

# Analiza visoke čelične građevine izložene djelovanju vjetra

---

**Smolić, Anamaria**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:240623>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-18**

*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Anamaria Smolić

**ANALIZA VISOKE ČELIČNE GRAĐEVINE  
IZLOŽENE DJELOVANJU VJETRA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Anamaria Smolić

**ANALIZA VISOKE ČELIČNE GRAĐEVINE  
IZLOŽENE DJELOVANJU VJETRA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Anamaria Smolić

**ANALYSIS OF TALL STEEL BUILDING  
SUBJECTED TO WIND ACTION**

MASTER THESIS

Supervisor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević

Zagreb, 2024.



## ZAHVALE

Zahvaljujem se izv. prof. dr. sc. Ivanu Lukačeviću na pruženoj pomoći i strpljenju tijekom izrade diplomskog rada.

Od srca se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na velikoj podršci tijekom studija.

## SAŽETAK

U ovome radu prikazana je analiza visoke čelične građevine izložene djelovanju vjetra. Visina konstrukcije je 232 m s 65 nadzemnih etaža. Tlocrtne dimenzije su 36,0 m x 60,0 m. Nosivi sustav građevine čine čelični okviri s jezgrom poduprti sustavom potpornih rešetki. Rad je podijeljen na teorijski i praktični dio. U teorijskom dijelu su prikazane karakteristike sustava s potpornim rešetkama, razvoj takvih sustava te njegove prednosti i nedostaci. Također, u teorijskom dijelu su dane upute za analizu i modeliranje konstrukcije. U praktičnom dijelu je provedena statička i dinamička analiza konstrukcije te je provedeno dimenzioniranje za mjerodavne učinke djelovanja. Za proračun konstrukcije korištene su europske norme. U radu je priloženi dispozicijsko rješenje konstrukcije te detalji karakterističnih priključaka.

**Ključne riječi:** sustav potpornih rešetki, visoka građevina, djelovanje vjetra, statička analiza, pomak

## ABSTRACT

This paper presents an analysis of a tall steel building subjected to wind load. The height of the structure is 232 m with 65 above – ground stories. The floor dimensions are 36,0 m x 60,0 m. The load – bearing system of the building consists of steel frames with a core supported by outrigger trusses. The paper is divided into a theoretical and practical part. The theoretical part presents the characteristics of the outrigger system, the development of such systems and its advantages and disadvantages. Therefore, in the theoretical part are given instructions for the analysis and modelling of the structure. In the practical part, the static and dynamic analysis of the structure are conducted and the dimensioning was carried out for the relevant load effects. For the design of the structure European standards are used. The building layout and the details of characteristic joints are given in the appendix.

**Key words:** outrigger system, tall building, wind load, static analysis, displacement

---

## SADRŽAJ

<b>ZAHVALE</b> .....	<b>i</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>iii</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 SUSTAV POTPORNIH REŠETKI (OUTRIGGER SUSTAV)</b> .....	<b>2</b>
2.1 Općenito .....	2
2.2 Razvoj sustava s potpornim rešetkama .....	3
2.3 Načelo sustava s potpornim rešetkama .....	5
2.4 Prednosti i nedostaci .....	6
2.5 Vrste sustava s potpornim rešetkama .....	6
2.5.1 Direktan ili izravan sustav s potpornim rešetkama .....	7
2.5.2 Virtualan ili indirektan sustav s potpornim rešetkama .....	7
2.6 Utjecaj položaja potpora po visini konstrukcije .....	7
<b>3 GLOBALNA ANALIZA KONSTRUKCIJE</b> .....	<b>9</b>
3.1 Klasifikacija okvira.....	9
3.1.1 Klasifikacija za stalne i prolazne proračunske situacije .....	9
3.1.2 Klasifikacija za potresnu proračunsku situaciju.....	10
3.2 Imperfekcije okvira .....	10
<b>4 ZAHTJEVI ZA POUZDANOST KONSTRUKCIJE</b> .....	<b>13</b>
4.1 Proračun graničnih stanja .....	13
4.1.1 Proračunske situacije .....	13
4.1.2 Granična stanja nosivosti .....	13
4.1.3 Granična stanja uporabljivosti.....	14
4.2 Projektni kriteriji za potresna područja .....	15
4.2.1 Zahtjev da ne smije doći do rušenja.....	16
4.2.2 Zahtjev ograničenog oštećenja .....	16
4.2.3 Razredi važnosti i faktori važnosti .....	17

---

4.2.4	Proračun pomaka .....	17
4.2.5	Kombinacije potresnog djelovanja s drugim djelovanjima .....	18
4.2.6	Kombinacije komponenata potresnog djelovanja .....	18
<b>5</b>	<b>ANALIZA OPTEREĆENJA .....</b>	<b>19</b>
5.1	Statička djelovanja .....	19
5.1.1	Stalno opterećenje .....	19
5.1.1.1	Međukatna konstrukcija .....	20
5.1.1.2	Konstrukcija krova .....	20
5.1.2	Uporabno opterećenje .....	20
5.1.2.1	Međukatna konstrukcija .....	20
5.1.2.2	Konstrukcija krova .....	21
5.1.3	Opterećenje snijegom .....	21
5.1.4	Opterećenje vjetrom .....	23
5.1.4.1	Sile vjetra na konstrukciju .....	24
5.1.4.2	Tlak vjetra na površine .....	38
5.2	Dinamička djelovanja .....	44
5.2.1	Linearna dinamička metoda spektra odziva .....	44
5.2.1.1	Horizontalni elastični spektar odziva .....	44
5.2.1.2	Potresno djelovanje .....	46
<b>6</b>	<b>PRELIMINARNO DIMENZIONIRANJE .....</b>	<b>50</b>
6.1	Međukatna konstrukcija .....	50
6.2	Glavni nosač .....	51
6.3	Stup .....	52
6.3.1	Obodni stup .....	52
6.3.2	Stup jezgre .....	53
6.4	Dijagonale jezgre i potpornih rešetki .....	54
<b>7</b>	<b>SILE VJETRA NA KONSTRUKCIJU NAKON PRELIMINARNOG DIMENZIONIRANJA .....</b>	<b>55</b>
7.1	Faktor konstrukcije $c_s c_d$ .....	55
7.1.1	Rezultirajuća sila vjetra .....	56
<b>8</b>	<b>NUMERIČKO MODELIRANJE .....</b>	<b>60</b>
8.1	Oblikovanje elemenata konstrukcije .....	61

---

8.2	Ulazni podaci .....	62
<b>9</b>	<b>REZULTATI ANALIZE KONSTRUKCIJE.....</b>	<b>64</b>
9.1	Rezultati statičke analize .....	64
9.1.1	Granično stanje uporabljivosti .....	64
9.1.2	Klasifikacija konstrukcije .....	66
9.1.3	Učinci djelovanja .....	66
9.1.3.1	Stup .....	66
9.1.3.2	Glavni nosač .....	67
9.1.3.3	Dijagonale posmične jezgre .....	67
9.1.3.4	Dijagonale potporne rešetke .....	67
9.2	Rezultati dinamičke analize .....	68
9.2.1	Klasifikacija konstrukcije za proračunsku potresnu situaciju .....	71
9.2.2	Zahtjev ograničenog ostećenja .....	75
9.2.3	Učinci djelovanja .....	80
9.2.3.1	Stup .....	80
9.2.3.2	Glavni nosač .....	80
9.2.3.3	Dijagonale posmične jezgre .....	81
9.2.3.4	Dijagonale potporne rešetke .....	81
<b>10</b>	<b>DIMENZIONIRANJE OSNOVNIH KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA I PRIKLJUČAKA .....</b>	<b>82</b>
10.1	Prva iteracija analize i proračuna elemenata .....	82
10.1.1	Stup .....	82
10.1.1.1	Klasifikacija poprečnog profila .....	83
10.1.2	Otpornost poprečnog presjeka .....	84
10.2	Druga iteracija analize i proračuna elemenata .....	84
10.2.1	Stup .....	84
10.2.1.1	Klasifikacija poprečnog profila .....	84
10.2.1.2	Otpornost poprečnog presjeka – max N .....	85
10.2.1.3	Otpornost elementa - max N .....	89
10.2.1.4	Otpornost poprečnog presjeka – max M .....	94
10.2.1.5	Otpornost elementa – max M .....	97
10.2.2	Stup na etaži s potpornim rešetkama .....	101

---

10.2.2.1	Otpornost poprečnog presjeka – max N.....	101
10.2.2.2	Otpornost elementa – max N .....	106
10.2.2.3	Otpornost poprečnog presjeka – max M.....	111
10.2.2.4	Otpornost elementa – max M.....	115
10.2.3	Glavni nosač.....	120
10.2.3.1	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	120
10.2.3.2	Otpornost poprečnog presjeka .....	121
10.2.3.3	Otpornost elementa.....	125
10.2.3.4	Granično stanje uporabljivosti .....	130
10.2.4	Dijagonale posmične jezgre.....	130
10.2.4.1	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	130
10.2.4.2	Otpornost poprečnog presjeka .....	131
10.2.4.3	Otpornost elementa.....	131
10.2.5	Dijagonale potporne rešetke .....	132
10.2.5.1	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	132
10.2.5.2	Otpornost poprečnog presjeka .....	133
10.2.5.3	Otpornost elementa.....	133
10.2.6	Spregnuti nosač .....	134
10.2.6.1	Djelovanja .....	136
10.2.6.2	Faza izvedbe .....	137
10.2.6.3	Faza uporabe.....	140
10.2.6.4	Proračunska otpornost i raspored moždanika.....	143
10.2.6.5	Provjera na uzdužni posmik betonske pojasnice .....	144
10.2.6.6	Granično stanje uporabljivosti .....	146
10.2.7	Spregnuta ploča .....	151
10.2.7.1	Djelovanja .....	152
10.2.7.2	Zahtjevana debljina ploče i minimalna armatura .....	152
10.2.7.3	Dužine oslanjanja i preklapanja limova .....	153
10.2.7.4	Faza izvedbe .....	153
10.2.7.5	Faza uporabe.....	154
10.2.7.6	Granično stanje uporabljivosti .....	158

---

10.3	Dimenzionirajne priključaka elemenata .....	162
10.3.1	Priključak temeljne stope obodnog stupa .....	162
10.3.2	Priključak dviju dijagonala na glavni nosač.....	165
10.3.3	Priključak sekundarnog nosača na glavni nosač.....	169
10.3.4	Priključak nastavka glavnog nosača.....	172
10.3.5	Nastavak stupa .....	175
<b>11</b>	<b>UTJECAJ POLOŽAJA POTPORNIH REŠETKI NA PONAŠANJE KONSTRUKCIJE .....</b>	<b>186</b>
11.1	Položaj potpornih rešetki na visinama $H/3$ , $2H/3$ i $H$ .....	187
11.2	Položaj potpornih rešetki na visinama $4H/5$ i $2H/5$ .....	188
11.3	Položaj potpornih rešetki na visinama $0H$ , $H/2$ i $H$ .....	189
11.4	Okvirni nosivi sustav .....	190
11.5	Usporedba bočnih pomaka.....	191
<b>12</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>192</b>
	<b>POPIS LITERATURE .....</b>	<b>193</b>
	<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>195</b>
	<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>197</b>
	<b>PRILOZI .....</b>	<b>199</b>

## 1 UVOD

Tema ovoga rada je analiza visoke čelične građevine poslovne namjene. Na predmetnu građevinu dominantno opterećenje je vjetar koje je najčešće dominantno opterećenje visokih građevina. Visina građevine je 232 m, a tlocrtne dimenzije su 36,0 m x 60,0 m. U radu je razrađeno dispozicijsko rješenje konstruktivnih elemenata te provedena statička analiza i dimenzioniranje. Provedena je i analiza dinamičkog opterećenja odnosno linearna dinamička analiza (modalna analiza). Dinamička analiza nije bila mjerodavna za proračun konstrukcije. Djelovanja uzeta u obzir su vlastita težina čelične konstrukcije, međukatna konstrukcija i sekundarni nosači, glazura, pregradni zidovi, fasada, dodatno stalno opterećenje, korisno opterećenje, vjetar, seizmičko opterećenje. Priključci su projektirani u zavarenoj izvedbi ili s vijcima.

Odabran je nosivi sustav čeličnih okvira s jezgrom koji su poduprti sustavom potpornih rešetki te je time značajno smanjen bočni pomak konstrukcije uslijed djelovanja vjetra. To je jedna od prednosti ovakvih nosivih sustava. Na samom početku rada opisan je sustav potpornih rešetki. Objasnjen je način prijenosa sila, prednosti i mane te su dane smjernice za oblikovanje takvih sustava. U nastavku rada dane su smjernice za proračun konstrukcije, provedena je analiza opterećenja, globalna analiza te dimenzioniranje elemenata. U proračunu konstrukcije bilo je mjerodavno granično stanje uporabljivosti odnosno ukupni pomak na vrhu građevine.

