.2.2.	Dijagrami unutarnjih sila.....	44
4.2.3.	Dokaz nosivosti elementa.....	45
4.2.4.	Dokaz stabilnosti nosača	54
4.2.5.	Rekapitulacija iskoristivosti sekundarnog nosača.....	56
4.3.	Proračun čeličnih čeličnih spregova	57
5.	Proračun graničnog stanja uporabljivosti.....	59
6.	Proračun požarne otpornosti drvene krovne konstrukcije	61
6.1.	Dimenzioniranje glavnih nosača	61
6.1.1.	Ulazni podaci.....	61
6.1.2.	Dijagrami unutarnjih sila.....	62
6.1.3.	Dokaz nosivosti elementa.....	64
6.1.4.	Dokaz stabilnosti nosača	71
6.1.5.	Rekapitulacija iskoristivosti glavnog nosača	74
6.2.	Dimenzioniranje sekundarnog nosača	74
6.2.1.	Ulazni podaci.....	74
6.2.2.	Dijagrami unutarnjih sila.....	75
6.2.3.	Dokaz nosivosti elementa.....	76
6.2.4.	Dokaz stabilnosti nosača	81
6.2.5.	Rekapitulacija iskoristivosti sekundarnog nosača.....	84
7.	Proračun detalja.....	85
7.1.	Detalj 1 – montažni nastavak glavnog nosača.....	85
7.2.	Detalj 2 – detalj oslanjanja nosača na betonski stup hxb = 120x80 cm	88

7.2.1.	Detalj oslanjanja glavnog nosača	88
7.2.2.	Detalj oslanjanja sekundarnog nosača – nepokretni ležaj	91
7.2.3.	Detalj oslanjanja sekundarnog nosača –pokretni ležaj	92
7.3.	Detalj 3 – detalj oslanjanja sekundarnog nosača na betonski zid d = 70 cm.....	94
7.4.	Detalj 4 – detalj oslanjanja sekundarnih na glavni nosač	96
7.5.	Detalj 5 – detalj oslanjanja glavnih nosača na zid d = 70 cm.....	100
7.6.	Proračun pokrova na odizanje	101
8.	Iskaz materijala.....	103
9.	Zaključak	107
	Popis literature	108

Popis slika

<i>Slika 1.1 Drvena građa [5].....</i>	<i>1</i>
<i>Slika 1.2 Drvena građa [7].....</i>	<i>2</i>
<i>Slika 1.3 Proces proizvodnje lijepljenog lameliranog drva [8]</i>	<i>3</i>
<i>Slika 1.4 Primjer držača, kutnika i vijka [19–21]</i>	<i>6</i>
<i>Slika 1.5 Nanošenje ljepila na lamelu [22]</i>	<i>7</i>
<i>Slika 1.6 Drveni nosač izložen požaru [24].....</i>	<i>8</i>
<i>Slika 2.1 Prikaz južne fasade objekta na stvarnoj lokaciji</i>	<i>10</i>
<i>Slika 2.2 Prikaz sjeverne fasade objekta na stvarnoj lokaciji</i>	<i>11</i>
<i>Slika 2.3 Pogled na krovnu konstrukciju iz žablje perspektive</i>	<i>11</i>
<i>Slika 3.1 Karta snježnih područja [28]</i>	<i>13</i>
<i>Slika 3.2 Koeficijenti oblika opterećenja snijegom za višerasponske krovove [27].....</i>	<i>15</i>
<i>Slika 3.3 Osnovna brzina vjetra $v_{b,0}$ [29]</i>	<i>16</i>
<i>Slika 3.4 Ulazni parametri za simulaciju vjetrovnog tunela</i>	<i>16</i>
<i>Slika 3.5 Smjerovi djelovanja vjetra na konstrukciju</i>	<i>17</i>
<i>Slika 3.6 Opterećenje vjetra za slučaj 1 u kN/m^2</i>	<i>17</i>
<i>Slika 3.7 Opterećenje vjetra za slučaj 2 u kN/m^2</i>	<i>18</i>
<i>Slika 3.8 Opterećenje vjetra za slučaj 3 u kN/m^2</i>	<i>19</i>
<i>Slika 3.9 Opterećenje vjetra za slučaj 4 u kN/m^2</i>	<i>20</i>
<i>Slika 3.10 Opterećenje vjetra za slučaj 5 u kN/m^2</i>	<i>21</i>
<i>Slika 3.11 Opterećenje vjetra za slučaj 6 u kN/m^2</i>	<i>22</i>
<i>Slika 3.12 Opterećenje vjetra za slučaj 7 u kN/m^2</i>	<i>23</i>
<i>Slika 3.13 Opterećenje vjetra za slučaj 8 u kN/m^2</i>	<i>24</i>
<i>Slika 3.14 Opterećenje vjetra za slučaj 9 u kN/m^2</i>	<i>25</i>
<i>Slika 3.15 Opterećenje vjetra za slučaj 10 u kN/m^2</i>	<i>26</i>
<i>Slika 3.16 Opterećenje vjetra za slučaj 11 u kN/m^2</i>	<i>27</i>
<i>Slika 3.17 Opterećenje vjetra za slučaj 12 u kN/m^2</i>	<i>28</i>
<i>Slika 4.1 Poprečni presjek glavnog nosača [mm]</i>	<i>30</i>
<i>Slika 4.2 Dijagram uzdužnih sila N [kN]</i>	<i>31</i>
<i>Slika 4.3 Dijagram poprečnih sila V_y [kN]</i>	<i>31</i>
<i>Slika 4.4 Dijagram poprečnih sila V_z [kN]</i>	<i>31</i>
<i>Slika 4.5 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm]</i>	<i>31</i>
<i>Slika 4.6 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm]</i>	<i>32</i>

<i>Slika 4.7 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i vlačnih sila [kN] za slučaj najvećeg vlaka</i>	35
<i>Slika 4.8 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i uzdužnih sila [kN] za slučaj najvećeg ..</i>	36
<i>Slika 4.9 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i uzdužnih sila [kN] za slučaj najveće</i>	37
<i>Slika 4.10 Poprečni presjek sekundarnog nosača</i>	43
<i>Slika 4.11 Dijagram uzdužnih sila N [kN]</i>	44
<i>Slika 4.12 Dijagram poprečnih sila V_y [kN]</i>	44
<i>Slika 4.13 Dijagram poprečnih sila V_z [kN]</i>	44
<i>Slika 4.14 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm]</i>	45
<i>Slika 4.15 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm]</i>	45
<i>Slika 4.16 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i poprečnih sila V_z [kN] – vlak</i>	48
<i>Slika 4.17 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveća vlačna sila</i>	50
<i>Slika 4.18 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveći</i>	51
<i>Slika 4.19 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveća</i>	53
<i>Slika 5.1 Vrijednost progiba uslijed opterećenja od vlastite težine</i>	59
<i>Slika 5.2 Vrijednost progiba uslijed dodatnog stalnog opterećenja</i>	59
<i>Slika 5.3 Vrijednost progiba uslijed uporabnog opterećenja krova</i>	59
<i>Slika 5.4 Vrijednost progiba uslijed opterećenja snijega</i>	60
<i>Slika 5.5 Anvelopa progiba uslijed opterećenja vjetra</i>	60
<i>Slika 6.1 Dijagram uzdužnih sila N [kN]</i>	62
<i>Slika 6.2 Dijagram poprečnih sila V_y [kN]</i>	63
<i>Slika 6.3 Dijagram poprečnih sila V_z [kN]</i>	63
<i>Slika 6.4 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm]</i>	63
<i>Slika 6.5 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm]</i>	63
<i>Slika 6.6 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i vlačnih sila [kN] za slučaj najvećeg vlaka</i>	67
<i>Slika 6.7 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i uzdužnih sila [kN] za slučaj najvećeg ..</i>	68
<i>Slika 6.8 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i uzdužnih sila [kN] za slučaj najveće</i>	69
<i>Slika 6.9 Dijagram uzdužnih sila N [kN]</i>	75
<i>Slika 6.10 Dijagram poprečnih sila V_y [kN]</i>	75
<i>Slika 6.11 Dijagram poprečnih sila V_z [kN]</i>	76
<i>Slika 6.12 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm]</i>	76
<i>Slika 6.13 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm]</i>	76
<i>Slika 6.14 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveća vlačna sila</i>	79

<i>Slika 6.15 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveći</i>	<i>80</i>
<i>Slika 6.16 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveća</i>	<i>81</i>
<i>Slika 7.1 Shema prihvata unutrašnjih sila u montažnoj vezi s kružnim</i>	<i>85</i>
<i>Slika 7.2 Skica montažne veze glavnog nosača</i>	<i>87</i>
<i>Slika 7.3 Skica detalja oslanjanja sekundarnog nosača na glavni</i>	<i>100</i>
<i>Slika 8.1 Podaci iz Dlubal RFEM-a za glavni nosač</i>	<i>103</i>
<i>Slika 8.2 Podaci iz Dlubal RFEM-a za sekundarni nosač</i>	<i>104</i>
<i>Slika 8.3 Podaci iz Dlubal RFEM-a za spregove</i>	<i>105</i>
<i>Slika 8.4 Podaci iz Dlubal RFEM-a za betonske elemente</i>	<i>105</i>

Popis tablica

Tablica 1. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine [28]...	14
Tablica 2. Koeficijenti oblika opterećenja snijegom [27]	14
Tablica 3. Slučajevi opterećenja.....	29
Tablica 4. Kombinacije opterećenja za granično stanje nosivosti.....	29
Tablica 5. Rekapitulacija iskoristivosti glavnog nosača	42
Tablica 6. Rekapitulacija iskoristivosti sekundarnog nosača.....	56
Tablica 7. Kombinacije opterećenja za izvanrednu proračunsku situaciju	61
Tablica 8. Rekapitulacija iskoristivosti glavnog nosača	74
Tablica 9. Rekapitulacija iskoristivosti sekundarnog nosača.....	84
Tablica 10. Iskaz materijala	106

Popis tehničke dokumentacije

BROJ NACRTA	NAZIV NACRTA
1	Dispozicija edukacijskog centra sa sportskom halom od osi 1 do osi 13
2	Dispozicija edukacijskog centra sa sportskom halom od osi 14 do osi - 30
3	Dispozicija edukacijskog centra sa sportskom halom od osi 31 do osi 43
4	Detalj 1 – detalj montažnog nastavka glavnog nosača
5	Detalj 2 – detalj oslanjanja glavnog nosača na stup
6	Detalj 3 – detalj nepomičnog ležaja sekundarnog nosača
7	Detalj 4 – detalj pomičnog ležaja sekundarnog nosača
8	Detalj 5 – detalj oslanjanja sekundarnog nosača na zid
9	Detalj 6 – detalj spoja sekundarnog i glavnog nosača
10	Detalj 7 – detalj oslanjanja glavnog nosača na zid

Sažetak

Tema ovog diplomskog je projekt drvene konstrukcije edukacijskog centra sa sportskom halom. Predmetna građevina je tlocrtnih dimenzija 167.20 m x 48.80 m i visine u najvišoj točki 25.10 cm. Za nosive elemente predviđeni su zakrivljeni lijepljeni lamelirani drveni nosači pravokutnog presjeka. Nakon definiranog dispozicijskog rješenja provedena je statička, dinamička analiza i analiza djelovanja požara. Uz vlastitu težinu konstrukcije i dodatno stalno opterećenje razmotrena su i sva ostala promjenjiva opterećenja u skladu s lokacijom i namjenom građevine. Zbog neuobičajenog oblika krova analiza opterećenja vjetra napravljena je pomoću simulacije vjetrovnog tunela u računalnom paketu RWIND. Konstrukcija je zatim dimenzionirana prema kriterijima graničnih stanja, odnosno proveden je proračun elemenata i karakterističnih priključaka, a sve u skladu s važećim propisima i normama. Statički proračun je napravljen u računalnom paketu Dlubal RFEM.

Ključne riječi: edukacijski centar, lijepljeno lamelirano drvo, požar vjetrovni tunel, Dlubal RFEM

Abstract

This master's thesis is the design project of a timber structure of an educational center with a sports hall. The structure in question has a ground plan with dimensions of 167.20 x 48.80 m and height of 25.10 m. For the load-bearing members of the structure are curved glulam with a rectangular cross section planned. After the specified disposition solution there was a static, dynamic and fire resistance analysis carried out. In addition to the self-weight of the structure and the additional permanent load, all other variable loads were considered in accordance with the location and purpose of the structure. Because of the unconventional shape of the roof, the wind load analysis was carried out with the help of a wind-tunnel simulation with the software RWIND. The structure was designed according to the limit state criteria i.e., the calculations of the structural members and the characteristic joints was carried out in accordance with the local regulations and standards. The static analysis was carried out in the software Dlubal RFEM.

Key words: educational centre, glulam timber, fire, wind-tunnel, Dlubal RFEM

1. Uvod

1.1. Drvo kao građevinski materijal



Slika 1.1 Drvena građa [5]

Posljednjih godina drvo se sve više koristi u projektima niskogradnje, u nekim slučajevima za privremene oplata i skele, ali i za trajne uređaje poput akustičnih pregrada, molova, pješačkih mostova i cestovnih mostova, stupova i ograda. Građevinsko drvo koristi se za nosive elemente i prema tome podliježe posebnim zahtjevima koji se odnose na čvrstoću i krutost nosivih konstrukcija. Drvena građa za stolariju koristi se za proizvode, poput unutarnjih i vanjskih obloga, podnih dasaka, glatko blanžane građe i lajsni te za industrijsku proizvodnju prozora, vrata, stubišta i unutarnje opreme. Građa za skele koristi se za privremene građevine koje se više puta koriste i moraju udovoljavati strogim standardima zaštite radnika [6].

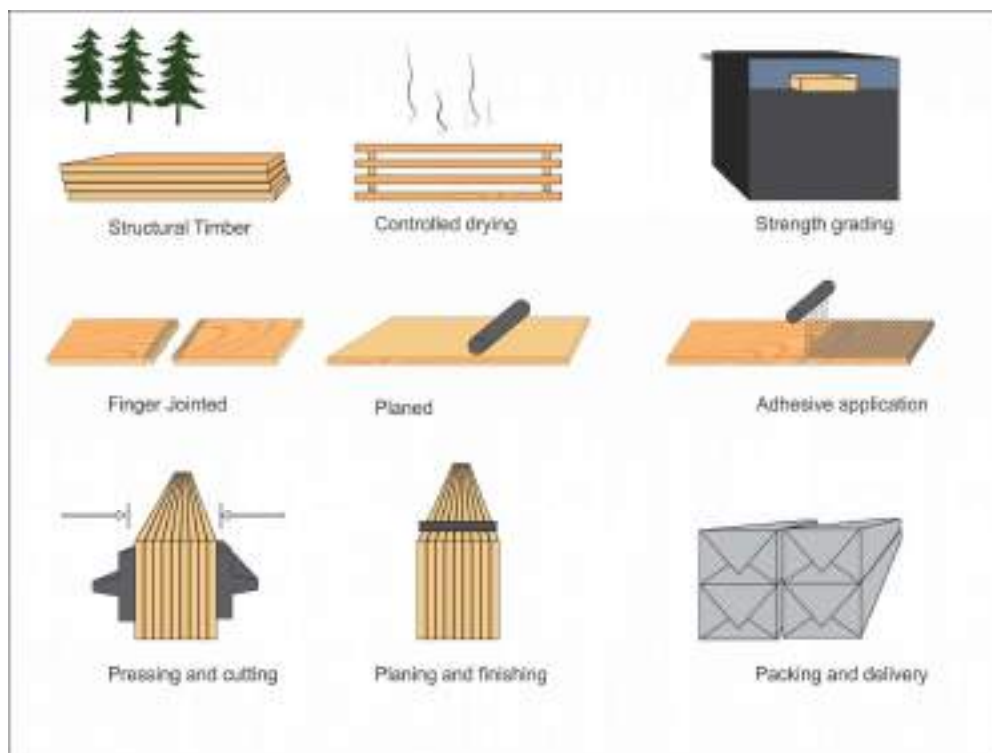
1.2. Lijepljeno lamelirano drvo

Lijepljeno lamelirano drvo je proizvod dobiven spajanjem i lijepljenjem manjih komada drva postavljenih paralelno uzduž elementa (slika 1.2).



Slika 1.2 Drvena građa [7]

Ovim postupkom se mogu dobiti elementi proizvoljnih duljina, širina i visina prema zahtjevima građevinske industrije. Mogu se proizvoditi od malih komada drva brzorastućih stabala manjih promjera trupaca iz plantažnih šuma. Karakteristični dijelovi proizvodnje prikazani su na slici 1.3. Prva faza obično započinje sušenjem piljene građe u sušari, daske su posložene i raspoređene tako da omogućavaju cirkulaciju zraka u peći. Osušene daske se ocjenjuju, mjeri se vlažnost drva te se svi nedostaci koji smanjuju čvrstoću elementa označavaju i uklanjaju. Na krajevima lamela se narezuju zupci te se uzdužno lijepe do potrebne duljine elementa nakon čega slijedi očvršćavanje ljepila. Nakon toga se lamele blanaju, a lijepilo se ravnomjerno raspoređuje na horizontalne površine lamela.



Slika 1.3 Proces proizvodnje lijepljenog lameliranog drva [8]

Broj lamela ovisi o potrebnoj visini nosača koji se proizvodi. Raspored slojeva može biti homogeni ili kombinirani. Homogeno lijepljeno laminirano drvo sastoji se od slojeva iste klase čvrstoće, dok se kombinirani raspored sastoji od laminacija različite čvrstoće. Kod kombinirane lamelirane građe, lamele većih čvrstoća se nalaze na vanjskim rubovima grede kako bi se preuzela veća naprezanja koja se nalaze na rubovima.

Elementi se pritišću i ostaju pod opterećenjem do očvršćavanja ljepila. Konačno, lijepljena lamelirana građa se blanja kako bi se s površina uklonilo očvršlo ljepilo i premazuje se zaštitnim slojevima boje. Nakon sušenja se elementi omataju u folije kako bi se tijekom transporta održala zahtijevana razina vlažnosti drva [9].

Prednosti lijepljenog lameliranog drva u odnosu na piljenu građu su veće mehaničke karakteristike (modul elastičnosti i čvrstoća), veće dimenzije poprečnih presjeka i veće duljine elemenata. Naprezanja pri kojima dolazi do loma uslijed tlačne sile paralelne s vlakancima jednaka su naponima loma najviših klasa betona koje se danas upotrebljavaju u graditeljstvu. Normalni naponi loma drveta kreću se u granicama od 40,0 do 80,0 MPa zavisno o vrsti drva (četinari ili listače). Kada je u pitanju vlačna čvrstoća onda se drvo može uspoređivati i sa nekim metalima jer rezultati ispitivanja pokazuju da do loma epruvete od drva bez greške dolazi i pri naponu od 180 MPa.

Zbog dobrih karakteristika lijepljenog lameliranog drva moguće je izvođenje konstrukcija raspona čak i preko 100 m. [10].

1.3. Križno lamelirano drvo

Križno lamelirano drvo (CLT) je prvi put proizvedeno u Austriji i Njemačkoj te od tada njegova popularnost raste u Europi, ali i svijetu. Korištenje križno lameliranih drvenih ploča za predgotovljene zidne panele i ploče omogućava visoku točnost dimenzija elemenata, a otvori za prozore i vrata mogu biti izrezani tijekom proizvodnje pomoću CNC (Computer numerical Controlled) strojeva. Proizvodnje CLT panela je jednostavna kao te je moguća laka obrada običnim alatima. Križno lamelirano drvo posjeduje dobra toplinska svojstva te pokazuje vrlo dobro ponašanje kod djelovanja požara [11]. Slika 1.5 prikazuje primjer križno lamelirane ploče.

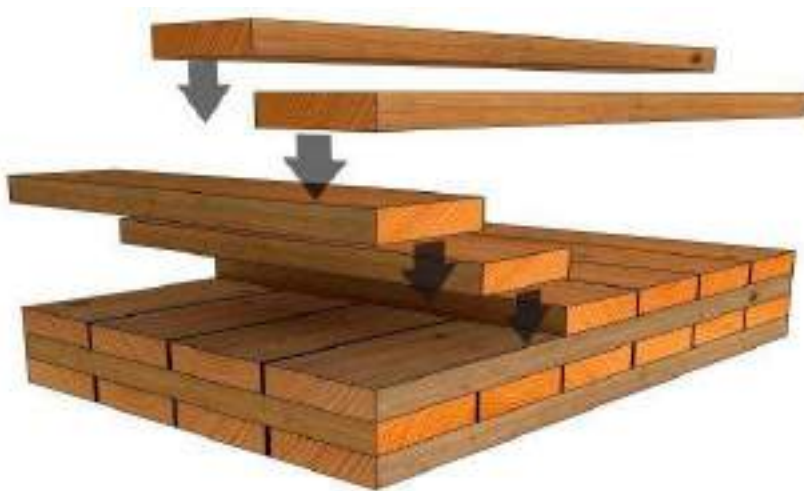


Slika 1.4 Panel od križno lijepljenog lameliranog drva [12]

CLT je kvazi kruti kompozit, drveni proizvod nalik pločama koji je obično sastavljen od neparnog broja slojeva (najčešće tri, pet ili sedam slojeva). Ploča se sastoji od dasaka sastoji od poprečno zalijepljenih slojeva drvenih ploča, postavljenih jedna na drugu pod kutom od 90° kao što je prikazano na slici 1.6. Ovisno o namjeni i statičkim zahtjevima, CLT ploče mogu imati 3, 5, 7 ili više pojedinačnih ploča. Širina pojedinačnih ploča obično varira između 80 i 240 mm, a debljina između 10 i 40 mm. Konačni oblik i veličina križno lameliranih ploča ograničeni su proizvodnjom, mogućnostima prijevoza i vertikalnog transporta.

CLT paneli su izrađeni u tvornici prema konstrukcijskim nacrtima zajedno s otvorima za prozore, vrata i stubišta, dovezeni do mjesta ugradnje gdje se spajaju jednostavnim i brzima vezama. Izolacija i fasadni elementi mogu se lako povezati s drvenim pločama. Za razliku od okvirnih drvenih konstrukcija gdje je pojedinačna drveni klinovi odgovorni za prijenos

vertikalnih opterećenja, upotreba masivnih drvenih ploča omogućuje prijenos velikih vertikalnih opterećenja te jamči visoku krutost i robusnost ovakvih konstrukcija. Druge glavne prednosti ovakvih sustava gradnje su izvrsna toplinska izolacija i nepropusnost zraka. Korištenje velikih drvenih ploča je povoljno i u slučaju požara jer je opasnost od širenje vatre šupljinama smanjeno u odnosu na okvirne konstrukcije. Međutim, velike drvene ploče povećavaju požarno opterećenje u prostoriji [13].



Slika 1.5 Raspored slojeva u križno lameliranom drvu [14]

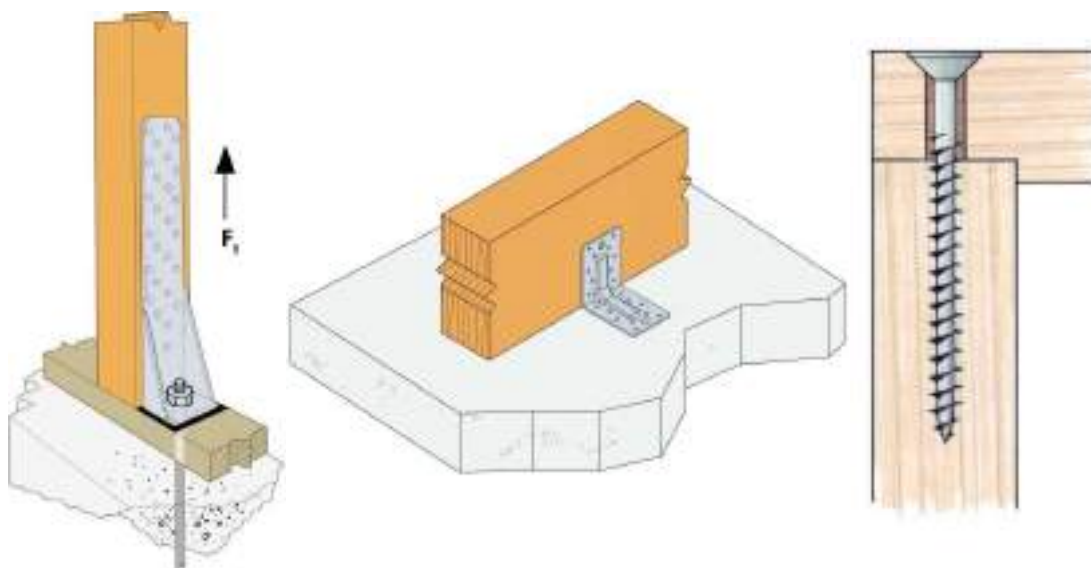
Ovako izrađene ploče mogu podnijeti opterećenja u ravnini i izvan nje, noseive su u dva smjera, imaju povećanu posmičnu otpornost u ravnini elemenata i imaju smanjen utjecaj skupljanja i bubrenja drva koji su rezultat promjena vlažnosti [4]. Uobičajene dimenzije CLT-a su dužine do 18 m (ili čak 30 m), širine do 3,0 m (ili čak 4,8 m), a debljina rijetko iznad 300 – 400 mm. [15]. Križno lamelirano drvo je proizvod koji je zbog svoje svestranosti izuzetno pogodan za višeetažne zgrade. S duljinama do 16 metara i mogućnošću proširenja mehaničkim ili lijepljenim spojevima, širinama do 2,5 metra, ovisno o proizvođaču i debljinama do 500 mm, danas se na tržištu može naći gotovo svaki potreban oblik. [4].

Prednosti križno lameliranog drva su:

- korištenje prirodnog i održivog građevinskog materijala,
- pogodna klima u unutrašnjim prostorima,
- različite mogućnosti arhitektonskog oblikovanja,
- dobar omjer vlastite težine i nosivosti,
- nisu potrebne skele ili nosači za postavljanje,

- dostupna je dokumentacija za funkcije građevinske fizike (vatrootpornost, zvučna izolacija, toplinska izolacija...) u obliku općih informacija i podataka o određenim proizvodima [16],
- visoka stabilnost i dobra mehanička svojstva, dobra toplinska izolacija, i prilično dobro ponašanje u slučaju potresa ili požara,
- CLT ploče imaju visoku čvrstoću i krutost neovisno o kvaliteti drva što omogućuje primjenu drva srednje niskih razreda,
- sustav pokazuje duktilnost i sposobnost disipacije energije neovisno o rasporedu spojeva,
- CLT sustav može se primjenjivati za prizemnici isto kao i za višekatne zgrade,
- proces gradnje je vrlo brz,
- moguća je gradnja i bez visokokvalificiranih radnika[17].

Križno lamelirani paneli se mogu koristiti za pločaste elemente kao što su zidovi i stropne ploče. Glavna prednost je brzina postavljanja jer su sve ploče unaprijed izrađene u tvornici, izrezane po mjeri i isporučene na gradilište te se na gradilištu spajaju pomoću metalnih spajala (držači, kutnici, vijci i sl. koji su prikazani na slici 1.7). Držači i kutnici se koriste za povezivanje zidne ploče s podnim pločama ili temeljima, dok se vijci koriste za spojeve zidnih ploča i za povezivanje susjednih stropnih ploča. Držači i kutnici se na elemente pričvršćuju pomoću čavala ili vijaka.[18].



Slika 1.4 Primjer držača, kutnika i vijka [19–21]

1.4. Ljepila

Ljepila su najbitniji dio u lijepljenu pojedinih lamela, drvenih spojeva i lijepljeno lameliranih blokova. Ranije korištene tehnologije lijepljenja su omogućavale primjenu lijepljenog lameliranog drva samo u prostorima niske vlažnosti zraka jer se ljepila nisu smatrala otpornima na vlagu. Daljnja istraživanja i tehnologije proizvodnje ljepila od sintetičkih smola koja su otporna na vodu, potaknula su upotrebu lijepljenog lameliranog drva u mostogradnji i drugim objektima koji su izloženi većoj vlažnosti zraka. U proizvodnji lijepljenog lameliranog drva najčešće se koriste fenolna i aminoplastična ljepila i jednokomponentna poliuretanska ljepila. Ta se ljepila mogu svrstati u dvije vrste, tip I i tip II, ovisno o njihovoj krajnjoj upotrebi u tri različite klase uporabivosti. Općenito, klasa uporabivosti 1 se obično opisuje kao zatvoreni okoliš kod kojeg prosječni sadržaj vlage u većini mekog drveta ne prelazi 12%, klasa uporabivosti 2 opisuje vanjski okoliš koji je natkriven kod kojeg prosječni udio vlage u većini mekog drveta ne prelazi 20%, a klasa uporabivosti 3 se odnosi na vanjske sredine s prosječnim udjelom vlage u drvu većim od 20%. Uobičajeno dostupna fenolna i aminoplastična ljepila su melamin formaldehid, melamin-urea formaldehid, fenol-resorcinol-formaldehid i urea-formaldehid [9]. Na slici 1.8 je prikazan postupak nanošenja ljepila na jednu lamelu lijepljenog lameliranog nosača.



Slika 1.5 Nanošenje ljepila na lamelu [22]

1.5. Drvene konstrukcije u požaru

Gorivost drva jedan je od glavnih razloga što građevinski propisi i standardi ograničavaju upotrebu drva kao građevinskog materijala. Sigurnost od požara važan je doprinos osjećaju sigurnosti i važan kriterij za odabir materijala prilikom gradnje objekata. Trenutna poboljšana znanja u području projektiranja drvenih konstrukcija u požaru, u kombinaciji s tehničkim mjerama, posebno sprinklerima i sustavima za detekciju dima te dobro opremljenim vatrogasnim službama, omogućuju sigurnu upotrebu drva u širokom području primjene. Kao rezultat toga, mnoge su zemlje počele revidirati protupožarne propise, dopuštajući tako veću upotrebu drva[23]. Zapaljivi građevinski materijali poput drva izgaraju na svojoj površini, oslobađaju energiju i tako doprinose širenju požara. Kada se na drvo primijeni dovoljna toplina, odvija se proces toplinske razgradnje (pirolize), popraćen gubitkom mase, pri čemu nastaju zapaljivi plinovi. Zatim se na površini drva formira ugljeni sloj površine izložene koji raste u dubinu elementa kako vatra napreduje, smanjujući dimenzije poprečnog presjeka drvenog elementa. Slika 1.15 prikazuje lijepljeno lameliranu gredu izloženu požaru.



Slika 1.6 Drveni nosač izložen požaru [24]

Sloj ugljena je dobar izolator i štiti ostatak presjeka od topline. Za drvene površine nezaštićene tijekom cijelog izlaganja vatri, brzina pougljenja može se pretpostaviti konstantnom u vremenu. Istraživanja su pokazala da ponašanje križno lameliranih ploča u požaru uvelike ovisi o ponašanju ljeplja koje se koristi za lijepljenje križno lameliranih ploča. Križno lamelirane ploče s debljim lamelama su pokazale bolje ponašanje u požaru od ploča s tanjim lamelama u slučaju kada zaštitni ugljeni sloj otpadne.[13]. Drvo u požaru gori. Međutim, drvo pri gorenju ne mijenja bitno svoja mehanička svojstva i to je kvalitativna razlika u odnosu na beton i čelik.

Pretvaranje drva u sloj ugljena teče vrlo sporo 0,4-0,8 mm/min. To znači da pri velikim požarnim temperaturama za vrijeme od 1 sata drveni nosač izgubi 4 cm po svom opsegu. Kod velikih poprečnih presjeka kakvi su u pravilu presjeci u lijepljenom lameliranom drvu ovo oslabljenje dimenzija ne predstavlja veliku opasnost od urušavanja konstrukcije [10].

2. Tehnički opis

2.1. Tehnički opis

Predmet ovog diplomskog rada je statički proračun drvene krovne konstrukcije edukacijskog centra sa sportskom halom. Centar se nalazi na području grada Zagreba i oblika je trobrodne hale sa promjenjivom visinom stropa. Dijelovi od kojih se centar sastoji su: tri sportske dvorane, tehnički prostor, svlačionice i teretana u prizemlju, te edukacijski dio na prvom katu. Tlocrtne dimenzije edukacijskog centra sa sportskom halom su 167.20x48.80 m, dok je visina konstrukcije od donje kote temelja do najviše točke 25.10 m.

Krovna konstrukcija se sastoji od zakrivljenih lijepljenih lameliranih drvenih nosača koji se protežu u dva ortogonalna pravca i čine prostorni sustav. Glavni nosači su dimenzija $h/b = 168/25$ cm i tlocrtne duljine 48 400 cm, dok su sekundarni nosači projektirani u segmentima duljina od 608 do 400 cm i dimenzija poprečnog presjeka $h/b = 100/20$ cm. Između segmenata sekundarnog nosača ostvarena je upeta veza. Elementi ukrute krovne konstrukcije su toplovaljani čelični profili SHS 200x10, kvalitete čelika S355.

Krovna konstrukcija oslanja se na AB zidove i stupove. Zidovi su debljina $d=70$ cm i promjenjivih visina, dok su stupovi poprečnih presjeka $h/b = 50/50$ i $120/80$ cm. Grede su dimenzija poprečnog presjeka $h/b= 50/50$ i $70/70$ cm. Međukatna ploča je debljine $d=30$ cm. Proračun AB elemenata nije obuhvaćen ovim diplomskim radom

Statički proračun napravljen je u software-u Dlubal RFEM 6.03, dok je analiza opterećenja vjetra napravljena u software-u RWIND 2.03.



Slika 2.1 Prikaz južne fasade objekta na stvarnoj lokaciji



Slika 2.2 Prikaz sjeverne fasade objekta na stvarnoj lokaciji



Slika 2.3 Pogled na krovnu konstrukciju iz žablje perspektive

3. Analiza opterećenja

3.1. Vlastita težina

Vlastita težina nosivih elemenata konstrukcije uzeta je automatski u obzir u software-u Dlubal RFEM 6.03

3.2. Dodatno stalno opterećenje

Opterećenje instalacija je raspodijeljeno na drvene krovne nosače i iznosi $g_{inst,k} = 0.5 \text{ kN/m}$

Težina pokrova sendvič panela iznosi $g_{pokrov,k} = 0.15 \text{ kN/m}^2$. U software-u je uzeta u obzir dodavanjem težine površini za prijenos opterećenja („load transfer surface“) te je ubrojana u slučaj opterećenja vlastite težine

3.3. Uporabno opterećenje krova

Uporabno opterećenje krova odabrano je prema preporuci iz [25,26] i iznosi $q_k = 0.8 \text{ kN/m}^2$

3.4. Djelovanje snijega

Opterećenje snijegom na krovu je promjenjivo djelovanje koje se određuje pomoću izraza:

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

Pri čemu je:

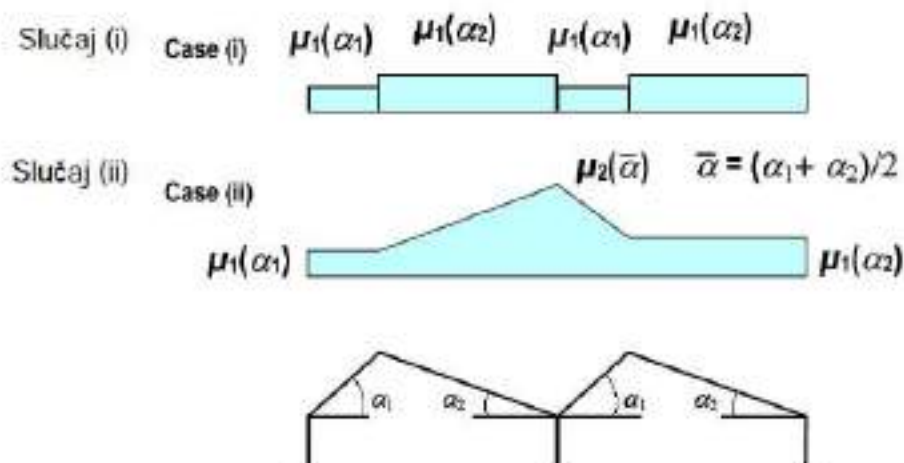
- sk karakteristično opterećenje snijegom na tlu. Ovisi o geografskoj lokaciji (klimatskoj zoni i nadmorskoj visini). Za grad Zagreb (lokacija konstrukcije – zona III), karakteristično opterećenje snijegom na tlu iznosi $s = 1,25 \text{ kN/m}^2$, a očitava se prema Tablici 1 i karte sa Slike 3.1,
- μ_i koeficijent oblika opterećenja snijegom ovisi o nagibu i obliku krovne plohe prema Tablici 2 i Slici 3.2.,
- C_e koeficijent izloženosti uzima u obzir složene uvjete puhanja vjetra. Za uobičajen oblik terena, na mjestu lokacije konstrukcije, koeficijent izloženosti se uzima sa vrijednosti $C_e = 1$ prema Tablici 5.1 norme [27]
- C_t toplinski koeficijent zagrijavanja krovne plohe, a uzima u obzir termičku izolaciju krova i postojanje krovnih grijača. Za krovove bez grijača za otapanje snijega, preporučena vrijednost toplinskog koeficijenta je $C_t = 1$.

Tablica 1. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine [28]

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m ²]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m ²]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m ²]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m ²]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1 000	2,00	4,00	3,50	5,00
1 100	3,00	5,00	4,00	5,50
1 200	4,00	6,00	4,50	6,00
1 300	5,00	7,00		7,00
1 400	6,00	8,00		8,00
1 500		9,00		9,00
1 600		10,00		10,00
1 700		11,00		11,00
1 800		12,00		

Tablica 2. Koeficijenti oblika opterećenja snijegom [27]

Kut nagiba krova α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha / 30$	1,6	–



Slika 3.2 Koeficijenti oblika opterećenja snijegom za višeraspanske krovove [27]

$$s = 1.25 \text{ kN/m}^2$$

Ravni dio krova:

Kut nagiba krova:

$$\alpha_1 = 0^\circ$$

Koeficijent oblika opterećenja snijegom:

$$\mu_1 = 0.8$$

Opterećenje snijegom na ravni dio krova:

$$s_k = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s = 1.00 \text{ kN/m}^2$$

Udolina:

Kut nagiba krova:

$$\alpha_1 = 40^\circ$$

$$\alpha_2 = 47^\circ$$

$$\bar{\alpha} = 43.5^\circ$$

Koeficijent oblika opterećenja snijegom:

$$\mu_2 = 1.6$$

Opterećenje snijegom na ravni dio krova:

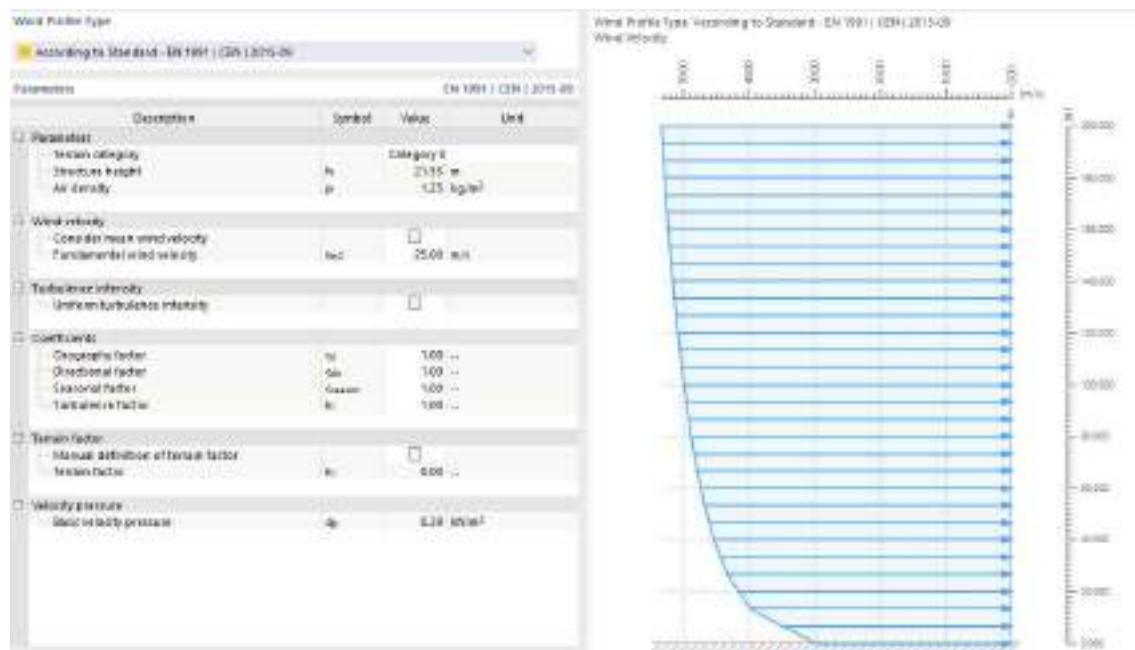
$$s_k = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

3.5. Djelovanje vjetra

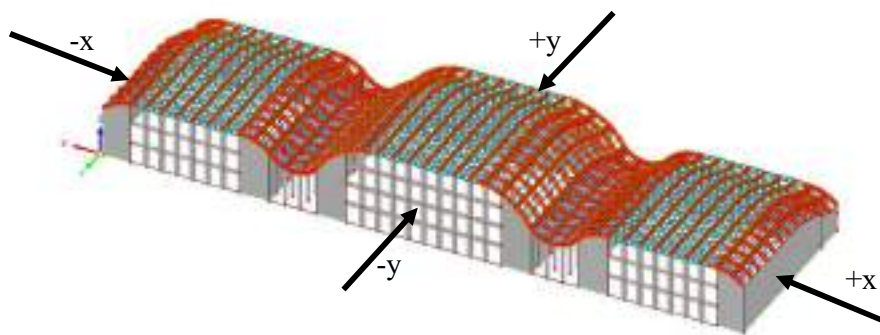
Zbog nepravilnog oblika krova edukacijskog centra, djelovanje vjetra određeno je pomoću simulacije vjetrovnog tunela u software-u RWIND 2.03. Ulazni podatak osnovne brzine vjetra očitana je sa karte vjetrovnih područja republike Hrvatske prikazanih na slici 3.3, za grad Zagreb iznosi $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$, dok su ostali podaci proračunati unutar software-a RFEM 6.03.