Analiza i dimenzioniranje konstrukcije provedeni su prema europskim normama. Od programskih paketa u radu su korišteni RFEM 6 – Structural Analysis and Design Software za analizu konstrukcijskog sustava, IDEA StatiCa za proračun priključaka te Autodesk Autocad 2024 za crtanje dispozicijskog rješenja i priključaka.



## 2 SUSTAV POTPORNIH REŠETKI (OUTRIGGER SUSTAV)

### 2.1 Općenito

Izvorno, riječ outrigger označava potporni element za čamac koji ga sprječava da se prevrne. Primjer takvog čamca je prikazan na **Slici 1**. Sukladno tome, u visokim građevinama krutim horizontalama dodatno stabiliziramo jezgru koja pružima većinu horizontalnih sila. Momente prevrtanja preuzimaju vanjski stupovi tako što tvore spreg sila [2].

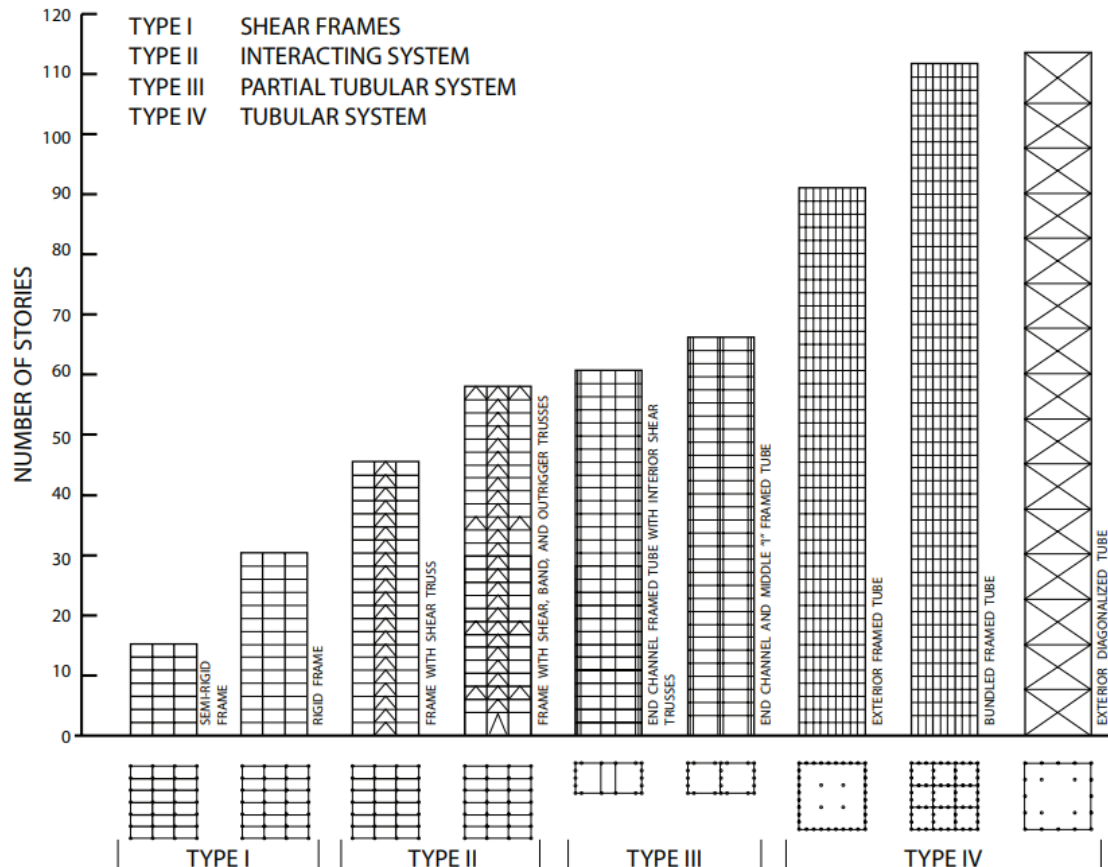


**Slika 1:** Polinezijski outrigger kanu (Izvor: [1])

Kod vrlo visokih zgrada mjesta gdje se nalaze potporne rešetke najčešće služe kao servisne etaže u kojima se nalaze elementi opreme zgrade te sustavi za zaštitu od požara. Sustav potpornih rešetki je karakterističan sustav za izvedbu u čeliku te je isplativ do približno 150 etaža. Posmična jezgra sustava s potpornim rešetkama se sastoji od čeličnih spregova ili posmičnih zidova. Potpore mogu biti čelične rešetke ili nosač koji povezuje jezgru i vanjske stupove koji mogu biti čelični, betonski ili spregnuti. Ukrućenjem najgornjih katova i njihovim pričvršćivanjem s posmično krutim elementom, učinkovitost sustava se znatno povećava. Preko ukrućenja na vrhu zgrade svaki pomak koji je izazvan horizontalnim opterećenjem izaziva naprezanje u vanjskim stupovima. Rezultirajuće tlačne i vlačne sile uzrokuju suprotni moment koji značajno smanjuje bočne pomake i naprezanja koja se javljaju zbog savijanja [3].

## 2.2 Razvoj sustava s potpornim rešetkama

Sustav potpornih rešetki postaje široko rasprostranjen 80-ih godina prošlog stoljeća kao konstrukcijski sustav visokih građevina, a javlja se kao odgovor na nedostatke cijevnog sustava. Na **Slici 2.** je prikazana usporedba konstrukcijskih sustava koji su najčešće korišteni 1970-ih godina. Sustav potpornih rešetki pruža konstrukcijsku učinkovitost i arhitektonsku fleksibilnost za razliku od cijevnog sustava gdje su stupovi na malim razmacima i velike visine nosača [4].

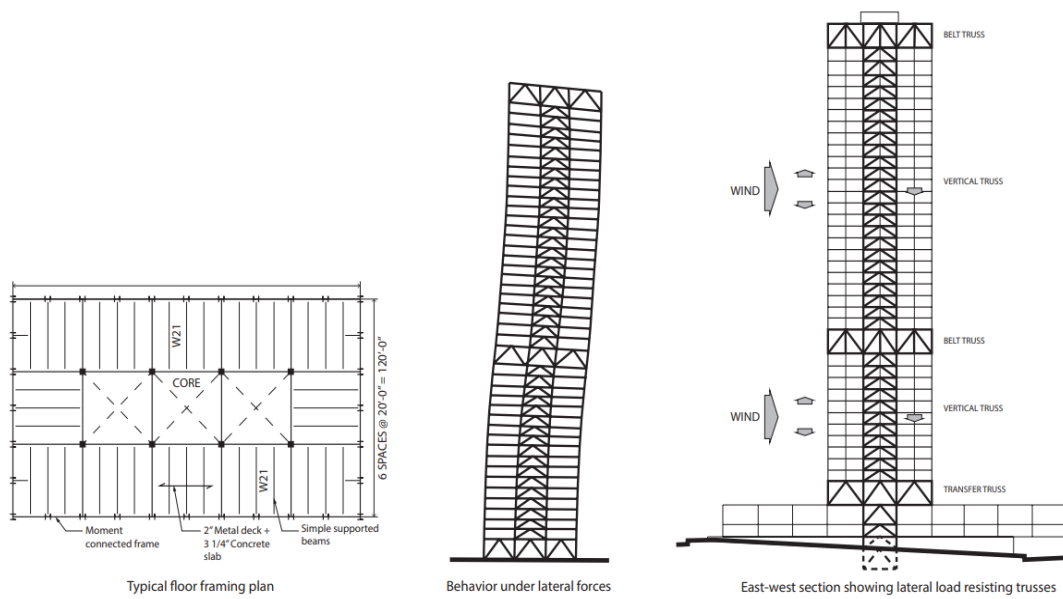


**Slika 2:** Usporedba konstrukcijskih sustava iz 1970-ih godina (Izvor: [4])

Jedan od prvih primjera zgrade sa sustavom potpornih rešetki izvedene u čeliku je U.S. Bank Center, Milwaukee, USA. U.S. Bank Center je prikazan na **Slici 3.** i **Slici 4.** Zgrada ima 43 kata, a dovršena je 1973. godine. Inženjeri su u to vrijeme sustav smatrali “djelomičnom cijevi”. Sheme sustava razvijene u to vrijeme pokazale su da je sustav jezgre s potporama primjenjiv samo na zgrade srednje visine te je tako podcijenjena njegova učinkovitost za primjenu kod viših građevina. Sustav je odabran od strane inženjera i arhitekata kako bi stvorili “laganu strukturu” otvorenog okvira na obodu sa stupovima udaljenim 6 metara [4].



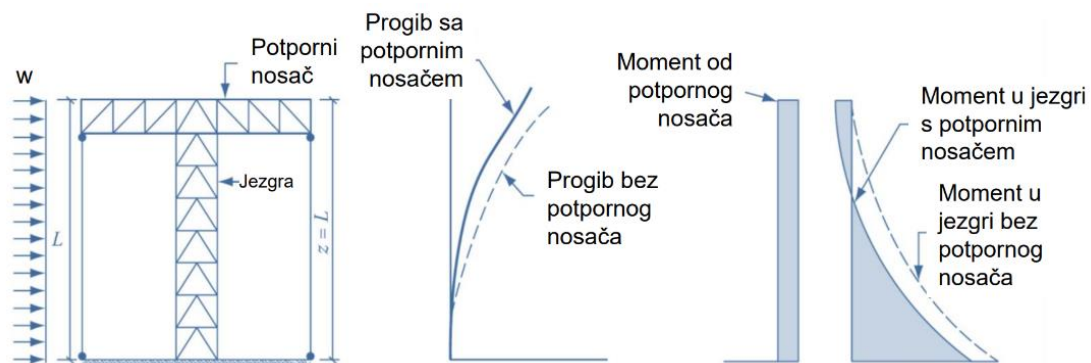
Slika 3: US Bank Center, Milwaukee, USA (Izvor: [4])



Slika 4: Konstrukcijski sustav U.S. Bank Center, Milwaukee, USA (Izvor: [4])

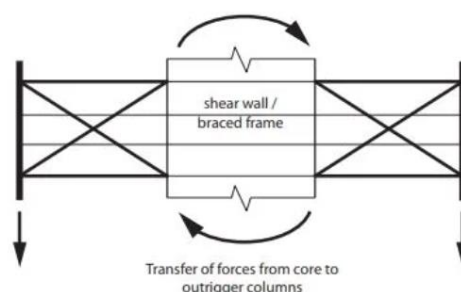
## 2.3 Načelo sustava s potpornim rešetkama

Posmična jezgra oko stubišta i dizala učinkovito je rješenje za preuzimanje horizontalnih sila. Međutim, s porastom visine zgrade jezgra više nema dostatnu krutost za zadržavanje bočnih pomaka u dopuštenim vrijednostima. Razvoj sustava s potpornim rešetkama ponudio je jedno od rješenja kako zadržati bočni pomak u prihvatljivim granicama. Takav sustav se sastoji od centralno postavljene jezgre koja je izvedena od okvira s vezovima ili posmičnih zidova. Jezgra je poduprta horizontalnim konzolnim potpornim rešetkama ili nosačima koji povezuju jezgru i obodne stupove te tvore "djelomično povezanu konzolu". Stupanj "povezivanja" ovisi o krutosti i broju potpornih rešetki. Dodavanjem potpornih rešetki se povećava otpornost na savijanje, ali ne i na posmik koji prenosi isključivo jezgra. Potporne rešetke smanjuju progib i moment savijanja u jezgri koji se javlja od horizontalnih opterećenja kako je prikazano na **Slici 5**. [3].



Slika 5: Ponašanje sustava s potpornim rešetkama (Izvor: [3])

Na **Slici 6** je prikazan način prijenosa sila kada se rešetke spajaju s jezgrom. Tada obodni stupovi omogućuju siguran prijenos opterećenja. Kada je konstrukcija sa sustavom potpornih rešetki podvrgnuta horizontalnom opterećenju, horizontalna sila jezgre konstrukcije prenosi se na obodne stupove preko potpora i na taj način smanjuje ukupni moment prevrtanja [5].



Slika 6: Načelo sustava potpornih rešetki (Izvor: [5])

Učinkovitost sustava potpornih rešetki ovisi o:

- visini zgrade
- visini potpornih elemenata
- materijalu
- mjestu postavljanja potpora. [5]

Krutost potpornih nosača možemo povećati izborom materijala, oblikovanjem presjeka te povećanjem visine nosača. Povećanjem krutosti se povećava učinkovitost potpornih rešetki i omogućuje da se potpore ponašaju kao beskonačno kruti disk. U visokim građevinama potpore se najčešće izvode katne ili višekadne visine kako bi imale dovoljnu savojnu i posmičnu krutost. Ekonomska granica je četiri do pet katova [2].

## 2.4 Prednosti i nedostaci

**Prednosti** sustava s potpornim rešetkama:

- moguća izvedba u čeliku, armiranom betonu i spregnuto
- koristi se za visoke građevine (najčešće do 150 m)
- značajno smanjuje moment prevrtanja
- slobodno arhitektonsko oblikovanje
- korištenjem zglobnih priključaka greda i stupova smanjuje se cijena konstrukcije
- gravitacijsko opterećenje može značajno smanjiti vlačne sile u stupovima uslijed horizontalnog opterećenja [6].

**Nedostaci** sustava s potpornim rešetkama odnose se na poteškoće u izvedbi ovakvih sustava. Učinkovita izgradnja visokih građevina podrazumijeva ujednačenu gradnju iz etaže u etažu. Takvo građenje je brzo i kvalitetno. Korištenjem potpornih rešetki koje su masivne i krute, vrijeme izgradnje se produžuje te je potrebna posebna tehnologija za građenje što u konačnici rezultira povećanim troškovima [2].

## 2.5 Vrste sustava s potpornim rešetkama

Sustavi s potpornim rešetkama se mogu klasificirati u sljedeće vrste:

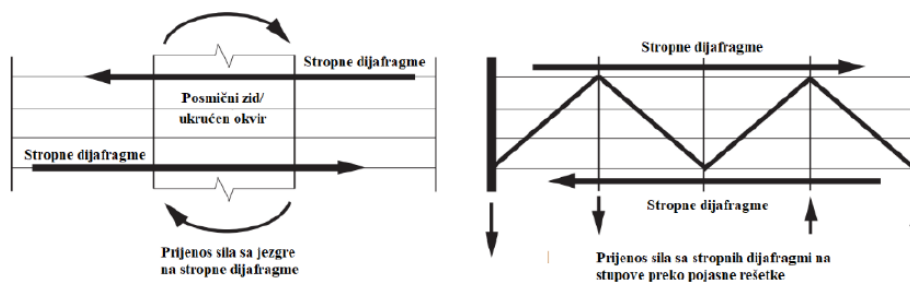
1. Direktan ili izravan sustav s potpornim rešetkama
2. Virtualan ili indirektan sustav s potpornim rešetkama

### 2.5.1 Direktan ili izravan sustav s potpornim rešetkama

Izravan ili direktan sustav s potpornim rešetkama sastoji se od posmične jezgre, obodnih stupova te krute potpore rešetke ili zidova. Potpore se nalaze u vertikalnim ravninama te se pružaju horizontalno od jezgre prema obodnim stupovima. Horizontalna opterećenja uzrokuju moment prevrtanja i rotaciju jezgre na razinama potpora. Aktiviraju se obodni stupovi u kojima se javljaju uzdužne sile suprotnih predznaka i na taj način smanjuju rotaciju jezgre. Posmične sile na razinama gdje se nalaze potpore se povećavaju, a mogu i promijeniti smjer. Direktan sustav s potpornim rešetkama mora biti sposoban omogućiti preraspodjelu opterećenja između jezgre i stupova. To rezultira većim uzdužnim naprezanjima. Potpore koje povezuju jezgru sa stupovima trebaju biti projektirane tako da prihvate i prenesu sile koje su nastale diferencijalnim skraćivanjem elemenata. Kod čeličnog sustava s ukrućenom jezgrom to skraćivanje je konačno s izgradnjom i opremanjem zgrade dok zgrade koje imaju betonske stupove i/ili zidove poprimaju dugotrajnu vertikalnu deformaciju uslijed skupljanja i puzanja betona. Princip direktnog ili izravnog sustava s potpornim rešetkama prikazan je na **Slici 6.** [6].

### 2.5.2 Virtualan ili indirektan sustav s potpornim rešetkama

Virtualan ili indirektan sustav s potpornim rešetkama pokazuje slično ponašanje kao i direktan, ali bez izravnih veza jezgre i obodnih stupova. Pojasne rešetke su smještene po obodu zgrade i zahvaćaju obodne stupove. Osnovna ideja je primjena krutih stropnih dijafragmi za prijenos momenta u obliku para sila iz jezgre do rešetki ili zidova koji nisu izravno povezani s jezgrom. Horizontalan par sila iz rešetki se prenosi na stupove kako je prikazano na **Slici 7.** [6].



**Slika 7:** Virtualni ili indirektan sustav s potpornim rešetkama (Izvor: [6])

## 2.6 Utjecaj položaja potpora po visini konstrukcije

Direktni sustav s potpornim rešetkama omogućuje učinkovit prijenos opterećenja između jezgre i stupova. Da bi se postigla ista učinkovitost kod indirektnog sustava s potpornim rešetkama, potrebno je postaviti pojasne rešetke ili zidove na više etaža nego kod direktnog. Ovo ne predstavlja problem u realnim konstrukcijama jer prednosti pojedinog sustava dovode do njihove upotrebe u različitim uvjetima gradnje. Također, oba sustava se mogu koristiti

kombinirano u istoj zgradi. Optimalni položaji potpora po visini zgrade razlikuju se za različite zgrade i različite zahtijevane kriterije (pomak vrha zgrade, pomak pojedine etaže,...). Kao polazište, smjernice za postavljanje potpora po visini su:

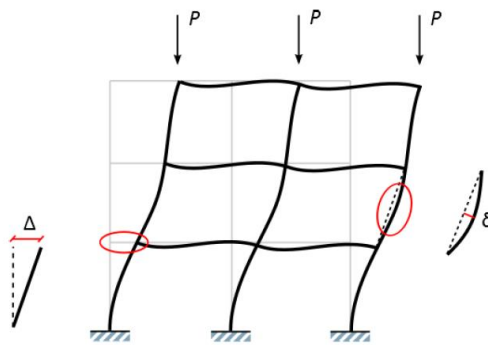
- ako zgrada ima jednu potporu, optimalno ju je postaviti na polovinu visine zgrade,
- dvije potpore se postavljaju na  $1/3$  i  $2/3$  visine zgrade,
- ako se zahtijeva da je jedna potpora na vrhu zgrade, optimalno je da se druga postavlja na 50% ili 60% visine zgrade.
- ako zgrada ima tri potpore tada se postavljaju na visinama  $H/4$ ,  $H/2$  i  $3H/4$ , ali ako je jedna na vrhu zgrade ostale se postavljaju na  $H/3$  i  $2H/3$  [7].

### 3 GLOBALNA ANALIZA KONSTRUKCIJE

Unutarnje sile i momenti u konstrukciji određuju se korištenjem analize prvog ili drugog reda. Analiza prvog reda ne uzima u obzir deformacije strukture jer su unutarnje sile i momenti uzrokovani deformacijama strukture zanemarivi. Analiza drugog reda uzima u obzir utjecaj deformacije strukture.

#### 3.1 Klasifikacija okvira

Prije određivanja učinaka djelovanja potrebnih za dimenzioniranje potrebno je utvrditi osjetljivost konstrukcije na učinke drugog reda (P - Δ učinci). Na **Slici 8.** su prikazani P - Δ učinci uslijed promjene geometrije.



**Slika 8:** P - Δ učinci uslijed promjene geometrije (Izvor: 8])

##### 3.1.1 Klasifikacija za stalne i prolazne proračunske situacije

Klasifikacija okvirnih konstrukcija temelji se na vrijednosti omjera  $F_{cr}$  i  $F_{Ed}$ . Uvjet klasifikacije prema EN 1993-1-1 glasi:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}}$$

Analiza prvog reda koristi se ako je zadovoljen slijedeći uvjet:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad \text{za elastičnu analizu}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \quad \text{za plastičnu analizu}$$



gdje je:

- $F_{Ed}$  ukupno vertikalno projektno opterećenje konstrukcije
- $F_{cr}$  elastično kritično opterećenje koje proizvodi instabilitet uslijed bočne pomičnosti [9].

### 3.1.2 Klasifikacija za potresnu proračunsku situaciju

Uvjeti klasifikacije prema EC8 definirani su tako da se učinci drugog reda ne moraju uzeti u obzir ako je na svim katovima zadovoljen uvjet:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h}$$

gdje je:

- $\theta$  koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka
- $P_{tot}$  gravitacijsko opterećenje na promatranom katu i iznad njega u potresnoj proračunskoj situaciji
- $d_r$  proračunski katni pomak
- $V_{tot}$  ukupna katna potresna poprečna sila
- $h$  visina etaže

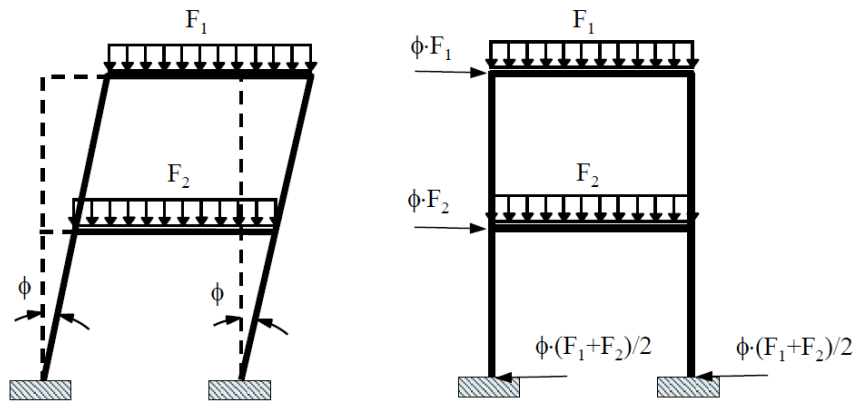
Ako je  $0,1 < \theta \leq 0,2$  učinci drugog reda smiju se približno uzeti u obzir množenjem odgovarajućih potresnih unutarnjih sila faktorom  $1/(1 - \theta)$ .

Vrijednost koeficijenta  $\theta$  ne smije premašiti vrijednost 0,3 [10].

## 3.2 Imperfekcije okvira

Imperfekcije okvira u čeličnim konstrukcijama se javljaju zbog rezidualnih napona i geometrijskih imperfekcija kao što su odstupanje od vertikalnosti, ekscentricitet opterećenja, ekscentricitet u spojevima, itd. Imperfekcije uzrokuju dodatne unutarnje sile i momente savijanja te se uzimaju u obzir u globalnoj analizi i proračunu elemenata konstrukcije.

U globalnoj analizi uzimamo u obzir imperfekcije okvira, a lokalne učinke imperfekcija oblika luka pokrивamo krivuljama izvijanja. Prema EN 1993-1-1 u globalnoj analizi nesavršenosti okvira mogu se uzeti u obzir na dva načina, a to su globalnim geometrijskim nesavršenostima za okvire te zatvorenim sustavom ekvivalentnih horizontalnih sila. Ta dva načina su prikazana na **Slici 9**. [9].



Slika 9: Globalne nesavršenosti okvira (Izvor: 8])

Najčešće se koristi metoda zatvorenog sustava ekvivalentnih horizontalnih sila prema kojoj se za svaku razinu kata izračunavaju ekvivalente horizontalne sile koje su jednake umnošku vertikalnog opterećenja kata s početnom nesavršenošću. Ekvivalentne horizontalne sile djeluju u bilo kojem horizontalnom smjeru, ali se uzimaju u obzir svaki put samo u jednom smjeru. Globalna početna imperfekcija zbog bočnog pomaka izračunava se kao:

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

gdje su:

$\phi_0$  – osnovna vrijednost:  $\phi_0 = 1/200$  za provjeru plastične otpornosti poprečnog presjeka

$\alpha_h$  – faktor smanjenja za visinu  $h$  [m] koji se odnosi na stupove  $\alpha_h = 2/\sqrt{h}$ ,  $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$

$\alpha_m$  – faktor smanjenja za broj stupova u redu  $\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + 1/m)}$ , gdje je  $m$  broj stupova u redu

Relativne početne nesavršenosti za elemente iznose:  $e_0/L$

gdje je:

$e_0$  – maksimalna amplituda početnog bočnog pomaka

$L$  – duljina promatranog elementa [9].

U **Tablici 1.** su prikazane lokalne imperfekcije oblika luka.