Slika 3.3 Osnovna brzina vjetra $v_{b,0}$ [29]



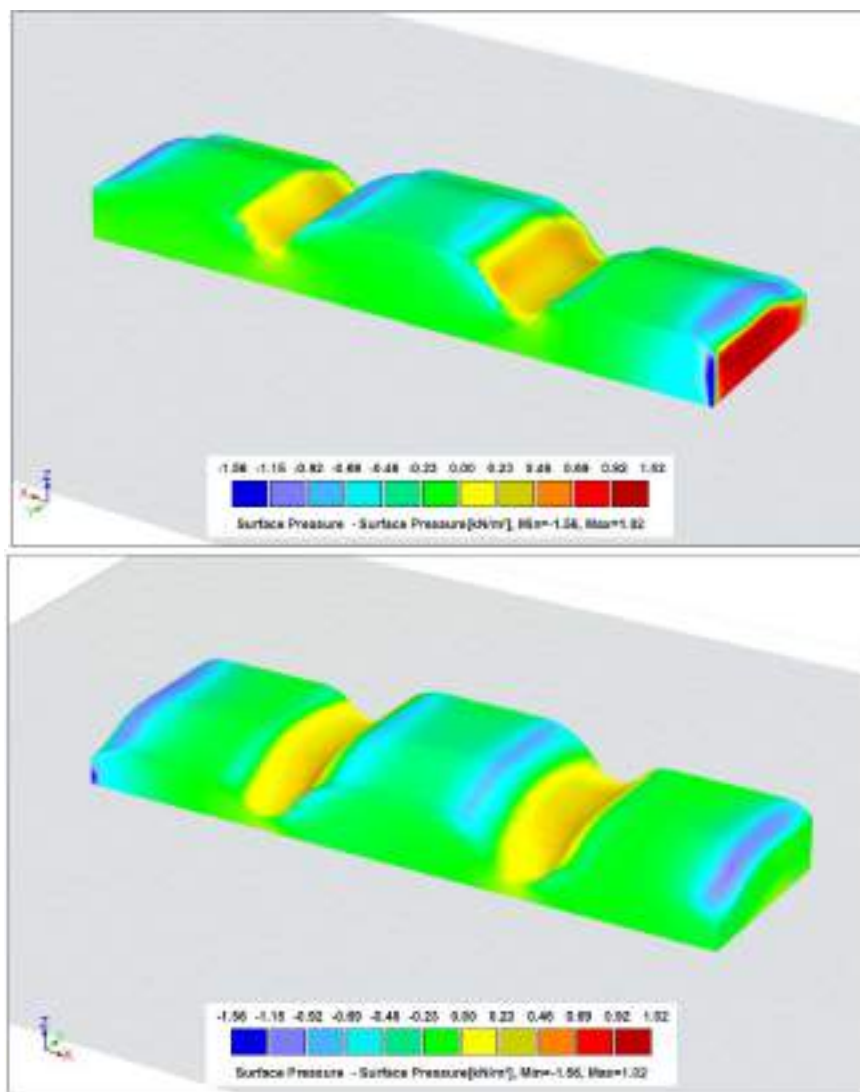
Slika 3.4 Ulazni parametri za simulaciju vjetrovnog tunela



Slika 3.5 Smjerovi djelovanja vjetra na konstrukciju

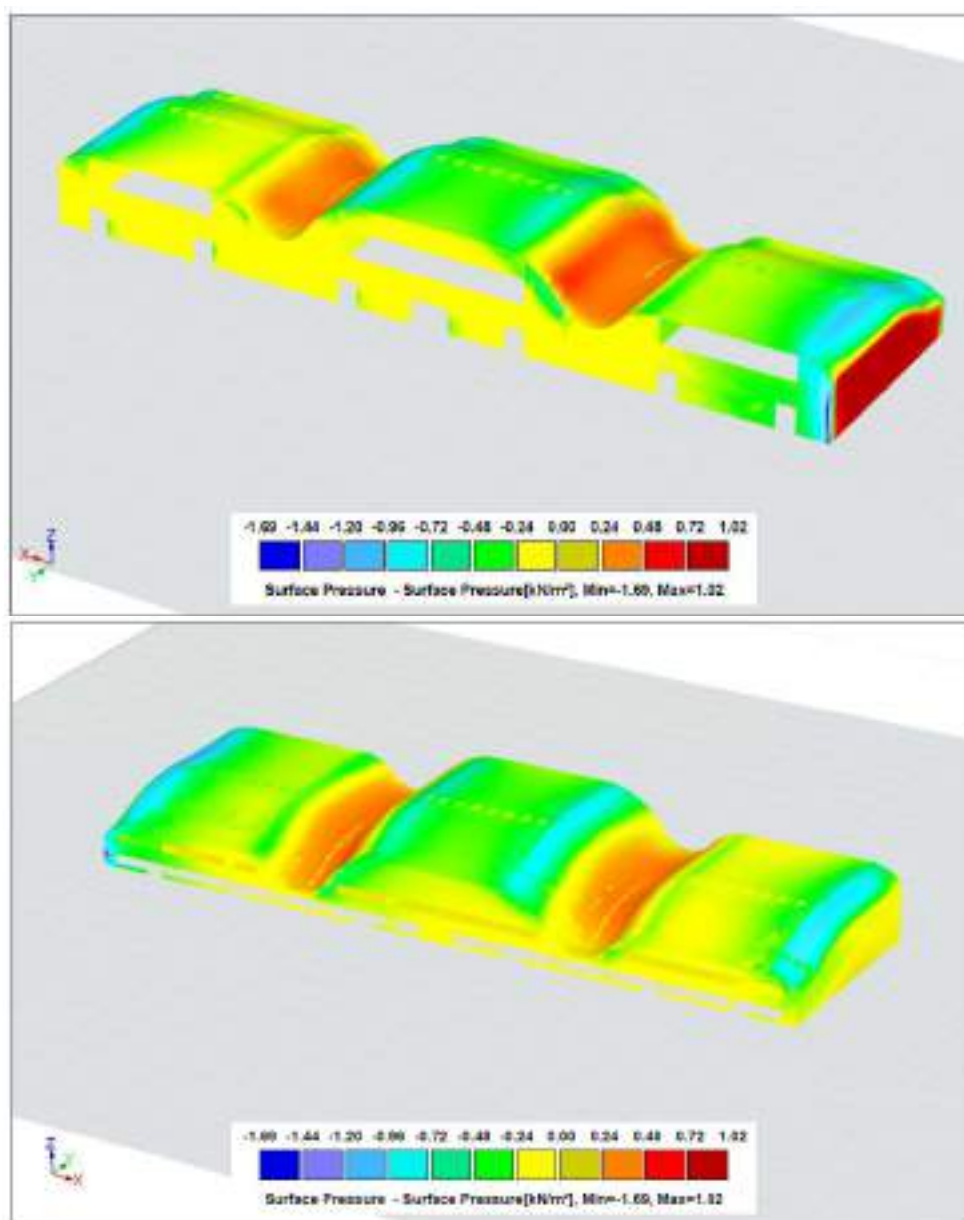
Obuhvaćeno je ukupno 12 slučajeva opterećenja:

1. Vjetar djeluje u (+x) smjeru i konstrukcija je potpuno zatvorena



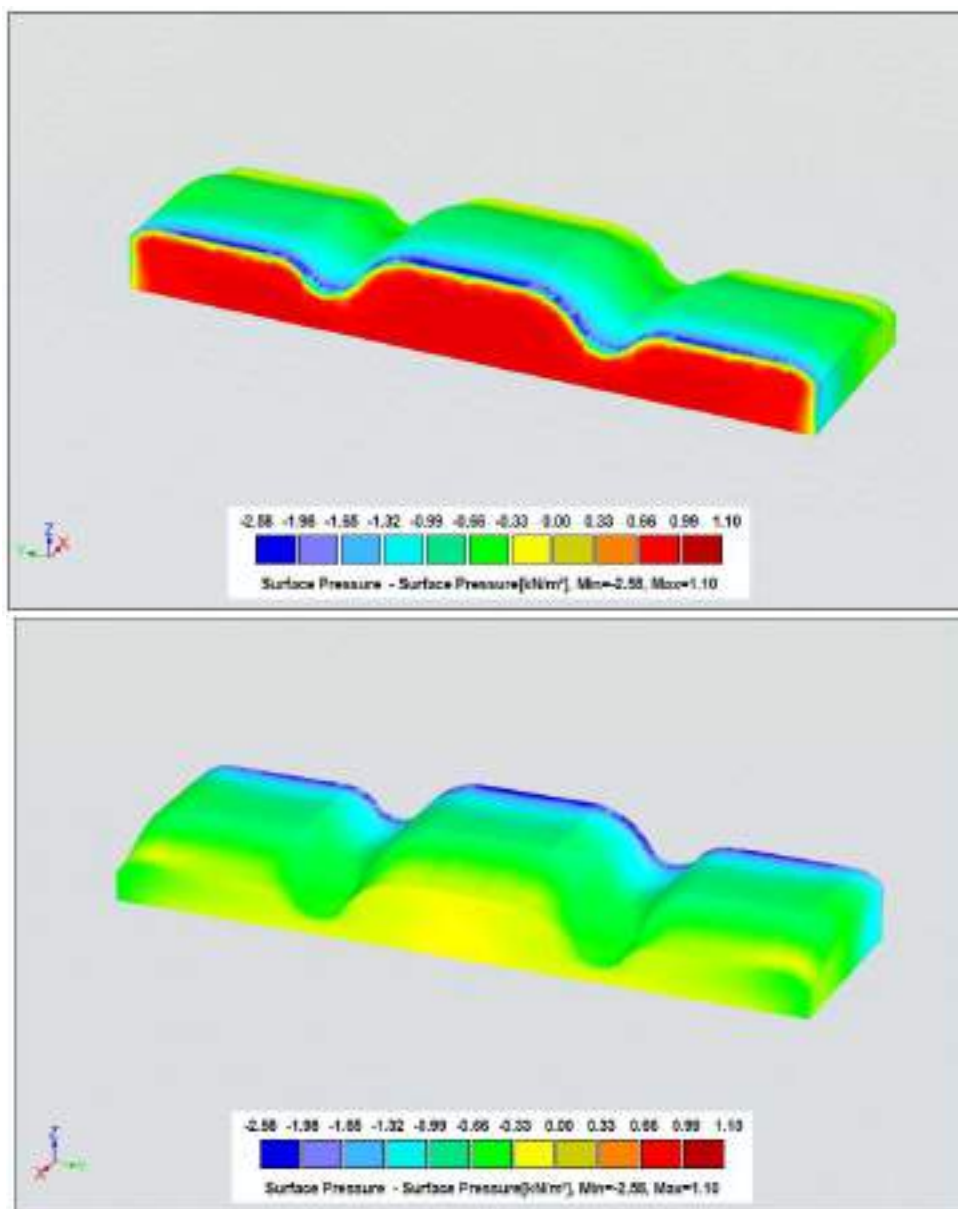
Slika 3.6 Opterećenje vjetra za slučaj 1 u kN/m^2

2. Vjetar djeluje u (+x) smjeru i konstrukcija je potpuno otvorena



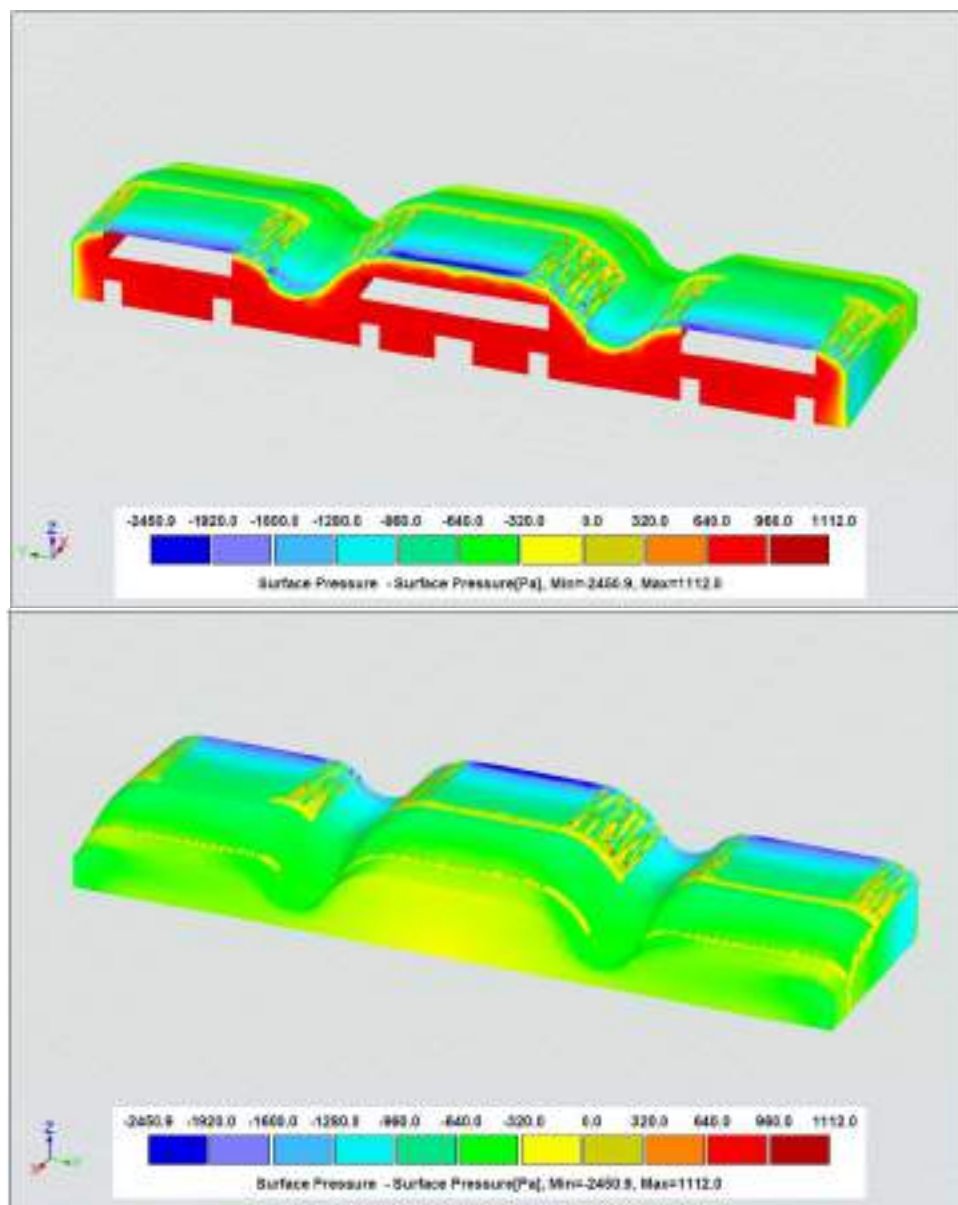
Slika 3.7 Opterećenje vjetra za slučaj 2 u kN/m^2

3. Vjetar djeluje u (-y) smjeru i konstrukcija je potpuno zatvorena



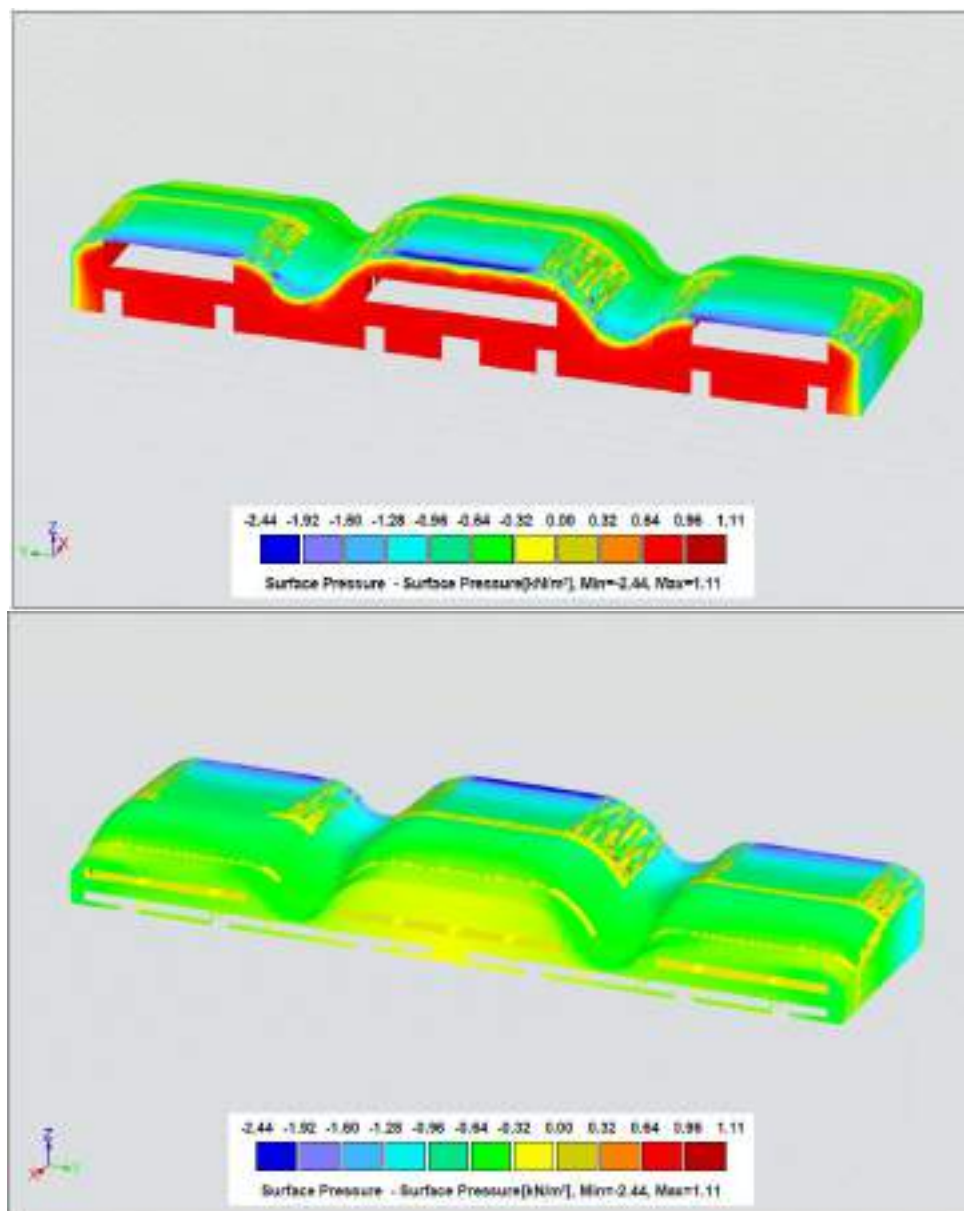
Slika 3.8 Opterećenje vjetra za slučaj 3 u kN/m^2

4. Vjetar djeluje u (-y) smjeru i konstrukcija je otvorena na strani djelovanja vjetra



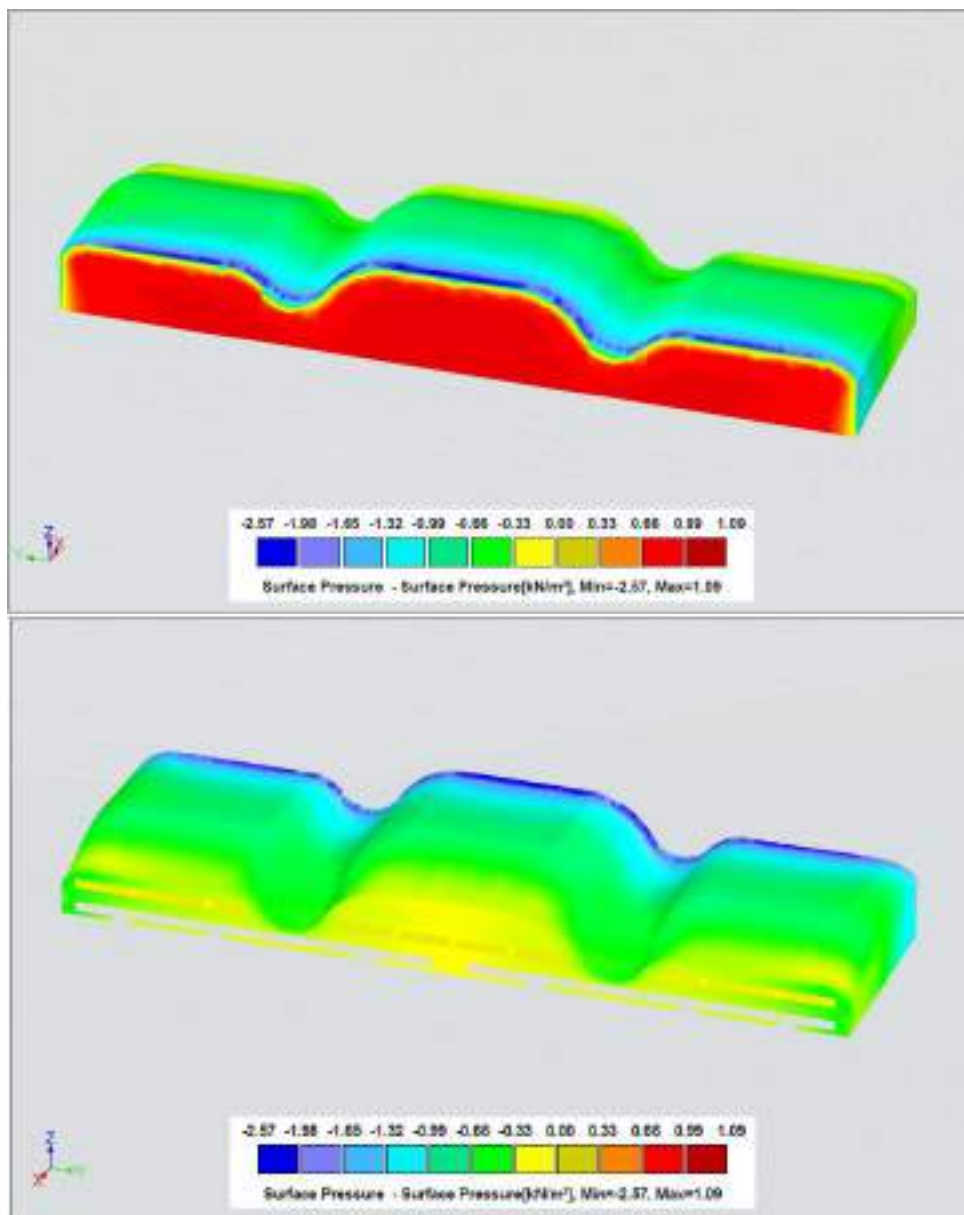
Slika 3.9 Opterećenje vjetra za slučaj 4 u kN/m^2

5. Vjetar djeluje u (-y) smjeru i konstrukcija je potpuno otvorena



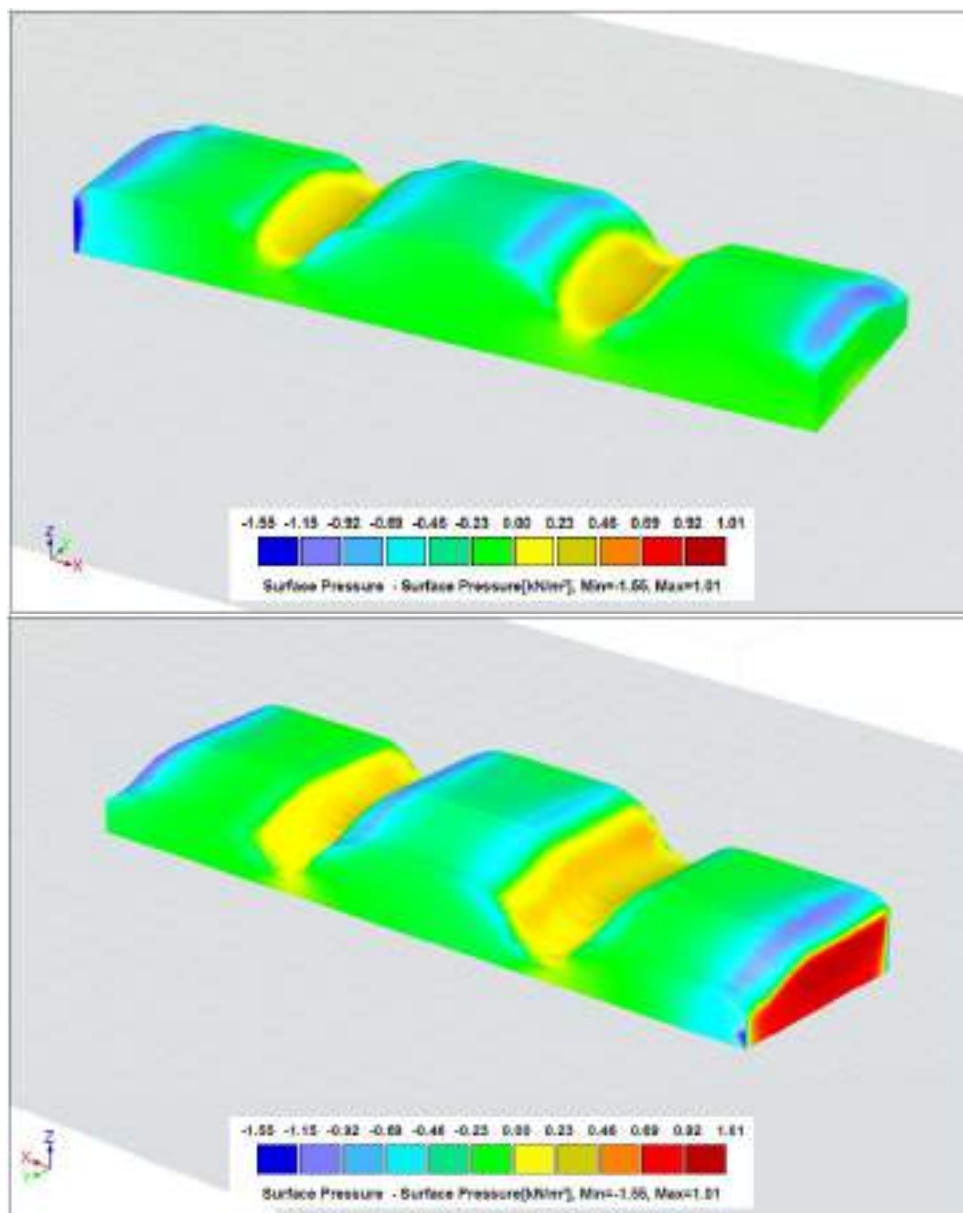
Slika 3.10 Opterećenje vjetra za slučaj 5 u kN/m^2

6. Vjetar djeluje u (-y) smjeru i konstrukcija je otvorena na suprotnoj strani od djelovanja vjetra



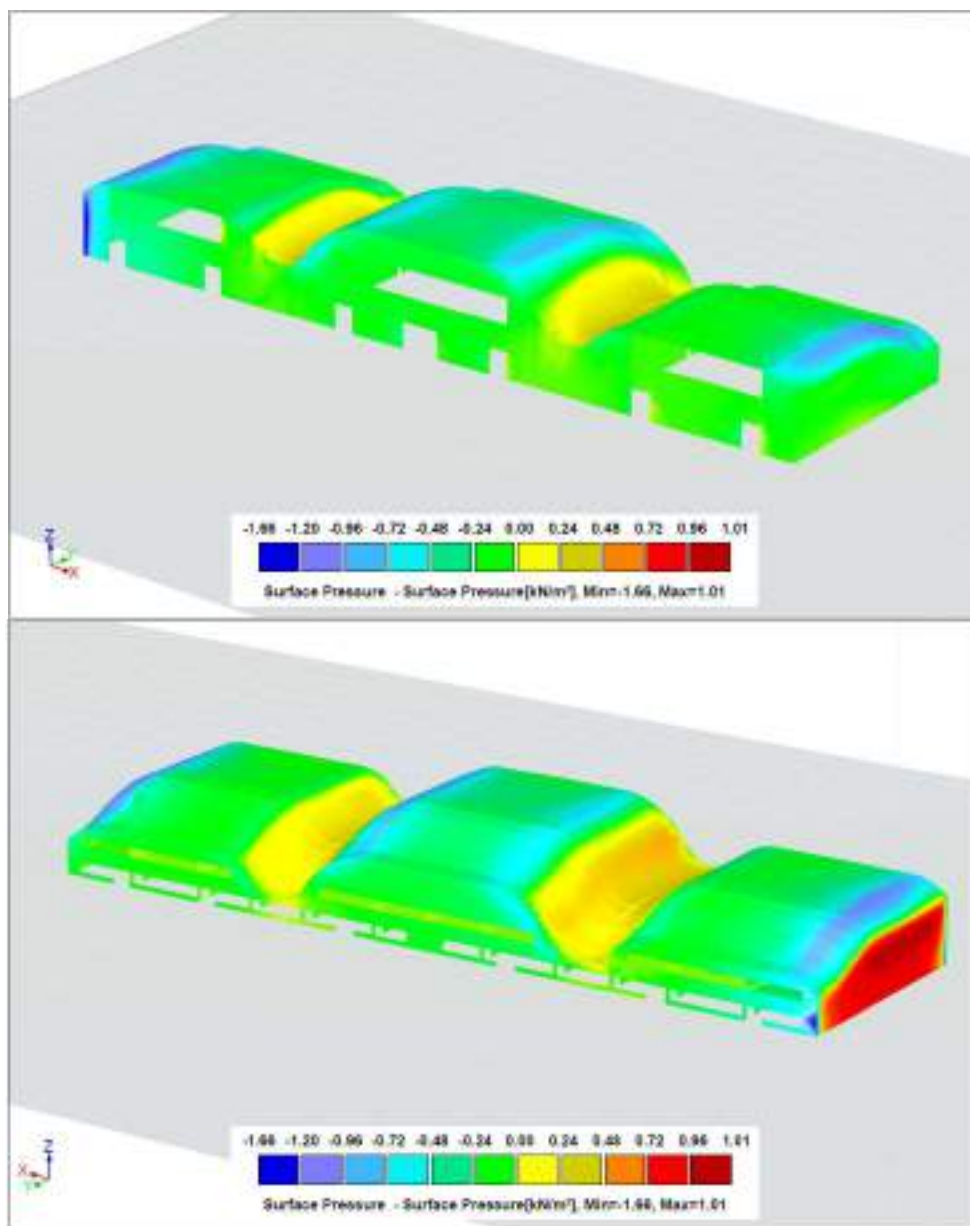
Slika 3.11 Opterećenje vjetra za slučaj 6 u kN/m^2

7. Vjetar djeluje u (-x) smjeru i konstrukcija je potpuno zatvorena



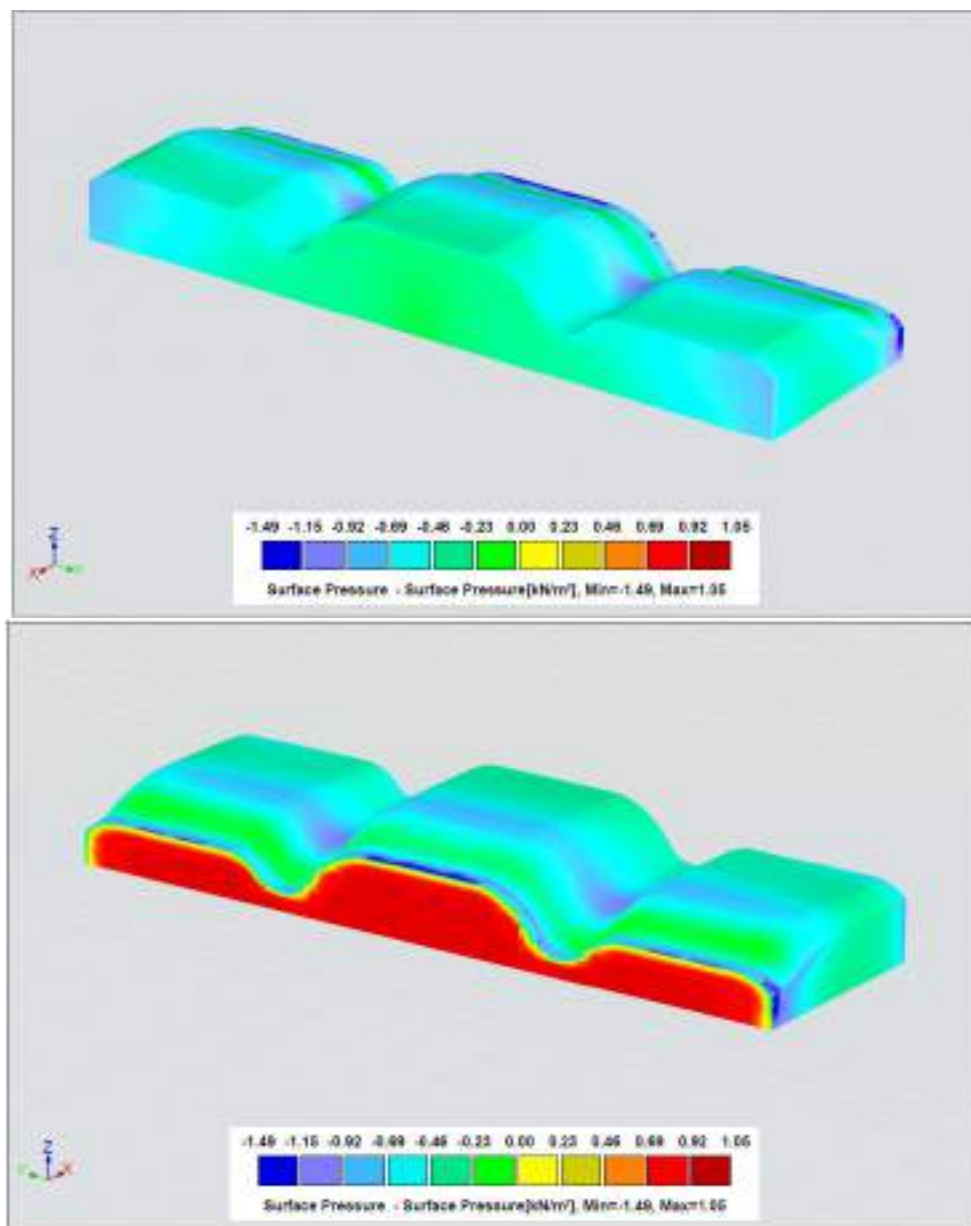
Slika 3.12 Opterećenje vjetra za slučaj 7 u kN/m^2

8. Vjetar djeluje u (-x) smjeru i konstrukcija je potpuno otvorena



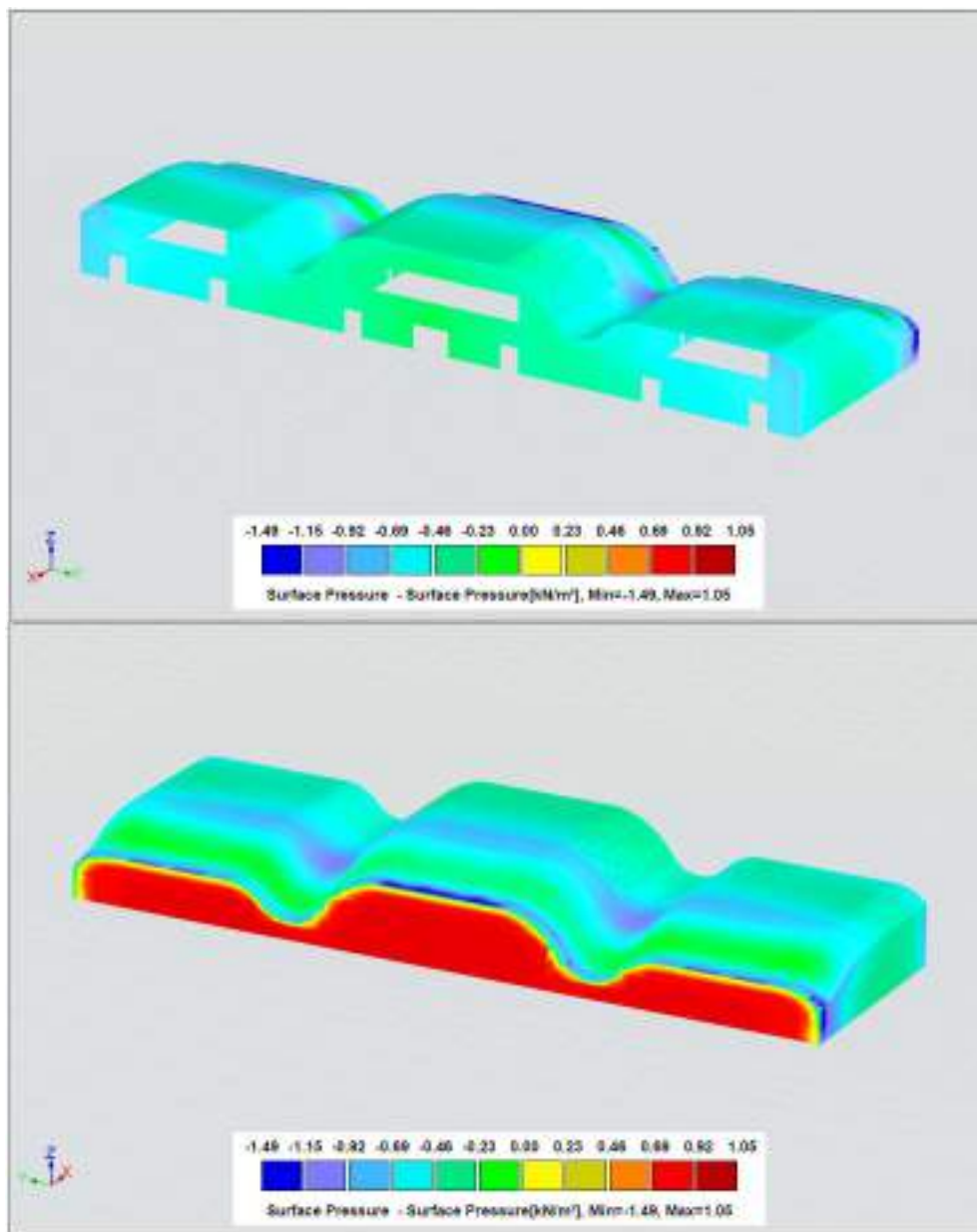
Slika 3.13 Opterećenje vjetra za slučaj 8 u kN/m^2

9. Vjetar djeluje u (+y) smjeru i konstrukcija je potpuno zatvorena



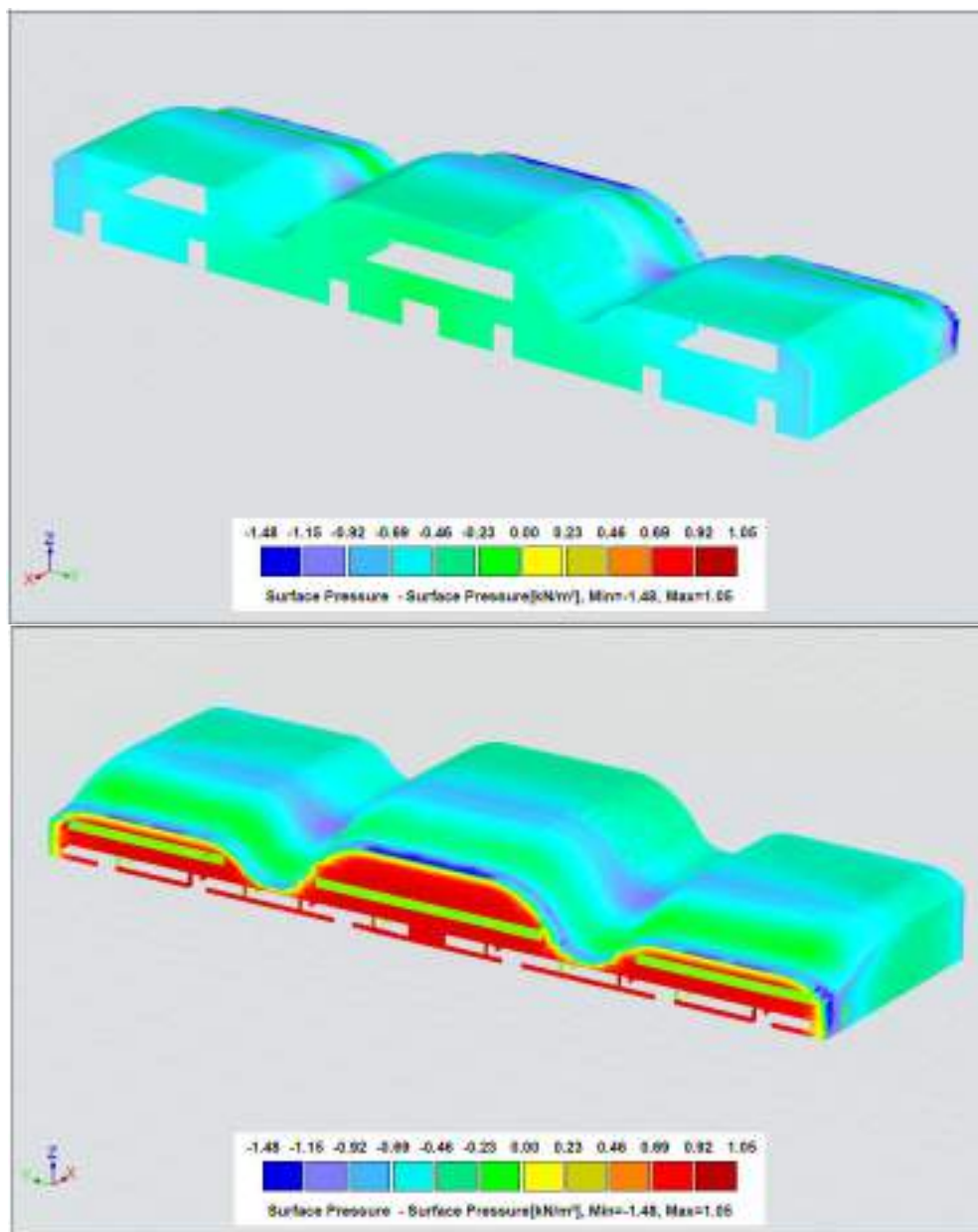
Slika 3.14 Opterećenje vjetra za slučaj 9 u kN/m^2

10. Vjetar djeluje u (+y) smjeru i konstrukcija je otvorena na suprotnoj strani od djelovanja vjetra



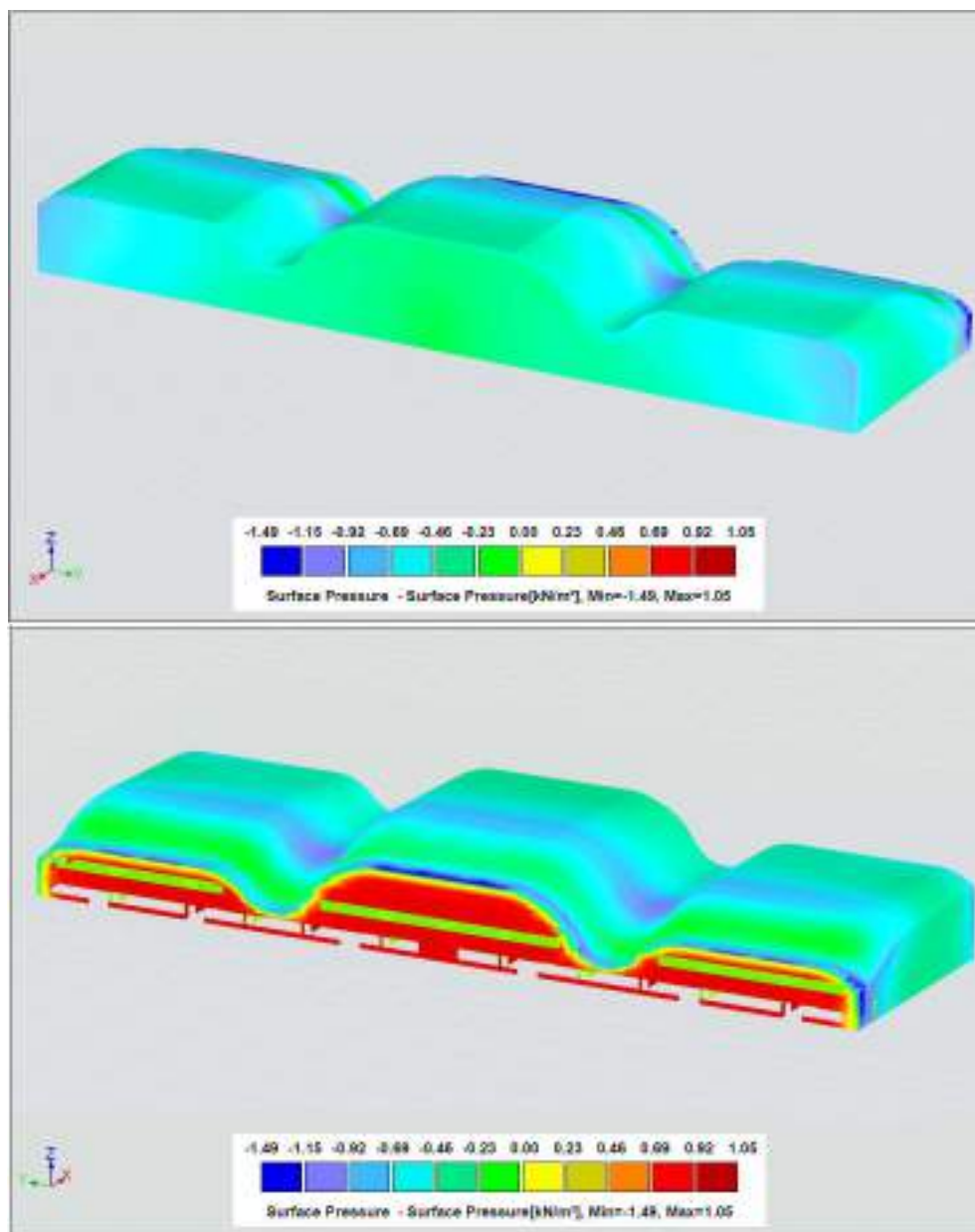
Slika 3.15 Opterećenje vjetra za slučaj 10 u kN/m^2

11. Vjetar djeluje u (+y) smjeru i konstrukcija je potpuno otvorena



Slika 3.16 Opterećenje vjetra za slučaj 11 u kN/m^2

12. Vjetar djeluje u (+y) smjeru i konstrukcija je otvorena na strani djelovanja vjetra



Slika 3.17 Opterećenje vjetra za slučaj 12 u kN/m^2

3.6. Djelovanje potresa

Preliminarnom analizom opterećenja utvrđeno je da potres nije mjerodavno opterećenje za dimenzioniranje elemenata krovne konstrukcije te nije uzeto u obzir u daljnjoj analizi.

Tablica 3. Slučajevi opterećenja

Load Case	Name	Analysis Type	Static Analysis Settings	N 1990 Timber CEN 2010-01 Action Category	Self-Weight Factor in	X	Y	Z	Load Duration
LC1	vlastita težina	Static Analysis	SA1 - Geometrically linear	Permanent	+	0.000	0.000	-1.000	Permanent
LC2	dodatno stalno	Static Analysis	SA1 - Geometrically linear	Permanent/Imposed	-				Permanent
LC3	uporabno krova	Static Analysis	SA1 - Geometrically linear	Imposed loads - category H: roof	-				Short-term
LC4	snijeg	Static Analysis	SA1 - Geometrically linear	Snow/Ice loads - H ≤ 1000 m	-				Short-term
LC5	vjetar u smjeru (+x) - slučaj 1	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC6	vjetar u smjeru (+x) - slučaj 2	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC7	vjetar u smjeru (-y) - slučaj 3	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC8	vjetar u smjeru (-y) - slučaj 4	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC9	vjetar u smjeru (-y) - slučaj 5	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC10	vjetar u smjeru (-y) - slučaj 6	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC11	vjetar u smjeru (-x) - slučaj 7	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC12	vjetar u smjeru (-x) - slučaj 8	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC13	vjetar u smjeru (+y) - slučaj 9	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC14	vjetar u smjeru (+y) - slučaj 10	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC15	vjetar u smjeru (+y) - slučaj 11	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term
LC16	vjetar u smjeru (+y) - slučaj 12	Wind Simulation	SA1 - Geometrically linear	Wind					Short-term

Tablica 4. Kombinacije opterećenja za granično stanje nosivosti

Load Combin.	Name	Design Situation	LC.1		LC.2		LC.3		LC.4	
			Factor	No.	Factor	No.	Factor	No.	Factor	No.
CO1	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC3	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC3	1.00	
CO2	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	1.00	
CO3	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC5
CO4	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC6
CO5	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC7
CO6	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC8
CO7	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC9
CO8	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC10
CO9	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC11
CO10	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC12
CO11	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC13
CO12	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	1.50	LC14
CO13	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC15
CO14	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4 + 0.90	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	0.90	LC16
CO15	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC5
CO16	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC6
CO17	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC7
CO18	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC8
CO19	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC9
CO20	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC10
CO21	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC11
CO22	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC12
CO23	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC13
CO24	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC14
CO25	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC15
CO26	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 0.75 * LC4 + 1.50	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	0.75	LC4	1.50	LC16
CO27	1.35 * LC1 + 1.35 * LC2 + 1.50 * LC4	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.35	LC1	1.35	LC2	1.50	LC4	1.00	
CO28	LC1 + LC2 + 1.50 * LC5	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC5	1.00	
CO29	LC1 + LC2 + 1.50 * LC6	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC6	1.00	
CO30	LC1 + LC2 + 1.50 * LC7	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC7	1.00	
CO31	LC1 + LC2 + 1.50 * LC8	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC8	1.00	
CO32	LC1 + LC2 + 1.50 * LC9	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC9	1.00	
CO33	LC1 + LC2 + 1.50 * LC10	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC10	1.00	
CO34	LC1 + LC2 + 1.50 * LC11	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC11	1.00	
CO35	LC1 + LC2 + 1.50 * LC12	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC12	1.00	
CO36	LC1 + LC2 + 1.50 * LC13	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC13	1.00	
CO37	LC1 + LC2 + 1.50 * LC14	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC14	1.00	
CO38	LC1 + LC2 + 1.50 * LC15	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC15	1.00	
CO39	LC1 + LC2 + 1.50 * LC16	DS1 - ULS (STR/GEO) - Permanent and transient	1.00	LC1	1.00	LC2	1.50	LC16	1.00	

4. Proračun graničnog stanja nosivosti

4.1. Dimenzioniranje glavnih nosača

4.1.1. Ulazni podaci

Geometrijske karakteristike nosača:

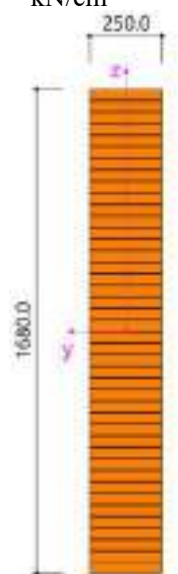
$h =$	168	cm	
$b =$	25	cm	
$A =$	4200	cm ²	
$I_y =$	9878400	cm ⁴	$W_y = 117600 \text{ cm}^3$
$I_z =$	218750	cm ⁴	$W_z = 17500 \text{ cm}^3$

Karakteristike materijala GL32h :

Karakteristične vrijednosti
čvrstoće, krutosti i gustoće:

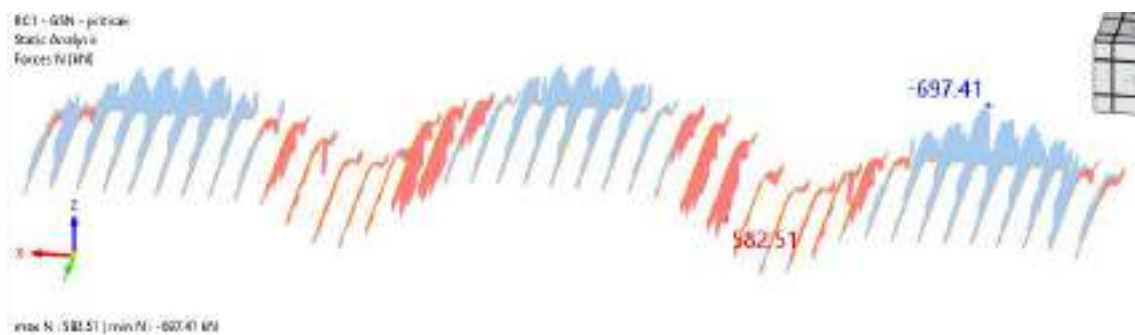
Proračunske vrijednosti čvrstoće:

		$k_{\text{mod}} =$	0.8	$\gamma_m =$	1.25	
$f_{m,k} =$	32.0	N/mm ²		$f_{m,d} =$	20.48	N/mm ² = 2.048 kN/cm ²
$f_{t,0,k} =$	25.6	N/mm ²		$f_{t,0,d} =$	16.38	N/mm ² = 1.638 kN/cm ²
$f_{t,90,k} =$	0.5	N/mm ²		$f_{t,90,d} =$	0.32	N/mm ² = 0.032 kN/cm ²
$f_{c,0,k} =$	32.0	N/mm ²		$f_{c,0,d} =$	20.48	N/mm ² = 2.048 kN/cm ²
$f_{c,90,k} =$	2.5	N/mm ²		$f_{c,90,d} =$	1.60	N/mm ² = 0.160 kN/cm ²
$f_{v,k} =$	3.5	N/mm ²		$f_{v,d} =$	2.24	N/mm ² = 0.224 kN/cm ²
$E_{0,\text{mean}} =$	14200	N/mm ²	=	1420	kN/cm ²	
$E_{0,05} =$	11800	N/mm ²	=	1180	kN/cm ²	
$G_{\text{mean}} =$	650	N/mm ²	=	65	kN/cm ²	
$\rho_k =$	440	kg/m ³				



Slika 4.1 Poprečni presjek glavnog nosača [mm]

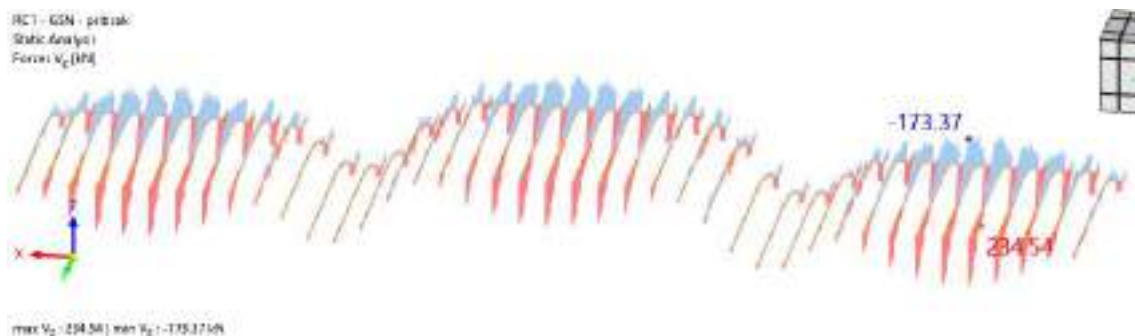
4.1.2. Dijagrami unutarnjih sila



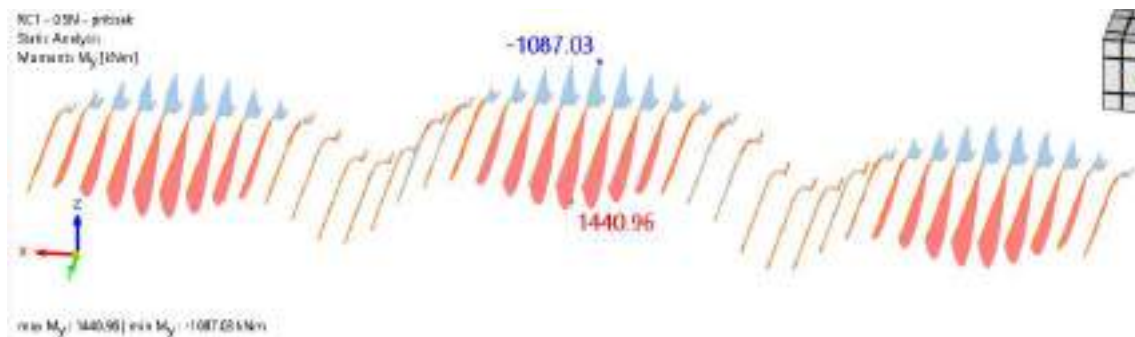
Slika 4.2 Dijagram uzdužnih sila N [kN]



Slika 4.3 Dijagram poprečnih sila V_y [kN]



Slika 4.4 Dijagram poprečnih sila V_z [kN]



Slika 4.5 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm]



Slika 4.6 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm]

Iz dijagrama unutarnjih sila može se zaključiti da se utjecaji poprečnih sila u smjeru y-osi V_y i momenata savijanja oko z-osi M_z mogu zanemariti.

4.1.3. Dokaz nosivosti elementa

Vlak paralelno s vlakancima

$$N_{ed} = 686.49 \text{ kN} \quad A = 4200 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A} = 0.163 \text{ kN/cm}^2 < f_{t,0,d} = 1.64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost:} \quad 10.0\%$$

Tlak paralelno s vlakancima

$$N_{ed} = 656.47 \text{ kN} \quad A = 4200 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.156 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,0,d} = 2.05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost:} \quad 7.6\%$$

Tlak okomito na vlakanca nad lijevim osloncem

$$V_{z,ed} = 192.23 \text{ kN} \quad l = 60 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.128 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,90,d} = 0.16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost:} \quad 80.1\%$$

Savijanje :

1. slučaj: ravni dio nosača

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$M_{y,Ed} = 1440.96 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 1.225 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{1.225}{2.048} = 0.598$$

$$\text{Iskoristivost:} \quad 59.8\%$$

2. slučaj: zakrivljeni dio nosača

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_i \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$k_i = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1.021$$

$$M_{y,Ed} = 1087.03 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 168 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 3000 \text{ cm} \quad r = 3084 \text{ cm}$$

$$t = 4 \text{ cm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha_{ap} = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha_{ap} - 7,8 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,6$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{za } r_{in}/t \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \cdot r_{in}/t & \text{za } r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = 771 \Rightarrow k_r = 1$$

$$\sigma_{m,d} = 0,944 \text{ kN/cm}^2 < 1 \cdot f_{m,d} = 2,048 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost: } 46.1\%$$

Tlak okomito na vlakanca na zakrivljenom dijelu nosača

$$M_{y,Ed} = 1087.03 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 122 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 3000 \text{ cm} \quad r = 3061 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{c,90cd}$$

$$k_{dis} = 1,4 \quad \text{za zakrivljene nosače zaobljenog ekstradosa i sedlaste nosače}$$

$$k_{dis} = 1,7 \quad \text{za sedlaste nosače pune statičke visine u zakrivljenom području (oštri prijelom ekstradosa u sliemenu)}$$

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{za puno drvo} \\ \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} & \text{za ljepljeno kanelirano drvo} \end{cases}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V = 1,629 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{c,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0126 \text{ kN/cm}^2 < 0,0809 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,014$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$\text{Iskoristivost: } 15,6\%$$

Vlak okomito na vlakanca na zakrivljenom dijelu nosača

$$M_{y,Ed} = 1087,03 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 122 \text{ cm}$$

$$r_m = 1775 \text{ cm} \quad r = 1836 \text{ cm}$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90cd}$$

$$k_{dis} = 1,4 \quad \text{za zakrivljene nosače zaobljenog ekstradosa i sedlaste nosače}$$

$$k_{dis} = 1,7 \quad \text{reducirane statičke visine u zakrivljenom području}$$

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{za puno drvo} \\ \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} & \text{za lijepljeno lamelirano drvo} \end{cases}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V = 1,362 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0154 \text{ kN/cm}^2 < 0,0168 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,017$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

Iskoristivost: 91.6%

Interakcija vlaka okomito na vlakanca i posnika

$$h_{ap,v} = 135 \text{ cm}$$

$$V_{z,Ed} = 297.63 \text{ kN}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

$$\tau_{v,d} = 15 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_e} = 0.132$$

$$\frac{0.1323}{0.2240} + \frac{0.0154}{0.0168} = 1.506$$

Iskoristivost: 150.6%

Posmik nad lijevim osloncem

$$V_{z,Ed} = 297.63 \text{ kN}$$

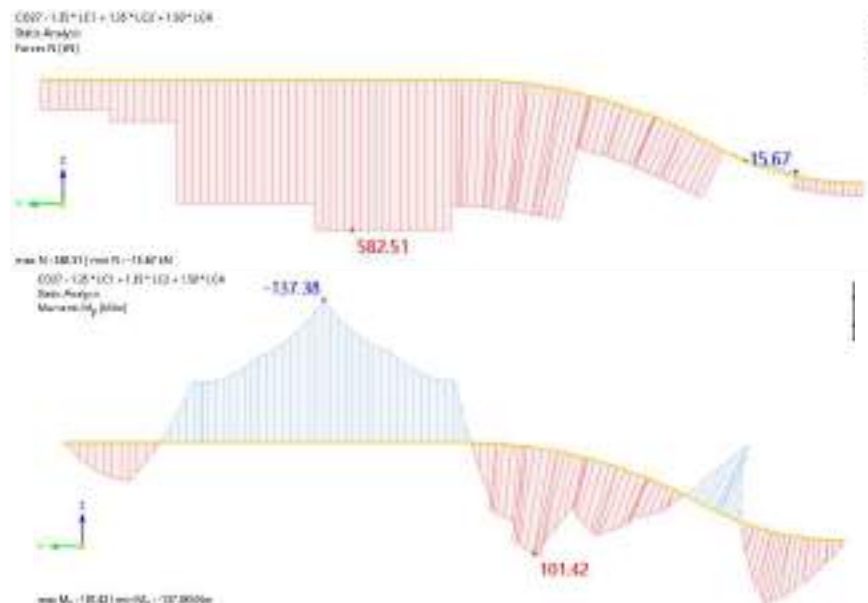
$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\tau_{v,d} = 15 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_e} = 0.106 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,90,d} = 0.22 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 47.5%

Zajedničko djelovanje vlaka paralelno s vlakancima i savijanja

Vlak se javlja jedino u glavnim nosačima u uvalama, a mjerodavna je kombinacija opterećenja CO 27.



Slika 4.7 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i vlačnih sila [kN] za slučaj najvećeg vlaka

$$N_{ed} = 686.49 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 68.61 \text{ kNm}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.128 < 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A} = 0.163 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0.058 \text{ kN/cm}^2$$

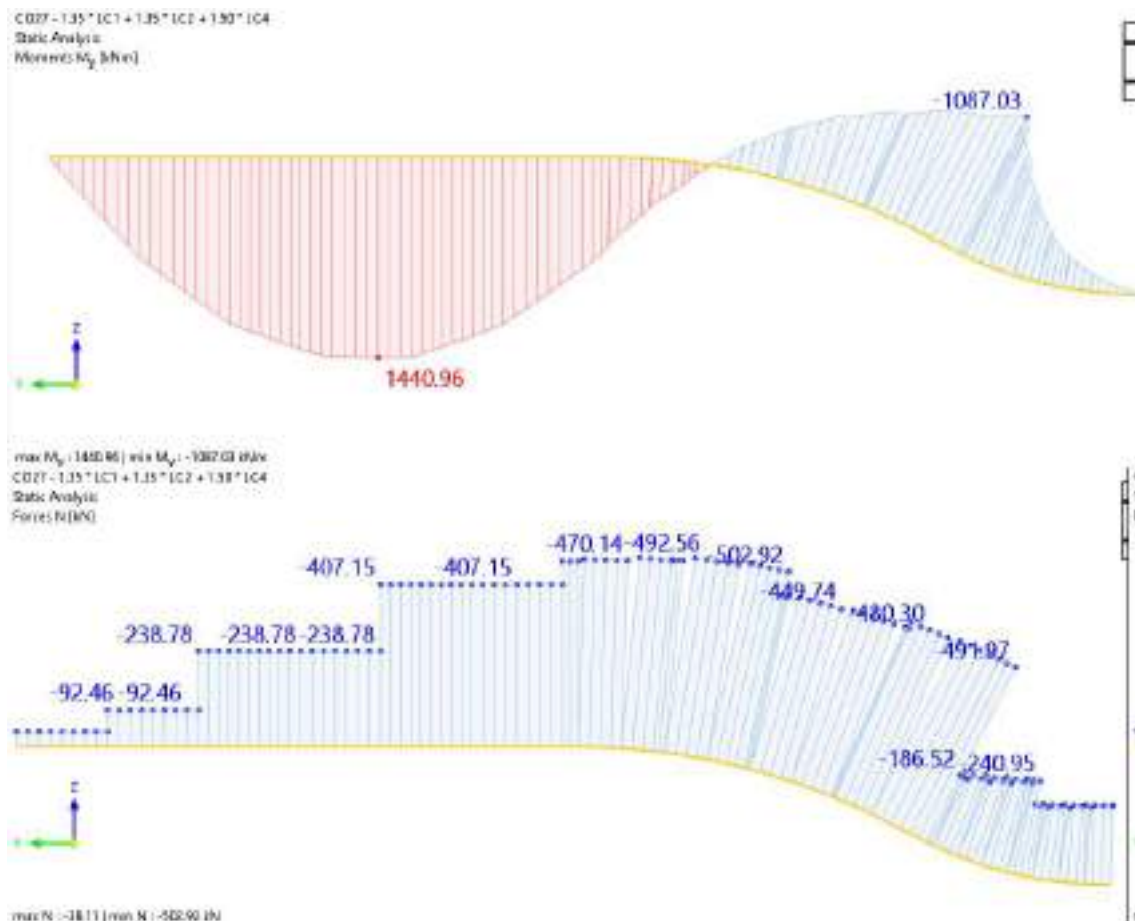
$$\frac{0.163}{1.638} = 0.100$$

$$\frac{0.058}{2.048} = 0.028$$

Iskoristivost: 12.8%

Zajedničko djelovanje tlaka paralelno s vlakancima i savijanja

1. slučaj: najveći moment savijanja (mjerodavna kombinacija CO27):



Slika 4.8 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i uzdužnih sila [kN] za slučaj najvećeg momenta savijanja

$$N_{ed} = 407.15 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 1440.96 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.601 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.097 \text{ kN/cm}^2$$

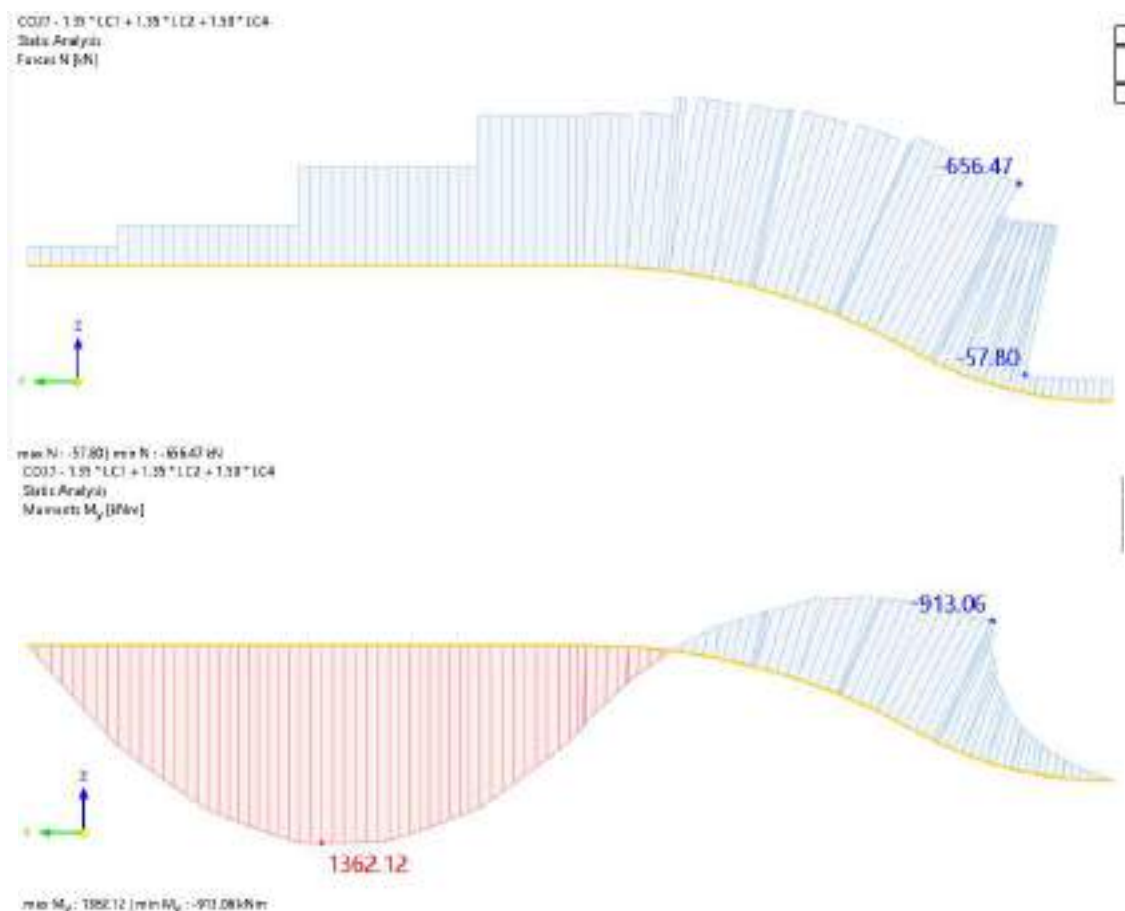
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 1.225 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0.097}{2.048} = 0.047$$

$$\frac{1.225}{2.048} = 0.598$$

Iskoristivost: 60.1%

2. slučaj: najveća tlačna sila:



Slika 4.9 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i uzdužnih sila [kN] za slučaj najveće tlačne sile

2. slučaj: najveća tlačna sila:

$$N_{ed} = 656.47 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 913.06 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 122 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.650 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.156 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \sigma_{m,ap,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_{\ell} \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$k_{\ell} = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1.021$$

$$h_{ap} = 168 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 3000 \text{ cm} \quad r = 3084 \text{ cm}$$

$$t = 4 \text{ cm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha_{ap} = 0.35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha_{ap} - 7,8 \tan^2 \alpha_{ap} = 0.6$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{za } r_{in}/t \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \cdot r_{in}/t & \text{za } r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = 771 \Rightarrow k_r = 1$$

$$\sigma_{m,d} = 1.503 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{for } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{for } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.561 < 0.75 \Rightarrow k_{crit} = 1.139$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{I_{ef} \cdot h} \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = 10.15 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0.156}{2.048} = 0.076$$

$$\frac{1.503}{2.333} = 0.644$$

Iskoristivost: 65.00%

4.1.4. Dokaz stabilnosti nosača

Bočna pridržanja tlačnog ruba nalaze se na svakih 4 m duž nosača.

1. slučaj: djelovanje najvećeg momenta savijanja

$$l_{ef} = 400 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = 1440.96 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

$$\sigma_{my,d} = \frac{M_y}{W_y} = 1.225 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda_{rel,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \lambda_{rel,m} & \text{for } 0.75 < \lambda_{rel,m} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{for } 1.4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.659 > 0.75 \Rightarrow k_{crit} = 1.066$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{I_{ef} \cdot h} \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = 7.37 \text{ kN/cm}^2$$

$$1.225 \text{ kN/cm}^2 < 1.066 \cdot 2.048 = 2.18 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 56.1%

Interakcija momenta savijanja i tlačne sile

$$N_{ed} = 407.15 \text{ kN}$$

$$l_{ef,z} = 4000 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0.48$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1.366$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{0.289 \cdot h} = 82.39$$

$$k_z = 0.5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 1.49$$

$$\begin{aligned} \beta_c &= 0.2 && \text{za puno drvo} \\ \beta_c &= 0.1 && \text{za lijepljeno lamelirano drvo} \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.098$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.413$$

$$\text{Iskoristivost} = 41.3\%$$

2. slučaj: djelovanje najveće tlačne sile - zakrivljeni dio

$$l_{ef} = 400 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = 913.06 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_t \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$k_t = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1.021$$

$$h_{ap} = 168 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 3000 \text{ cm} \quad r = 3084 \text{ cm}$$

$$t = 4 \text{ cm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$k_1 = 1 + 1.4 \tan \alpha_{ap} + 5.4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1$$

$$k_2 = 0.35 - 8 \tan \alpha_{ap} = 0.35$$

$$k_3 = 0.6 + 8.3 \tan \alpha_{ap} - 7.8 \tan^2 \alpha_{ap} = 0.6$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$k_t = \begin{cases} 1 & \text{za } r_{in}/t \geq 240 \\ 0.76 + 0.001 \cdot r_{in}/t & \text{za } r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{l} = 771 \Rightarrow k_r = 1$$

$$\sigma_{m,d} = 1.503 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda_{rel,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75\lambda_{rel,m} & \text{for } 0.75 < \lambda_{rel,m} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{for } 1.4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,d}}} = 0.659 > 0.75 \Rightarrow k_{crit} = 1.066$$

$$\sigma_{m,ed} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{l_{ef} \cdot h} \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = 7.37 \text{ kN/cm}^2$$

$$1.503 \text{ kN/cm}^2 < 1.066 \cdot 2.048 = 2.18 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 68.9%

Interakcija momenta savijanja i tlačne sile

$$N_{ed} = 656.47 \text{ kN}$$

$$l_{ef,x} = 4000 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_x + \sqrt{k_x^2 + \lambda_{rel,z}^2}} = 0.48$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1.366$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,x}}{0.289 \cdot h} = 82.39$$

$$k_x = 0.5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 1.49$$

$$\beta_c = 0.2 \quad \text{za puno drvo}$$

$$\beta_c = 0.1 \quad \text{za lijepljeno lamelirano drvo}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.158$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.632$$

Iskoristivost: 63.2%

4.1.5. Rekapitulacija iskoristivosti poprečnog nosača

Tablica 5. Rekapitulacija iskoristivosti glavnog nosača

Provjera nosivosti elementa		Iskoristivost
1.	Vlak paralelno s vlakancima	10.0%
2.	Tlak paralelno s vlakancima	7.6%
3.	Tlak paralelno s vlakancima nad osloncem	80.1%
4.	Savijanje na ravnom dijelu nosača	59.8%
5.	Savijanje na zakrivljenom dijelu nosača	46.1%
6.	Tlak okomito na vlakanca	15.6%
7.	Vlak okomito na vlakanca	91.6%
8.	Interakcija vlaka okomito na vlakanca i posmika	150.6%
9.	Posmik nad osloncem	47.5%
10.	Interakcija vlaka okomito na vlakanca i savijanja	12.8%
11.	Interakcija tlaka okomito na vlakanca i savijanja - najveći moment savijanja	60.1%
12.	Interakcija tlaka okomito na vlakanca i savijanja - najveća tlačna sila	65.0%
Provjera stabilnosti elementa		
13.	Bočno izvijanje za najveći moment - djelovanje momenta savijanja	56.1%
14.	Bočno izvijanje za najveći moment - interakcija momenta savijanja i tlaka paralelno s vlakancima	41.3%
15.	Bočno izvijanje za najveća tlačna sila - djelovanje momenta savijanja	68.9%
16.	Bočno izvijanje za najveća tlačna sila - interakcija momenta savijanja i tlaka paralelno s vlakancima	63.2%
Mjerodavna iskoristivost:		150.6%

Iz priložene tablice je vidljivo kako nosač ne zadovoljava nosivost na interakciju djelovanja vlaka okomito na vlakanca i posmika. U nastavku slijedi proračun ojačanja presjeka nad osloncem.

$$T_{max} = \min \left\{ \begin{matrix} 42,5 \\ 93,9 \end{matrix} \right\} \text{ kN}$$

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$s = 30 \text{ cm}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0.0154 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_r = \sigma_{t,90,d} \cdot b \cdot s = 11550 \text{ N} < T_{max}$$

$$S_c = R_m \cdot \theta = 6192.78 \text{ mm}$$

$$R_m = 1775 \text{ cm}$$

$$\theta = 2 \cdot \beta \cdot \frac{\pi}{180} = 0.35$$

$$\beta = 10^\circ$$

$$n = \frac{S_c}{s} = 20.6$$

Odabrano n=25 šipki d=24 mm jednoliko i pravilno raspoređenih po sljemenom volumenu

4.2. Dimenzioniranje sekundarnog nosača

4.2.1. Ulazni podaci

Geometrijske karakteristike nosača:

$$h = 100 \text{ cm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$A = 2000 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 1666667 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 66667 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 33333 \text{ cm}^3$$

$$W_z = 6667 \text{ cm}^3$$

Karakteristike materijala GL32h :

Karakteristične vrijednosti

čvrstoće, krutosti i gustoće:

$$f_{m,k} = 32.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 25.6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,k} = 0.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 32.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,k} = 2.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,k} = 3.5 \text{ N/mm}^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoće:

$$k_{mod} = 0.8 \quad \gamma_m = 1.25$$

$$f_{m,d} = 20.48 \text{ N/mm}^2 = 2.048 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{t,0,d} = 16.38 \text{ N/mm}^2 = 1.638 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{t,90,d} = 0.32 \text{ N/mm}^2 = 0.032 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,0,d} = 20.48 \text{ N/mm}^2 = 2.048 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,90,d} = 1.60 \text{ N/mm}^2 = 0.160 \text{ kN/cm}^2$$

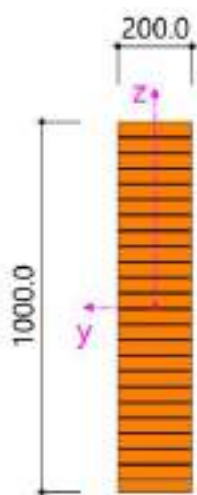
$$f_{v,d} = 2.24 \text{ N/mm}^2 = 0.224 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{0,mean} = 14200 \text{ N/mm}^2 = 1420 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{0,05} = 11800 \text{ N/mm}^2 = 1180 \text{ kN/cm}^2$$

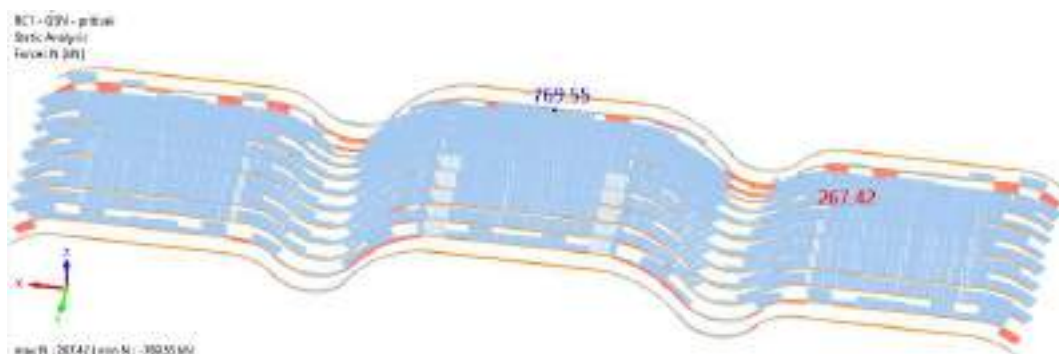
$$G_{mean} = 650 \text{ N/mm}^2 = 65 \text{ kN/cm}^2$$

$$\rho_k = 440 \text{ kg/m}^3$$

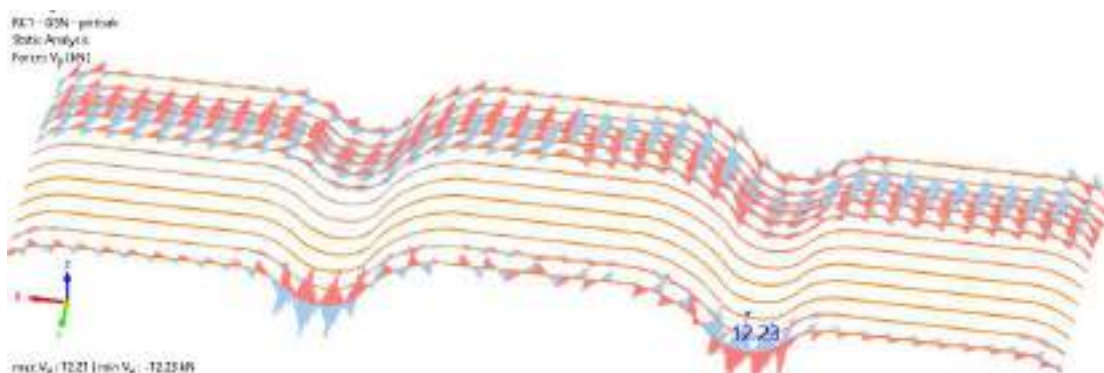


Slika 4.10 Poprečni presjek sekundarnog nosača

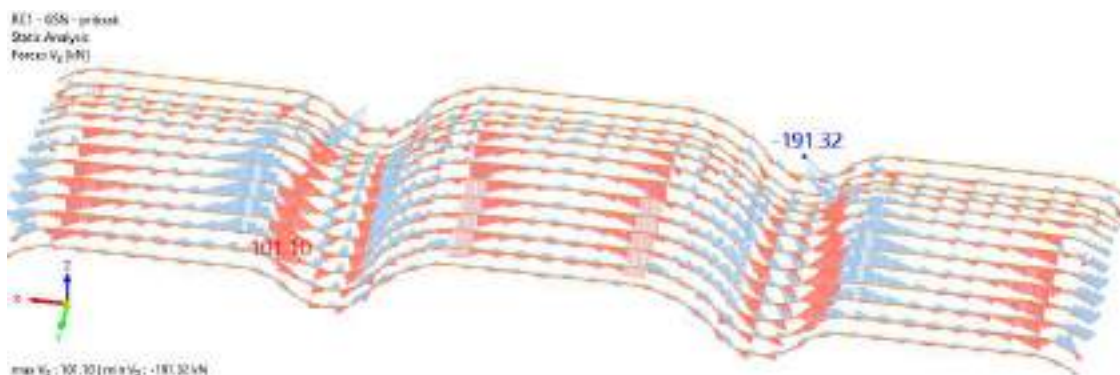
4.2.2. Dijagrami unutarnjih sila



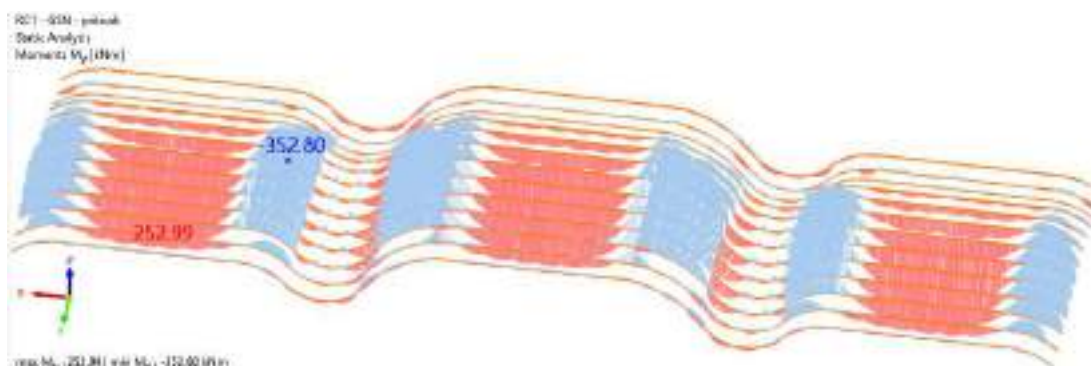
Slika 4.11 Dijagram uzdužnih sila N [kN]



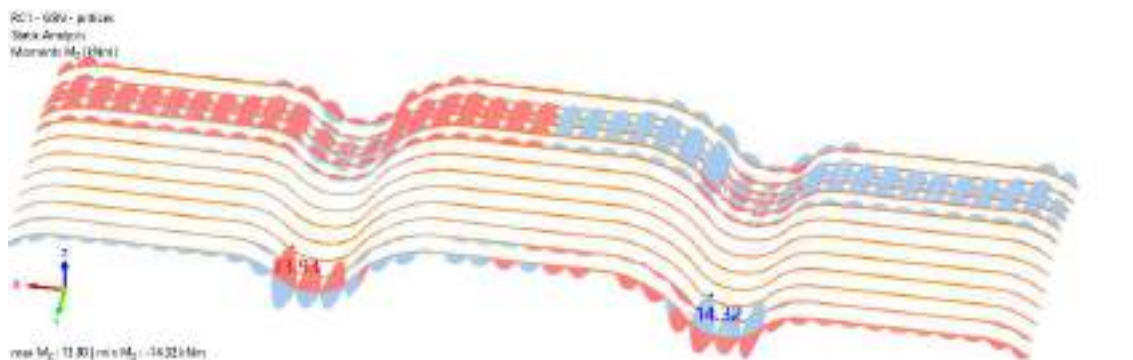
Slika 4.12 Dijagram poprečnih sila V_y [kN]



Slika 4.13 Dijagram poprečnih sila V_z [kN]



Slika 4.14 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm]



Slika 4.15 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm]

Iz dijagrama unutarnjih sila može se zaključiti da se utjecaji poprečnih sila u smjeru y-osi V_y i momenata savijanja oko z-osi M_z mogu zanemariti.