**Tablica 1:** Početne lokalne imperfekcije oblika luka (Izvor: [6])

Buckling curve	Elastic analysis $e_0/L$	Plastic analysis $e_0/L$
$a_0$	1/350	1/300
$a$	1/300	1/250
$b$	1/250	1/200
$c$	1/200	1/150
$d$	1/150	1/100

## 4 ZAHTJEVI ZA POUZDANOST KONSTRUKCIJE

Norma EN 1990 opisuje načela i zahtjeve za pouzdanost konstrukcije. Temelji se na pojmu graničnog stanja uz primjenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti. Konstrukcija treba u predviđenom životnom vijeku izdržati djelovanja koja će nastati tijekom izgradnje i uporabe uz određeni stupanj pouzdanosti [11].

### 4.1 Proračun graničnih stanja

#### 4.1.1 Proračunske situacije

Konstrukcija se provjerava na granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Granična stanja su povezana s proračunskim situacijama koje razvrstavamo u stalne, prolazne, izvanredne i potresne. Odgovarajuće proračunske situacije odabiru se na način da uzimaju u obzir okolnosti pod kojima se od konstrukcije zahtijeva ispunjenje njezine funkcije.

Vrste proračunskih situacija:

- **stalne proračunske situacije** koje se odnose na uvjete uobičajene uporabe
- **prolazne proračunske situacije** koje se odnose na privremene uvjete koji se primjenjuju na konstrukciju (izvedba ili popravak)
- **izvanredne proračunske situacije** koje se odnose na izuzetne uvjete koji se primjenjuju na konstrukciju ili njezinu izloženost (požar, eksplozija, udar ili posljedice lokaliziranog sloma)

Odabir između  $\Psi_{1,1}Q_{k,1}$  ili  $\Psi_{2,1}Q_{k,1}$  treba biti povezan s odgovarajućom izvanrednom proračunskom situacijom (udar, požar,...)

- **potresne proračunske situacije** koje se odnose na uvjete koji se primjenjuju kad je konstrukcija izložena potresima [11].

#### 4.1.2 Granična stanja nosivosti

U granična stanja nosivosti moraju se razvrstati stanja koja se odnose na sigurnost ljudi i/ili sigurnost konstrukcije. Granična stanja nosivosti se provjeravaju kod:

- gubitka ravnoteže konstrukcije promatrane kao kruto tijelo (ili nekog njenog dijela),

- sloma prouzročenog prekomjernim deformacijama, prelaska konstrukcije ili nekog njenog dijela u mehanizam, gubitka stabilnosti konstrukcije ili nekog njezinog dijela, uključujući oslonce i temelje,
- sloma prouzročenog zamorom ili drugim vremenski ovisnim učincima.

Potrebno je zadovoljiti uvjet:

$$E_d \leq R_d$$

gdje je:

$E_d$  proračunski učinak djelovanja

$R_d$  proračunska otpornost

Proračunske vrijednosti učinaka djelovanja ( $E_d$ ) određuju se za svaki kritični slučaj opterećenja kombiniranjem vrijednosti djelovanja koja djeluju istovremeno. U svakoj kombinaciji djelovanja uzima se prevladavajuće promjenjivo djelovanje ili izvanredno djelovanje [11].

#### Kombinacije djelovanja za stalne ili prolazne proračunske situacije

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

#### Kombinacije djelovanja za izvanredne proračunske situacije

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d (\Psi_{1,1} \text{ ili } \Psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

#### Kombinacije djelovanja za potresne proračunske situacije

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

#### 4.1.3 Granična stanja uporabljivosti

Granično stanje uporabljivosti podrazumijeva granična stanja koja se odnose na:

- funkcioniranje konstrukcije ili konstrukcijskih elemenata u uobičajenoj upotrebi
- udobnost ljudi
- izgled građevine.

Provjera graničnog stanja uporabljivosti mora se temeljiti na kriterijima koji se odnose na **deformacije** (utječu na izgled, udobnost korisnika ili funkcioniranje konstrukcije), **vibracije** (prouzročuju neudobnost ljudi ili ograničavaju funkcijsku djelotvornost konstrukcije), **oštećenja** (nepovoljno utječu na izgled, trajnost ili funkcioniranje konstrukcije).

Potrebno je zadovoljiti uvjet:

$$E_d \leq C_d$$

gdje je:

- $C_d$  proračunska vrijednost odgovarajućeg kriterija otpornosti  
 $E_d$  proračunska vrijednostučinaka djelovanja specificiranih u kriteriju uporabljivosti, određena na osnovi odgovarajuće kombinacije

**a) Karakteristična kombinacija**

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

**b) Česta kombinacija**

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" \Psi_{1,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

**c) Nazovistalna kombinacija**

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

U **Tablici 2.** su prikazane vrijednosti faktora  $\Psi$  za zgrade.

**Tablica 2:** Preporučene vrijednosti faktora  $\Psi$  za zgrade (Izvor: [11])

Djelovanje	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Uporabna opterećenja u zgradama kategorije (vidjeti normu EN 1991-1-1):			
Kategorija A: kuće, stambene zgrade	0,7	0,5	0,3
Kategorija B: uredi	0,7	0,5	0,3
Kategorija C: područja za skupove	0,7	0,7	0,6
Kategorija D: trgovine	0,7	0,7	0,6
Kategorija E: skladišta	1,0	0,9	0,8
Kategorija F: prometna područja, težina vozila $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Kategorija G: prometna područja, $30$ kN $\leq$ težina vozila $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Kategorija H: krovovi	0	0	0
Opterećenja snijegom u zgradama (vidjeti normu EN 1991-1-3)*:			
– Finska, Island, Norveška, Švedska	0,70	0,50	0,20
– Ostale države članice CEN-a za gradilišta na visini $H > 1000$ m n.m.	0,70	0,50	0,20
– Ostale države članice CEN-a za gradilišta na visini $H \leq 1000$ m n.m.	0,50	0,20	0
Opterećenja vjetrom na zgrade (vidjeti normu EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (osim požara) u zgradama (vidjeti normu EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NAPOMENA: Vrijednosti $\psi$ mogu se odrediti u nacionalnom dodatku. * Za države koje nisu navedene, vidjeti odgovarajuće mjesne uvjete.			

## 4.2 Projektni kriteriji za potresna područja

U slučaju potresa potrebno je osigurati očuvanje ljudskih života, ograničiti štete te osigurati da konstrukcije važne za civilnu zaštitu ostanu u funkciji. Kako bi se to postiglo potrebno je ispuniti zahtjev da ne smije doći do rušenja i zahtjev ograničenog oštećenja. Dani zahtjevi su

ispunjeni ako su zadovoljena granična stanja nosivosti i uporabljivosti. Konstrukcija u cjelini i konstrukcijski elementi moraju imati prikladnu duktilnost uzimajući u obzir očekivano iskorištenje duktilnosti koje ovisi o odabranom sustavu i faktoru ponašanja što će detaljnije biti objašnjeno u poglavlju 5.2. [10].

#### 4.2.1 Zahtjev da ne smije doći do rušenja

Konstrukcija se mora oduprijeti proračunskom potresnom djelovanju bez lokalnog ili globalnog rušenja. Konstrukcija nakon potresa mora zadržati konstrukcijsku cjelovitost i preostalu nosivost. Zahtjev se odnosi na granično stanje nosivosti. Smatra se da je zahtjev zadovoljen u potresnoj proračunskoj situaciji ako su zadovoljeni uvjeti s obzirom na otpornost, duktilnost, ravnotežu, otpornost stropnih dijafragmi, stabilnost temelja i potresne razdjelnice.

**Uvjet otpornosti** je ispunjen ako je zadovoljen uvjet:

$$E_d \leq R_d$$

gdje je:

$E_d$  proračunski učinak djelovanja u proračunskoj potresnoj situaciji

$R_d$  proračunska otpornost

Potrebno je provjeriti imaju li konstrukcijski elementi i konstrukcija u cjelini prikladnu **duktilnost**.

**Uvjet ravnoteže** je ispunjen ako je konstrukcija stabilna na prvrtnje ili klizanje u potresnoj proračunskoj situaciji [10].

#### 4.2.2 Zahtjev ograničenog oštećenja

Da bi se ispunio zahtjev ograničenog oštećenja, konstrukcija se mora oduprijeti potresnom djelovanju koje ima veću vjerojatnost pojave od proračunskog potresnog djelovanja, bez da se pojave oštećenja i njima pridružena ograničenja uporabe, troškovi koji bi bili nesrazmjerno veliki u usporedbi s cijenom same konstrukcije. Zahtjev je zadovoljen ako su međukatni pomaci ograničeni:

- 1) Za zgrade koje imaju nekonstrukcijske elemente od krhkih materijala pričvršćene za konstrukciju  
 $d_r v \leq 0,005 h$
- 2) Za zgrade koje imaju duktilne nekonstrukcijske elemente  
 $d_r v \leq 0,0075 h$

- 3) Za zgrade koje imaju nekonstrukcijske elemente pričvršćene tako da na njih nemaju utjecaj deformiranja konstrukcije ili zgrade bez nekonstrukcijskih elemenata  $d_r v \leq 0,010 h$

gdje je:

- $d_r$  proračunski katni pomak određen kao razlika prosječnih bočnih pomaka  $d_s$  na vrhu i pri podnožju promatranog kata  
 $h$  visina kata  
 $v$  faktor smanjenja kojim se u obzir uzima najkraće povratno razdoblje potresnog djelovanja vezano sa zahtjevom ograničenog oštećenja [10].

#### 4.2.3 Razredi važnosti i faktori važnosti

Određena pouzdanost zahtjeva da ne dođe do rušenja i zahtjeva ograničenog oštećenja utvrđuje se za različite tipove zgrada ili inženjerskih građevina na temelju posljedica sloma. Svakom se razredu pouzdanosti dodjeljuje faktor važnosti  $\gamma_f$ . Zgrade su svrstane u 4 razreda važnosti ovisno o posljedicama rušenja za ljudske živote, njihove važnosti za javnu sigurnost i civilnu zaštitu neposredno nakon potresa te društvenih i ekonomskih posljedica rušenja. Razredi važnosti zgrada različitih namjena prikazni su u **Tablici 3**.

**Tablica 3:** Razredi važnosti za zgrade (Izvor: [10])

Razred važnosti	Zgrade
I	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost, npr. poljoprivredne zgrade itd.
II	Obične zgrade koje ne pripadaju drugim kategorijama
III	Zgrade čija je potresna otpornost važna s obzirom na posljedice vezane s rušenjem, npr. škole, dvorane za skupove, kulturne institucije itd.
IV	Zgrade čija je cjelovitost tijekom potresa od životne važnosti za civilnu zaštitu, npr. bolnice, vatrogasne postaje, energane itd.

Preporučene vrijednosti vrijednosti  $\gamma_f$  za razrede važnosti su:

razred I: 0,8

razred II: 1,0

razred III: 1,2

razred IV: 1,4 [10].

#### 4.2.4 Proračun pomaka

Pomaci prouzročeni proračunskim potresnim djelovanjem proračunavaju se na temelju elastičnih deformacija konstrukcijskog sustava ako se provodi linearni proračun.

Pojednostavljeni izraz:

$$d_s = q_d \cdot d_e$$

gdje je:



$d_s$  pomak točke konstrukcijskog sustava prouzročen proračunskim potresnim djelovanjem

$q_d$  faktor ponašanja za pomak koji se pretpostavlja jednakim  $q$

$d_e$  pomak iste točke konstrukcijskog sustava određen linearnim proračunom utemeljenom na proračunskom spektru odziva [10].

#### 4.2.5 Kombinacije potresnog djelovanja s drugim djelovanjima

Inercijski učinci proračunskog potresnog djelovanja vrednuju se uzimanjem u obzir masa pridruženim svim gravitacijskim opterećenjima. Kombiniraju se na sljedeći način:

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{E,i} Q_{k,i}$$

gdje je:

$\Psi_{E,i}$  faktor kombinacije za promjenjivo djelovanje,  $\Psi_{E,i} = \varphi \cdot \Psi_{2,i}$

$\Psi_{2,i}$  faktor kombinacije za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja  $q_i$

Vrijednosti koeficijenta  $\varphi$  prikazane su u **Tablici 4**, dok su vrijednosti koeficijenta  $\Psi$  prethodno prikazane u **Tablici 2**.

**Tablica 4:** Vrijednost  $\varphi$  pri proračunu  $\Psi_{E,i}$  (Izvor: [10])

Tip promjenjivog djelovanja	Kat	$\varphi$
Kategorije A – C*	Krov	1,0
	Katovi s povezanom zauzetošću	0,8
	Neovisno zauzeti katovi	0,5
Kategorije D – F* i arhivi		1,0
* Kategorije su definirane u normi EN 1991-1-1:2002.		