4.2.3. Dokaz nosivosti elementa

Vlak paralelno s vlakancima

$$N_{ed} = 254.05 \text{ kN} \quad A = 2000 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A} = 0.127 \text{ kN/cm}^2 < f_{t,0,d} = 1.64 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost:} \quad 7.8\%$$

Tlak paralelno s vlakancima

$$N_{ed} = 769.55 \text{ kN} \quad A = 2000 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.385 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,0,d} = 2.05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost:} \quad 18.8\%$$

v

Savijanje :

1. slučaj: ravni dio nosača

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$M_{y,Ed} = 250.99 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0.753 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0.753}{2.048} = 0.368$$

Iskoristivost: 36.8%

2. slučaj: zakrivljeni dio nosača

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_\varepsilon \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$k_\varepsilon = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1.023$$

$$M_{y,Ed} = 352.80 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 100 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 1653 \text{ cm} \quad r = 1703 \text{ cm}$$

$$t = 2.4 \text{ cm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$k_1 = 1 + 1.4 \tan \alpha_{ap} + 5.4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1$$

$$k_2 = 0.35 - 8 \tan \alpha_{ap} = 0.35$$

$$k_3 = 0.6 + 8.3 \tan \alpha_{ap} - 7.8 \tan^2 \alpha_{ap} = 0.6$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{za } r_{in}/t \geq 240 \\ 0.76 + 0.001 \cdot r_{in}/t & \text{za } r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = 710 \Rightarrow k_r = 1$$

$$\sigma_{m,d} = 1.082 \text{ kN/cm}^2 < 1 \cdot f_{m,d} = 2.048 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 52.8%

Tlak okomito na vlakanca na zakrivljenom dijelu nosača

$$M_{y,Ed} = 352.80 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 100 \text{ cm}$$

$$r_{iz} = \frac{1653 \text{ cm}}{\sigma_{c,90,d}} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{c,90cd} = 1703 \text{ cm}$$

$k_{dis} = 1,4$ za zakrivljene nosače zaobljenog ekstradosa i sedlaste nosače
reducirane statičke visine u zakrivljenom području

$k_{dis} = 1,7$ za sedlaste nosače pune statičke visine u zakrivljenom području (oštri prijelom ekstradosa u sljemenu)

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{za puno drvo} \\ \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} & \text{za lijepljeno lamelirano drvo} \end{cases}$$

$$V_0 = 0.01 \text{ m}^3$$

$$V = 0.594 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{c,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0.0155 \text{ kN/cm}^2 < 0.0990 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 = 0.015$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0$$

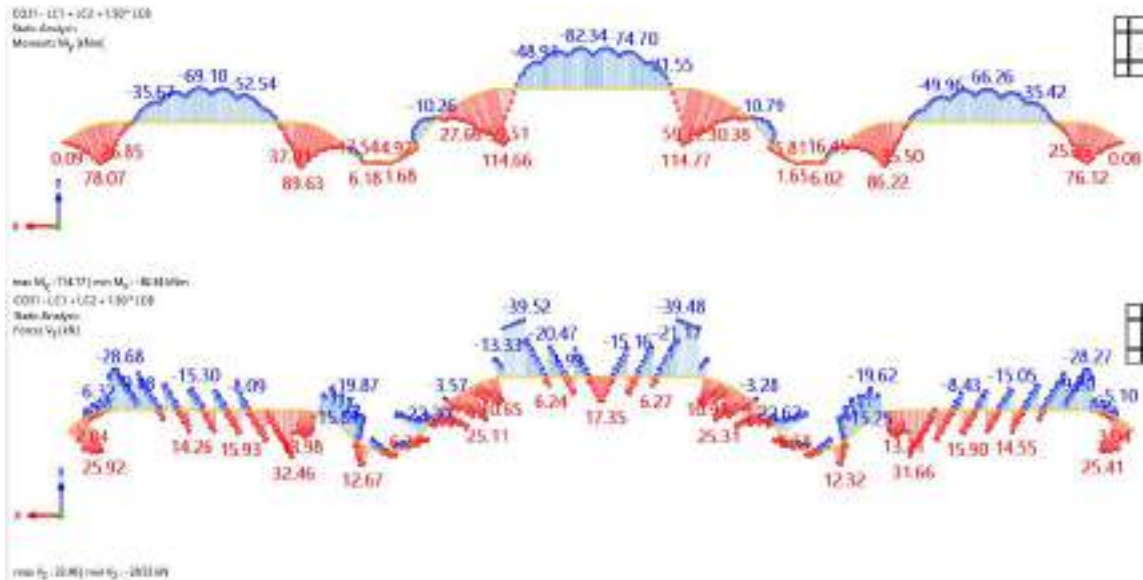
$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0.25$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

Iskoristivost: 15.7%

Vlak okomito na vlakanca na zakrivljenom dijelu nosača, njerodavna kombinacija CO31

1. slučaj: najveći moment savijanja



Slika 4.16 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i poprečnih sila V_z [kN] – vlak okomito na vlakanca, 1. slučaj

Vlak okomito na vlakanca na zakrivljenom dijelu nosača, njerodavna kombinacija CO31

1. slučaj: najveći moment savijanja

$$M_{y,d} = 114.66 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 100 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 1663 \text{ cm} \quad r = 1713 \text{ cm}$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90cd}$$

$$k_{dis} = 1,4 \quad \text{za zakrivljene nosače zaobljenog ekstradosa i sedlaste nosače}$$

$$k_{dis} = 1,7 \quad \text{za sedlaste nosače pune statičke visine u zakrivljenom području (oštri prijelom ekstradosa u slijetu)}$$

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{za puno drvo} \\ \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} & \text{za ljepljeno lamelirano drvo} \end{cases}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V = 0,598 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0050 \text{ kN/cm}^2 < 0,0198 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,015$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

Iskoristivost: 25,4%

Interakcija vlaka okomito na vlakanca i posmika, mjerodavna kombinacija CO31

$$V_{x,Ed} = 29,55 \text{ kN}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

$$\tau_{v,d} = 15 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_e} = 0,022$$

$$\frac{0,0222}{0,2240} + \frac{0,0050}{0,0198} = 0,353$$

Iskoristivost: 35,3%

2. slučaj: najmanji radijus zakrivljenosti

$$M_{y,Ed} = 89,63 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 100 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 937 \text{ cm} \quad r = 987 \text{ cm}$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

$k_{dis} = 1,4$ za zakrivljene nosače zaobljenog ekstradosa i sedlaste nosače reducirane statičke visine u zakrivljenom području

$k_{dis} = 1,7$ za sedlaste nosače pune statičke visine u zakrivljenom području (oštri prijelom ekstradosa u slijetanu)

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{za puno drvo} \\ \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} & \text{za lijepljeno laminirano drvo} \end{cases}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V = 0,344 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0039 \text{ kN/cm}^2 < 0,0221 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,015$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

Iskoristivost: 17,8%

Interakcija vlaka okomito na vlakanca i posmika, mjerodavna kombinacija CO31

$$V_{z,Ed} = 26.35 \text{ kN}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

$$\tau_{v,d} = 1.5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_e} = 0.020$$

$$\frac{0.0198}{0.2240} + \frac{0.0039}{0.0221} = 0.266$$

Iskoristivost: 26.6%

Nosivost na posmik

$$V_{z,Ed} = 191.32 \text{ kN}$$

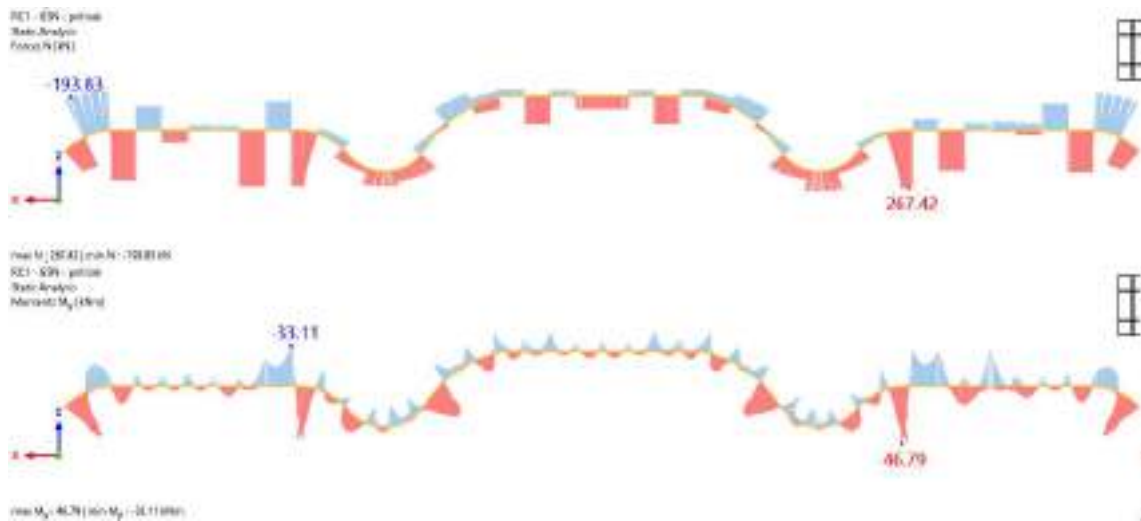
$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\tau_{v,d} = 1.5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_e} = 0.143 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,90,d} = 0.22 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 64.1%

Zajedničko djelovanje vlaka paralelno s vlakancima i savijanja

Najveći vlak javlja se u rubnim uzdužnim nosačima, a mjerodavna je kombinacija opterećenja CO 27



Slika 4.17 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveća vlačna sila

$$N_{ed} = 254.05 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 46.79 \text{ kNm}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.146 < 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A} = 0.127 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0.140 \text{ kN/cm}^2$$

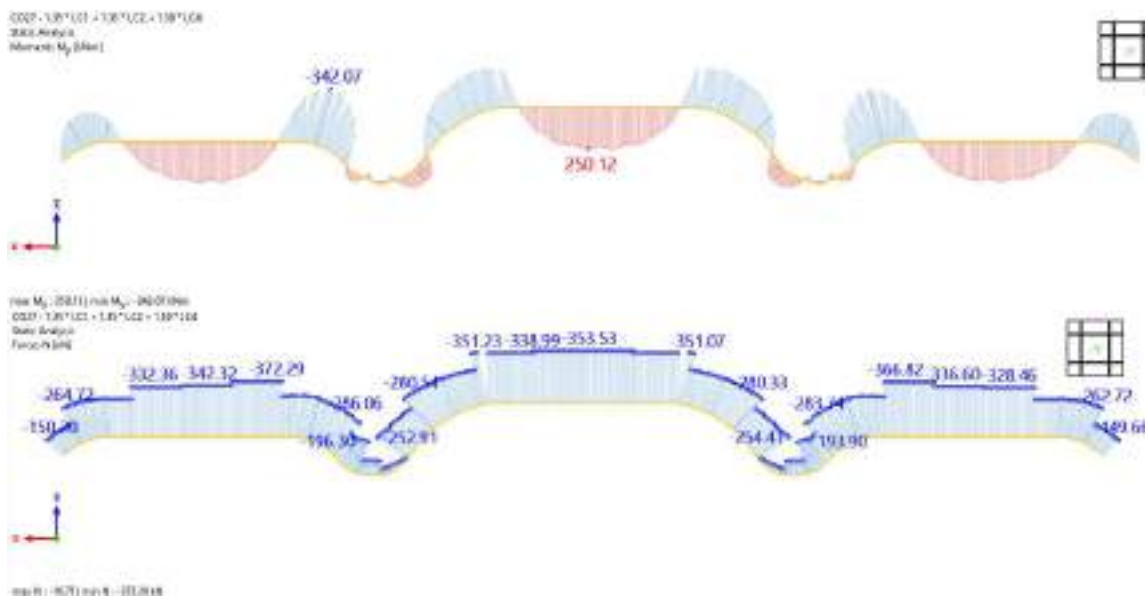
$$\frac{0.127}{1.638} = 0.078$$

$$\frac{0.140}{2.048} = 0.069$$

Iskoristivost: 14.6%

Zajedničko djelovanje tlaka paralelno s vlakancima i savijanja

1. slučaj: najveći moment savijanja (mjerodavna kombinacija CO27):



Slika 4.18 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveći moment savijanja

$$N_{ed} = 289.66 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 352.80 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^k + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.533 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.145 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{my,d} = \sigma_{m,ap} = 1.082 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0.145}{2.048} = 0.071$$

$$\frac{1.082}{2.048} = 0.528$$

Iskoristivost: 53.3%

$$N_{ed} = 286.36 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 365.06 \text{ kNm}$$

$$M_{x,Ed} = 0.00 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} \leq 1 \quad 0.552 < 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} \leq 1 \quad 0.388 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{0,d}}{A} = 0.143 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{my,d} = \sigma_{m,ap} = 1.120 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{mx,d} = \frac{M_x}{W_x} = 0.000 \text{ kN/cm}^2$$

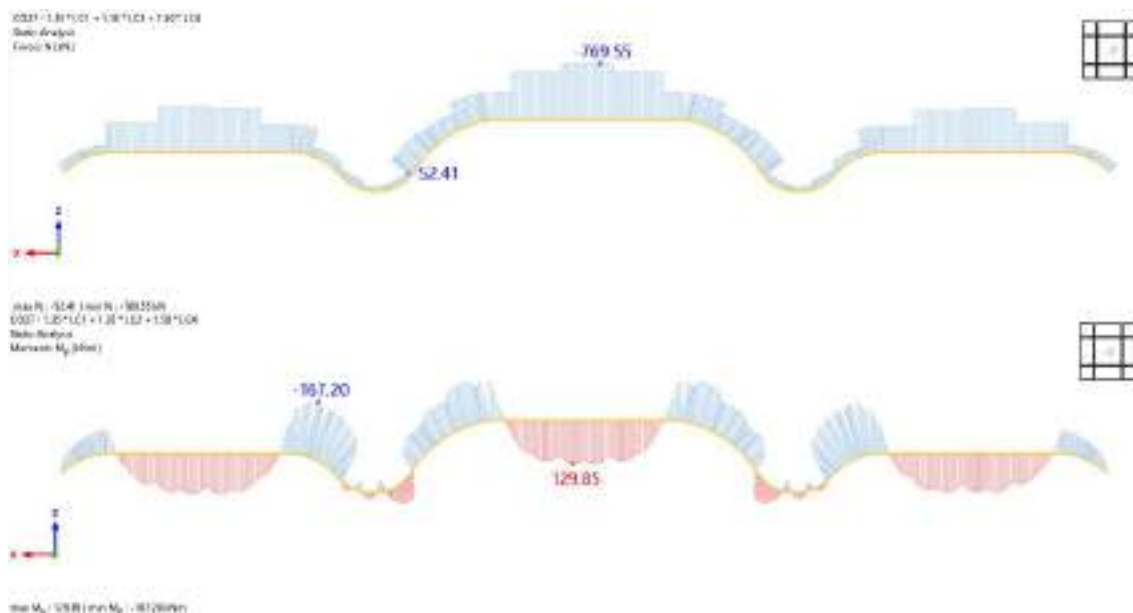
$$\frac{0.143}{2.048} = 0.070$$

$$\frac{1.120}{2.048} + 0.7 \cdot \frac{0.000}{2.048} = 0.547$$

$$0.7 \cdot \frac{1.120}{2.048} + \frac{0.000}{2.048} = 0.383$$

Iskoristivost: 55.2%

2. slučaj: najveća tlačna sila:



Slika 4.19 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveća tlačna sila

2. slučaj: najveća tlačna sila:

$$N_{ed} = 769.55 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 129.85 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.226 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.385 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0.390 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0.385}{2.048} = 0.188$$

$$\frac{0.390}{2.048} = 0.190$$

Iskoristivost: 22.6%

4.2.4. Dokaz stabilnosti nosača

Bočna pridržanja tlačnog ruba nalaze se na svakih 4 m duž nosača.

1. slučaj: djelovanje najvećeg momenta savijanja

$$l_{ef} = 400 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = 352,80 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \sigma_{ap,d} = 1.082 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{for } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{for } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.635 > 0.75 \Rightarrow k_{crit} = 1.083$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{l_{ef} \cdot h} \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = 7.93 \text{ kN/cm}^2$$

$$1.058 \text{ kN/cm}^2 < 1.083 \cdot 2.048 = 2.22 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost: } 47,7\%$$

Interakcija momenta savijanja i tlačne sile

$$N_{ed} = 289,66 \text{ kN}$$

$$l_{ef,z} = 400 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 1.01 \Rightarrow k_{c,z} = 1$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0.230$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{0.289 \cdot h} = 13.84$$

$$k_z = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 0.52$$

$$k_x = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 0,52$$

$$\beta_c = 0,2$$

za puno drvo

$$\beta_c = 0,1$$

za lijepljeno lamelirano drvo

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0,071$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0,298$$

Iskoristivost: 29,8%

2. slučaj: djelovanje najveće tlačne sile

$$l_{ef} = 400 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = 129,85 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

$$\sigma_{my,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0,390 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{for } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{for } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0,635 > 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,083$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{l_{ef} \cdot h} \sqrt{\frac{G_{0,mean}}{E_{0,mean}}} = 7,93 \text{ kN/cm}^2$$

$$0,390 \text{ kN/cm}^2 < 1,083 \cdot 2,048 = 2,22 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 17,6%

Interakcija momenta savijanja i tlačne sile

$$N_{ed} = 769,55 \text{ kN}$$

$$l_{ef,z} = 400 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 1,01 \Rightarrow k_{c,z} = 1$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0.230$$

$$\lambda_z = \frac{l_{eff,z}}{0.289 \cdot h} = 13.84$$

$$k_z = 0.5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 0.52$$

$\beta_c = 0.2$ za puno drvo
 $\beta_c = 0.1$ za lijepljeno lamelirano drvo

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.188$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{c,0,d} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.219$$

Iskoristivost: 21.9%

4.2.5. Rekapitulacija iskoristivosti sekundarnog nosača

Tablica 6. Rekapitulacija iskoristivosti sekundarnog nosača

	Provjera nosivosti elementa	Iskoristivost
1.	Vlak paralelno s vlakancima	13.4%
2.	Tlak paralelno s vlakancima	15.1%
3.	Tlak paralelno s vlakancima nad osloncem	42.0%
4.	Savijanje na ravnom dijelu nosača	37.1%
5.	Savijanje na zakrivljenom dijelu nosača	54.7%
6.	Tlak okomito na vlakanca	15.8%
7.	Vlak okomito na vlakanca - najveći moment savijanja	23.9%
8.	Vlak okomito na vlakanca - najmanji radijus zakrivljenosti	0.0%
9.	Interakcija vlaka okomito na vlakanca i posmika	34.0%
10.	Nosivost na posmik	64.3%
11.	Interakcija vlaka okomito na vlakanca i savijanja	15.3%
12.	Interakcija tlaka okomito na vlakanca i savijanja - najveći moment savijanja	55.2%
13.	Interakcija tlaka okomito na vlakanca i savijanja - najveća tlačna sila	18.0%
	Provjera stabilnosti elementa	
14.	Bočno izvijanje za najveći moment savijanja - djelovanje momenta savijanja	49.4%
15.	Bočno izvijanje za najveći moment savijanja - interakcija momenta savijanja i tlaka paralelno s vlakancima	31.4%
16.	Bočno izvijanje za najveću tlačnu silu - djelovanje momenta savijanja	14.5%
17.	Bočno izvijanje za najveću tlačnu silu - interakcija momenta savijanja i tlaka paralelno s vlakancima	17.2%
	Mjerodavna iskoristivost:	64.3%

4.3. Proračun čeličnih čeličnih spregova

Proračun mjerodavnog čeličnog profila izvršen je u Dlubal RFEM 6.03.

Design Check SP1100 | EN 1993 | HRN | 2016-03

Section Proof

Tension acc. to EN 1993-1-1, 6.2.3

$$\begin{aligned} N_{pl,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\ &= 72.60 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\ &= 2577.300 \text{ kN} \end{aligned}$$

6.2.3, Eq. 6.6

$$\begin{aligned} N_{t,Rd} &= N_{pl,Rd} \\ &= 2577.30 \text{ kN} \end{aligned}$$

6.2.3(2)

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \\ &= \frac{765.82 \text{ kN}}{2577.30 \text{ kN}} \\ &= 0.297 \end{aligned}$$

6.2.3, Eq. 6.5

$$\eta = 0.297 \leq 1 \quad \checkmark$$

Design Check SP1200 | EN 1993 | HRN | 2016-03

Section Proof

Compression acc. to EN 1993-1-1, 6.2.4

$$\begin{aligned} N_{c,Rd} &= A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \\ &= 72.60 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00} \\ &= 2577.30 \text{ kN} \end{aligned}$$

Eq. 6.10

$$\begin{aligned} \eta_N &= \frac{N_{t,Ed}}{N_{c,Rd}} \\ &= \frac{793.77 \text{ kN}}{2577.30 \text{ kN}} \\ &= 0.308 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_N \\ &= 0.308 \end{aligned}$$

6.2.4, Eq. 6.9

$$\eta = 0.308 \leq 1 \quad \checkmark$$

Design Check ST1400 | EN 1993 | HRN | 2016-03

Stability

Flexural buckling about geometrical z-axis acc. to EN 1993-1-1, 6.3.1

$$N_{cr,z} = (\pi)^2 \cdot E \cdot \frac{I_z}{(L_{cr,z})^2} \quad 6.3.1.2(1)$$

$$= (\pi)^2 \cdot 210000.000 \text{ N/mm}^2 \cdot \frac{4251.00 \text{ cm}^4}{(5.43 \text{ m})^2}$$

$$= 2987.51 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} \quad 6.3.1.3(1)$$

$$= \sqrt{\frac{72.60 \text{ cm}^2 \cdot 355.000 \text{ N/mm}^2}{2987.51 \text{ kN}}}$$

$$= 0.929$$

$$\eta_{N_{cr,z}} = \gamma_{M1} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{N_{cr,z}} \quad 6.3.1.2(4)$$

$$= 1.00 \cdot \frac{793.77 \text{ kN}}{2987.51 \text{ kN}}$$

$$= 0.266$$

$$\Phi_z = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0.2) + (\bar{\lambda}_z)^2 \right] \quad 6.3.1.2(1)$$

$$= 0.5 \cdot \left[1 + 0.490 \cdot (0.929 - 0.2) + (0.929)^2 \right]$$

$$= 1.110$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{(\Phi_z)^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} \quad 6.3.1.2(1), \text{ Eq. 6.49}$$

$$= \frac{1}{1.110 + \sqrt{(1.110)^2 - (0.929)^2}}$$

$$= 0.58$$

$$N_{b,z,Rd} = \chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad 6.3.1.1(3)$$

$$= 0.58 \cdot 72.60 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355.000 \text{ N/mm}^2}{1.00}$$

$$= 1500.59 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,z,Rd}} \quad 6.3.1$$

$$= \frac{793.77 \text{ kN}}{1500.59 \text{ kN}}$$

$$= 0.529$$

$$\eta = 0.529 \leq 1 \quad \checkmark$$

5. Proračun graničnog stanja uporabljivosti

Ograničenje progiba:

$$\frac{l}{300} = \frac{4000}{300} = 13.33 \text{ cm} \rightarrow \text{ograničenje kratkotrajnog progiba}$$

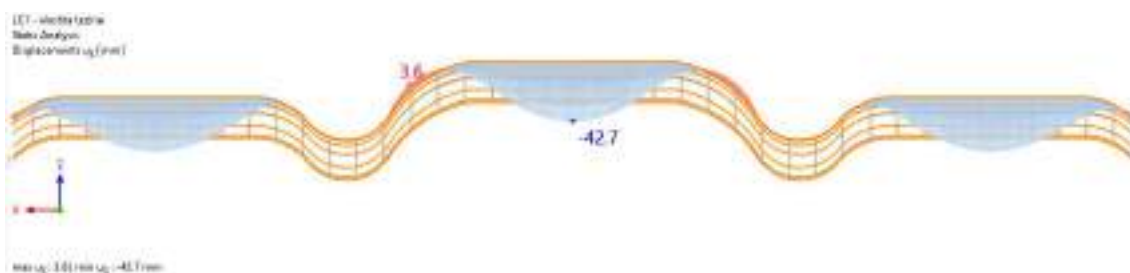
$$\frac{l}{200} = \frac{4000}{200} = 20.00 \text{ cm} \rightarrow \text{ograničenje dugotrajnog progiba}$$

Kratkotrajni progibi moraju zadovoljiti sljedeće uvjete:

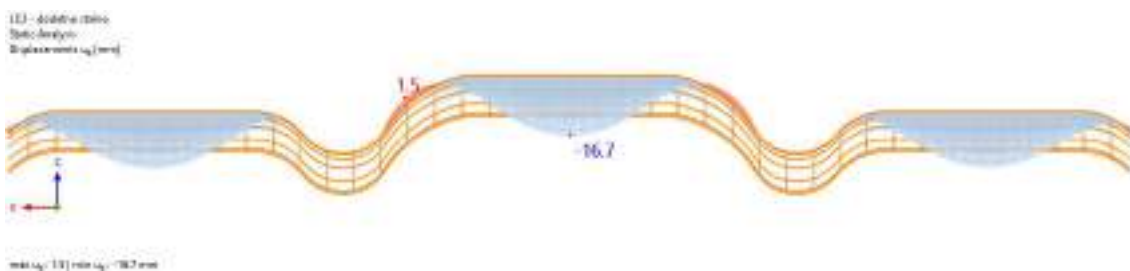
$$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$$

Dugotrajni progibi moraju zadovoljiti sljedeće uvjete:

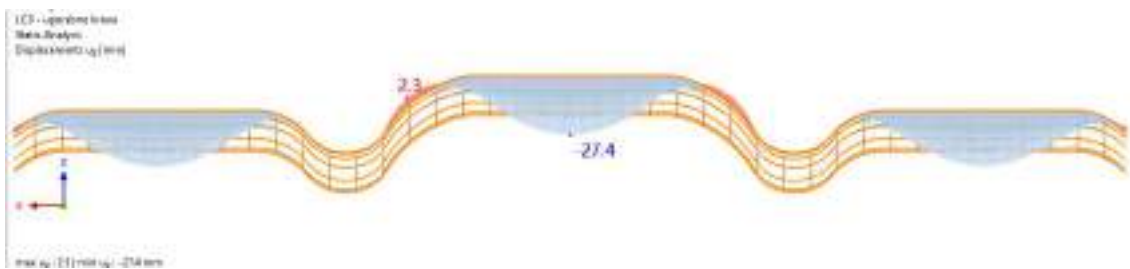
$$w_{stat,fin} \leq \frac{l}{200}$$



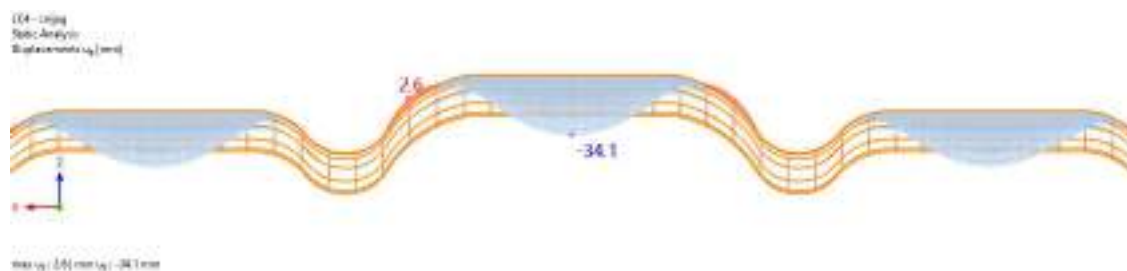
Slika 5.1 Vrijednost progiba uslijed opterećenja od vlastite težine



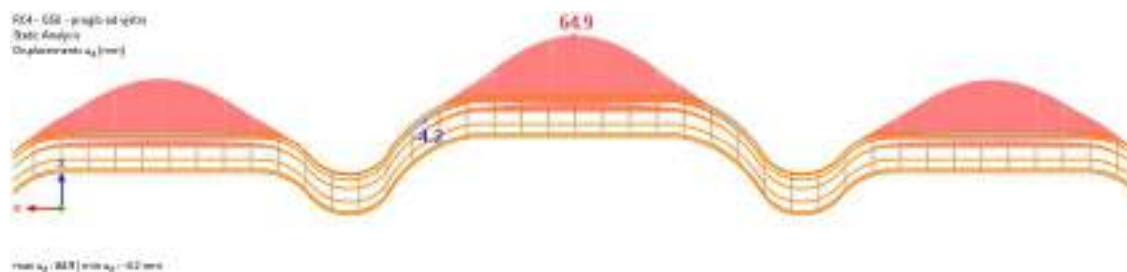
Slika 5.2 Vrijednost progiba uslijed dodatnog stalnog opterećenja



Slika 5.3 Vrijednost progiba uslijed uporabnog opterećenja krova



Slika 5.4 Vrijednost progiba uslijed opterećenja snijega



Slika 5.5 Anvelopa progiba uslijed opterećenja vjetra

Iz priloženih dijagrama može se zaključiti kako se utjecaji vjetra na ukupni progib mogu zanemariti jer djeluje povoljno u odnosu na ostala opterećenja, a utjecaj uporabnog opterećenja se neće uzimati u obzir jer je opterećenje snijega dominantnije.

Provjera uporabljivosti nosača pri dugotrajnom opterećenju:

$$u_{net,fin} = (1 + k_{def}) \cdot u_{inst,z} + (1 + k_{def}) \cdot u_{inst,x}$$

$$u_{net,fin} = (1+0.8) \cdot (4.27+1.67) + 3.41 = 14.01 \text{ cm} < 20.00 \text{ cm}$$

Provjera uporabljivosti nosača pri kratkotrajnom opterećenju:

$$u_{inst} = u_s = 3.41 \text{ cm} < 13.33 \text{ cm}$$

6. Proračun požarne otpornosti drvene krovne konstrukcije

Tražena klasa F60 ($t_f = 60$ minuta)

Brzina sagorijevanja $\beta_n = 0.7$ mm/min (LLN gustoće $\rho_k \geq 290$ kg/m³)

Gubitak presjeka : $d_{(t)}$ = $\beta_n \cdot t_f = 42$ mm

Proračun požara se vrši za izvanrednu kombinaciju djelovanja:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Tablica 7. Kombinacije opterećenja za izvanrednu proračunsku situaciju

Load Combin.	Name	Design Situation	Load Duration	LC.1		LC.2		LC.3	
				Factor	No.	Factor	No.	Factor	No.
CO1	LC1	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Permanent	1.00	LC1				
CO2	LC1 + LC2	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Permanent	1.00	LC1	1.00	LC2		
CO3	LC1 + 0.20 * LC4	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC4		
CO4	LC1 + LC2 + 0.20 * LC4	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC4
CO5	LC1 + 0.20 * LC5	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC5		
CO6	LC1 + 0.20 * LC6	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC6		
CO7	LC1 + 0.20 * LC7	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC7		
CO8	LC1 + 0.20 * LC8	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC8		
CO9	LC1 + 0.20 * LC9	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC9		
CO10	LC1 + 0.20 * LC10	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC10		
CO11	LC1 + 0.20 * LC11	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC11		
CO12	LC1 + 0.20 * LC12	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC12		
CO13	LC1 + 0.20 * LC13	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC13		
CO14	LC1 + 0.20 * LC14	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC14		
CO15	LC1 + 0.20 * LC15	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC15		
CO16	LC1 + 0.20 * LC16	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	0.20	LC16		
CO17	LC1 + LC2 + 0.20 * LC5	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC5
CO18	LC1 + LC2 + 0.20 * LC6	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC6
CO19	LC1 + LC2 + 0.20 * LC7	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC7
CO20	LC1 + LC2 + 0.20 * LC8	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC8
CO21	LC1 + LC2 + 0.20 * LC9	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC9
CO22	LC1 + LC2 + 0.20 * LC10	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC10
CO23	LC1 + LC2 + 0.20 * LC11	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC11
CO24	LC1 + LC2 + 0.20 * LC12	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC12
CO25	LC1 + LC2 + 0.20 * LC13	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC13
CO26	LC1 + LC2 + 0.20 * LC14	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC14
CO27	LC1 + LC2 + 0.20 * LC15	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC15
CO28	LC1 + LC2 + 0.20 * LC16	DS1 - ULS (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1	Short-term	1.00	LC1	1.00	LC2	0.20	LC16

6.1. Dimenzioniranje glavnih nosača

6.1.1. Ulazni podaci

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 60 minuta požara:

$$b_{(t)} = b - 2 \cdot d_{(t)} = 25 - 2 \cdot 4.2 = 16.6 \text{ cm}$$

$$h_{(t)} = h - 2 \cdot d_{(t)} = 168 - 2 \cdot 4.2 = 159.6 \text{ cm}$$

$$A_r = 2649.36 \text{ cm}^2$$

$$p = 352.4 \text{ cm}$$

$$I_{y,r} = 5623743 \text{ cm}^4$$

$$I_{z,r} = 60838 \text{ cm}^4$$

$$W_{y,r} = 70473 \text{ cm}^3$$

$$W_{z,r} = 7330 \text{ cm}^3$$

Faktori modifikacije:

$$\text{Za savojnu čvrstoću: } k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{\rho}{A_f} = 0.933$$

$$\text{Za tlačnu čvrstoću: } k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{\rho}{A_f} = 0.894$$

$$\text{Za vlačnu čvrstoću i module elastičnosti: } k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{\rho}{A_f} = 0.956$$

Karakteristike materijala GL32h:

Karakteristične vrijednosti
čvrstoće, krutosti i gustoće:

$f_{m,k}$	32.0 N/mm ²
$f_{t,0,k}$	25.6 N/mm ²
$f_{t,90,k}$	0.5 N/mm ²
$f_{c,0,k}$	32.0 N/mm ²
$f_{c,90,k}$	2.5 N/mm ²
$f_{v,k}$	3.5 N/mm ²
$E_{0,mean}$	14200 N/mm ²
$E_{0,05}$	11800 N/mm ²
G_{mean}	650 N/mm ²
G_{05}	540 N/mm ²
ρ_k	440 kg

Proračunske vrijednosti čvrstoće:

$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$	
$k_{fi} = 1.15$	$\gamma_{M,fi} = 1.00$
$f_{m,d} = 34.35 \text{ N/mm}^2 = 3.435 \text{ kN/cm}^2$	
$f_{t,0,d} = 28.13 \text{ N/mm}^2 = 2.813 \text{ kN/cm}^2$	
$f_{t,90,d} = 0.55 \text{ N/mm}^2 = 0.055 \text{ kN/cm}^2$	
$f_{c,0,d} = 32.88 \text{ N/mm}^2 = 3.288 \text{ kN/cm}^2$	
$f_{c,90,d} = 2.57 \text{ N/mm}^2 = 0.257 \text{ kN/cm}^2$	
$f_{v,d} = 3.85 \text{ N/mm}^2 = 0.385 \text{ kN/cm}^2$	

$$E_{d,fi} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 1296.83 \text{ kN/cm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 59.35 \text{ kN/cm}^2$$

6.1.2. Dijagrami unutarnjih sila



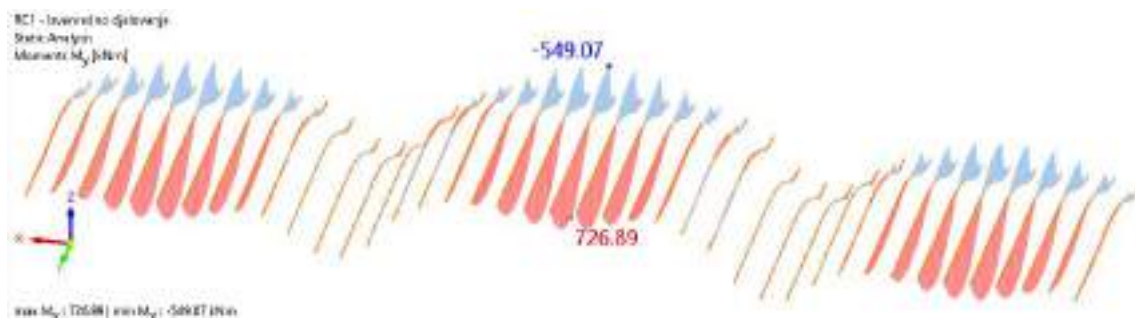
Slika 6.1 Dijagram uzdužnih sila N [kN]



Slika 6.2 Dijagram poprečnih sila V_y [kN]



Slika 6.3 Dijagram poprečnih sila V_z [kN]



Slika 6.4 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm]



Slika 6.5 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm]

Iz dijagrama unutarnjih sila može se zaključiti da se utjecaji poprečnih sila u smjeru y-osi V_y i momenata savijanja oko z-osi M_z mogu zanemariti.

6.1.3. Dokaz nosivosti elementa

Vlak paralelno s vlakancima

$$N_{ed} = 300.06 \text{ kN} \quad A = 2649 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A} = 0.113 \text{ kN/cm}^2 < f_{t,0,d} = 2.81 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 4.0%

Tlak paralelno s vlakancima

$$N_{ed} = 329.00 \text{ kN} \quad A = 2649 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.124 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,0,d} = 3.29 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 3.8%

Tlak okomito na vlakanca nad lijevim osloncem

$$V_{z,ed} = 192.23 \text{ kN} \quad l = 60 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.193 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,90,d} = 0.26 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 75.1%

Savijanje :

1. slučaj: ravni dio nosača

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$M_{y,Ed} = 726.89 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{my,d} = \frac{M_y}{W_y} = 1.031 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{1.031}{3.435} = 0.300$$

Iskoristivost: 30.0%

2. slučaj: zakrivljeni dio nosača

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_\ell \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$k_\ell = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1.020$$

$$M_{y,Ed} = 549.07 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 160 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 3000 \text{ cm} \quad r = 3080 \text{ cm}$$

$$t = 4 \text{ cm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha_{ap} = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha_{ap} - 7,8 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,6$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{za } r_{in}/t \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \cdot r_{in}/t & \text{za } r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = 770 \Rightarrow k_r = 1$$

$$\sigma_{m,d} = 0,795 \text{ kN/cm}^2 < 1 \cdot f_{m,d} = 3,435 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost: } 23,1\%$$

Tlak okomito na vlakanca na zakrivljenom dijelu nosača

$$M_{y,Ed} = 549,07 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 113,6 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 3000 \text{ cm} \quad r = 3057 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{c,90cd}$$

$$k_{dis} = 1,4 \quad \text{za zakrivljene nosače zaobljenog ekstradosa i sedlaste nosače}$$

$$k_{dis} = 1,7 \quad \text{za sedlaste nosače pune statičke visine u zakrivljenom području (oštri prijelom ekstradosa u sljemenu)}$$

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{za puno drvo} \\ \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} & \text{za lijepljeno lamelirano drvo} \end{cases}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V = 1,006 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{c,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0101 \text{ kN/cm}^2 < 0,1430 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,013$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$\text{Iskoristivost: } 7.1\%$$

Vlak okomito na vlakanca na zakrivljenom dijelu nosača

$$M_{y,Ed} = 549.07 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 113.6 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 1775 \text{ cm} \quad r = 1832 \text{ cm}$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90cd}$$

$$k_{dis} = 1,4 \quad \text{za zakrivljene nosače zaobljenog ekstradosa i sedlaste nosače}$$

$$k_{dis} = 1,7 \quad \text{reducirane statičke visine u zakrivljenom području}$$

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{za puno drvo} \\ \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} & \text{za lijepljeno lamelirano drvo} \end{cases}$$

$$V_0 = 0.01 \text{ m}^3$$

$$V = 0.603 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0.0121 \text{ kN/cm}^2 < 0.0339 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 = 0.016$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$\text{Iskoristivost: } 35.6\%$$

Interakcija vlaka okomito na vlakanca i posmika

$$h_{ap,v} = 126.6 \text{ cm}$$

$$V_{z,Ed} = 141.35 \text{ kN}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

$$\tau_{v,d} = 1,5 \cdot \frac{v_d}{b \cdot h_e} = 0.101$$

$$\frac{0.1009}{0.3847} + \frac{0.0121}{0.0339} = 0.619$$

Iskoristivost: 61.9%

Posmik nad lijevim osloncem

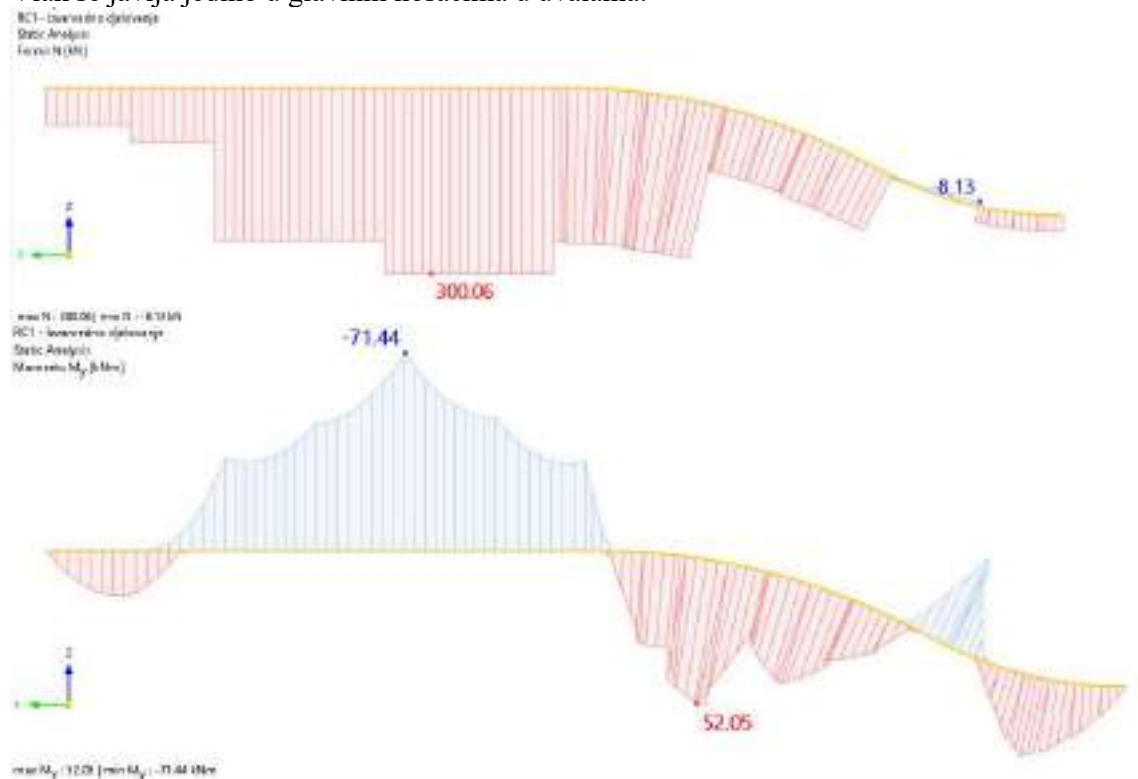
$$V_{z,ed} = 141.35 \text{ kN}$$

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\tau_{v,d} = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_e} = 0.080 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,90,d} = 0.38 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 20.8%

Zajedničko djelovanje vlaka paralelno s vlakancima i savijanja
Vlak se javlja jedino u glavnim nosačima u uvalama.



Slika 6.6 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i vlačnih sila [kN] za slučaj najvećeg vlaka

$$N_{ed} = 300.06 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 71.44 \text{ kNm}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.070 < 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A} = 0.113 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0.101 \text{ kN/cm}^2$$

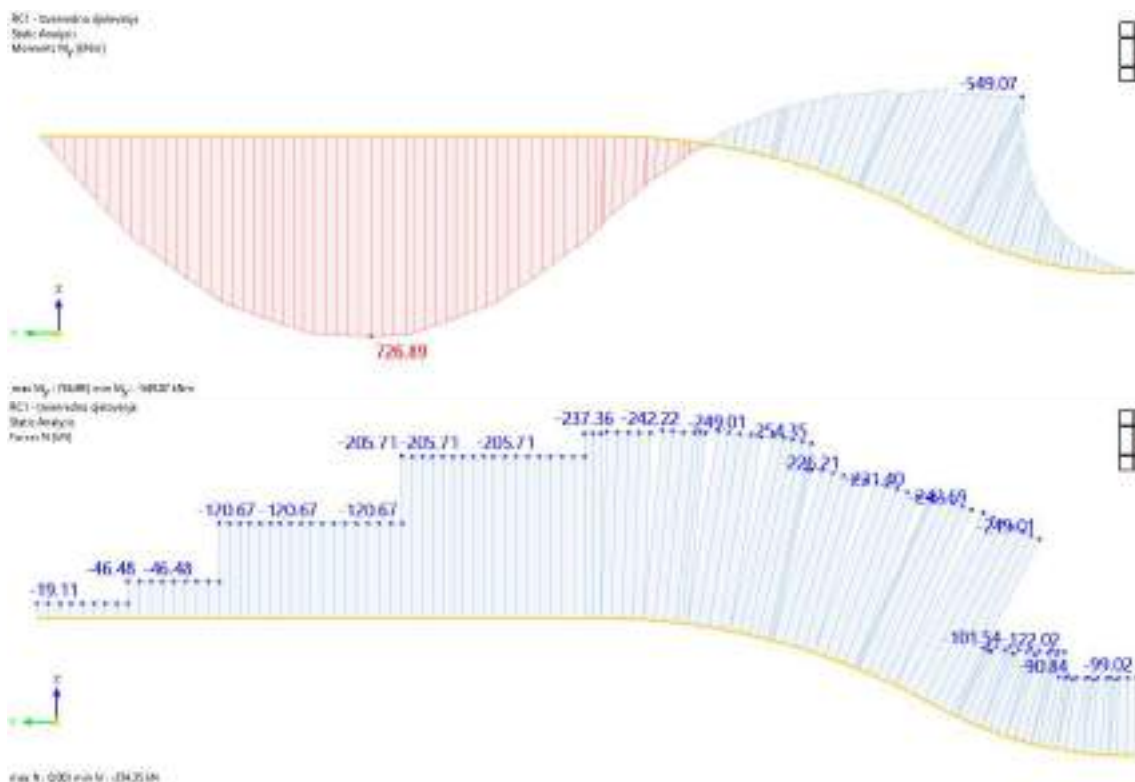
$$\frac{0.113}{2.813} = 0.040$$

$$\frac{0.101}{3.435} = 0.030$$

Iskoristivost: 7.0%

Zajedničko djelovanje tlaka paralelno s vlakancima i savijanja

1. slučaj: najveći moment savijanja (mjerodavna kombinacija CO27):



Slika 6.7 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i uzdužnih sila [kN] za slučaj najvećeg momenta savijanja

$$N_{ed} = 205.71 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 726.89 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.301 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.078 \text{ kN/cm}^2$$

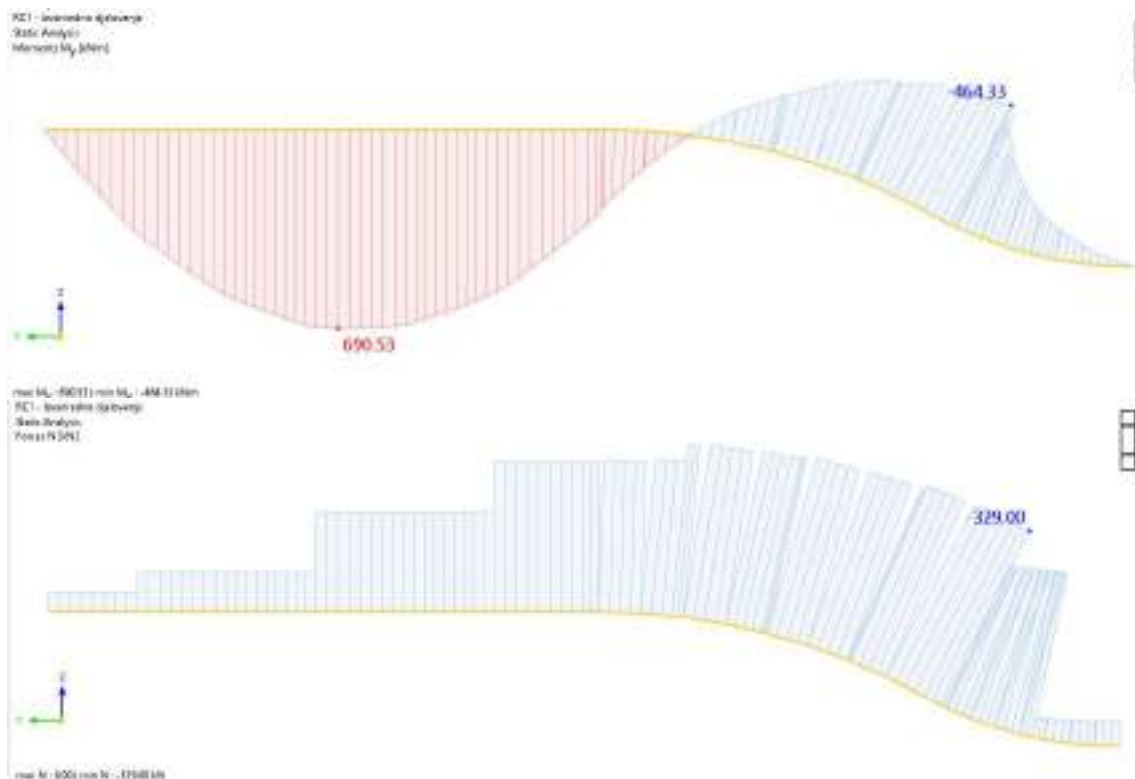
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 1.031 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0.078}{3.288} = 0.024$$

$$\frac{1.031}{3.435} = 0.300$$

Iskoristivost: 30.1%

2. slučaj: najveća tlačna sila:



Slika 6.8 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm] i uzdužnih sila [kN] za slučaj najveće tlačne sile

$$N_{ed} = 329.00 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 464.33 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.457 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.124 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \sigma_{m,ap,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_t \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$k_t = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1.014$$

$$h_{ap} = 113.6 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 3000 \text{ cm} \quad r = 3057 \text{ cm}$$

$$t = 4 \text{ cm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$k_1 = 1 + 1.4 \tan \alpha_{ap} + 5.4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1$$

$$k_2 = 0.35 - 8 \tan \alpha_{ap} = 0.35$$

$$k_3 = 0.6 + 8.3 \tan \alpha_{ap} - 7.8 \tan^2 \alpha_{ap} = 0.6$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{za } r_{in}/t \geq 240 \\ 0.76 + 0.001 \cdot r_{in}/t & \text{za } r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = 764 \Rightarrow k_r = 1$$

$$\sigma_{m,d} = 1.319 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \lambda_{rel,m,fi} & \text{za } 0.75 \leq \lambda_{rel,m,fi} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{za } 1.4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,fi} \cdot h_{(t,fi)}}{\pi \cdot b_{(t,fi)}}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}} = 0.956$$

$$k_{m,fi} = 0.843$$

$$\frac{0.124}{2.773} = 0.045$$

$$\frac{1.319}{2.896} = 0.455$$

Iskoristivost: 45.7%

6.1.4. Dokaz stabilnosti nosača

Bočna pridržanja tlačnog ruba nalaze se na svakih 4 m duž nosača.

1. slučaj: djelovanje najvećeg momenta savijanja

$$l_{ef} = 400 \text{ cm}$$

$$M_{ed} = 774.90 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 1.031 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{m,\bar{n}} = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \lambda_{rel,m,fi} & \text{za } 0.75 \leq \lambda_{rel,m,fi} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{za } 1.4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,fi} \cdot h_{(t,fi)}}{\pi \cdot b_{(t,fi)}^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}} = 0.956$$

$$k_{m,\bar{n}} = 0.843$$

$$1.031 \text{ kN/cm}^2 < 0.843 \cdot 2.048 = 2.90 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 35.6%

Interakcija momenta savijanja i tlačne sile

$$N_{ed} = 205.71 \text{ kN}$$

$$l_{ef,z} = 4000 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_x + \sqrt{k_x^2 - \lambda_{rel,x}^2}} = 0.48$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1.372$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ef,z}}{0.289 \cdot h} = 86.72$$

$$k_x = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 1,49$$

$$\begin{aligned} \beta_c &= 0,2 && \text{za puno drvo} \\ \beta_c &= 0,1 && \text{za lijepljeno lamelirano drvo} \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0,049$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0,176$$

$$\text{Iskoristivost: } 17,6\%$$

2. slučaj: djelovanje najveće tlačne sile - zakrivljeni dio

$$l_{ef} = 400 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = 464,33 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_t \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$k_t = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1,014$$

$$h_{ap} = 113,6 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 3000 \text{ cm} \quad r = 3057 \text{ cm}$$

$$t = 4 \text{ cm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha_{ap} = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha_{ap} - 7,8 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,6$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{za } r_{in}/t \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \cdot r_{in}/t & \text{za } r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = 764 \Rightarrow k_r = 1$$

$$\sigma_{m,d} = 1,319 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m,fi} & \text{za } 0,75 \leq \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{eff,fi} \cdot h_{(t,fi)}}{\pi \cdot b_{(t,fi)}^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}} = 0.956$$

$$k_{m,fi} = 0.843$$

$$1.319 \text{ kN/cm}^2 < 0.843 \cdot 2.048 = 2.90 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 45.5%

Interakcija momenta savijanja i tlačne sile

$$N_{ed,z} = 329.00 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{c,z} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_x + \sqrt{k_x^2 - \lambda_{rel,x}^2}} = 0.48$$

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1.372$$

$$\lambda_x = \frac{l_{eff,x}}{0.289 \cdot h} = 86.72$$

$$k_x = 0.5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,x} - 0.3) + \lambda_{rel,x}^2 \right) = 1.49$$

$\beta_c = 0.2$ za puno drvo

$\beta_c = 0.1$ za lijepijeno lamelirano drvo

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.079$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{c,z} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.286$$

Iskoristivost: 28.6%

6.1.5. Rekapitulacija iskoristivosti glavnog nosača

Tablica 8. Rekapitulacija iskoristivosti glavnog nosača

Provjera nosivosti elementa		Iskoristivost
1.	Vlak paralelno s vlakancima	4.0%
2.	Tlak paralelno s vlakancima	3.8%
3.	Tlak okomito na vlakanca nad osloncem	75.1%
4.	Savijanje na ravnom dijelu nosača	30.0%
5.	Savijanje na zakrivljenom dijelu nosača	23.1%
6.	Tlak okomito na vlakanca	7.1%
7.	Vlak okomito na vlakanca	35.6%
8.	Interakcija vlaka okomito na vlakanca i posmika	61.9%
9.	Posmik nad osloncem	20.8%
10.	Interakcija vlaka okomito na vlakanca i savijanja	7.0%
11.	Interakcija tlaka okomito na vlakanca i savijanja - najveći moment savijanja	30.1%
12.	Interakcija tlaka okomito na vlakanca i savijanja - najveća tlačna sila	0.0%
Provjera stabilnosti elementa		
13.	Bočno izvijanje za najveći moment - djelovanje momenta savijanja	35.6%
14.	Bočno izvijanje za najveći moment - interakcija momenta savijanja i tlaka paralelno s vlakancima	17.6%
15.	Bočno izvijanje za najveća tlačna sila - djelovanje momenta savijanja	45.5%
16.	Bočno izvijanje za najveća tlačna sila - interakcija momenta savijanja i tlaka paralelno s vlakancima	28.6%
Mjerodavna iskoristivost:		75.1%

6.2. Dimenzioniranje sekundarnog nosača

6.2.1. Ulazni podaci

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 60 minuta požara:

$$b_{(t)} = b - 2 \cdot d_{(t)} = 20 - 2 \cdot 4.2 = 11.6 \text{ cm}$$

$$h_{(t)} = h - 2 \cdot d_{(t)} = 100 - 2 \cdot 4.2 = 91.6 \text{ cm}$$

$$A = 1062.56 \text{ cm}^2$$

$$p = 206.4 \text{ cm}$$

$$I_y = 742956 \text{ cm}^4 \quad W_y = 16222 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 11915 \text{ cm}^4 \quad W_z = 2054 \text{ cm}^3$$

Faktori modifikacije:

$$\text{Za savojnu čvrstoću: } k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{200} \frac{\rho}{A_f} = 0.903$$

$$\text{Za tlačnu čvrstoću: } k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{125} \frac{\rho}{A_f} = 0.845$$

$$\text{Za vlačnu čvrstoću i module elastičnosti: } k_{mod,fi} = 1.0 - \frac{1}{330} \frac{\rho}{A_f} = 0.935$$

Karakteristike materijala GL32h :

Karakteristične vrijednosti
čvrstoće, krutosti i gustoće:

$f_{m,k} =$	32.0 N/mm ²
$f_{t,0,k} =$	25.6 N/mm ²
$f_{t,90,k} =$	0.5 N/mm ²
$f_{c,0,k} =$	32.0 N/mm ²
$f_{c,90,k} =$	2.5 N/mm ²
$f_{v,k} =$	3.5 N/mm ²
$E_{0,mean} =$	14200 N/mm ²
$E_{0,05} =$	11800 N/mm ²
$G_{mean} =$	650 N/mm ²
$G_{05} =$	540 N/mm ²
$\rho_k =$	440 kg

Proračunske vrijednosti čvrstoće:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$k_{fi} = 1.15$$

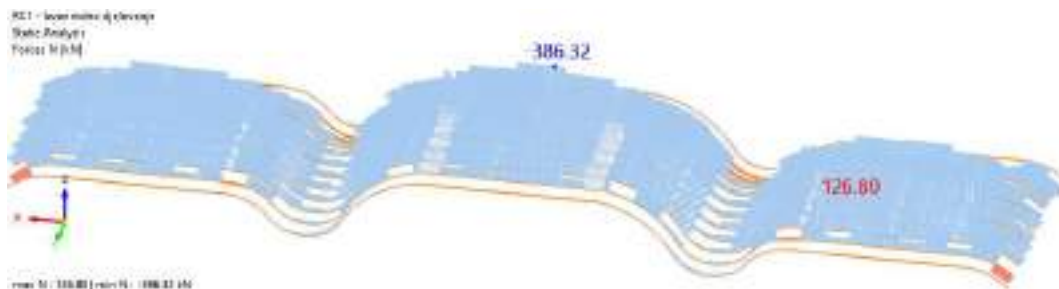
$$\gamma_{M,fi} = 1.00$$

$f_{m,d} =$	33.23 N/mm ²	=	3.323 kN/cm ²
$f_{t,0,d} =$	27.53 N/mm ²	=	2.753 kN/cm ²
$f_{t,90,d} =$	0.54 N/mm ²	=	0.054 kN/cm ²
$f_{c,0,d} =$	31.08 N/mm ²	=	3.108 kN/cm ²
$f_{c,90,d} =$	2.43 N/mm ²	=	0.243 kN/cm ²
$f_{v,d} =$	3.76 N/mm ²	=	0.376 kN/cm ²

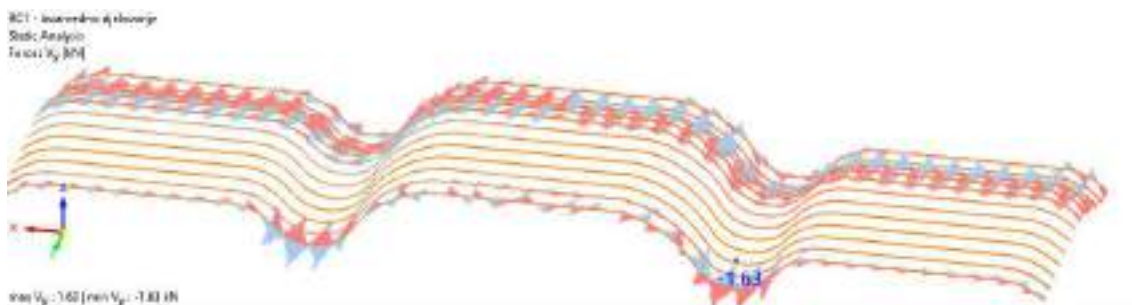
$$E_{d,fi} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 1269.14 \text{ kN/cm}^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 58.08 \text{ kN/cm}^2$$

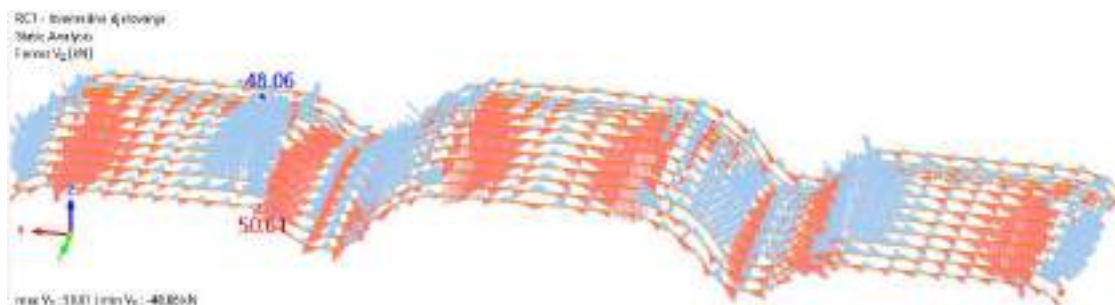
6.2.2. Dijagrami unutarnjih sila



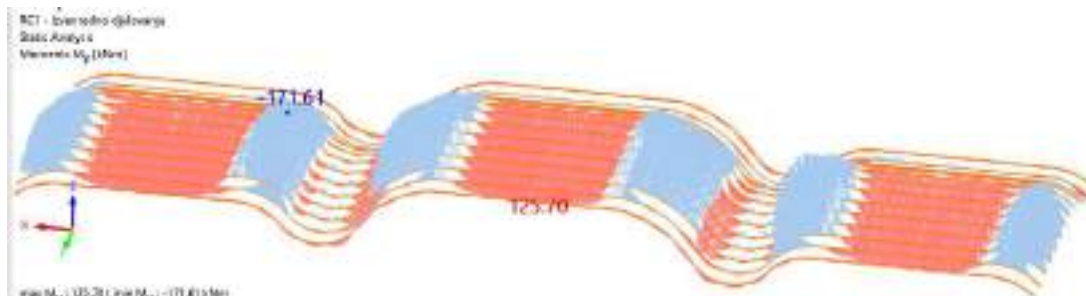
Slika 6.9 Dijagram uzdužnih sila N [kN]



Slika 6.10 Dijagram poprečnih sila Vy [kN]



Slika 6.11 Dijagram poprečnih sila V_z [kN]



Slika 6.12 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm]



Slika 6.13 Dijagram momenata savijanja M_z [kNm]

Iz dijagrama unutarnjih sila može se zaključiti da se utjecaji poprečnih sila u smjeru y-osi V_y i momenata savijanja oko z-osi M_z mogu zanemariti.

6.2.3. Dokaz nosivosti elementa

Vlak paralelno s vlakancima

$$N_{ed} = 22.38 \text{ kN} \quad A = 1063 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A} = 0.021 \text{ kN/cm}^2 < f_{t,0,d} = 2.75 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 0.8%

Tlak paralelno s vlakancima

$$N_{ed} = 386.32 \text{ kN} \quad A = 1063 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.364 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,0,d} = 3.11 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 11.7%

Savijanje :

1. slučaj: ravni dio nosača

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$M_{y,Ed} = 125.70 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0.775 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0.775}{3.323} = 0.233$$

$$\text{Iskoristivost} = 23.3\%$$

2. slučaj: zakrivljeni dio nosača

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_t \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$k_t = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1.021$$

$$M_{y,Ed} = 171.61 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 92 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 1653 \text{ cm} \quad r = 1699 \text{ cm}$$

$$t = 2.4 \text{ cm}$$

$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$k_1 = 1 + 1.4 \tan \alpha_{ap} + 5.4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1$$

$$k_2 = 0.35 - 8 \tan \alpha_{ap} = 0.35$$

$$k_3 = 0.6 + 8.3 \tan \alpha_{ap} - 7.8 \tan^2 \alpha_{ap} = 0.6$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{za } r_{in}/t \geq 240 \\ 0.76 + 0.001 \cdot r_{in}/t & \text{za } r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = 708 \Rightarrow k_r = 1$$

$$\sigma_{m,d} = 1.080 \text{ kN/cm}^2 < 1 \cdot f_{m,d} = 3.323 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost} = 32.5\%$$

Tlak okomito na vlakanca na zakrivljenom dijelu nosača

$$M_{y,Ed} = 171.61 \text{ kNm}$$

$$h_{ap} = 91.6 \text{ cm}$$

$$r_{in} = 1653 \text{ cm} \quad r = 1699 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{c,90cd}$$

$$k_{dis} = 1,4 \quad \text{za zakrivljene nosače zaobljenog ekstradosa i sedlaste nosače}$$

$$k_{dis} = 1,7 \quad \text{za sedlaste nosače pune statičke visine u zakrivljenom području}$$

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{za puno drvo} \\ \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} & \text{za ljepljeno lamelirano drvo} \end{cases}$$

$$V_0 = 0,01 \text{ m}^3$$

$$V = 0,315 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{c,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} = 0,0143 \text{ kN/cm}^2 < 0,1705 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,013$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} = 0$$

$$k_6 = 0,25 + 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} = 0$$

$$\text{Iskoristivost: } 8,4\%$$

Nosivost na posmik

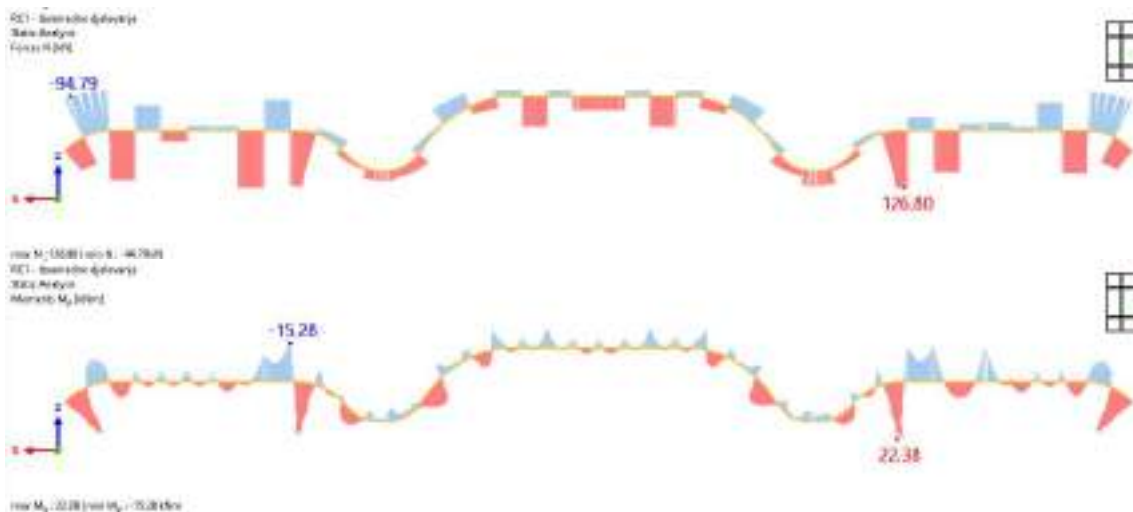
$$V_{z,ed} = 50.61 \text{ kN}$$

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\tau_{v,d} = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_e} = 0,071 \text{ kN/cm}^2 < f_{c,90,d} = 0,38 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Iskoristivost: } 19,0\%$$

Zajedničko djelovanje vlaka paralelno s vlakancima i savijanja
Najveći vlak javlja se u rubnim uzdužnim nosačima



Slika 6.14 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveća vlačna sila

$$N_{ed} = 22.38 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 126.80 \text{ kNm}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.243 < 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A} = 0.021 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0.782 \text{ kN/cm}^2$$

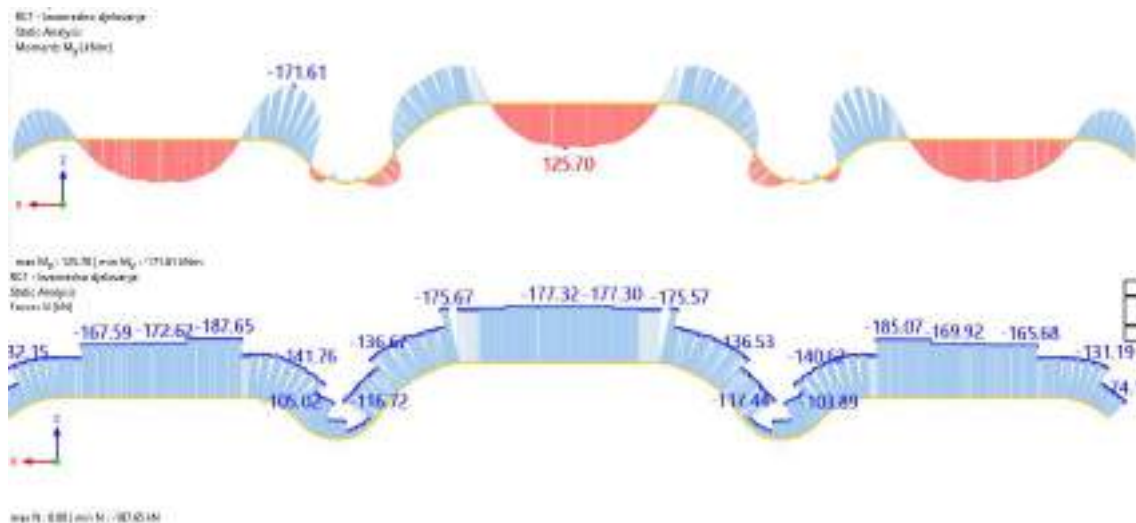
$$\frac{0.021}{2.753} = 0.008$$

$$\frac{0.782}{3.323} = 0.235$$

$$\text{Iskoristivost} = 24.3\%$$

Zajedničko djelovanje tlaka paralelno s vlakancima i savijanja

1. slučaj: najveći moment savijanja



Slika 6.15 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveći moment savijanja

$$N_{ed} = 144.11 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 171.61 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.327 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.136 \text{ kN/cm}^2$$

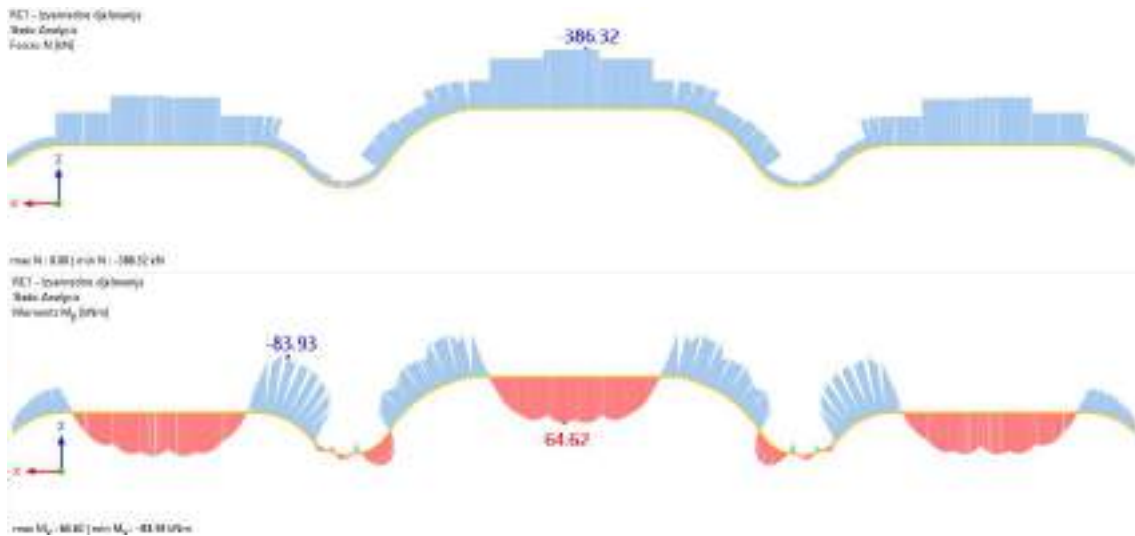
$$\sigma_{m,y,d} = \sigma_{m,ap} = 1.080 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0.136}{3.108} = 0.044$$

$$\frac{1.080}{3.323} = 0.325$$

$$\text{Iskoristivost} = 32.7\%$$

2. slučaj: najveća tlačna sila:



Slika 6.16 Dijagram momenata savijanja M_y [kNm] i uzdužnih sila N [kN] – najveća tlačna sila

$$N_{ed} = 386.32 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 64.62 \text{ kNm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad 0.134 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A} = 0.364 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0.398 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{0.364}{3.108} = 0.117$$

$$\frac{0.398}{3.323} = 0.120$$

Iskoristivost: 13.4%

6.2.4. Dokaz stabilnosti nosača

Bočna pridržanja tlačnog ruba nalaze se na svakih 4 m duž nosača.

1. slučaj: djelovanje najvećeg momenta savijanja

$$l_{ef} = 400 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = 171.61 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \sigma_{ap,d} = 1.080 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \lambda_{rel,m,fi} & \text{za } 0.75 \leq \lambda_{rel,m,fi} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{za } 1.4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,fi} \cdot h_{(t,fi)}}{\pi \cdot b_{(t,fi)}^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}} = 1.030$$

$$k_{m,fi} = 0.787$$

$$1.058 \text{ kN/cm}^2 < 0.787 \cdot 3.323 = 2.62 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 40,4%

Interakcija momenta savijanja i tlačne sile

$$N_{ed} = 144.11 \text{ kN}$$

$$l_{ef,z} = 400 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{c,z} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 1.01 \Rightarrow k_{c,z} = 1$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0.242$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{0.289 \cdot h} = 15.11$$

$$k_z = 0.5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 0.53$$

$$\beta_c = 0.2 \quad \text{za puno drvo}$$

$$\beta_c = 0.1 \quad \text{za lijepjeno lamelirano drvo}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.044$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{c,z} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.207$$

Iskoristivost: 20.7%

2. slučaj: djelovanje najveće tlačne sile

$$l_{ef} = 400 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = 64.62 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = 0.398 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \lambda_{rel,m,fi} & \text{za } 0.75 \leq \lambda_{rel,m,fi} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{za } 1.4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,fi} \cdot h_{(t,fi)}}{\pi \cdot b_{(t,fi)}^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sqrt{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}}} = 1.030$$

$$k_{m,fi} = 0.787$$

$$0.398 \text{ kN/cm}^2 < 0.787 \cdot 3.323 = 2.62 \text{ kN/cm}^2$$

Iskoristivost: 15.2%

Interakcija momenta savijanja i tlačne sile

$$N_{ed} = 386.32 \text{ kN}$$

$$l_{ef,z} = 400 \text{ cm}$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{c,z} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 1.01 \Rightarrow k_{c,z} = 1$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 0.242$$

$$\lambda_z = \frac{l_{ef,z}}{0.289 \cdot h} = 15.11$$

$$k_z = 0.5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 0.53$$

$$\beta_c = 0.2 \quad \text{za puno drvo}$$

$$\beta_c = 0.1 \quad \text{za lijepijeno lamelirano drvo}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.117$$

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{c,z} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0.140$$

Iskoristivost: 14.0%

6.2.5. Rekapitulacija iskoristivosti sekundarnog nosača

Tablica 9. Rekapitulacija iskoristivosti sekundarnog nosača

Provjera nosivosti elementa		Iskoristivost
1.	Vlak paralelno s vlakancima	0.8%
2.	Tlak paralelno s vlakancima	11.7%
3.	Tlak paralelno s vlakancima nad osloncem	30.8%
4.	Savijanje na ravnom dijelu nosača	23.3%
5.	Savijanje na zakrivljenom dijelu nosača	32.5%
6.	Tlak okomito na vlakanca	8.4%
7.	Nosivost na posmik	19.0%
8.	Interakcija vlaka okomito na vlakanca i savijanja	24.3%
9.	Interakcija tlaka okomito na vlakanca i savijanja - najveći moment savijanja	32.7%
10.	Interakcija tlaka okomito na vlakanca i savijanja - najveća tlačna sila	13.4%
Provjera stabilnosti elementa		
11.	Bočno izvijanje za najveći moment savijanja - djelovanje momenta savijanja	40.4%
12.	Bočno izvijanje za najveći moment savijanja - interakcija momenta savijanja i tlaka paralelno s vlakancima	20.7%
13.	Bočno izvijanje za najveću tlačnu silu - djelovanje momenta savijanja	15.2%
14.	Bočno izvijanje za najveću tlačnu silu- interakcija momenta savijanja i tlaka paralelno s vlakancima	14.0%
Mjerodavna iskoristivost:		40.4%

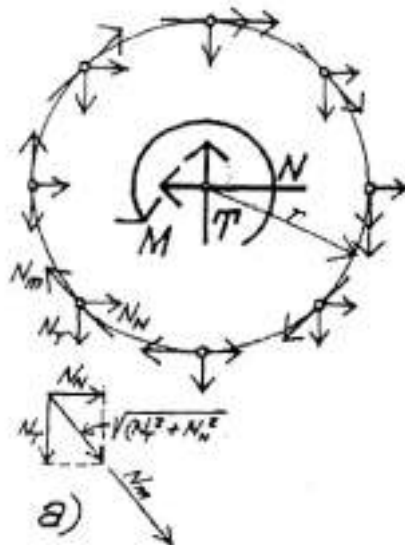
7. Proračun detalja

7.1. Detalj 1 – montažni nastavak glavnog nosača

Ulazni podaci:

d	30	mm
t	30	mm
ρ_k	440	kg/m ³
k_{mod}	0.9	0.692
γ_M	1.3	
f_{uk}	500	N/mm ²
γ_S	1.1	
b	200	mm
t_1	85	mm

$$F_d = F_{M,d} + \sqrt{F_{N,d}^2 + F_{V,d}^2}$$



Slika 7.1 Shema prihvata unutrašnjih sila u montažnoj vezi s kružnim rasporedom trnova [30]

$$M_{y,d} = 279.36$$

$$r = 0.6 \quad \text{m}$$

$$F_{M,d} = \frac{M_{y,d}}{r} = 465.6 \quad \text{kN}$$

$$F_{N,d} = 311.85 \quad \text{kN}$$

$$F_{V,d} = 105.67 \quad \text{kN}$$

$$F_d = 794.87 \quad \text{kN}$$

Proračun potrebnog broja spajala:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 25.256 \quad \text{N/mm}^2$$

$$f_{h,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,k}}{\gamma_M} = 17.48 \quad \text{N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = \frac{0,80 \cdot f_{uk} \cdot d^3}{6} = 1800000 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_S} = 1636363.6 \quad \text{Nmm}$$

$$1. \quad R_d = f_{h,d} \cdot t_1 \cdot d = 44586.55 \quad \text{N}$$

$$2. \quad R_d = 1,1 \cdot f_{h,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,d}}{1,1 \cdot f_{h,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] = 43624.14 \quad \text{N}$$

$$R_d = 49045.21 \cdot 0.8894679$$

$$R_d =$$

$$3. \quad R_d = 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,d} \cdot d} = 62149.65 \quad \text{N}$$

$$R_{d,min} = 43624.1 \quad \text{N}$$

$$R_d = 2 \cdot R_{d,min} = 87248.28$$

$$n = \frac{F}{R_d} = 9.110$$

Odabrano n = 12 trnova $\phi 30$ mm

Proračun čelične ploče S355:

$$h = 168 \quad \text{cm}$$

$$f_u = 490 \quad \text{N/mm}^2$$

Lom neto poprečnog presjeka:

$$A_{netto} = 486 \quad \text{cm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 17146.08 \quad \text{kN} > 794.87 \quad \text{kN}$$

Otpornost vijaka na odrez:

$$\alpha_v = 0.6$$

$$c \quad F_{v,Rk} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s = 4239.00 \quad \text{kN}$$

$$\frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mb}} = 3391.20 \text{ kN}$$

Za dvije rezne ravnine: $F_{v,Rk} = 6782.40 \text{ kN} > 794.87 \text{ kN}$

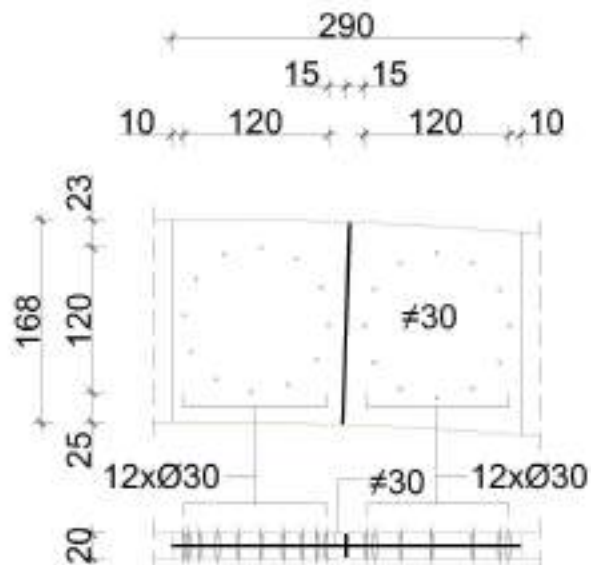
Otpornost na pritisak po omotaču rupe

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = 1$$

$$k_1 = 2.5$$

$$F_{b,Rk} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t = 1102.5 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{M2}} = 882.00 \text{ kN} > 794.87 \text{ kN}$$



Slika 7.2 Skica montažne veze glavnog nosača

7.2. Detalj 2 – detalj oslanjanja nosača na betonski stup $h \times b = 120 \times 80$ cm

7.2.1. Detalj oslanjanja glavnog nosača

Ulazni podaci:

Vijci k.v. 8.8:

$$\begin{aligned}d &= 20 & \text{mm} \\t &= 25 & \text{mm} \\f_{uk} &= 800 & \text{N/mm}^2 \\ \gamma_s &= 1.1\end{aligned}$$

Nosač GL32h:

$$\begin{aligned}\rho_k &= 440 & \text{kg/m}^3 \\k_{mod} &= 0.9 & 0.692 \\ \gamma_M &= 1.3 \\b &= 200 & \text{mm} \\t_2 &= 200 & \text{mm}\end{aligned}$$

Vlačna sila:

$$F_{d,v} = 67.52 \quad \text{kN}$$

Odizanje:

$$F_{d,o} = 76.40 \quad \text{kN}$$

$$F_d = \sqrt{F_{d,v}^2 + F_{d,o}^2} = 101.96 \quad \text{kN}$$

Proračun potrebnog broja spajala:

$$f_{h,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k = 28.864 \quad \text{N/mm}^2$$

$$f_{h,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,k}}{\gamma_M} = 19.98 \quad \text{N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = \frac{0.80 \cdot f_{uk} \cdot d^3}{6} = 853333.33 \quad \text{Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_s} = 775757.58 \quad \text{Nmm}$$

$$1. \quad R_d = 0.5 \cdot f_{h,d} \cdot t_2 \cdot d = 39965.54 \quad \text{N}$$

$$2. \quad R_d = 1.1 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,d} \cdot d} = 27391.4 \quad \text{N}$$

$$R_{d,min} = 27391.36 \quad \text{N}$$

$$R_d = 2 \cdot R_{d,min} = 54782.71$$

$$n = \frac{F}{R_d} = 1.861$$

Odabrano $n=2$ vijka $\phi 20$ mm.