#### 4.2.6 Kombinacije komponenata potresnog djelovanja

U proračunu se uzima zajedničko djelovanje horizontalnih komponenata potresnog djelovanja. Unutarnje sile se smiju proračunati kombinacijom horizontalnih komponenata potresnog djelovanja na sljedeći način:

$$E_{Edx} + 0,30 E_{Edy}$$

$$0,30 E_{Edx} + E_{Edy}$$

$E_{Edx}$  unutarnje sile zbog primjene potresnog djelovanja uzduž horizontalne osi x

$E_{Edy}$  unutarnje sile zbog primjene potresnog djelovanja uzduž horizontalne osi y [10].

## 5 ANALIZA OPTEREĆENJA

Poslovna zgrada visine 232 m tlocrtno je pravokutnog oblika dimenzija 60 m x 36 m. Zgrada ima 59 etaža visine 3,569 m te 3 etaže visine 7,138 m, gdje se smještaju potporne rešetke. Zgrada ne sadrži podzemne etaže. Konstrukcijski sustav sastoji se od stupova po obodu koji čine obodnu cijev. Razmak stupova na obodu zgrade je 6 m. Jezgra je sačinjena od stupova na razmaku 12 m te je ukrućena vertikalnom stabilizacijom. Stupovi su međusobno povezani glavnim nosačima. Na vrhu zgrade je postavljena potporna rešetka te dvije po visini zgrade, u trećinama. Potporne rešetke postavljene su po visini dva kata te povezuju jezgru s obodnim stupovima. Međukatna konstrukcija je spregnuta. Odabrana je spregnuta Multideck 50 koja se izvodi bez podupiranja, betona klase C30/37 te armature B500B. Analiza statičkih opterećenja je provedena u skladu s normom EN 1991, a analiza potresnog opterećenja u skladu s EN 1998.

### 5.1 Statička djelovanja

#### 5.1.1 Stalno opterećenje

U **Tablici 5.** su prikazane različite vrijednosti karakteristika profiliranog lima.

**Tablica 5:** Karakteristike profiliranog lima (Izvor: [12])

Normal Thickness (mm)	Self Weight		Height to Neutral Axis Sagging (mm)	Second Moment of Area (cm <sup>4</sup> /m)	Steel Area (mm <sup>2</sup> /m)	Ultimate Moment Capacity (kNm/m)	
	(kg/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )				Sagging	Hogging
0.85	11.42	0.112	16.10	56.58	1418	6.47	6.30
0.90	12.89	0.126	16.50	66.15	1605	7.72	7.22
1.00	14.36	0.141	16.60	75.90	1792	8.97	7.99
1.10	15.83	0.155	16.70	83.99	1979	10.17	8.82
1.20	17.29	0.170	16.70	92.16	2165	11.31	9.55

U **Tablici 6.** su prikazane karakteristike spregnute ploče u ovisnosti o debljini ploče.

**Tablica 6:** Karakteristike spregnute ploče ovisno o debljini (Izvor: [12])

Slab Depth (mm)	Concrete Volume (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Weight (kN/m <sup>2</sup> )			
		Normal Weight Concrete		Lightweight Concrete	
		Wet	Dry	Wet	Dry
100	0.091	2.14	2.10	1.70	1.61
110	0.101	2.38	2.33	1.88	1.78
120	0.111	2.61	2.56	2.07	1.96
125	0.116	2.73	2.67	2.16	2.05
130	0.121	2.85	2.79	2.26	2.14
140	0.131	3.08	3.02	2.44	2.31
150	0.141	3.32	3.25	2.63	2.49

## 5.1.1.1 Međukatna konstrukcija

Trapezni čelični lim, $t = 0,85$ mm	0,11 kN/m <sup>2</sup>
Betonska ploča, $h = 10$ cm	2,10 kN/m <sup>2</sup>
Dodatno stalno (slojevi poda)	1,50 kN/m <sup>2</sup>
Instalacije	0,50 kN/m <sup>2</sup>
Pregradni zidovi	0,70 kN/m <sup>2</sup>
<b>UKUPNO:</b>	<b><math>\Sigma g_{k,l} = 4,91</math> kN/m<sup>2</sup></b>

**Fasada:**  **$g_{k,f} = 2,0$  kN/m<sup>2</sup>**

## 5.1.1.2 Konstrukcija krova

Trapezni čelični lim, $t = 0,85$ mm	0,11 kN/m <sup>2</sup>
Betonska ploča, $h = 10$ cm	2,10 kN/m <sup>2</sup>
Dodatno stalno (slojevi poda)	1,50 kN/m <sup>2</sup>
Šljunak	0,50 kN/m <sup>2</sup>
Instalacije	0,50 kN/m <sup>2</sup>
<b>UKUPNO:</b>	<b><math>\Sigma g_{k,l} = 4,71</math> kN/m<sup>2</sup></b>

**Fasada:**  **$g_{k,f} = 2,0$  kN/m<sup>2</sup>**

## 5.1.2 Uporabno opterećenje

## 5.1.2.1 Međukatna konstrukcija

Uporabna opterećenja ovisno o namjeni prostora prikazana su u **Tablici 7**.

**Tablica 7:** Uporabna opterećenja stropova (Izvor:[13])

Stupac	1	2	3	4	5
Redak	Kategorija	Namjena	Primjer	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k^a$ [kN]
4	B1	Uredski prostori, radni prostori, hodnici	Hodnici u uredskim zgradama, uredi, medicinske ordinacije bez teške opreme, bolnički odjeli, čekaonice i hodnici, staje sa sitnom stokom	2	2
5	B2		Hodnici i kuhinje u bolnicama, hotelima, staračkim domovima, hodnici u internatima i sl., prostori za medicinske tretmane u bolnicama, uključujući i operacijske dvorane bez teške opreme, podrumске prostorije u stambenim zgradama	3	3
6	B3		Svi prostori navedeni u B1 i B2, ali s teškom opremom <sup>d</sup>	5	4

Zgrada je poslovne namjene (kategorija B2)  $\rightarrow q_{k,l} = 3,0$  kN/m<sup>2</sup>.

Prema normi, uporabno opterećenje se može smanjiti faktorom smanjenja  $\alpha_A$ , međutim smatra se da postoji velika vjerojatnost istovremenog opterećenja na svim katovima te će se stoga uporabno opterećenje razmatrati s punom vrijednošću.

### 5.1.2.2 Konstrukcija krova

Karakteristična uporabna opterećenja krova u ovisnosti o nagibu prikazana su u **Tablici 8**. Krov je kategorije H (nedostupni krovovi, osim za redovito održavanje i popravak).

**Tablica 8:** Karakteristična uporabna opterećenja krova (Izvor:[12])

Krov		$q_k^a$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
Kategorija H	nagib krova $\leq 20^\circ$	0,6	1,0
	nagib krova $\geq 40^\circ$	0,0	1,0

<sup>a</sup> Za nagibe između  $20^\circ$  i  $40^\circ$  vrijednost  $q_k$  može se odrediti linearnom interpolacijom.  
 NAPOMENA 1: Opterećenje  $q_k$  djeluje na ploštini  $A$  koja predstavlja cijelu ploštinu krova.  
 NAPOMENA 2: Svi nagibi krova mjere se u odnosu na horizontalu, a opterećenja djeluju vertikalno na horizontalnu projekciju krovne plohe.

Krov je kategorije H te je nagib manji od od  $20^\circ \rightarrow q_{k,krov} = 0,6 \text{ kN/m}^2$ .

### 5.1.3 Opterećenje snijegom

Karta snježnih područja prikazna na **Slici 10**. dana je u HRN EN 1991-1-3:2012/NA.



Slika 10: Karta snježnih područja u Hrvatskoj (Izvor: [13])

U **Tablici 9.** su dane vrijednosti opterećenja snijegom u ovisnosti o području i nadmorskoj visini.

Tablica 9: Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (Izvor: [13])

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m <sup>2</sup> ]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m <sup>2</sup> ]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ]
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		

Lokacija: Zagreb

Snježno područje: 3

Nadmorska visina: 122 m.n.v. + 232 m (visina građevine) = 354 m

Karakteristično opterećenje snijegom:  $s_k = 1,75 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje na krovu određuje se prema izrazu:

$$S = s_k \cdot \mu_t \cdot C_e \cdot C_t$$

gdje su:

$\mu_t$  koeficijent oblika opterećenja snijegom (ovisi o vrsti i nagibu krovne plohe)

$$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \quad \mu_t = 0,8$$

$C_e$  koeficijent izloženosti,  $C_e = 1,0$

$C_t$  toplinski koeficijent,  $C_t = 1,0$

Slijedi da je opterećenje snijegom na krovu:

$$s = 1,75 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$s = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

#### 5.1.4 Opterećenje vjetrom

Učinci vjetra na konstrukciju, odnosno odziv konstrukcije, ovise o veličini, obliku i dinamičkim svojstvima konstrukcije. Djelovanje vjetra je tijekom vremena promjenjivo te djeluje izravno kao tlak na vanjske površine zatvorenih konstrukcija. Vjetar također neizravno djeluje na unutarnje površine zbog propusnosti vanjskih površina. Ako je konstrukcija otvorena, vjetar

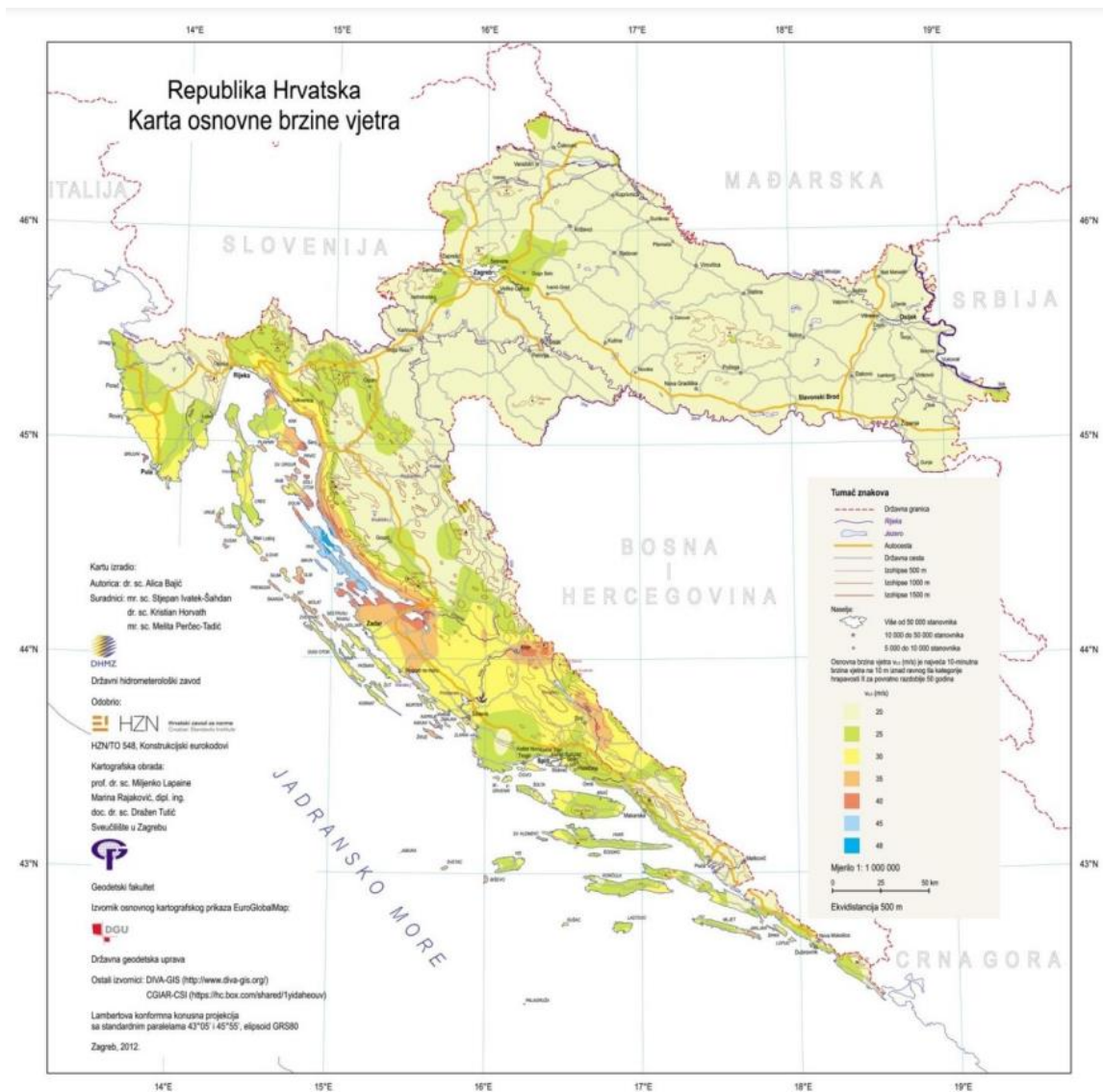
izravno djeluje i na unutarnje površine. Tlakovi koji djeluju na površine uzrokuju sile koje djeluju okomito na površinu konstrukcije. Osim toga, sile trenja koje djeluju tangencijalno na površinu mogu biti značajne u slučaju kada su velike površine konstrukcije izložene vjetrovnom opterećenju. Djelovanje vjetra pojednostavljeno se predstavlja skupinom tlakova ili sila čiji su učinci istovrijedni ekstremnim učincima turbulentnog vjetra [13].