Proračun čeličnih ploča S355:

$$\begin{aligned} h &= 125 \text{ cm} \\ f_u &= 490 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Lom neto poprečnog presjeka:

$$A_{netto} = 242 \text{ cm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 8537.76 \text{ kN} > 101.96 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na odrez:

$$\begin{aligned} \alpha_v &= 0.6 \\ F_{v,Rk} &= \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s = 235.20 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{M3}} = 188.16 \text{ kN}$$

$$\text{Za dvije rezne ravnine: } F_{v,Rk} = 376.32 \text{ kN} > 101.96 \text{ kN}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_n}; \frac{p_1}{3 \cdot d_n} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0 \right) = 1$$

$$k_1 = 2.5$$

$$F_{b,Rk} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t = 735 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{F_{b,Rk}}{\gamma_{M2}} = 588.00 \text{ kN} > 101.96 \text{ kN}$$

Proračun varova i ankera izvršen je u software-u Idea StatiCa

Analysis: Stress, strain/ loads in equilibrium

Members

Geometry

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
M3	12 - General	0,0	90,0	90,0	0	0	0
M4	5 - SHS200/200/10.0	-45,0	0,0	90,0	0	150	175
M5	5 - SHS200/200/10.0	45,0	0,0	0,0	0	150	175



Material

Steel	S 355 (EN)
Bolts	M27 10.9

Foundation block

CE 1		
Dimensions	800 x 800	mm
Depth	700	mm
Anchor	M27 10.9	
Anchoring length	500	mm
Shear force transfer	Anchors	

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	M3 / End	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M4 / End	-465,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5 / End	250,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LE2	M4 / End	-324,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M3 / End	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5 / End	260,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LE3	M4 / End	-2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M3 / End	85,5	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	M5 / End	28,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100,0%	OK
Plates	4,5 < 5,0%	OK
Bolts	99,7 < 100%	OK
Anchors	95,5 < 100%	OK
Welds	99,4 < 100%	OK
Concrete block	10,4 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

7.2.2. Detalj oslanjanja sekundarnog nosača – nepokretni ležaj

Ulazni podaci:

Vijci k.v. 8.8:

$$\begin{aligned} d &= 16 \text{ mm} \\ t &= 10 \text{ mm} \\ f_{uk} &= 800 \text{ N/mm}^2 \\ \gamma_s &= 1.1 \end{aligned}$$

Nosač GL32h:

$$\begin{aligned} \rho_k &= 440 \text{ kg/m}^3 \\ k_{mod} &= 0.9 \quad 0.692 \\ \gamma_M &= 1.3 \\ b &= 200 \text{ mm} \\ t_2 &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Vlačna sila:

$$F_{d,v} = 48.81 \text{ kN}$$

Proračun potrebnog broja spajala:

$$f_{h,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k = 30.3072 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,k}}{\gamma_M} = 20.98 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = \frac{0.80 \cdot f_{uk} \cdot d^3}{6} = 436906.67 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_s} = 397187.88 \text{ Nmm}$$

$$1. \quad R_d = 0.5 \cdot f_{h,d} \cdot t_2 \cdot d = 33571.05 \text{ N}$$

$$2. \quad R_d = 1.1 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,d} \cdot d} = 17963.4 \text{ N}$$

$$R_{d,min} = 17963.38 \text{ N}$$

$$R_d = 2 \cdot R_{d,min} = 35926.77$$

$$n = \frac{F}{R_d} = 1.359$$

Odabrano $n=2$ vijka $\phi 16$ mm.

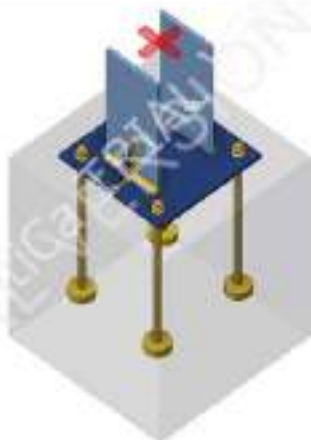
Proračun ankera izvršen je u software-u Idea StatiCa

Analysis: Stress, strain/ loads in equilibrium

Members

Geometry

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
M3	12 - General	0,0	90,0	90,0	0	0	0



Material

Steel	S 355 (EN)
Bolts	M20 10.9

Foundation block

CB 1

Dimensions	600 x 600	mm
Depth	700	mm
Anchor	M20 10.9	
Anchoring length	500	mm
Shear force transfer	Anchors	

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	M3 / End	0,0	48,8	0,0	0,0	0,0	0,0
LE2	M3 / End	19,6	31,7	0,0	0,0	0,0	0,0

Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,0 < 5,0%	OK
Anchors	48,3 < 100%	OK
Welds	98,1 < 100%	OK
Concrete block	58,5 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

7.2.3. Detalj oslanjanja sekundarnog nosača –pokretni ležaj

Ulazni podaci:

Trn S355:

$$\begin{aligned}d &= 16 \text{ mm} \\t &= 10 \text{ mm} \\f_{uk} &= 500 \text{ N/mm}^2 \\\gamma_s &= 1.1\end{aligned}$$

Nosač GL32h:

$$\begin{aligned}\rho_k &= 440 \text{ kg/m}^3 \\k_{mod} &= 0.9 \\ \gamma_M &= 1.3 \\b &= 200 \text{ mm} \\t_2 &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Vlačna sila:

$$F_{d,v} = 22.28 \text{ kN}$$

Proračun potrebnog broja spajala:

$$f_{h,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k = 30.3072 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,k}}{\gamma_M} = 20.98 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = \frac{0.80 \cdot f_{uk} \cdot d^3}{6} = 273066.67 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_s} = 248242.42 \text{ Nmm}$$

$$1. \quad R_d = 0.5 \cdot f_{h,d} \cdot t_2 \cdot d = 33571.05 \text{ N}$$

$$2. \quad R_d = 1.1 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,d} \cdot d} = 14201.3 \text{ N}$$

$$R_{d,min} = 14201.30 \text{ N}$$

$$R_d = 2 \cdot R_{d,min} = 28402.60$$

$$n = \frac{F}{R_d} = 0.784$$

Odabrano $n = 1$ trn $\phi 16 \text{ mm}$.

Proračun gornje ploče:

$$A_z \geq \frac{F_{d,z}}{f_{c,90,d}} = 137.19 \text{ cm}$$

$$A_z = b \cdot l = 20 \cdot 20 = 400 \text{ cm} < 137.19 \text{ cm}$$

$$q_d = \frac{F_{d,\tau}}{e} = 1.10 \text{ kN/cm}$$

$$M_z = \frac{q_d \cdot \eta^2}{2} = 13.72 \text{ kNcm}$$

$$\sigma_c = \frac{M_z}{W_z} = \frac{6 \cdot M_z}{b \cdot d^2} = 4.12 \text{ kN/cm}^2 \leq 0.9 \cdot f_{a,dop} = 31.95 \text{ kN/cm}^2$$

Proračun promjera vijka:

$$D \geq \frac{10.5 \cdot F_{d,z}}{1000 \cdot 2 \cdot b} = 0.58 \text{ mm}$$

Odabrano: D = 10 mm

7.3. Detalj 3 – detalj oslanjanja sekundarnog nosača na betonski zid d = 70 cm

Ulazni podaci:

Vijci k.v. 8.8:

$$d = 18 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$f_{uk} = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_s = 1.1$$

Nosač GL32h:

$$\rho_k = 440 \text{ kg/m}^3$$

$$k_{mod} = 0.9$$

$$\gamma_M = 1.3$$

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

$$t_2 = 200 \text{ mm}$$

Odizanje:

$$F_{d,v} = 27.94 \text{ kN}$$

$$F_{d,\rho} = 74.29 \text{ kN}$$

$$F_d = \sqrt{F_{d,v}^2 + F_{d,\rho}^2} = 79.37 \text{ kN}$$

Proračun potrebnog broja spajala:

$$f_{h,k} = 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \cdot \rho_k = 29.5856 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,k}}{\gamma_M} = 20.48 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = \frac{0.80 \cdot f_{uk} \cdot d^3}{6} = 622080 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_s} = 565527.27 \quad \text{Nmm}$$

$$1. \quad R_d = 0.5 \cdot f_{h2,d} \cdot t_2 \cdot d = 36868.21 \quad \text{N}$$

$$2. \quad R_d = 1.1 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h2,d} \cdot d} = 22462.6 \quad \text{N}$$

$$R_{d,min} = 22462.62 \quad \text{N}$$

$$R_d = 2 \cdot R_{d,min} = 44925.25$$

$$n = \frac{F}{R_d} = 1.767$$

Odabrano $n = 2$ vijka $\phi 18$ mm.

Proračun ankera izvršen je u software-u Idea StatiCa

Analysis: Stress, strain/ loads in equilibrium

Members

Geometry

Name	Cross-section	β - Direction [°]	γ - Pitch [°]	α - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
M1	1 - Timber rectangle 200/1000	0.0	90.0	0.0	0	0	0
M2	5 - SHS200/200/10.0	-90.0	45.0	0.0	0	0	-150
M3	5 - SHS200/200/10.0	90.0	45.0	0.0	0	0	-150



Material

Steel	Edit of Basic, S 355 (EN)
Bolts	M24 10.9, M27 10.9

Foundation block

CB 1	
Dimensions	1400 x 1600 mm
Depth	700 mm
Anchor	M24 10.9
Anchoring length	500 mm
Shear force transfer	Anchors

Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	M1 / End	0,0	0,0	-63,6	0,0	0,0	0,0
	M2 / End	-821,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M3 / End	537,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LE2	M1 / End	74,2	0,0	-27,9	0,0	0,0	0,0
	M2 / End	-280,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	M3 / End	365,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100,0%	OK
Plates	0,1 < 5,0%	OK
Bolts	58,1 < 100%	OK
Bolts - timber	Not calculated	
Anchors	71,8 < 100%	OK
Welds	99,0 < 100%	OK
Concrete block	62,1 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

7.4. Detalj 4 – detalj oslanjanja sekundarnih na glavni nosač

Ulazni podaci:

Vijci k.v. 8.8:

d = 22 mm
t = 15 mm
 $f_{uk} = 800 \text{ N/mm}^2$
 $\gamma_s = 1,1$

Nosač GL32h:

$\rho_k = 440 \text{ kg/m}^3$
 $k_{mod} = 0,9$
 $\gamma_M = 1,3$
b = 200 mm
t₂ = 200 mm

Odizanje:

$F_{d,v} = 34,59 \text{ kN}$
 $M_{y,d} = 342,07 \text{ kNm}$

$$F_{d,M,1} = \frac{M_{y,d}}{e_s} = 684,14 \text{ kN}$$

$e_s = 50 \text{ cm}$

$$F_d = \sqrt{F_{d,v}^2 + F_{d,M}^2} = 685,01 \text{ kN}$$

Proračun potrebnog broja spajala:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 28.14 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,k}}{\gamma_M} = 19.48 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{y,k} = \frac{0,80 \cdot f_{uk} \cdot d^3}{6} = 1135786.67 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_S} = 1032533.3 \text{ Nmm}$$

$$1. R_d = 0,5 \cdot f_{h,d} \cdot t_2 \cdot d = 42863.04 \text{ N}$$

$$2. R_d = 1,1 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,d} \cdot d} = 32726.62 \text{ N}$$

$$R_{d,min} = 32726.62 \text{ N}$$

$$R_d = 2 \cdot R_{d,min} = 65453.25 \text{ N}$$

$$n = \frac{F}{R_d} = 10.47$$

Odabrano n = 12 vijaka ϕ 22 mm.

Proračun bočnih čeličnih ploča

$$h = 100 \text{ cm}$$

$$f_u = 490 \text{ N/mm}^2$$

Lom neto poprečnog presjeka:

$$A_{netto} = 260.4 \text{ cm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{netto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 9186.91 \text{ kN} > 685.01 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na odrez:

$$A_s = 303 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_v = 0.6$$

$$F_{v,Rk} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s = 145.44 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mh}} = 116.35$$

Za 12 vijaka i dvije rezne ravnine:

$$F_{v,k} = 2 \cdot n \cdot F_{v,k} = 2792.45 \text{ kN} > 685.01 \text{ kN}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0 \right) = 1$$

$$k_1 = 2.5$$

$$F_{b,Rk} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t = 404.25 \text{ kN}$$

Za 12 vijaka i dvije rezne ravnine:

$$F_{b,Rk} = 9702.00 \text{ kN} > 685.01 \text{ kN}$$

Proračun čeonih vijaka:

Obzirom da je posmična sila zanemariva u odnosu na vlačnu silu, dokazat će se samo nosivost vijaka na interakciju posmika i izvlačenja. Pri tome su mjerodavne sile dvostruke vrijednosti sila na koje su proračunati prethodni elementi.

Vijci k.v. 8.8:

$$\begin{aligned} d &= 24 \text{ mm} \\ t &= 15 \text{ mm} \\ f_{uk} &= 800 \text{ N/mm}^2 \\ \gamma_s &= 1.1 \end{aligned}$$

$$F_{d,v} = 69.18 \text{ kN}$$

$$F_{d,M} = 1368.28 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na odrez:

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_v = 0.6$$

$$F_{v,Rk} = \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s = 169.44 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Rk}}{\gamma_{Mh}} = 135.55$$

Za ukupno 24 vijka i dvije rezne ravnine:

$$F_{v,k} = 2 \cdot n \cdot F_{v,k} = 6506.5 \text{ kN} > 69.18 \text{ kN}$$

Otpornost vijaka na izvlačenje

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ab} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 203.33 \text{ kN}$$

$$k_2 = 0.9$$

Za 12 vijaka:

$$F_{t,Rd} = 2439.94 > 1368.28 \text{ kN}$$

Interakcija posnika i izvlačenja

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{1368.28}{2439.94} + \frac{69.18}{9109.09} = 0.56838 < 1$$

Proračun varova

$$A_{var} = h \cdot a = 100 \cdot 0.7 = 70 \text{ cm}^2$$

$$I_{vara} = \frac{2 \cdot a \cdot h^3}{12} = 116666.67 \text{ cm}^4$$

$$W_{vara} = \frac{2 \cdot I_{vara}}{h} = 2333.33 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{II} = \frac{F_{d,v}}{A_{var}} = 0.494 \text{ kN/cm}^2$$

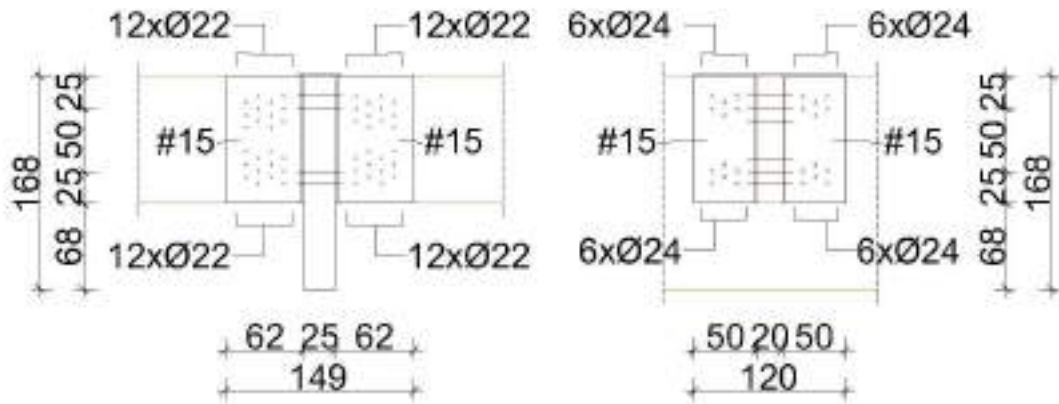
$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{W_{vara}} = 10.37 \text{ kN/cm}^2$$

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$$

$$10.40 < 35.28$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 f_u / \gamma_{M2}$$

$$10.37 < 35.28$$



Slika 7.3 Skica detalja oslanjanja sekundarnog nosača na glavni

7.5. Detalj 5 – detalj oslanjanja glavnih nosača na zid d = 70 cm

Ulazni podaci:

$$N_{ed} = 146.63 \text{ kN}$$

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$l = 70 \text{ cm}$$

$$A = 1750 \text{ cm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 32.0 \text{ N/mm}^2 \quad \left| \quad f_{c,0,d} = 20.48 \text{ N/mm}^2 = 2.048 \text{ kN/cm}^2 \right.$$

$$f_{c,90,k} = 2.5 \text{ N/mm}^2 \quad \left| \quad f_{c,90,d} = 1.60 \text{ N/mm}^2 = 0.160 \text{ kN/cm}^2 \right.$$

Provjera tlaka pod kutom na vlakanca:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A} \leq k_{c,\alpha} \cdot f_{c,0,d}$$

$$k_{c,\alpha} = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = 0.0935$$

$$\alpha = 65^\circ$$

$$0.084 < 0.191$$

$$\text{Iskoristivost: } 43.8\%$$

Dimenzioniranje čelične ploče S355:

$$M_{s,d} = \left(\sigma_{c,\perp} \cdot \frac{b}{2} \right) \cdot \frac{b}{4} = 6.55 \text{ kNcm}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{6 \cdot M_{s,d}}{0.9 \cdot \sigma_{s,d,dep}}} = 1.11 \text{ cm}$$

Odabrana debljina ploče $d = 20$ mm.

Obzirom na silu koja djeluje na ležaj i horizontalni pomak koji treba zadovoljiti (0.83 cm), odabran je elastomerni ležaj proizvođača Tehnoguma dimenzija 250 x 300 mm, tip 2.

Širina × dužina, promjer	Dopu- šteno optere- ćenje	Visina ležaja				Debljina elastomera		Broj slojeva elasto- mera	Deblji- na sloja elasto- mera	Deblji- na linza	Dopušteni pomak		Dopušteni kut zakretanja				
		Tip 1	Tip 2	Tip 4	Tip 5	Tip 1	Tip 2,4,5				Tip 1	Tip 2,4,5					
		d				T					V=+-		n				
mm	kN	mm				mm		-	t	s	mm		‰				
100×100 100×150 100×200	100 150 200	14				10		1	5	2	7,0		4,0	3,0	5,0		
		21	42	72	32	15	10	2			10,5	7,0	8,0	6,0	10,0		
		28	49	79	39	20	15	3			14,0	10,5	12,0	9,0	15,0		
		35	56	86	46	25	20	4			16,3	14,0	16,0	12,0	20,0		
		42	63	93	53	30	25	5			18,0	16,3	20,0	15,0	25,0		
		70	100	60		30	30	6				18,0	24,0	18,0	30,0		
150×200	300	14				10		1	5	2	7,0		3,0	3,0	4,0		
		21	42	72	32	15	10	2			10,5	7,0	6,0	6,0	8,0		
		28	49	79	39	20	15	3			14,0	10,5	9,0	9,0	13,0		
		35	56	86	46	25	20	4			17,5	14,0	12,0	12,0	17,0		
		42	63	93	53	30	25	5			21,0	17,5	15,0	15,0	21,0		
		49	70	100	60	35	30	6			23,3	21,0	18,0	18,0	25,0		
		56	77	107	67	40	35	7			25,3	23,3	21,0	21,0	29,0		
		63	84	114	74	45	40	8			27,0	25,3	24,0	24,0	33,0		
		91	121	81		45	45	9				27,0	27,0	27,0	37,0		
200×300 200×300 200×300	625 750 314	19				13		1	8	3	9,1		3,0	2,5	4,0	4,0	
		30	49	79	39	21	16	2			14,7	11,2	6,0	5,0	8,0	8,0	
		41	60	90	50	29	24	3			20,3	16,8	9,0	7,5	12,0	12,0	
		52	71	101	61	37	32	4			25,9	22,4	12,0	10,0	16,0	16,0	
		63	82	112	72	45	40	5			30,4	28,0	15,0	12,5	20,0	20,0	
		74	93	123	83	53	48	6			33,7	31,7	18,0	15,0	24,0	24,0	
200×400	1000	85	104	134	94	61	56	7			36,3	34,7	21,0	17,5	28,0	28,0	
		19				13		1	8	3	9,1		3,0	1,2	4,0		
		30	49	79	39	21	16	2			14,7	11,2	6,0	2,4	8,0		
		41	60	90	50	29	24	3			20,3	16,8	9,0	3,6	12,0		
		52	71	101	61	37	32	4			25,9	22,4	12,0	4,8	16,0		
		63	82	112	72	45	40	5			30,4	28,0	15,0	6,0	20,0		
		74	93	123	83	53	48	6			33,7	31,7	18,0	7,2	24,0		
		85	104	134	94	61	56	7			36,3	34,7	21,0	8,4	28,0		

7.6. Proračun pokrova na odizanje

Ulazni podaci:

Vijci k.v. 8.8:

$d = 8$ mm

$l_{ef} = 80$ mm

$f_{uk} = 800$ N/mm²

$\gamma_s = 1.1$

$F_{d,v} = 71.56$ kN/m

Proračun vijaka na čupanje:

$$R_d = f_{3,d} \cdot (l_{ef} - d) = 6850.65 \text{ N}$$

$$f_{3,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{3,k} = 95.15 \text{ N/mm}$$

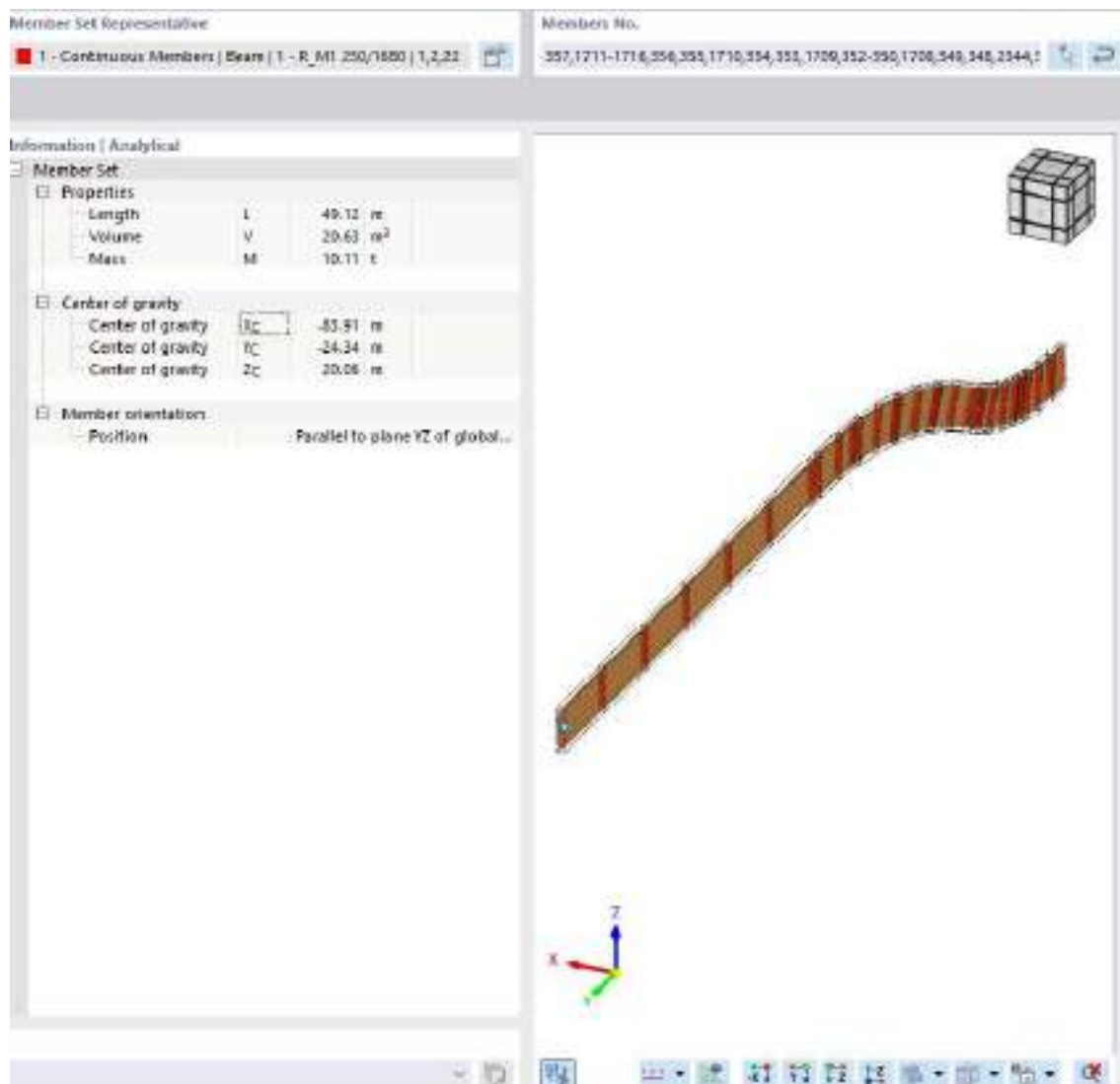
$$f_{3,k} = (1.5 + 0.6d)\sqrt{\rho_k} = 132.15 \text{ N/mm}$$

$$n = \frac{F}{R_d} = 10.4457$$

Potrebno je ugraditi vijke M8 na 7.5 cm osnovnog raspona, minimalne dubine zavrtanja 8 cm.

8. Iskaz materijala

Iskaz materijala izrađen je uz pomoć programskog paketa Dlubal RFEM u kojem se za svaki nosač može pronaći informacija o dužini, volumenu i masi.



Slika 8.1 Podaci iz Dlubal RFEM-a za glavni nosač

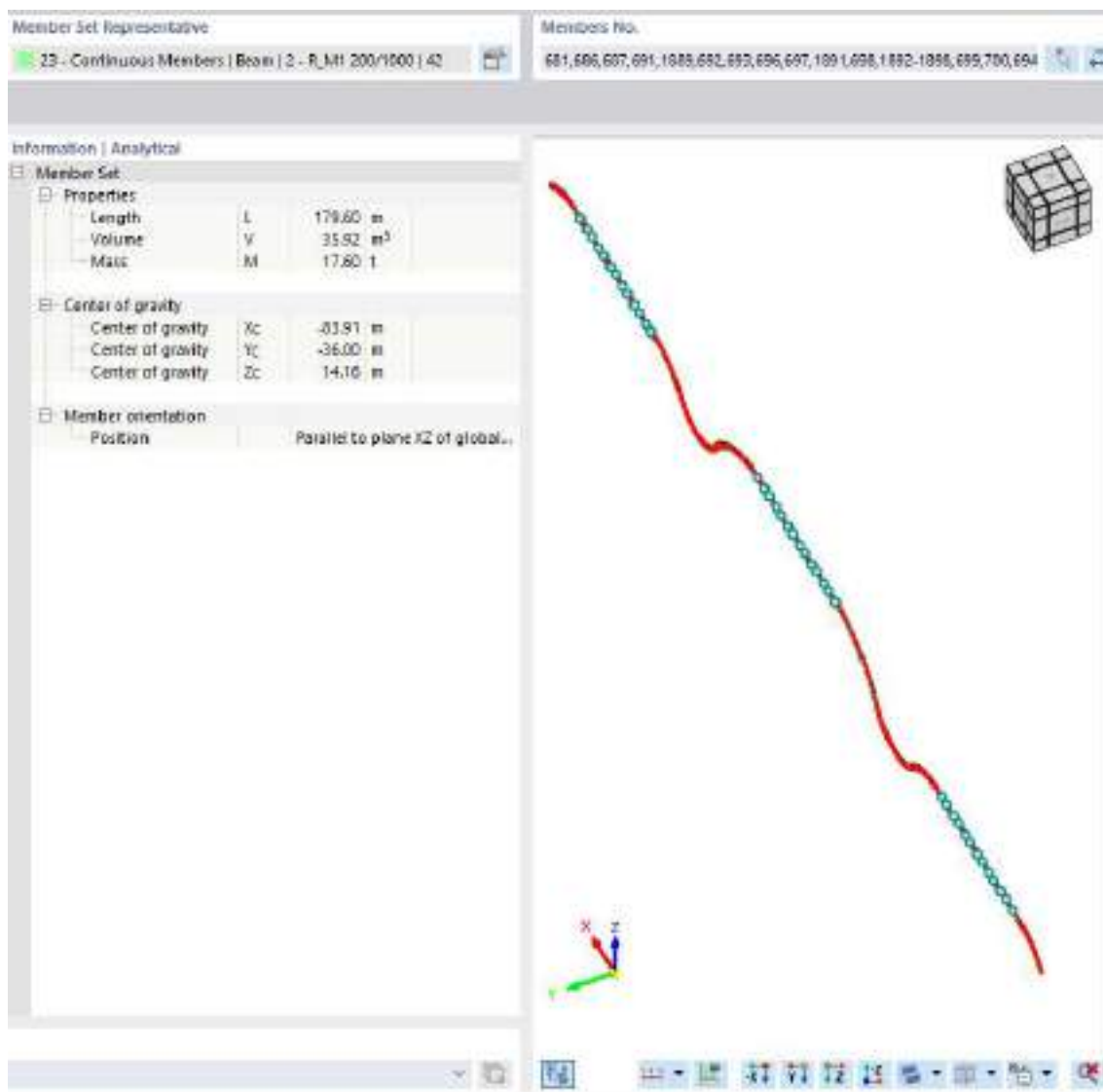
Ukupna količina za 41 glavni nosač:

Duljina: 2013.92 m

Volumen: 845.83 m³

Masa: 414456.7 kg = 414.46 tona

Podaci iz Dlubal RFEM-a za glavni nosač



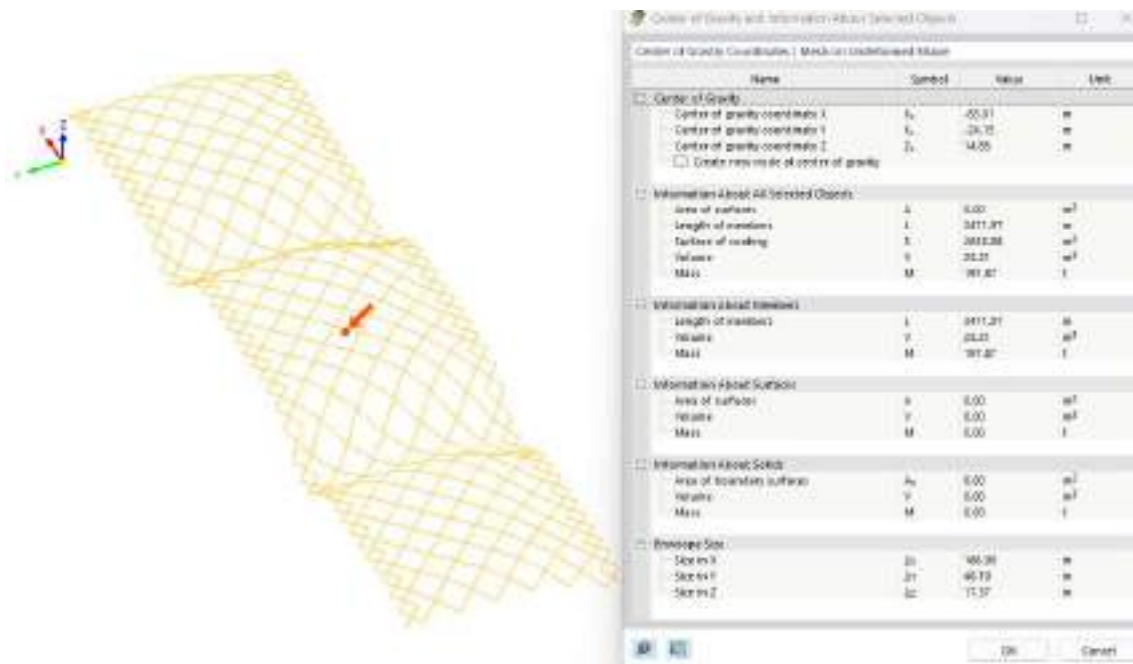
Slika 8.2 Podaci iz Dlubal RFEM-a za sekundarni nosač

Ukupna količina za 13 sekundarnih nosača:

Duljina: 2334.8 m

Volumen: 466.96 m³

Masa: 228810.4 kg = 228.81 tona



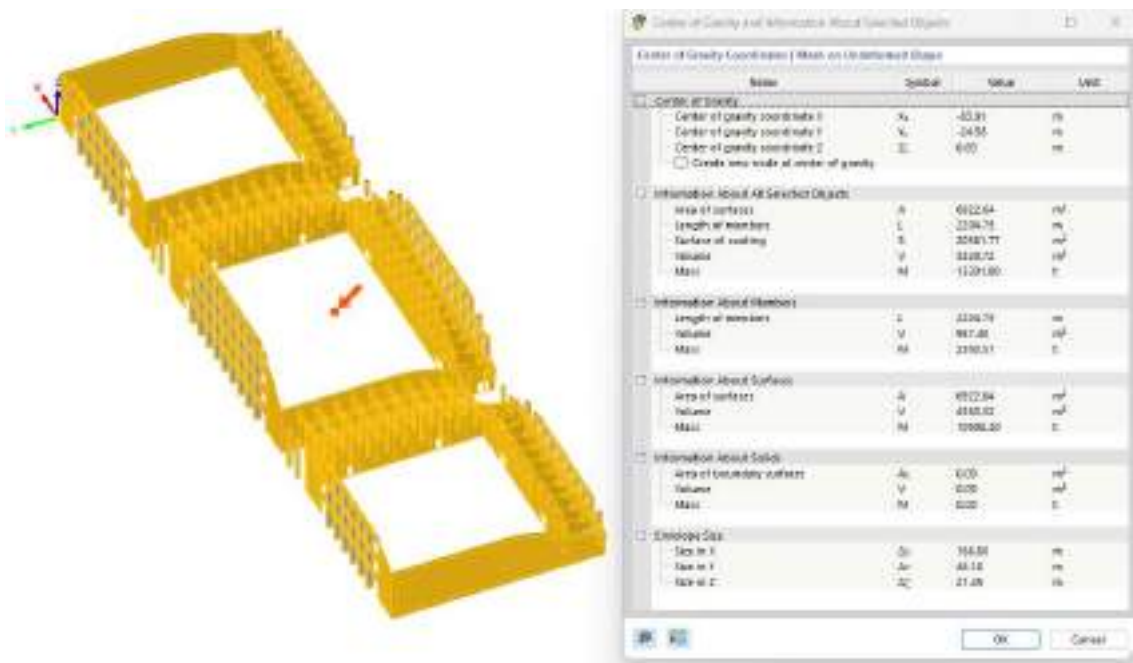
Slika 8.3 Podaci iz Dlubal RFEM-a za spregove

Ukupna količina za 13 sekundarnih nosača:

Duljina: 3471.7+97 m

Volumen: 25.21 m³

Masa: 197870 kg = 197.87 tona



Slika 8.4 Podaci iz Dlubal RFEM-a za betonske elemente

Tablica 10. Iskaz materijala

Iskaz materijala elemenata krova [kg]	
Glavni nosač	414456.70
Sekundarni nosač	228810.40
Čelični spregovi	197870.00
Detalji spojeva	25234.11
Ukupno:	866371.21
Ukupno kg/m ²	106.18
Iskaz materijala betonskih elemenata [kg]	
Stupovi i grede	13301800.00
Ploče	10908300.00
Ukupno:	24210100.00
Ukupno kg/m ²	2967.16
Rekapitulacija:	25076471.21
Rekapitulacija: kg/m ²	3073.34

9. Zaključak

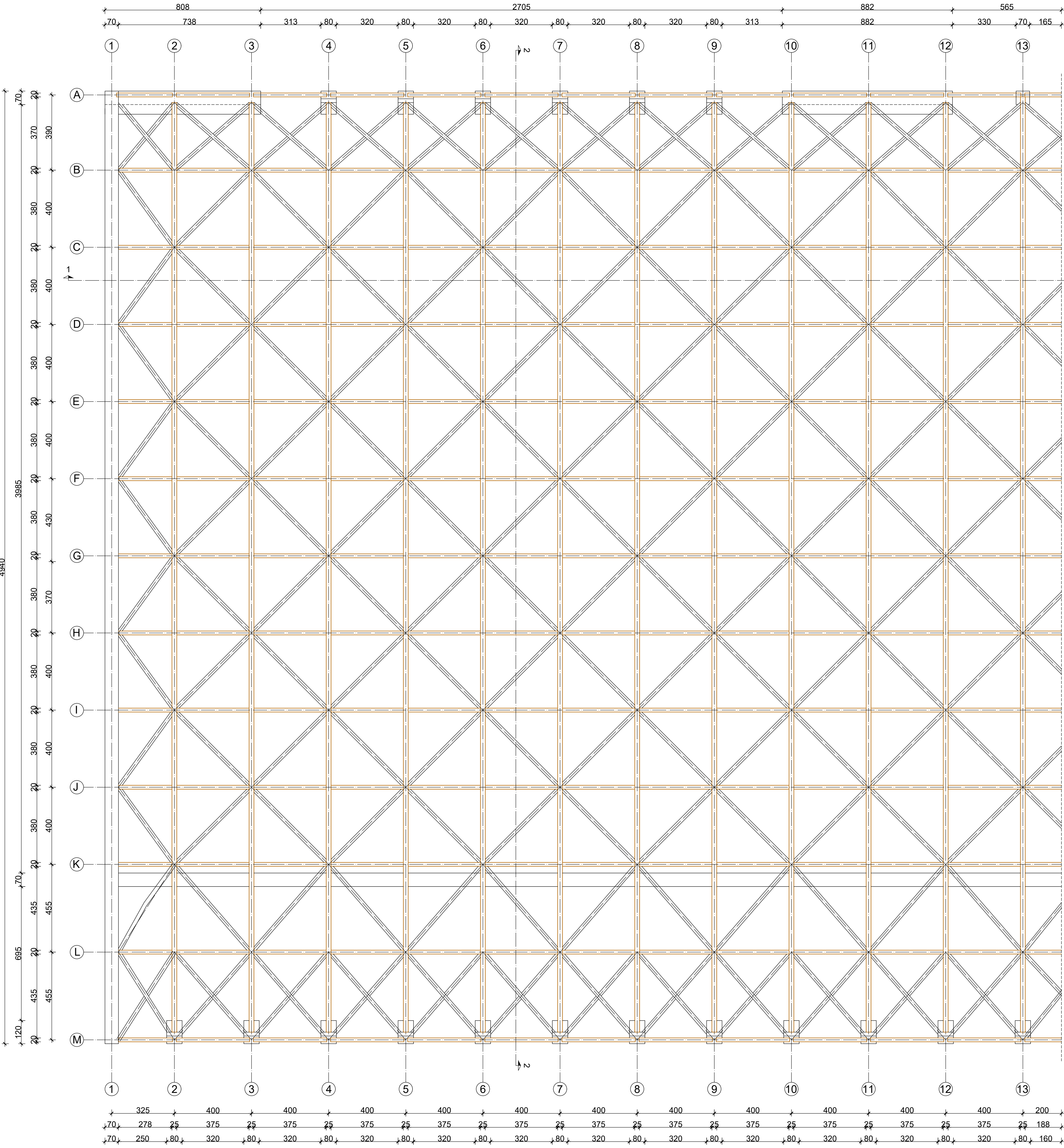
U diplomskom radu je razmotrena drvena konstrukcija građevine koja ima svrhu edukacijskog i sportskog centra. Tlocrtne dimenzije građevine su 167.20 x 48.80 m i visine 25.10 m. Dobiveni rezultati su u skladu s očekivanjima da su učinci djelovanja statičke analize mjerodavni u odnosu na dinamičku. Razlog je relativno mala težina, što je očigledno i iz iskaza materijala, zbog čega drvene krovne konstrukcije nisu osjetljive na potres. Ono prelazi dozvoljeno naprezanje te je potrebno ojačati sljemeno područje. Zbog neuobičajenog oblika krova analiza opterećenja vjetra napravljena je pomoću simulacije vjetrovnog tunela u računalnom paketu RWIND. Proračun konstrukcije napravljen je u računalnom paketu Dlubal RFEM. Također je uzeto u obzir i djelovanje požara pomoću metode efektivnog presjeka. Sukladno očekivanjima, zbog geometrije zakrivljenih lameliranih nosača, mjerodavno je naprezanje vlaka okomito na vlakanca u sljemenu glavnog nosača. Ono prelazi dozvoljeno naprezanje te je potrebno ojačati sljemeno područje. Spojevi između drvenih elemenata proračunati su ručno dok su varovi i ankeri proračunati u računalnom paketu IDEA StatiCa.

Popis literature

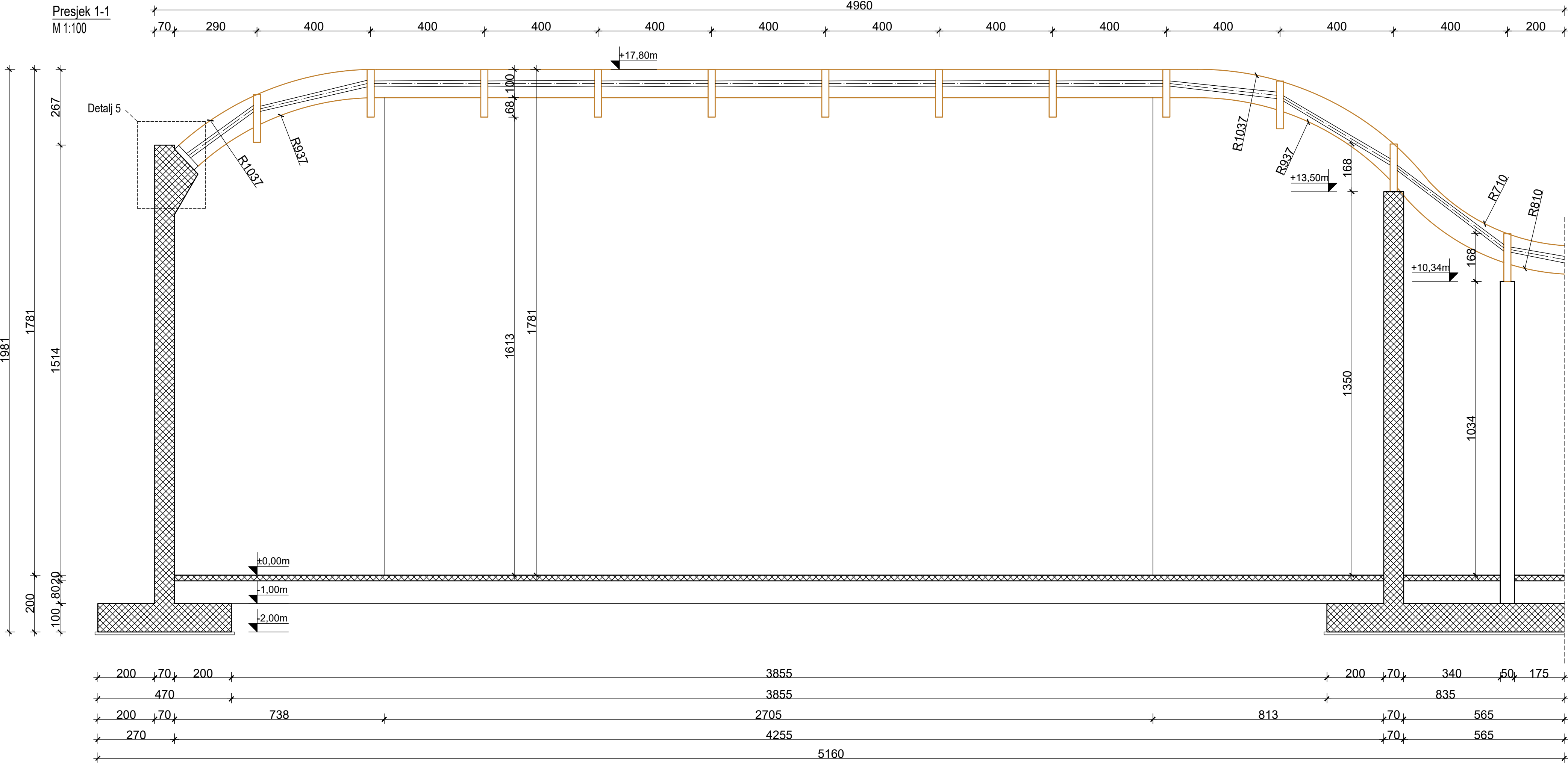
- [1] Ross P. Appraisal and Repair of Timber Structures. London: Thomas Telford; 2002.
- [2] Köhler J. Reliability of timber structures. IBK Bericht 2007;301.
- [3] Thelandersson S, Larsen HJ. Timber Engineering. John Wiley&Sons Ltd; 2003.
- [4] Kuilen JWGV De, Ceccotti A, Xia Z, He M. Very Tall Wooden Buildings with Cross Laminated Timber. Procedia Eng 2011;14:1621–8. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.204>.
- [5] Stacked wood boards 2151234 Stock Photo at Vecteezy n.d. <https://www.vecteezy.com/photo/2151234-stacked-wood-boards> (accessed September 21, 2023).
- [6] Karakteristike LLD - Drvene konstrukcije n.d. <https://www.drvene-konstrukcije.hr/karakteristike-llld/> (accessed September 14, 2023).
- [7] Architectural Glulam Beams & Columns - Weekes Forest Products n.d. <https://weekesforest.com/product-detail/architectural-glulam-beams/> (accessed September 21, 2023).
- [8] Manufacturing process | RSB Specialist Timber Manufacturer n.d. <https://www.rsbgroupp.co.za/laminated-beams/800-x-600-4/> (accessed September 21, 2023).
- [9] Ong CB. Glue-laminated timber (Glulam). Wood Composites 2015:123–40. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-454-3.00007-X>.
- [10] Swedish Wood - Swedish Wood n.d. <https://www.swedishwood.com/> (accessed September 14, 2023).
- [11] Popovski M, Karacabeyli E. Seismic Behaviour of Cross-Laminated Timber Structures 2012.
- [12] Brettsperrholz MM crosslam - MM Holz n.d. <https://www.mm-holz.com/produkte/clt-brettsperrholz> (accessed September 21, 2023).
- [13] Frangi A, Fontana M, Hugi E, Jübstl R. Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire. Fire Saf J 2009;44:1078–87. <https://doi.org/10.1016/J.FIRESAF.2009.07.007>.
- [14] Conventional assembly layup of cross-laminated timber (CLT 90°) | Download Scientific Diagram n.d. https://www.researchgate.net/figure/Conventional-assembly-layup-of-cross-laminated-timber-CLT-90_fig1_313192887 (accessed September 21, 2023).
- [15] Brandner R, Flatscher G, Ringhofer A, Schickhofer G, Thiel A. Cross laminated timber (CLT): overview and development. European Journal of Wood and Wood Products 2016;74:331–51. <https://doi.org/10.1007/S00107-015-0999-5/METRICS>.
- [16] Kolb J. Systems in Timber Engineering. Systems in Timber Engineering 2008. <https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8690-0/HTML>.

- [17] Ceccotti A. Seismic Behaviour of Multi-Storey XLam Buildings Seismic Behaviour of Multi-Storey XLam Buildings Summary. n.d.
- [18] Rinaldin G, Fragiaco M. Non-linear simulation of shaking-table tests on 3- and 7-storey X-Lam timber buildings. Eng Struct 2016;113:133–48. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2016.01.055>.
- [19] Screws, Glues, Nails and Joints. – Wandle works n.d. <https://wandleworks.wordpress.com/2016/01/26/screws-glues-nails-and-joints/> (accessed September 21, 2023).
- [20] Reinforced Angle Bracket - E2/2.5/7090 | Simpson Strong-Tie n.d. <https://www.strongtie.co.uk/en-UK/products/reinforced-angle-bracket-e2257090> (accessed September 21, 2023).
- [21] SIMPSON sidreni kutnik HTT 22E 559 x 62 x 64 vruće pocinčani, s odobrenjem n.d. <https://webshop.schachermayer.com/cat/hr-HR/product/simpson-sidreni-kutnik-htt-22e-559-x-62-x-64-vruce-pocincani-s-odobrenjem/104446099> (accessed September 21, 2023).
- [22] Glulam Beams | Wigo Group n.d. <https://wigo.info/glued-laminated-timber> (accessed September 21, 2023).
- [23] Östman B, Mikkola E, Stein R, Frangi A, König J, Dhima D, et al. Fire safety in timber buildings - Technical guideline for Europe. 2010.
- [24] STRUCTURE magazine | Post-Fire Analysis of Solid-Sawn Heavy Timber Beams n.d. <https://www.structuremag.org/?p=1129> (accessed September 21, 2023).
- [25] Europski Odbor za Normizaciju (CEN). Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-1: Opća djelovanja - Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada (HRN EN 1991-1-1:2012). 1st ed. Zagreb: HZN; 2012.
- [26] Europski Odbor za Normizaciju (CEN). Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-1: Opća djelovanja - Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada - Nacionalni dodatki (HRN EN 1991-1-1:2012/NA). 1st ed. Zagreb: HZN; 2012.
- [27] Europski Odbor za Normizaciju (CEN). Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-3: Opća djelovanja - Opterećenja snijegom (HRN EN 1991-1-3:2012). Zagreb: HZN; 2012.
- [28] Europski Odbor za Normizaciju (CEN). Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-3: Opća djelovanja - Opterećenja snijegom - Nacionalni dodatci (HRN EN 1991-1-3:2012/NA). Zagreb: HZN; 2012.
- [29] Europski Odbor za Normizaciju (CEN). Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja - Opterećenja vjetrom - Nacionalni dodatci (HRN EN 1991-1-4:2012/NA). Zagreb: HZN; 2012.
- [30] Bjelanović A, Rajčić V. Drvene konstrukcije prema europskim normama. Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada; 2005.

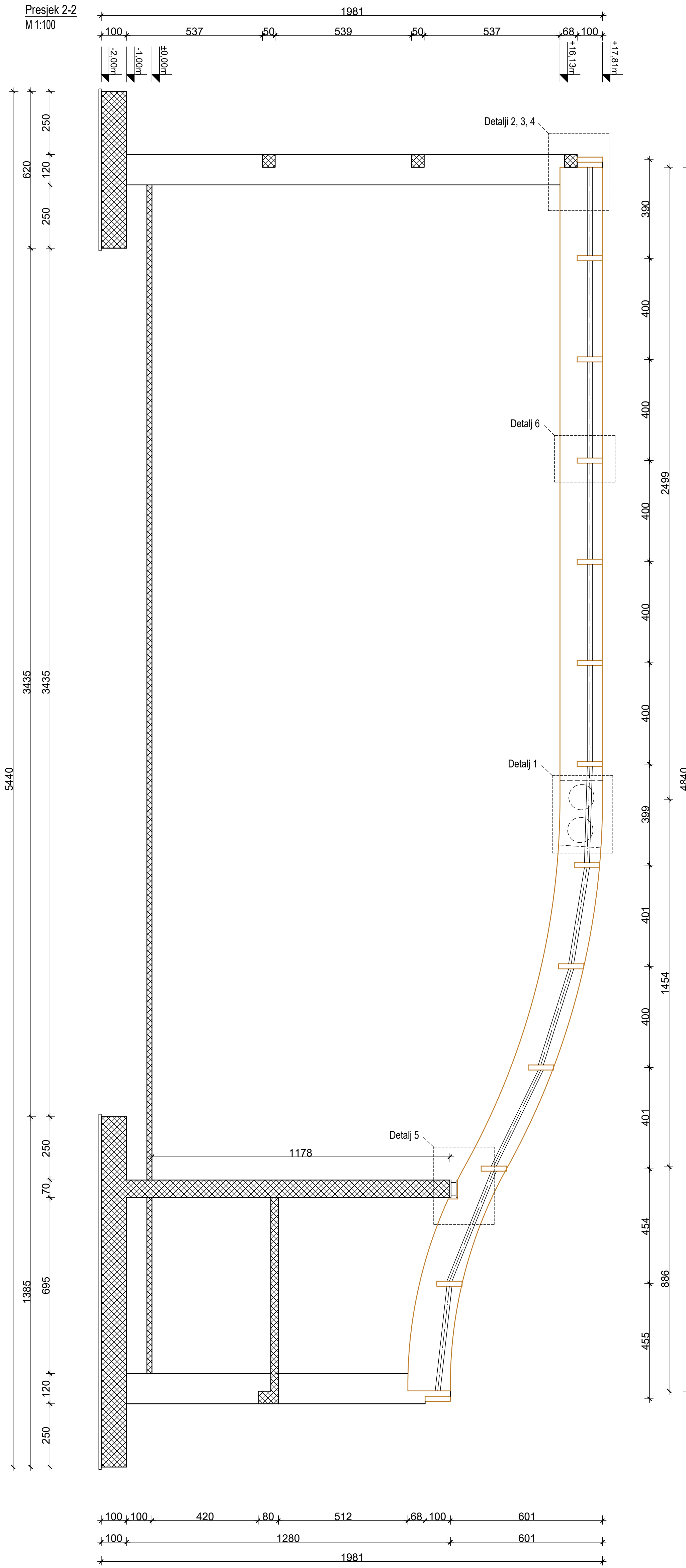
Tlocrt
M 1:100

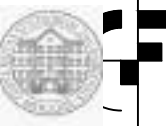


Presjek 1-1
M 1:100

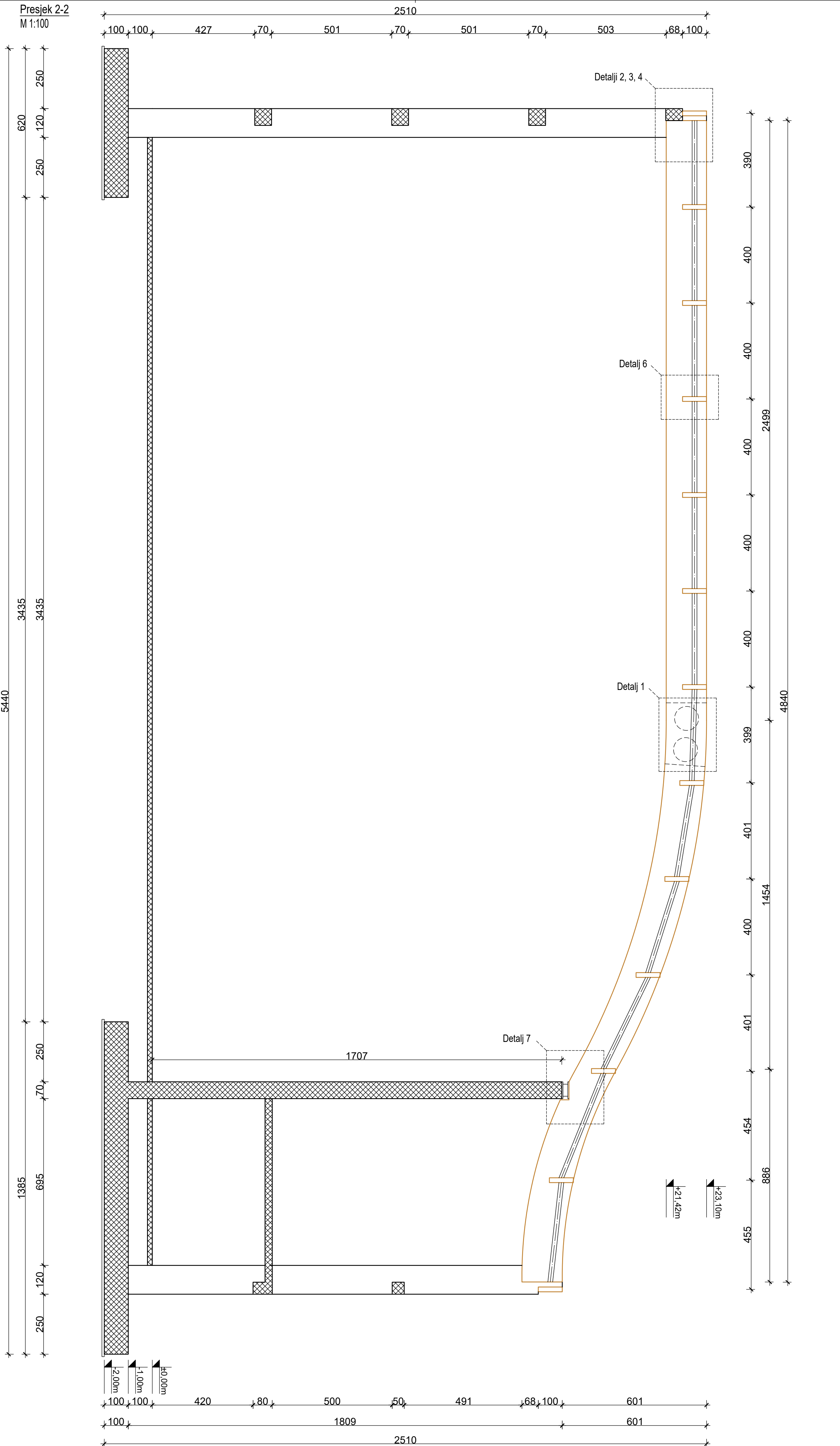
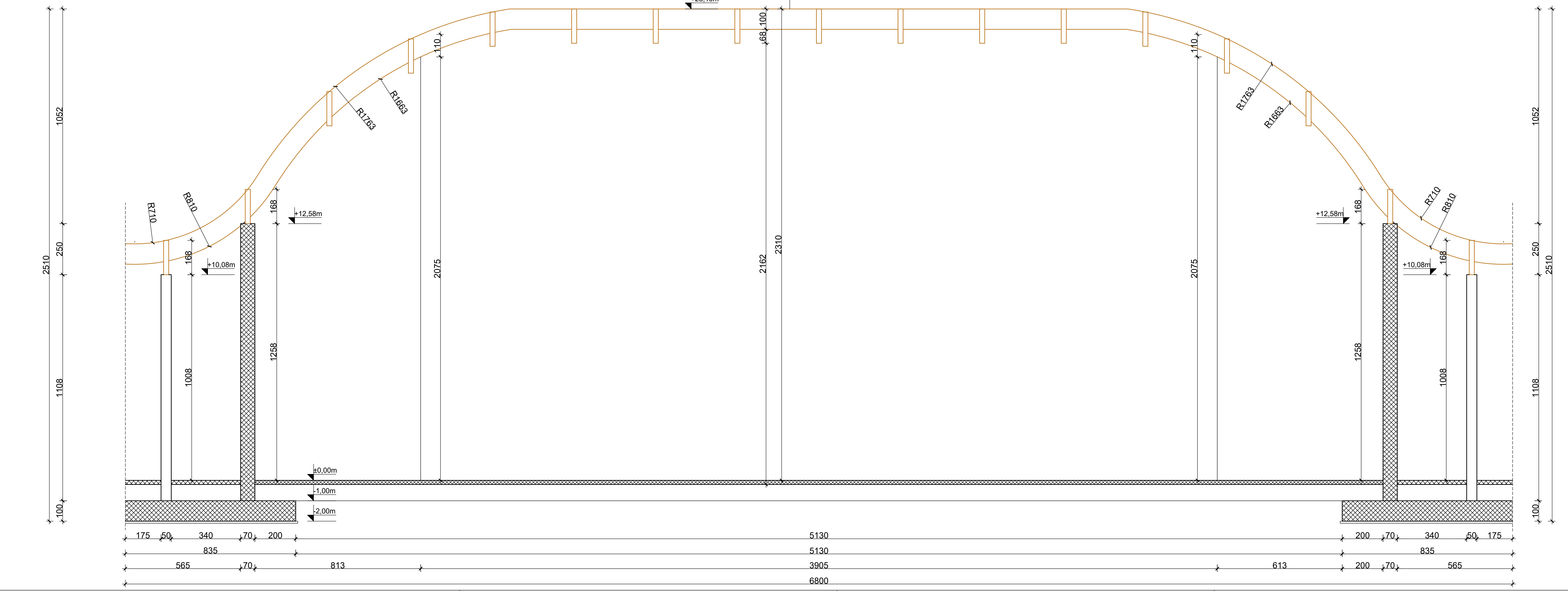
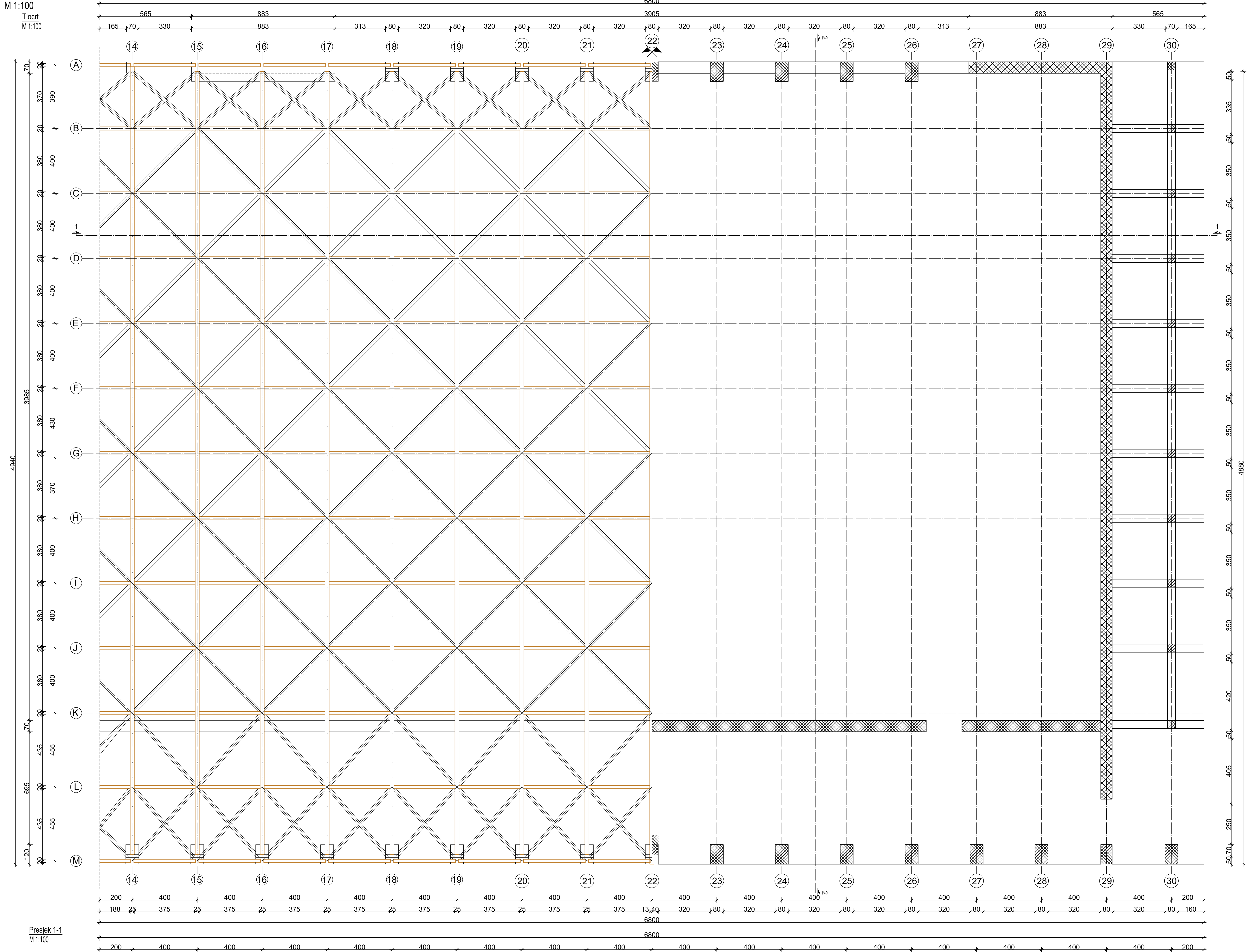


Presjek 2-2
M 1:100

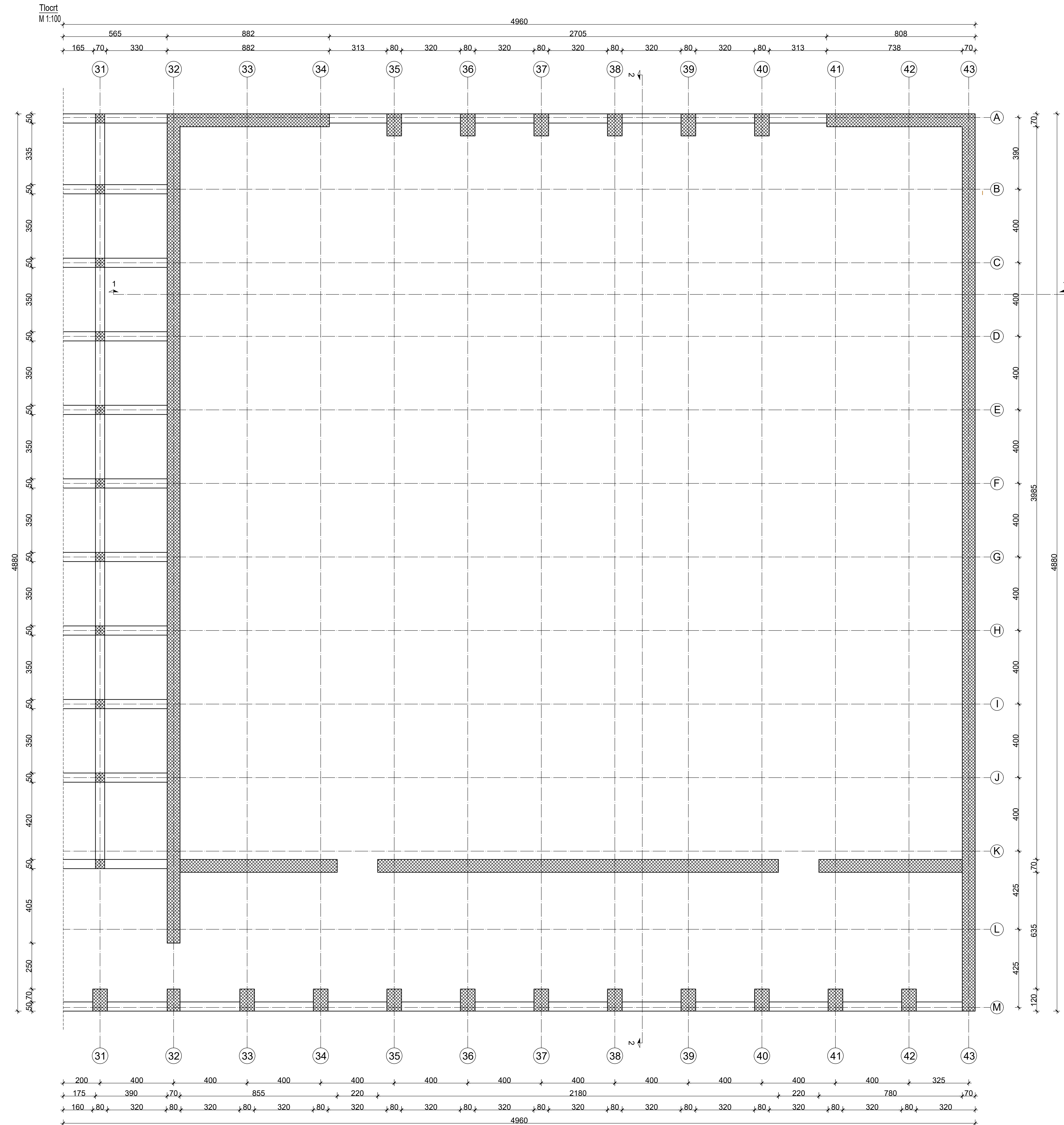


 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET Fra Andrije Kačića-Mrljaca 26 10 002 Zagreb		ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE Katedra za drvene konstrukcije	
Kolegij: DRVENE KONSTRUKCIJE 2			
Razina obrade: Diplomski rad / Idejni projekt			
Sadržaj nacrta: Dispozicija edukacijskog centra sa sportskom halom od osi 1 do osi 13			
Mentor: prof.dr.sc. Vlatka Rajčić		Broj nacrta: 1	
Datum: 09.2023.		Mjesta: 1:100	
Akademska godina: 2022./2023.			
Izradio: Valentin Tuka			

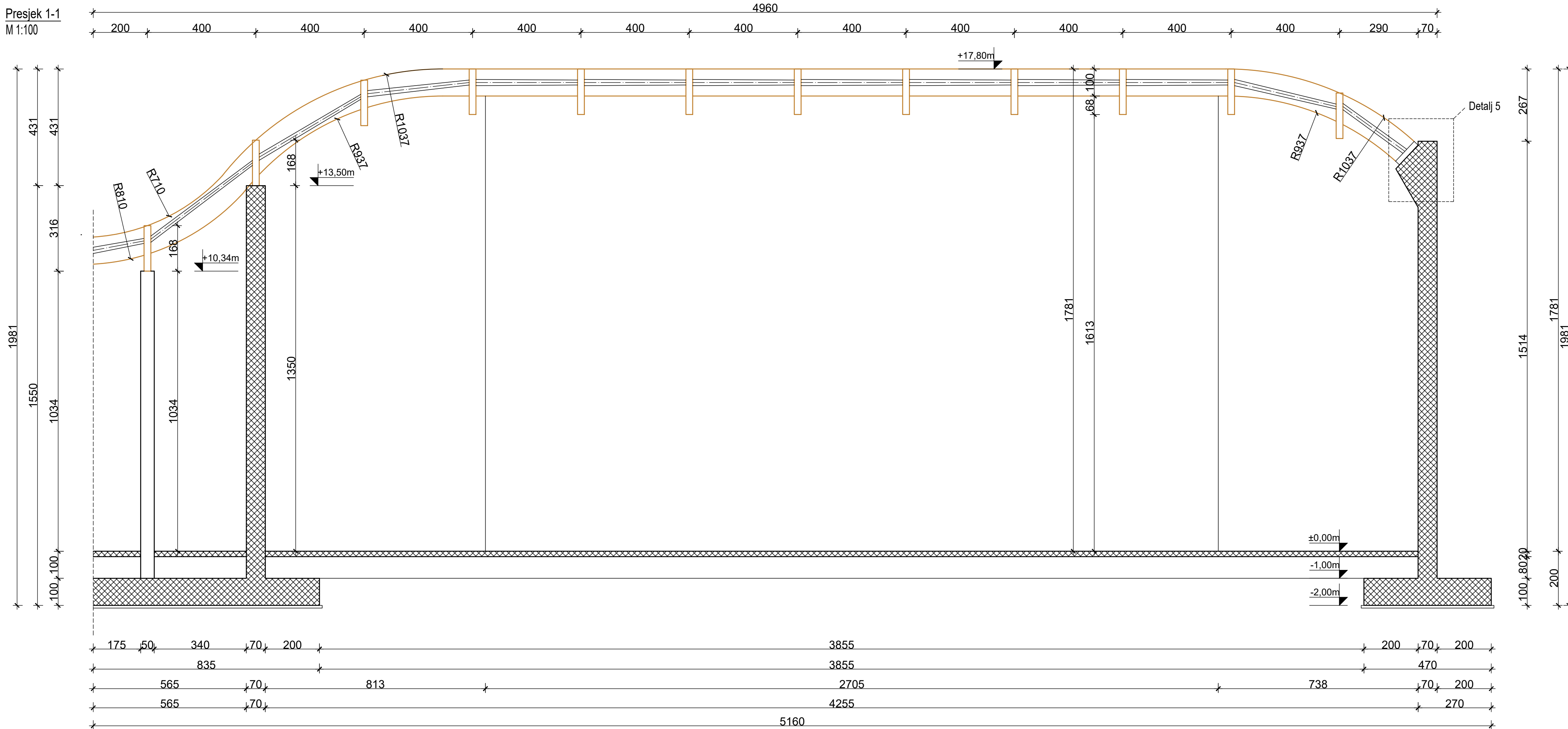
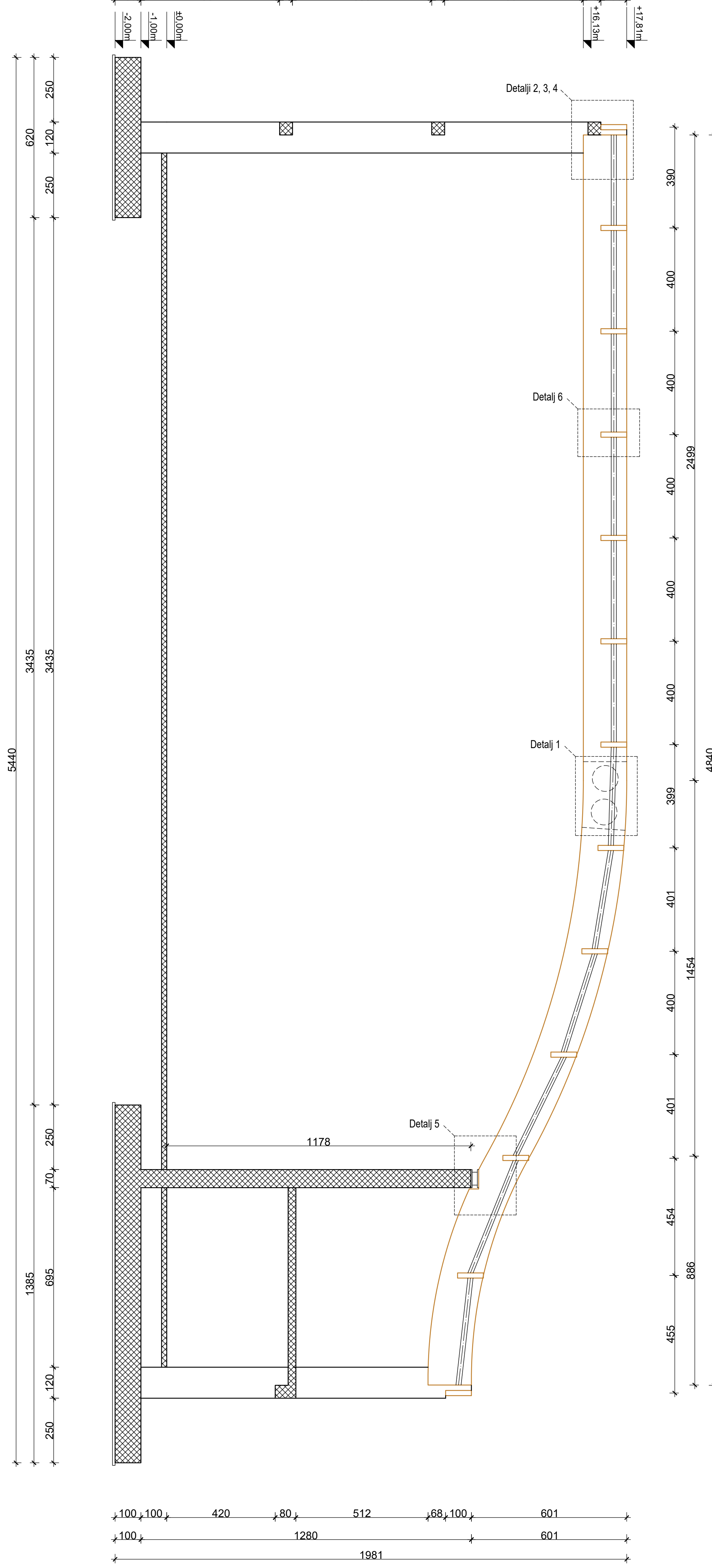
Dispozicija sportske hale od osi 14 do osi 30



		ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE Katedra za drvene konstrukcije	
Kolegij: DRVENE KONSTRUKCIJE 2			
Razina obrade: Diplomski rad / Idejni projekt			
Sadržaj nacrt: Dispozicija edukacijskog centra sa sportskom halom od osi 14 do osi 30			
Mentor: prof. dr. sc. Vlatka Rajčić		Broj nacrt: 1	
Datum: 09.2023.		Mjerilo: 1:100	
Akademska godina: 2022./2023.			
Izradio: Valentin Tuka			

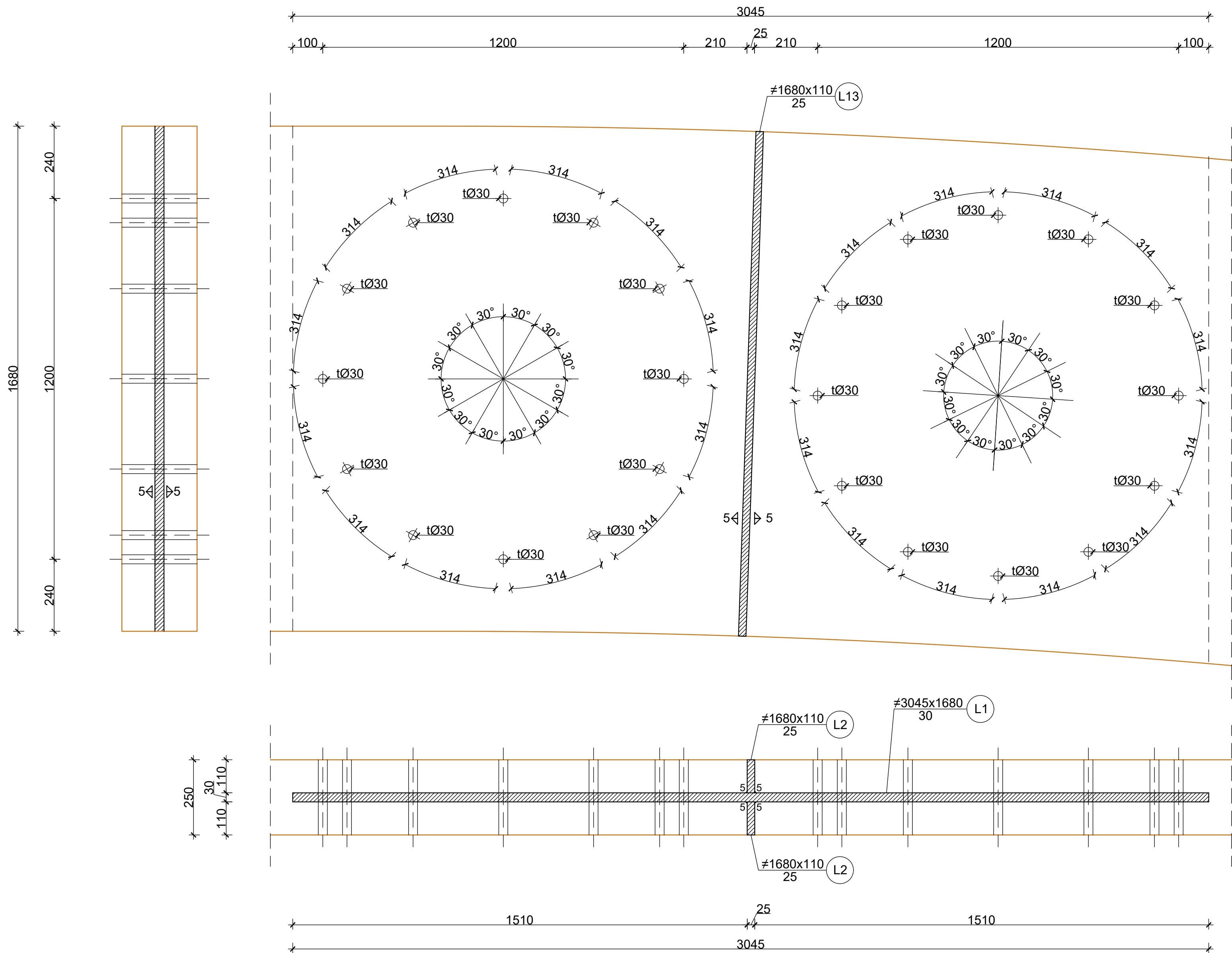


Presjek 2-2
M 1:100



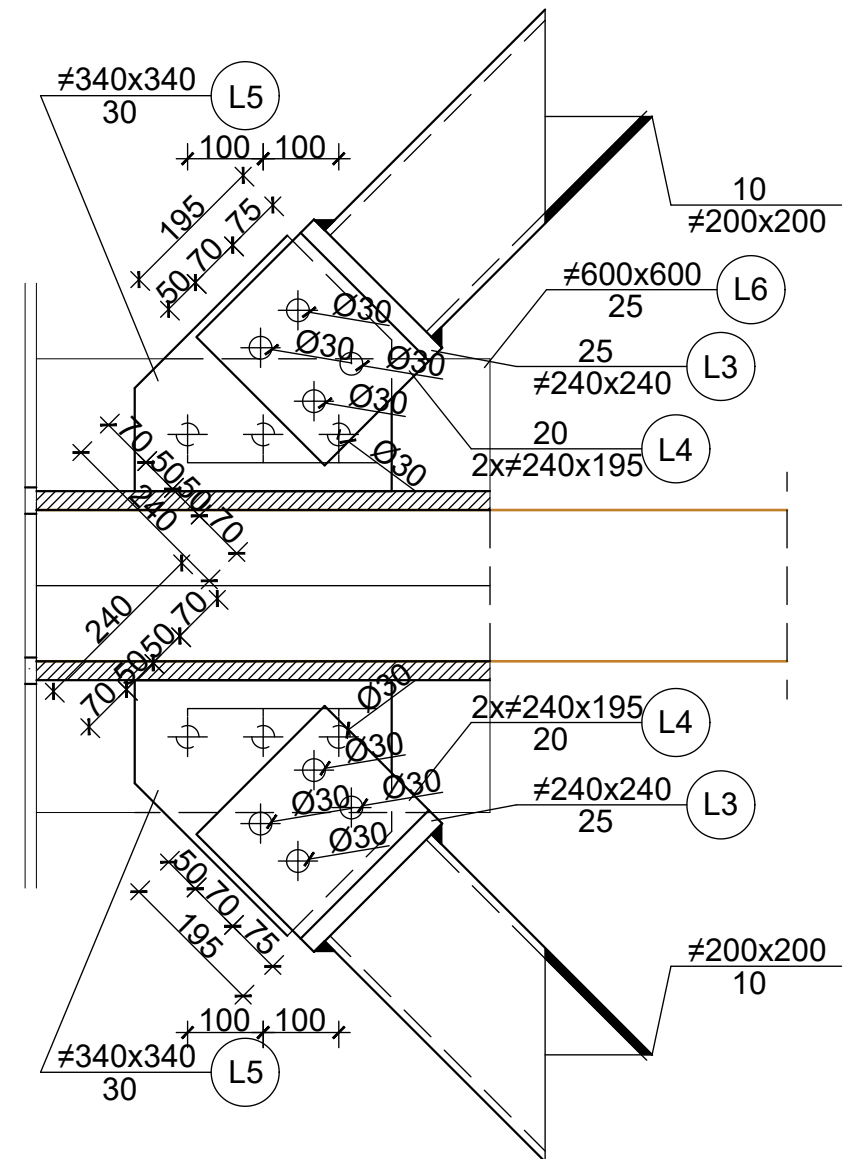
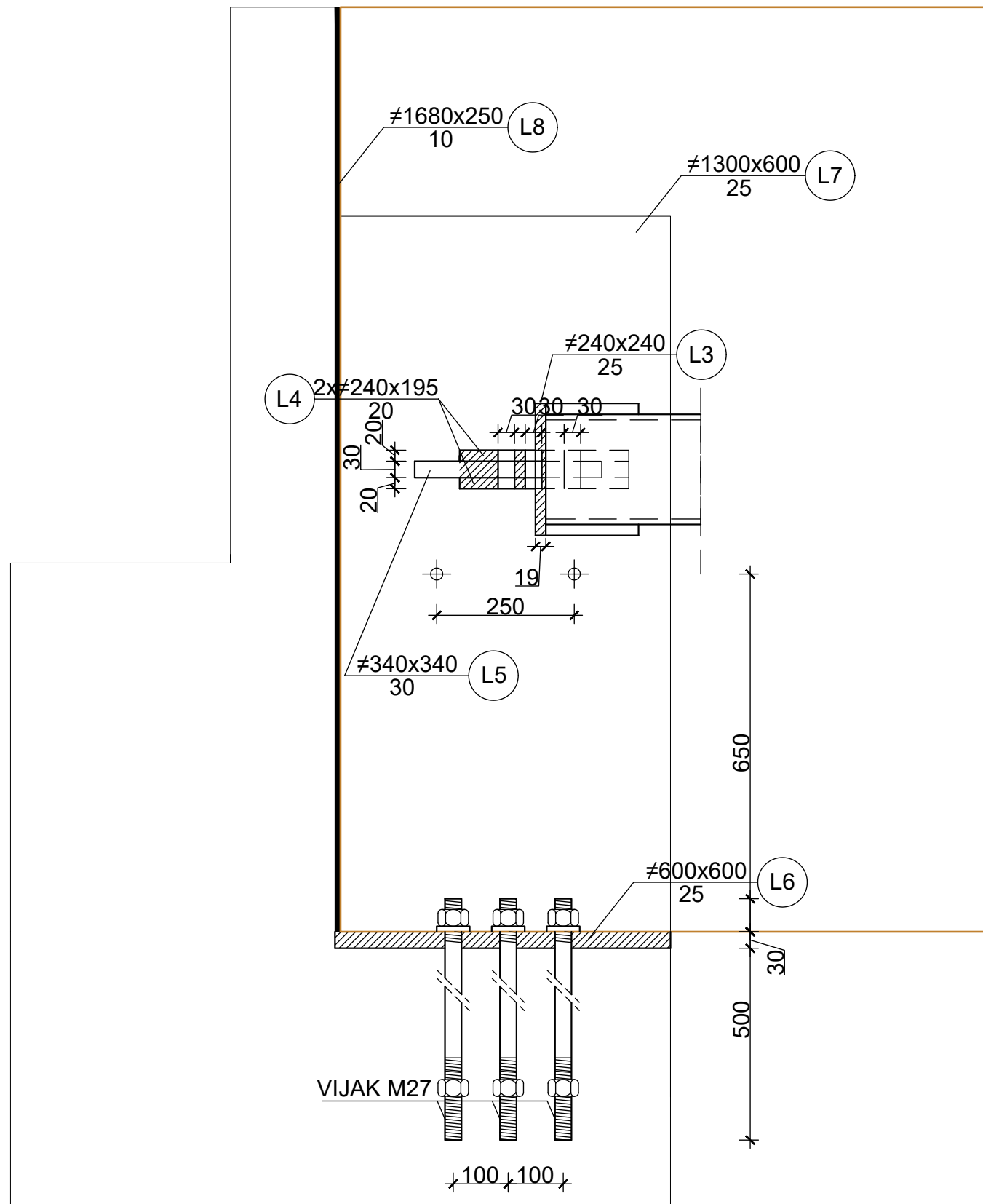
		SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET Fra Andrije Kačića-Melčića 26 10 000 Zagreb		ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE Katedra za drvene konstrukcije	
Kolegij: DRVENE KONSTRUKCIJE 2					
Razina obrade: Diplomski rad / Idejni projekt					
Sadržaj nacrt: Dispozicija edukacijskog centra sa sportskom halom od osi 31 do osi 43					
Mentor: prof.dr.sc. Vlatka Rajčić		Broj nacrt: 1		Mjesto:	
Datum: 09.2023.		Mjesto:		1:100	
Akademska godina: 2022./2023.					
Izradio: Valentin Tuka					