Norma EN 1991-1-4 daje smjernice za određivanje djelovanja vjetra za proračun konstrukcije zgrada i inženjerskih građevina do 200 m. Međutim, norma će se primijeniti i za zgradu koja se razmatra u ovom radu neovisno o visini zgrade.

#### 5.1.4.1 Sile vjetra na konstrukciju

- ***Osnovne vrijednosti***

**Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra  $v_{b,0}$**  je karakteristična 10-minutna srednja brzina vjetra, neovisno o smjeru i dobu godine, 10 m iznad tla na terenu kategorije II pri godišnjoj vjerojatnosti prekoračenja 2% za srednje povratno razdoblje od 50 godina [13]. Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra za Republiku Hrvatsku je prikazana na karti na **Slici 11**. Karta je dana u normi HRN EN 1991-1-4:2012/NA.



Slika 11: Karta osnovne brzine vjetra (Izvor: [13])

**Osnovna brzina vjetra,  $v_b$** , proračunava se iz izraza:

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

gdje su:

- $c_{direction}$  koeficijent smjera vjetra,  $c_{dir} = 1$
- $c_{season}$  koeficijent godišnjeg doba,  $c_{season} = 1$
- $V_{b,0}$  temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra [13].

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$



- **Srednji vjetar**

Srednja brzina vjetra  $v_m(z)$  na visini  $z$  ovisi o hrapavosti terena i vertikalnoj razvedenosti i osnovnoj brzini vjetra,  $v_b$

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b$$

gdje je:

- $c_r(z)$  faktor hrapavosti
- $c_o(z)$  faktor vertikalne razvedenosti, jednak 1,0 [13].

$$v_m(z) = 1,155 \cdot 1,0 \cdot 25 = 28,875 \text{ m/s}$$

- **Hrapavost terena**

**Faktor hrapavosti,  $c_r(z)$** , obuhvaća promjenjivost srednje brzine vjetra na mjestu konstrukcije zbog visine iznad tla te zbog hrapavosti terena uz vjetar prije konstrukcije, u smjeru vjetra koji se razmatra. Faktor hrapavosti proračunava se iz izraza:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{za} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z \leq z_{\min}$$

gdje je:

$z_0$  duljina hrapavosti

$k_r$  faktor terena ovisan o duljini hrapavosti,  $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$  [13].

$z_{0,II} = 0,05$  (kategorija terena II, tablica )

$z_{\min}$  je najmanja visina određena u **Tablici 10**.

$z_{\max} = 200 \text{ m}$

**Tablica 10:** Kategorije terena i parametri terena (Izvor:[13])

Kategorija terena		$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezera ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivene zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

NAPOMENA: Kategorije terena prikazane su na slikama u točki A.1.

Vrijednost faktora terena za kategoriju IV:

$$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{1,0}{0,05} \right)^{0,07}$$

$$k_r = 0,234$$

Koeficijent hrapavosti za referentnu visinu  $z_s$ :

$$c_r(z) = 0,234 \cdot \ln \left( \frac{139,2}{1,0} \right)$$

$$c_r(z) = 1,155$$

- **Turbulencija vjetra**

Intenzitet turbulencije  $I_v(z)$  na visini  $z$  određen je kao standardna devijacija turbulencije podijeljena sa srednjom brzinom vjetra.

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_0(z) \ln(z/z_0)} \quad \text{za} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z \leq z_{\min}$$

gdje je:

$k_l$  faktor turbulencije, određuje se prema nacionalnom dodatku, preporučena vrijednost je 1,0

$c_0$  faktor vertikalne razvedenosti terena, jednak 1,0

$z_0$  duljina hrapavosti [13].

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{1,0}{1,0 \ln(139,2/1,0)} = 0,203$$

- **Tlak pri vršnoj brzini**

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

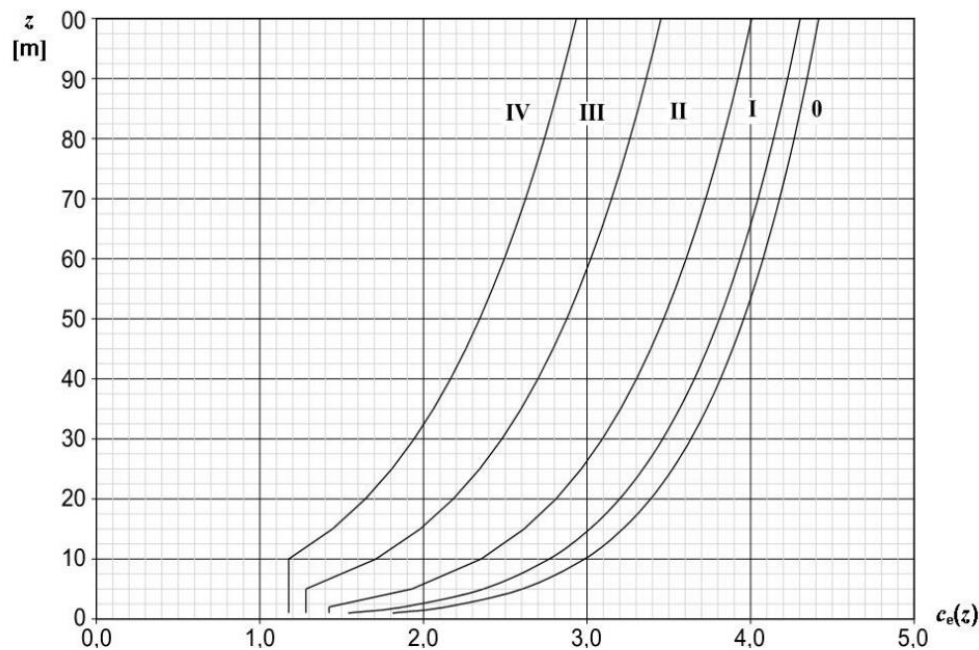
gdje je:

$\rho$  gustoća zraka koja ovisi o nadmorskoj visini, temperaturi i atmosferskom tlaku koji se očekuje tijekom oluja, preporučena vrijednost u nacionalnom dodatku je  $1,25 \text{ kg/m}^3$

$c_e(z)$  faktor izloženosti dan izrazom  $c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$

$q_b$  tlak pri osnovnoj brzini vjetra dan izrazom  $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$

Na **Slici 12.** je prikazan dijagram pomoću kojeg očitavamo faktor izloženosti konstrukcije u ovisnosti o visini konstrukcije i kategoriji terena na kojem se nalazi konstrukcija [13].



**Slika 12:** Grafički prikaz faktora izloženosti  $c_e(z)$  za  $c_o = 1,0$ ,  $k_t = 1,0$  (Izvor: [13])

- **Koeficijent sile**

Koeficijent sile daje sveukupni učinak vjetra na konstrukciju, konstrukcijski element ili dio kao cjelinu, uključujući trenje, ako nije izričito isključeno.

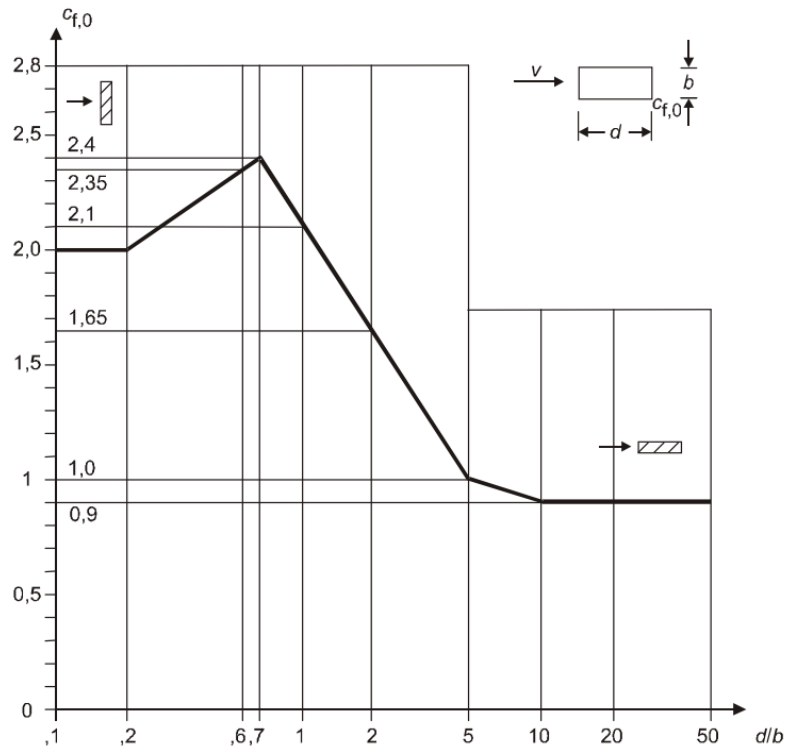
Koeficijent sile,  $c_f$ , za konstrukcijske elemente pravokutnog profila s vjetrom koji puše okomito na površinu treba odrediti iz izraza:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda$$

gdje je:

- $c_{f,0}$  osnovna vrijednost koeficijenta sile
- $\psi_r$  faktor smanjenja za kvadratne profile, uzima se vrijednost 1,0
- $\psi_\lambda$  faktor redukcije [13].

Osnovna vrijednost koeficijenta sile  $c_{f,0}$  ovisi o geometriji građevine  $d/b$ , očitava se na dijagramu prikazanom na **Slici 13.**



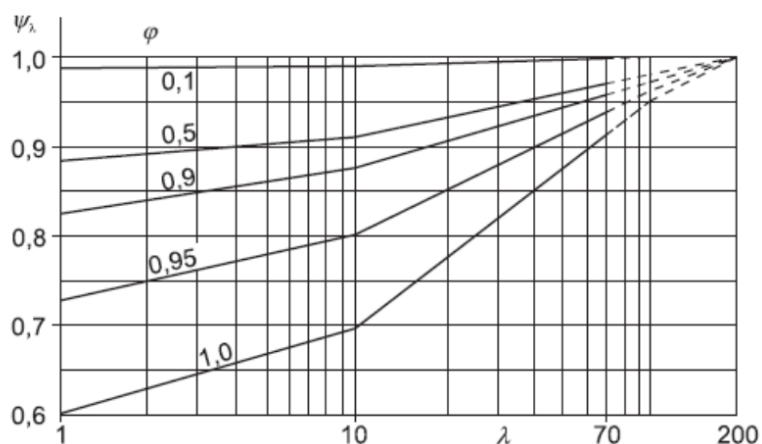
**Slika 13:** Koeficijent sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja (Izvor:[13])

Faktor redukcije uslijed vitkosti  $\psi_\lambda$  se određuje kao funkcija vitkosti  $\lambda$ . Proračunska vitkost  $\lambda$  se određuje u ovisnosti o dimenzijama konstrukcije i njezinom položaju.

$$\lambda = 0,7 h/b \quad \text{ili} \quad \lambda = 70$$

Koeficijent punoće  $\phi$  je omjer zbroja projiciranih ploština elmenata i ukupne omeđene ploštine. U ovom slučaju on iznosi 1,0.

Faktor redukcije uslijed vitkosti  $\psi_\lambda$  očitava se iz dijagrama prikazanog na **Slici 14**.



**Slika 14:** Faktor redukcije uslijed vitkosti (Izvor: [13])

U **Tablici 11.** prikazane su vrijednosti potrebne za izračun koeficijenta sile.

**Tablica 11:** Određivanje koeficijenta sile

	vjetar na uzdužnu stranu	vjetar na poprečnu stranu
Osnovna vrijednost koeficijenta sile $c_{f,0}$	2,35	1,80
Funkcija vitkosti $\lambda$	70	70
Faktor redukcije uslijed vitkosti $\psi_\lambda$	0,9	0,9
<b>Aerodinamički koeficijent sile</b>	<b>2,115</b>	<b>1,620</b>

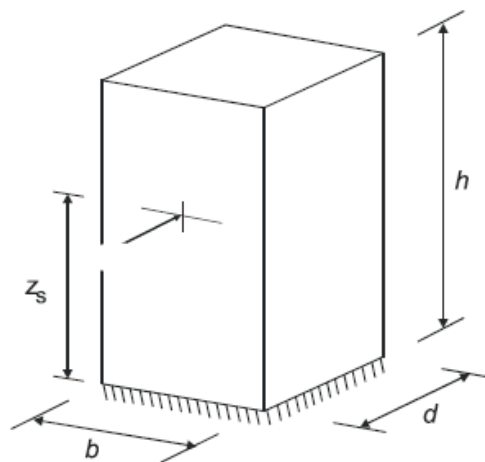
- **Faktor konstrukcije  $c_s c_d$**

Faktor konstrukcije obuhvaća učinke djelovanja vjetra od neistovremene pojave vršnog tlaka vjetra na površinu ( $c_s$ ) zajedno s učinkom od titranja konstrukcije zbog turbulencije ( $c_d$ ) [13]. Faktor konstrukcije će se u nastavku proračuna uzeti s vrijednošću **1,0** te će se korigirati u 7. poglavlju nakon preliminarnog dimenzioniranja.

Izraz za faktor konstrukcije:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)}$$

Izraz vrijedi za vertikalne konstrukcije kao što je prikazano na **Slici 15.**



**Slika 15:** Vertikalne konstrukcije (Izvor: [13])

gdje je:

- $z_s$  poredbena visina  $z_s = 0,6 \cdot h \leq z_{\min} \rightarrow 0,6 \cdot 232 = 139,2 \text{ m} > 10 \text{ m}$
- $k_p$  vršni faktor određen kao omjer najveće vrijednosti kolebajućeg dijela odziva i njegove standardne devijacije
- $I_v$  intenzitet turbulencije
- $B^2$  faktor podloge koji obuhvaća pomanjkanje pune korelacije tlaka na površini konstrukcije
- $R^2$  faktor rezonantnog odziva koji obuhvaća pojavu turbulencije u rezonanciji s oblikom vibriranja

- *Mjera turbulentne duljine  $L(z_s)$ :*

Mjera turbulentne duljine predstavlja prosječnu veličinu zapuha za prirodne vjetrove.

$$L(z_s) = L_t \left( \frac{z}{z_t} \right)^\alpha \quad \text{za } z \geq z_{\min}$$

$$L(z_s) = L(z_{\min}) \quad \text{za } z < z_{\min}$$

gdje je:

- $z_t$  referentna visina,  $z_t = 200 \text{ m}$
- $L_t$  visina horizontalnog turbulentnog sloja,  $L_t = 300 \text{ m}$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0) = 0,67 + 0,05 \ln(1,0) = 0,670$$

$$L(z_s) = 300 \cdot \left( \frac{139,2}{200} \right)^{0,67} = 235,33 \text{ m}$$

- *Intenzitet turbulencije  $I_v(z_s)$ :*

$$I_v(z_s) = 0,203$$

- *Faktor podloge  $B^2$ :*

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left( \frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}}$$

- *Osnovna frekvencija (frekvencija prvog tona):*

$$n_{1,x} = \frac{\sqrt{d}}{0,1h}$$

- *Srednja brzina vjetra na referentnoj duljini:*

$$v_m(z_s) = 28,875 \text{ m/s}$$

- *Bezdimenzijska frekvencija:*

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{n_{1,x} \cdot L(z_s)}{v_m(z_s)}$$

- *Bezdimenzijska funkcija spektralne gustoće:*

$$S_L(z, n) = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}}$$

- *Logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja:*

Za osnovni oblik savijanja u smjeru vjetra:

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e}$$

- *Logaritamski dekrement prigušenja:*

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d$$

gdje je:

$\delta_s$  logaritamski dekrement konstrukcijskog prigušenja,  $\delta_s = 0,05$  (za čelične zgrade)

$\delta_a$  logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja za osnovni oblik

$\delta_d$  logaritamski dekrement prigušenja koje potječe od posebnih naprava (za promatranu konstrukciju 0)

- *Funkcije aerodinamičkog pristupa za osnovni oblik titranja:*

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$$

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_h})$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_b})$$

- *Rezonantni udio odziva:*

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b)$$

- *Frekvencija premašaja v:*

$$v = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{B^2}{B^2 + R^2}}, \text{ ali } v \geq 0,08 \text{ Hz}$$

- *Vršni faktor (udarni koeficijent):*

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}, \text{ ali } k_p \geq 3,0 \quad T(t = 10 \text{ min}) = 600 \text{ s}$$

- *Rezultirajuća sila vjetra*

$$F_w = C_s C_d \cdot C_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C_e(z_e) \cdot C_s C_d \cdot C_f \cdot A_{ref}$$

gdje je:

$F_w$	sila vjetra na konstrukciju
$C_s C_d$	faktor konstrukcije
$C_f$	koeficijent sila
$q_p(z_e)$	vršni tlak uslijed brzine vjetra
$C_e(z_e)$	koeficijent izloženosti
$\rho = 1,25 \text{ kN/m}^3$	gustoća zraka
$v_b$	brzina vjetra
$A_{ref}$	referentna površina na koju djeluje vjetar

### Slučaj 1 – vjetar puše na uzdužnu stranu zgrade

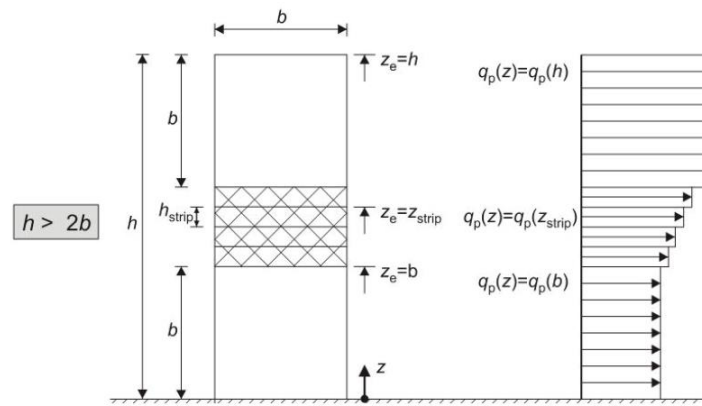
Poredbena visina objekta je  $h = 232 \text{ m}$  što je veće od  $2b = 120 \text{ m}$  te se visina objekta dijeli na tri visinska područja i to:

Donji i gornji dio zgrade koji su visine  $b$ , poredbena visina donjeg dijela je  **$b = 60 \text{ m}$** , a gornjeg  **$h = 232 \text{ m}$**

Središnji dio zgrade visine  $h - 2b$  podijeljen na horizontalne trake visine  $h_{strip}$  (uzima se visina kata,  **$h_{et} = 3,569 \text{ m}$** ), poredbena visina svake trake odgovara visini gornjeg ruba trake od tla.

Odgovarajuća raspodjela sila vjetra prikazana je na **Slici 16**.





Slika 16: Odgovarajuća raspodjela profila tlaka (Izvor: [13])

U Tablici 12. prikazane su sile vjetra na uzdužnu stranu građevine.

Tablica 12. Sile vjetra na uzdužnu stranu

Etaža (kat)	h [m]	b [m]	z <sub>e</sub> [m]	c <sub>r</sub> (z)	c <sub>e</sub> (z)	q <sub>p</sub> (z)	c <sub>s</sub> c <sub>d</sub>	c <sub>f</sub>	q <sub>w</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	F <sub>w</sub> [kN]
1	3,569	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	220,6
2	7,138	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
3	10,707	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
4	14,276	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
5	17,845	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
6	21,414	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
7	24,983	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
8	28,552	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
9	32,121	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
10	35,69	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
11	39,259	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
12	42,828	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
13	46,397	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
14	49,966	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
15	53,535	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
16	57,104	60	60	0,958	2,492	0,974	1,0	2,115	2,060	441,1
17	60,673	60	63,569	0,972	2,538	0,992	1,0	2,115	2,098	446,7
18	64,242	60	67,138	0,984	2,579	1,008	1,0	2,115	2,132	456,5
19	67,811	60	70,707	0,996	2,623	1,026	1,0	2,115	2,170	697,0
20	74,949	60	77,845	1,019	2,707	1,058	1,0	2,115	2,238	718,9
21	78,518	60	81,414	1,029	2,744	1,073	1,0	2,115	2,269	485,9
22	82,087	60	84,983	1,040	2,786	1,089	1,0	2,115	2,303	493,2

23	85,656	60	88,552	1,049	2,818	1,102	1,0	2,115	2,331	499,2
24	89,225	60	92,121	1,058	2,852	1,115	1,0	2,115	2,358	504,9
25	92,794	60	95,690	1,067	2,886	1,128	1,0	2,115	2,386	510,9
26	96,368	60	99,259	1,076	2,920	1,141	1,0	2,115	2,413	516,7
27	99,932	60	102,828	1,084	2,950	1,153	1,0	2,115	2,439	522,3
28	103,501	60	106,397	1,092	2,979	1,165	1,0	2,115	2,464	527,6
29	107,07	60	109,966	1,100	3,012	1,178	1,0	2,115	2,491	533,4
30	110,639	60	113,535	1,107	3,038	1,188	1,0	2,115	2,513	538,1
31	114,208	60	117,104	1,115	3,070	1,200	1,0	2,115	2,538	543,5
32	117,777	60	120,673	1,122	3,097	1,211	1,0	2,115	2,561	548,4
33	121,346	60	124,242	1,128	3,119	1,220	1,0	2,115	2,580	552,5
34	124,915	60	127,811	1,135	3,147	1,230	1,0	2,115	2,601	557,0
35	128,484	60	131,38	1,141	3,170	1,239	1,0	2,115	2,620	561,0
36	132,053	60	134,949	1,148	3,199	1,251	1,0	2,115	2,646	566,6
37	135,622	60	138,518	1,154	3,222	1,260	1,0	2,115	2,665	570,7
38	139,191	60	142,087	1,160	3,246	1,269	1,0	2,115	2,684	574,8
39	142,76	60	145,656	1,166	3,270	1,279	1,0	2,115	2,705	868,9
40	149,898	60	152,794	1,177	3,314	1,296	1,0	2,115	2,741	880,4
41	153,467	60	156,363	1,182	3,333	1,303	1,0	2,115	2,756	590,2
42	157,036	60	159,932	1,187	3,352	1,311	1,0	2,115	2,773	593,8
43	160,605	60	163,501	1,193	3,378	1,321	1,0	2,115	2,794	598,3
44	164,174	60	167,070	1,198	3,398	1,329	1,0	2,115	2,811	601,9
45	167,743	60	170,639	1,203	3,418	1,336	1,0	2,115	2,826	605,2
46	171,312	60	174,208	1,207	3,433	1,342	1,0	2,115	2,838	623,4
47	174,881	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
48	178,45	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
49	182,019	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
50	185,588	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
51	189,157	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
52	192,726	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
53	196,295	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
54	199,864	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
55	203,433	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
56	207,002	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
57	210,571	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
58	214,14	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
59	217,709	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
60	221,278	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	658,1
61	224,847	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,115	3,073	987,1
62	232,0	60	232,0	1,275	3,715	1,453	1,0	2,155	3,073	793,0

## Slučaj 2 – vjetar puše na poprečnu stranu zgrade

Poredbena visina objekta je  $h = 232$  m što je veće od  $2b = 72$  m te se visina objekta dijeli na tri visinska područja prema **Slici 16**.

Donji i gornji dio zgrade koji su visine  $b$ , poredbena visina donjeg dijela je  **$b = 36$  m**, a gornjeg  **$h = 232$  m**

Središnji dio zgrade visine  $h - 2b$  podijeljen na horizontalne trake visine  $h_{\text{strip}}$  (uzima se visina kata,  $h_{\text{et}} = 3,569$  m), poredbena visina svake trake odgovara visini gornjeg ruba trake od tla.

U **Tablici 13**. prikazane su sile vjetra na poprečnu stranu građevine.