Detalj 1 - detalj montažnog nastavka glavnog nosača
M 1:10



 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET Fra Andrije Kačića-Miošića 26 10 000 Zagreb		ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE Katedra za drvene konstrukcije	
Kolegij:		DRVENE KONSTRUKCIJE 2	
Razina obrade:		Diplomski rad / Idejni projekt	
Sadržaj nacрта:		Detalj 1 - detalj montažnog nastavka glavnog nosača	
Mentor:		prof.dr.sc. Vlatka Rajčić	Broj nacрта: 4
Datum:		09.2023.	Mjerilo: 1:10
Akademska godina:		2022./2023.	
Izradio:		Valentin Tuka	

Detalj 2 - detalj oslanjanja glavnog nosača na stup
M 1:10



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Fra Andrije Kačića-Miošića 26
10 000 Zagreb

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE
Katedra za drvene konstrukcije

Kolegij:	DRVENE KONSTRUKCIJE 2
----------	-----------------------

Razina obrade:	Diplomski rad / Idejni projekt
----------------	--------------------------------

Sadržaj nacрта:	Detalj 2 - detalj oslanjanja glavnog nosača na stup
-----------------	---

Mentor: prof.dr.sc. Vlatka Rajčić

Broj nacрта:	5
--------------	---

Datum:	09.2023.
--------	----------

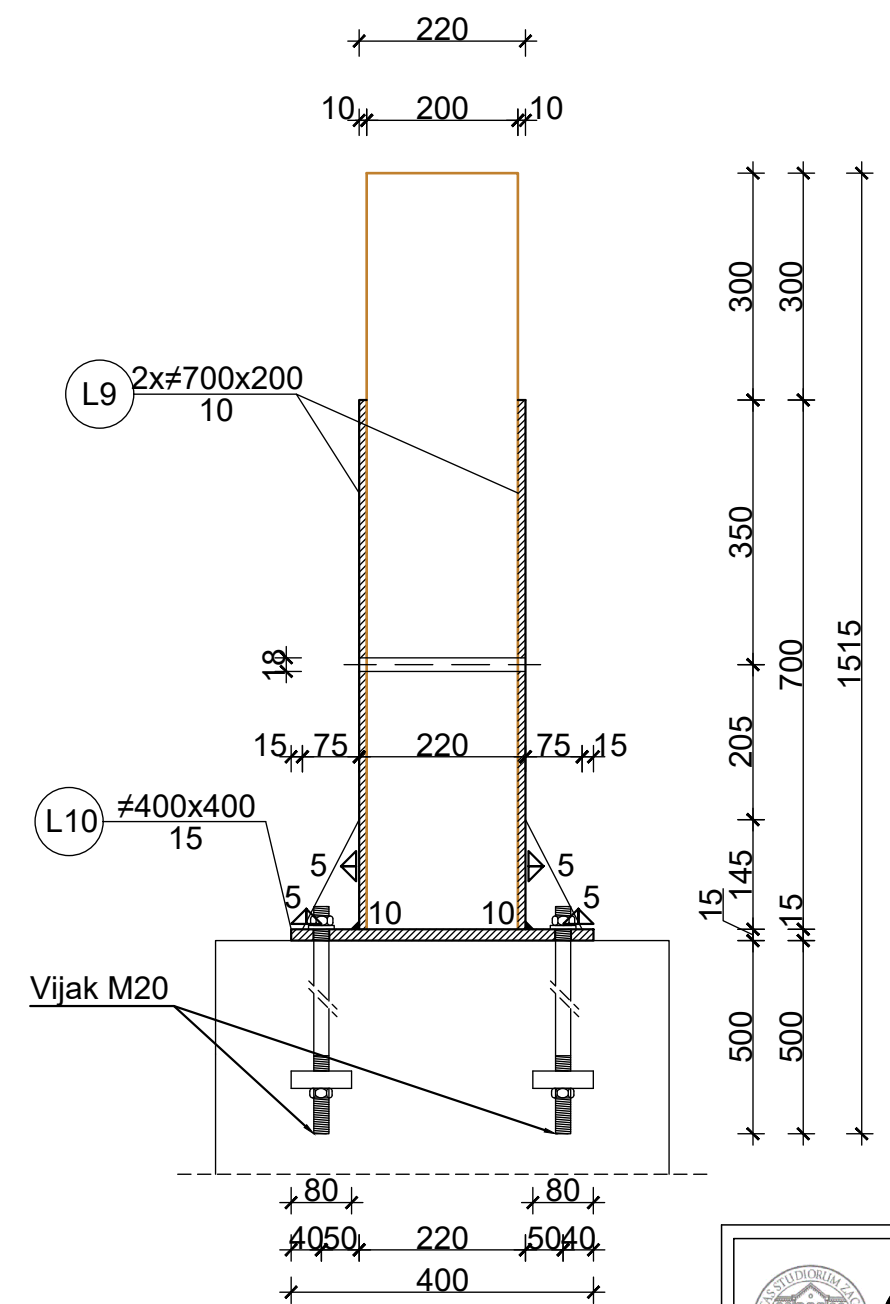
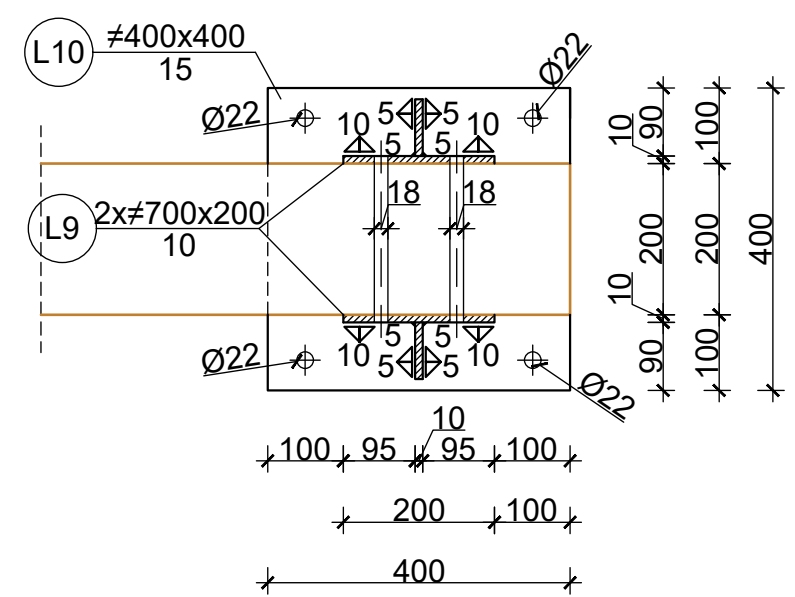
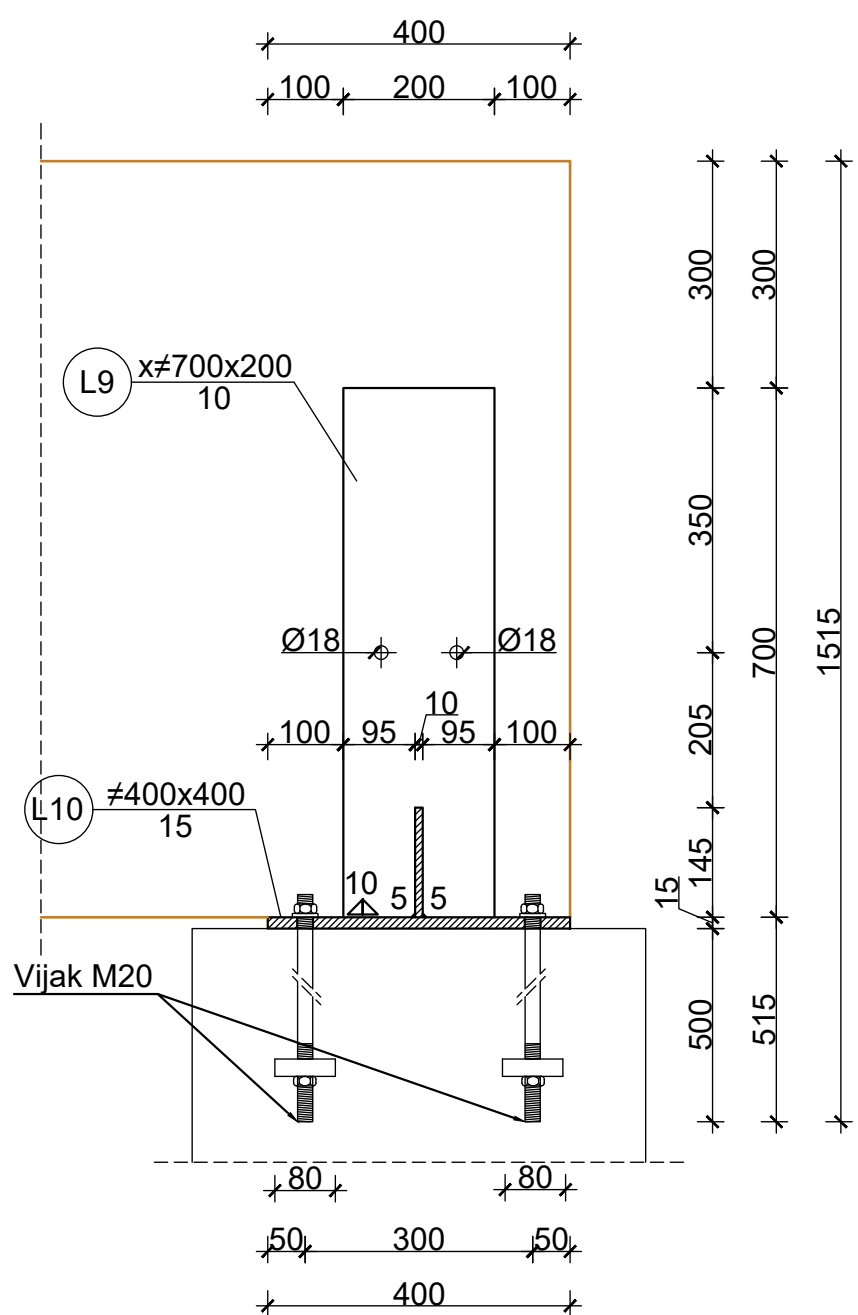
Mjerilo:

Akadska godina:	2022./2023.
-----------------	-------------

1:10

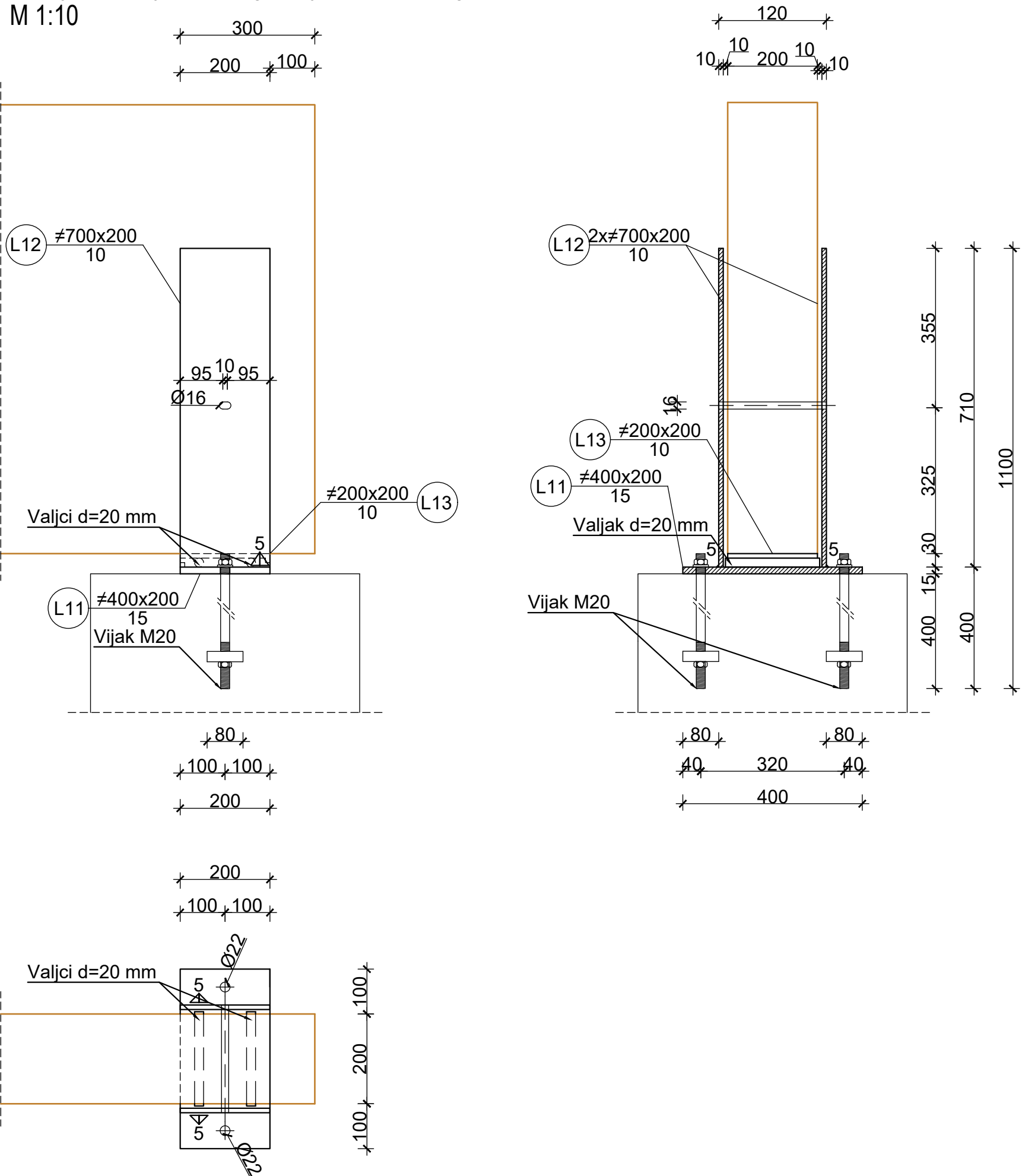
Izradio:	Valentin Tuka
----------	---------------

Detalj 3 - detalj nepomičnog ležaja sekundarnog nosača
M 1:10

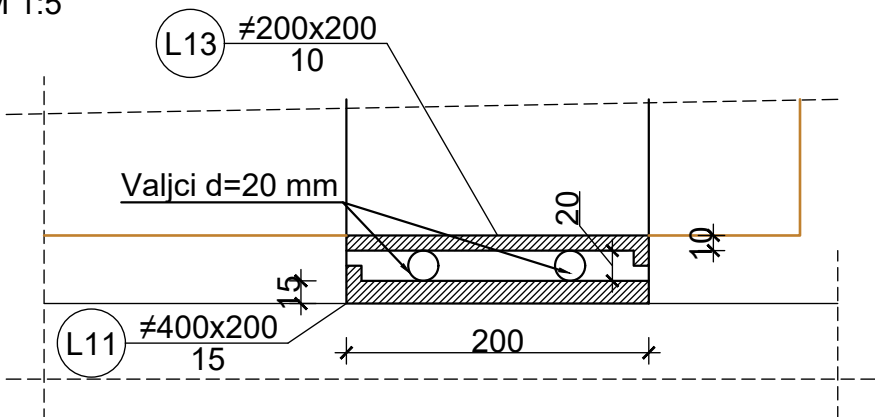


 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET Fra Andrije Kačića-Miošića 26 10 000 Zagreb	ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE Katedra za drvene konstrukcije
Kolegij: DRVENE KONSTRUKCIJE 2	
Razina obrade: Diplomski rad / Idejni projekt	
Sadržaj nacrt: Detalj 3 - detalj nepomičnog ležaja sekundarnog nosača	
Mentor: prof.dr.sc. Vlatka Rajčić	Broj nacrt: 6
Datum: 09.2023.	Mjerilo: 1:10
Akademski godina: 2022./2023.	
Izradio: Valentin Tuka	

Detalj 4 - detalj pomičnog ležaja sekundarnog nosača
M 1:10



Presjek kroz ležaj
M 1:5



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Fra Andrije Kačića-Miošića 26
10 000 Zagreb

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE
Katedra za drvene konstrukcije

Kolegij: **DRVENE KONSTRUKCIJE 2**

Razina obrade: **Diplomski rad / Idejni projekt**

Sadržaj nacrt: **Detalj 4 - detalj pomičnog ležaja sekundarnog nosača**

Mentor: **prof.dr.sc. Vlatka Rajčić**

Broj nacrt: **7**

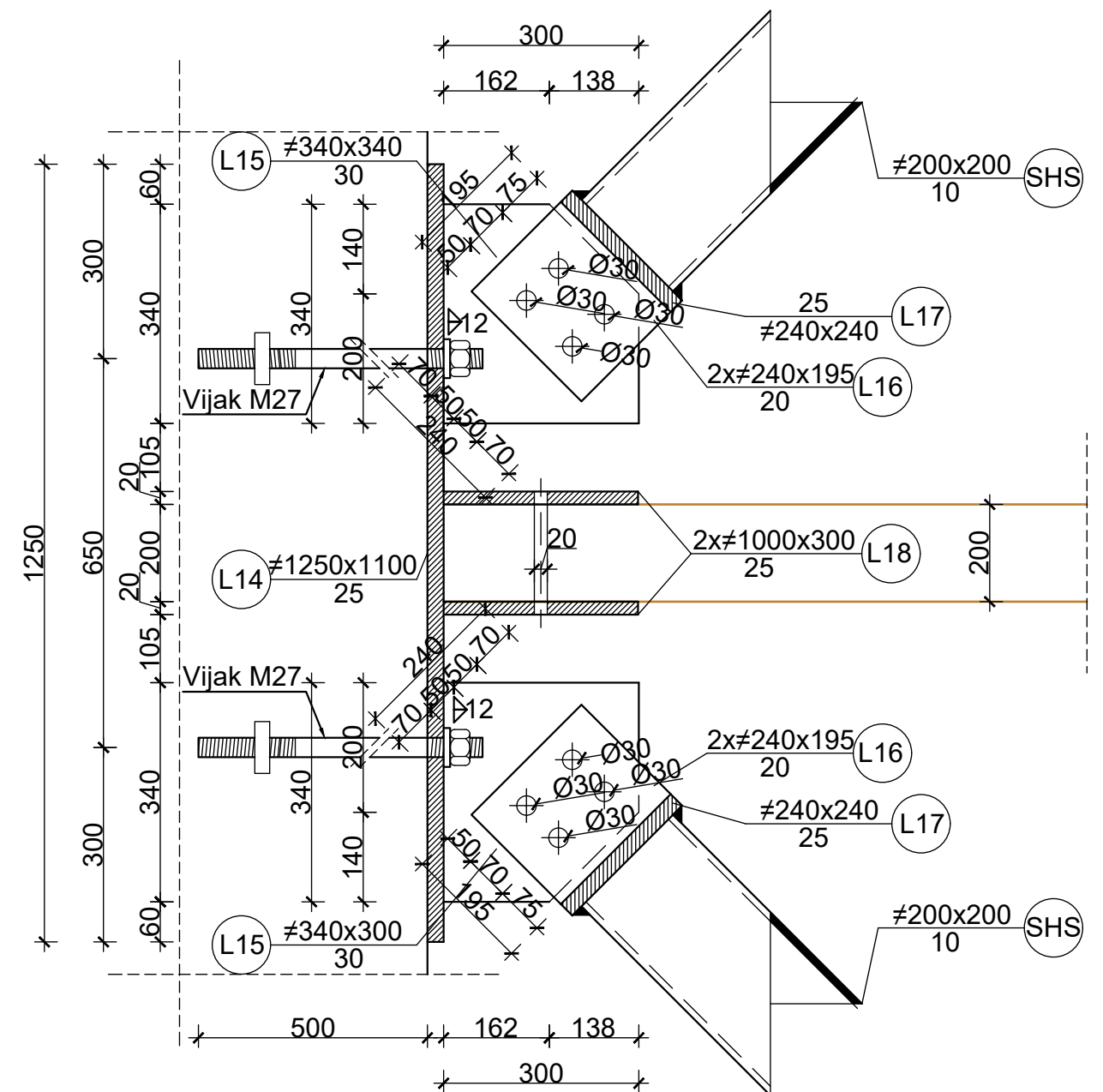
Datum: **09.2023.**

Mjerilo:

Akademski godina: **2022./2023.**

1:10

Izradio: **Valentin Tuka**

[illegible]

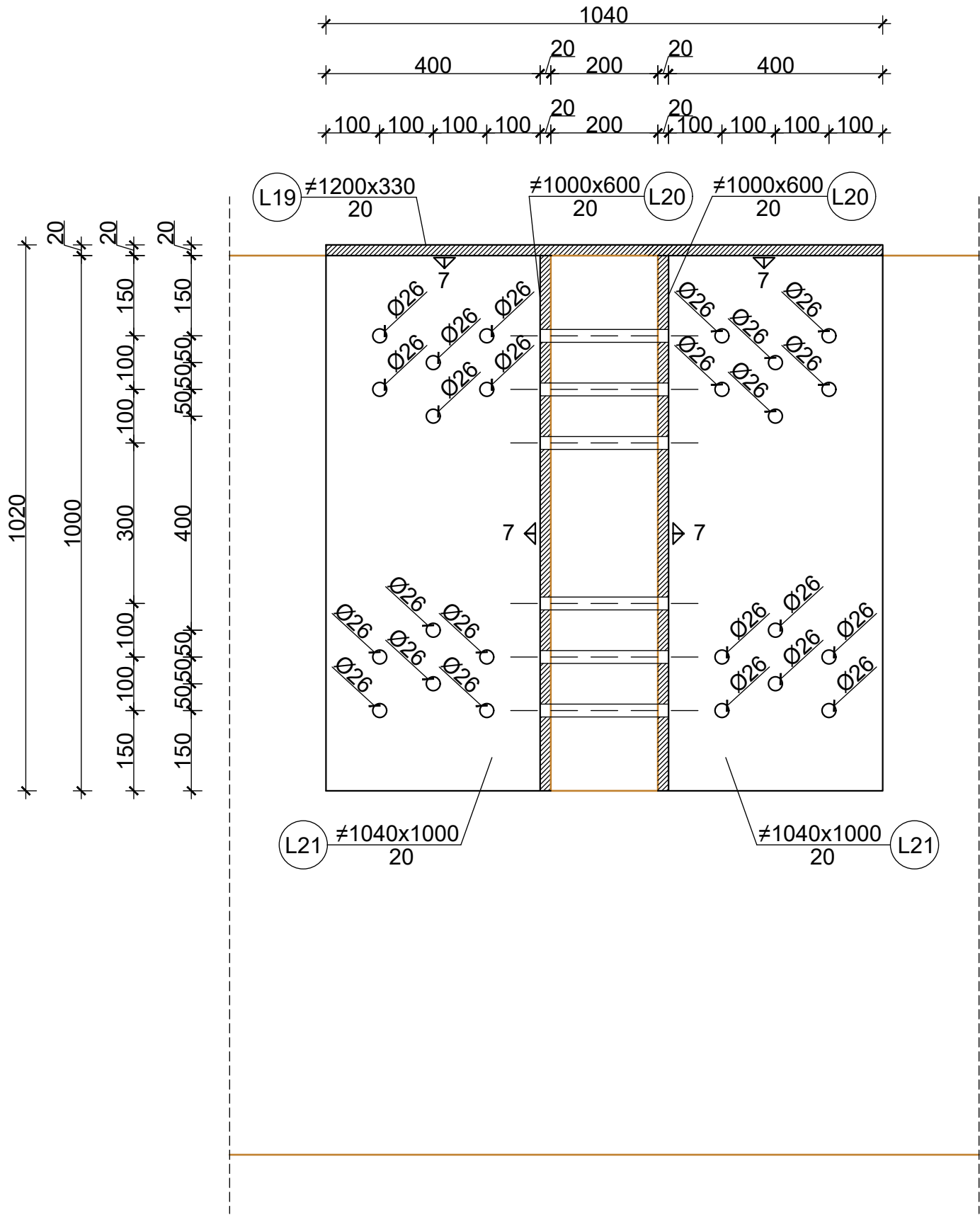
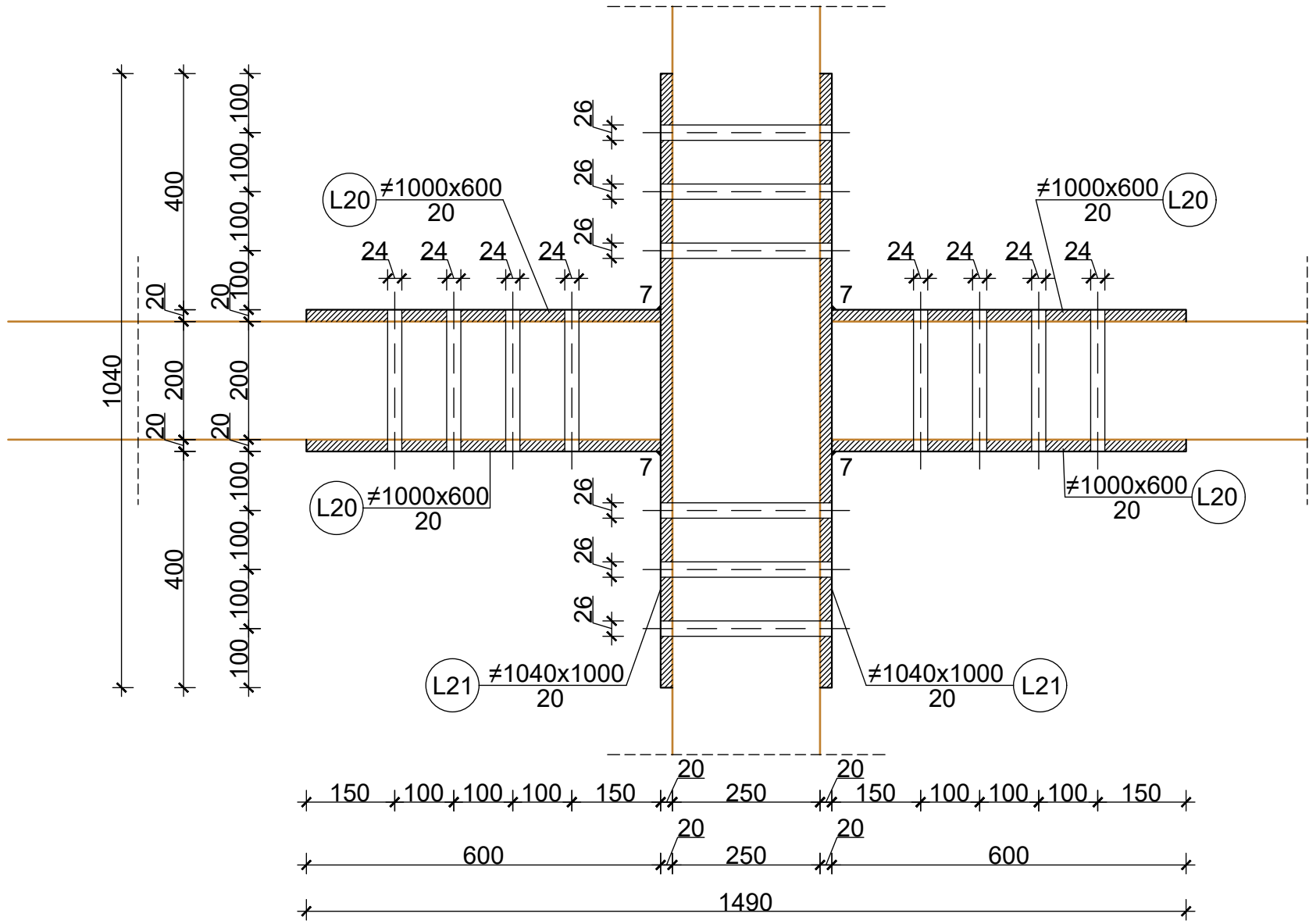
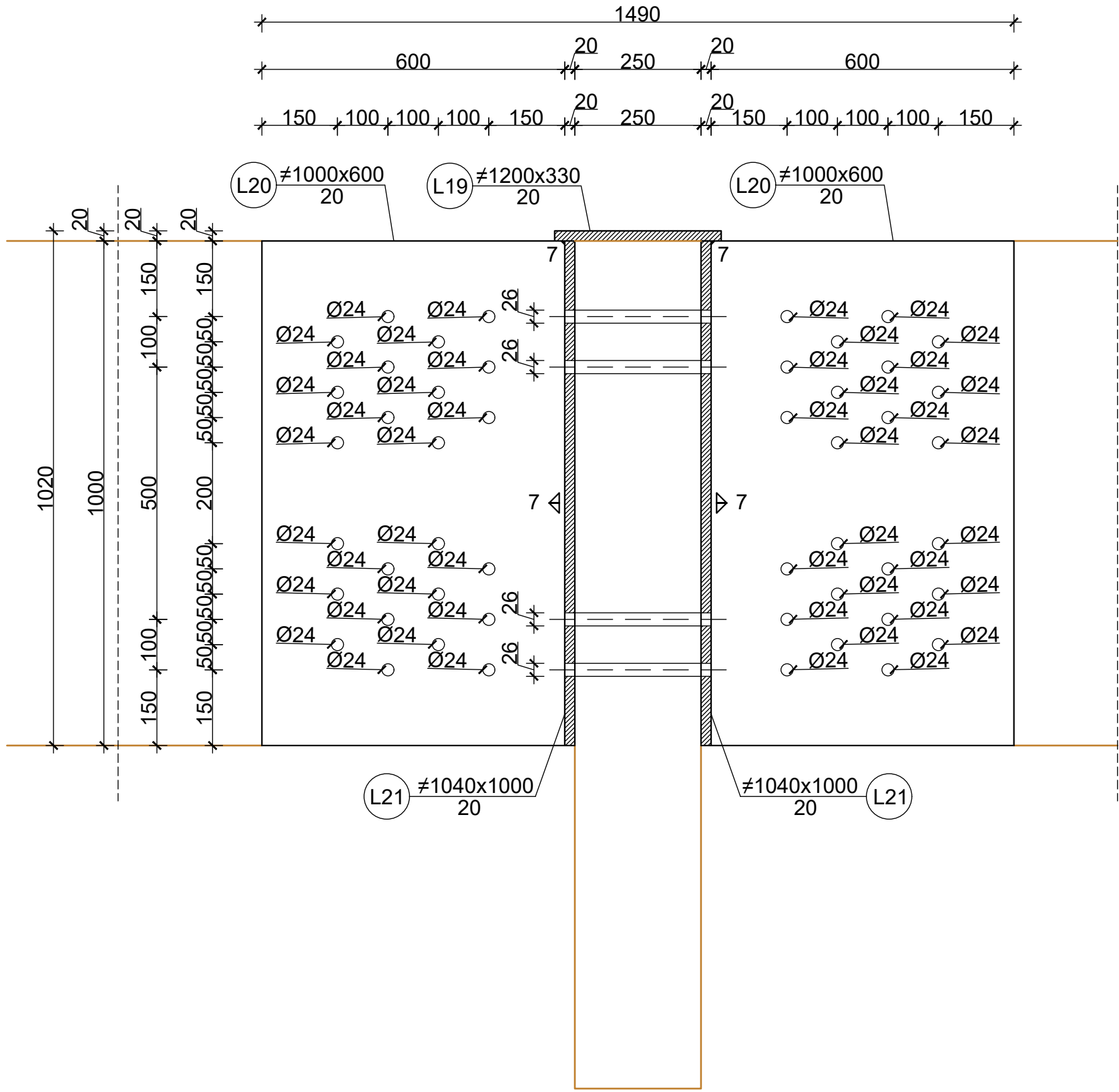
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Fra Andrije Kačića-Miošića 26
10 000 Zagreb

ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE
Katedra za drvene konstrukcije

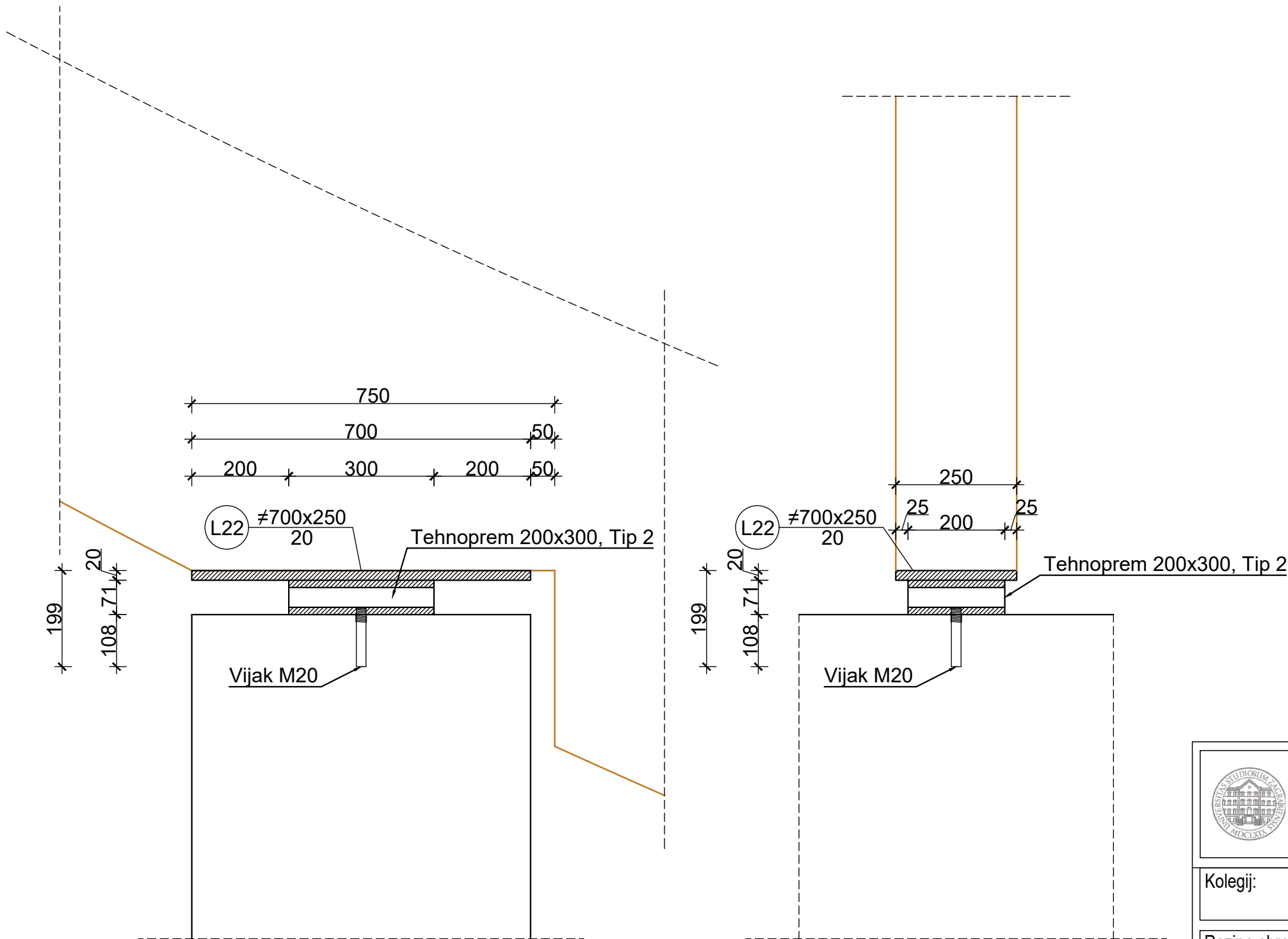
Izradio:	Valentin Tuka
----------	---------------

Detalj 6 - detalj spoja sekundarnog i glavnog nosača
M 1:10



 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET Fra Andrije Kačića-Mošića 26 10 000 Zagreb		ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE Katedra za drvene konstrukcije	
Kolegij:		DRVENE KONSTRUKCIJE 2	
Razina obrade:		Diplomski rad / Idejni projekt	
Sadržaj nacрта:		Detalj 6 - detalj spoja sekundarnog i glavnog nosača	
Mentor:		prof.dr.sc. Vlatka Rajčić	Broj nacрта: 9
Datum:		09.2023.	Mjerilo: 1:10
Akademska godina:		2022./2023.	
Izradio:		Valentin Tuka	

Detalj 7 - detalj oslanjanja glavnog nosača na zid
M 1:10



 SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET Fra Andrije Kačića-Miošića 26 10 000 Zagreb		ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE Katedra za drvene konstrukcije	
Kolegij: DRVENE KONSTRUKCIJE 2			
Razina obrade: Diplomski rad / Idejni projekt			
Sadržaj nacрта: Detalj 7 - detalj oslanjanja glavnog nosača na zid			
Mentor: prof.dr.sc. Vlatka Rajčić		Broj nacрта: 10	
Datum: 09.2023.		Mjerilo: 1:10	
Akademska godina: 2022./2023.			
Izradio: Valentin Tuka			