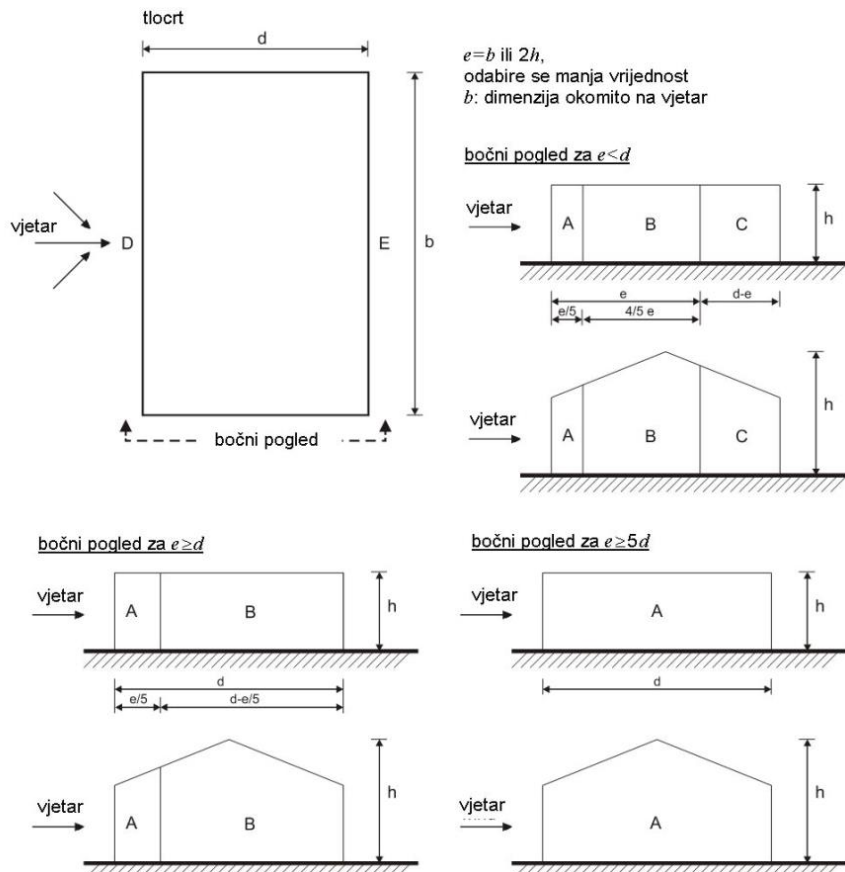
**Tablica 13:** Sile vjetra na poprečnu stranu

Etaža (kat)	$h$ [m]	$b$ [m]	$z_e$ [m]	$c_r(z)$	$c_e(z)$	$q_p(z)$	$c_s c_d$	$c_f$	$q_w$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$F_w$ [kN]
1	3,569	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	84,4
2	7,138	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	169,2
3	10,707	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	169,2
4	14,276	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	169,2
5	17,845	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	169,2
6	21,414	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	169,2
7	24,983	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	169,2
8	28,552	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	169,2
9	32,121	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	169,2
10	35,69	36	36	0,839	2,079	0,813	1,0	1,620	1,317	171,6
11	39,259	36	39,569	0,861	2,152	0,841	1,0	1,620	1,362	175,0
12	42,828	36	43,138	0,881	2,219	0,868	1,0	1,620	1,406	180,6
13	46,397	36	46,707	0,899	2,280	0,871	1,0	1,620	1,411	181,3
14	49,966	36	50,276	0,917	2,343	0,916	1,0	1,620	1,484	190,7
15	53,535	36	53,845	0,933	2,399	0,938	1,0	1,620	1,520	195,3
16	57,104	36	57,414	0,948	2,452	0,959	1,0	1,620	1,554	199,7
17	60,673	36	60,983	0,962	2,501	0,978	1,0	1,620	1,584	203,5
18	64,242	36	64,552	0,975	2,550	0,997	1,0	1,620	1,615	207,5
19	67,811	36	68,121	0,988	2,595	1,015	1,0	1,620	1,644	316,8
20	74,949	36	75,259	1,011	2,678	1,047	1,0	1,620	1,696	326,9
21	78,518	36	78,828	1,022	2,719	1,063	1,0	1,620	1,722	221,2
22	82,087	36	82,397	1,032	2,755	1,077	1,0	1,620	1,745	224,2
23	85,656	36	85,966	1,042	2,795	1,092	1,0	1,620	1,769	227,3
24	89,225	36	89,535	1,052	2,830	1,107	1,0	1,620	1,793	230,4
25	92,794	36	93,104	1,061	2,864	1,120	1,0	1,620	1,814	233,1

26	96,368	36	96,673	1,070	2,898	1,133	1,0	1,620	1,835	235,8
27	99,932	36	100,242	1,078	2,928	1,145	1,0	1,620	1,855	238,3
28	103,501	36	103,811	1,086	2,958	1,157	1,0	1,620	1,874	240,8
29	107,07	36	107,380	1,094	2,988	1,168	1,0	1,620	1,892	243,1
30	110,639	36	110,949	1,102	3,020	1,180	1,0	1,620	1,912	245,7
31	114,208	36	114,518	1,109	3,046	1,191	1,0	1,620	1,929	247,8
32	117,777	36	118,087	1,117	3,078	1,203	1,0	1,620	1,949	250,4
33	121,346	36	121,656	1,123	3,100	1,212	1,0	1,620	1,963	252,2
34	124,915	36	125,225	1,130	3,127	1,223	1,0	1,620	1,981	254,5
35	128,484	36	128,794	1,137	3,155	1,234	1,0	1,620	1,999	256,8
36	132,053	36	132,363	1,143	3,179	1,243	1,0	1,620	2,014	258,8
37	135,622	36	135,932	1,149	3,202	1,252	1,0	1,620	2,028	260,6
38	139,191	36	139,501	1,156	3,231	1,263	1,0	1,620	2,046	262,9
39	142,76	36	143,070	1,161	3,249	1,270	1,0	1,620	2,057	396,4
40	149,898	36	150,208	1,173	3,298	1,290	1,0	1,620	2,090	402,8
41	153,467	36	153,777	1,178	3,317	1,297	1,0	1,620	2,101	269,9
42	157,036	36	157,346	1,184	3,342	1,307	1,0	1,620	2,117	272,0
43	160,605	36	160,915	1,189	3,361	1,314	1,0	1,620	2,129	273,5
44	164,174	36	164,484	1,194	3,381	1,322	1,0	1,620	2,142	275,2
45	167,743	36	168,053	1,199	3,401	1,330	1,0	1,620	2,155	276,9
46	171,312	36	171,622	1,204	3,422	1,338	1,0	1,620	2,168	278,6
47	174,881	36	175,191	1,209	3,442	1,346	1,0	1,620	2,181	280,2
48	178,45	36	178,760	1,214	3,463	1,354	1,0	1,620	2,193	281,8
49	182,019	36	182,329	1,218	3,478	1,360	1,0	1,620	2,203	283,1
50	185,588	36	185,898	1,223	3,500	1,369	1,0	1,620	2,218	285,0
51	189,157	36	189,467	1,227	3,515	1,374	1,0	1,620	2,226	286,0
52	192,726	36	193,036	1,232	3,537	1,383	1,0	1,620	2,240	287,8
53	196,295	36	232	1,275	3,715	1,453	1,0	1,620	2,354	296,4
54	199,864	36	232	1,275	3,175	1,453	1,0	1,620	2,354	302,5
55	203,433	36	232	1,275	3,715	1,453	1,0	1,620	2,354	302,5
56	207,002	36	232	1,275	3,715	1,453	1,0	1,620	2,354	302,5
57	210,571	36	232	1,275	3,715	1,453	1,0	1,620	2,354	302,5
58	214,14	36	232	1,275	3,715	1,453	1,0	1,620	2,354	302,5
59	217,709	36	232	1,275	3,175	1,453	1,0	1,620	2,354	302,5
60	221,278	36	232	1,275	3,715	1,453	1,0	1,620	2,354	302,5
61	224,847	36	232	1,275	3,715	1,453	1,0	1,620	2,354	453,7
62	232,0	36	232	1,275	3,715	1,453	1,0	1,620	2,354	302,5

5.1.4.2 Tlak vjetra na površine

Na Slici 17. su prikazana područja konstrukcije s različitim tlakovima vjetra u ovisnosti o dimenzijama konstrukcije.



Slika 17: Područja za vertikalne zidove s pravokutnim tlocrtom (Izvor: [13])

U Tablici 14. su prikazane preporučene vrijednosti vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada.

Tablica 14: Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada (Izvor: [13])

Područje	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Brzina vjetra:

$v_b = 25 \text{ m/s}$

Osnovni tlak uslijed brzine vjetra:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \text{ N/m}^2 = 0,391 \text{ kN/m}^2$$

Vršni tlak uslijed brzine vjetra:

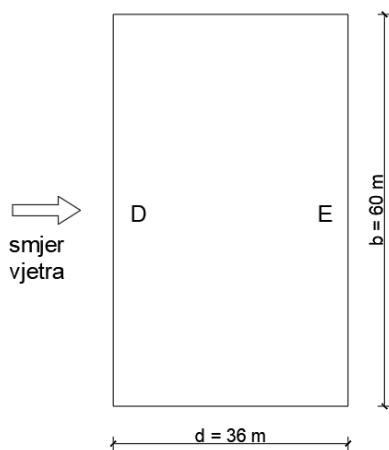
$$q_p(z) = C_e \cdot q_b$$

Djelovanje vjetra po površini:

$$w_e(z) = q_p(z) \cdot C_{pe,10}$$

### Vjetar na uzdužnu stranu

$$\begin{aligned} \min(e = b; e = 2h) \\ e = b \rightarrow e = 60 \text{ m} \\ e = 2h \rightarrow e = 464 \text{ m} \\ \text{za } e > d \end{aligned}$$

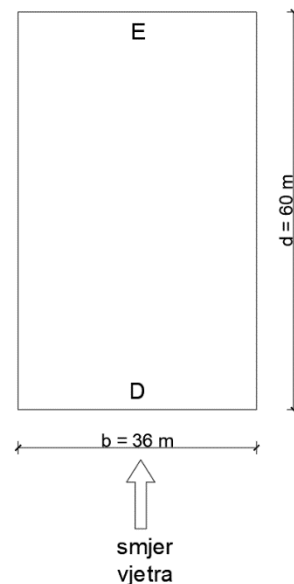


$$\begin{aligned} h/d = 232/36 = 6,44 \\ (\text{uzima se vrijednost za } h/d = 5) \end{aligned}$$

$C_{pe,10}^A$	-1,200
$C_{pe,10}^B$	-0,800
$C_{pe,10}^C$	-0,500
$C_{pe,10}^D$	+0,800
$C_{pe,10}^E$	-0,700

### Vjetar na poprečnu stranu

$$\begin{aligned} \min(e = b; e = 2h) \\ e = b \rightarrow e = 36 \text{ m} \\ e = 2h \rightarrow e = 464 \text{ m} \\ \text{za } e < d \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} h/d = 232/60 = 3,87 \\ 1 < h/d < 5 \rightarrow \text{interpolacija} \end{aligned}$$

$C_{pe,10}^A$	-1,200	-1,200
$C_{pe,10}^B$	-0,800	-0,800
$C_{pe,10}^C$	-0,500	-0,500
$C_{pe,10}^D$	+0,800	+0,800
$C_{pe,10}^E$	-0,700	-0,644

U **Tablici 15.** su prikazane vrijednosti sila od vjetra na uzdužnu stranu zgrade.

Tablica 15: Sile vjetra na uzdužnu stranu

Etaža (kat)	h [m]	$q_b(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c_e(z)$	$q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$w_e^D$	$w_e^E$	D [kN]	E [kN]	D "+" E
1	3,569	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	83,5	73,1	156,6
2	7,138	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
3	10,707	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
4	14,276	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
5	17,845	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
6	21,414	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
7	24,983	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
8	28,552	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
9	32,121	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
10	35,69	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
11	39,259	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
12	42,828	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
13	46,397	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
14	49,966	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
15	53,535	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
16	57,104	0,391	2,492	0,974	0,779	0,682	166,9	146,1	313,0
17	60,673	0,391	2,538	0,992	0,794	0,695	171,9	150,5	322,3
18	64,242	0,391	2,579	1,008	0,807	0,706	172,7	151,2	323,9
19	67,811	0,391	2,623	1,026	0,820	0,718	263,5	153,7	494,1
20	74,949	0,391	2,707	1,058	0,847	0,741	272,0	238,0	510,0
21	78,518	0,391	2,744	1,073	0,858	0,751	181,3	241,2	342,1
22	82,087	0,391	2,786	1,089	0,871	0,763	183,8	163,3	347,1
23	85,656	0,391	2,818	1,102	0,881	0,771	186,6	165,2	351,8
24	89,225	0,391	2,852	1,115	0,892	0,781	188,8	167,2	355,9
25	92,794	0,391	2,886	1,128	0,903	0,790	191,0	169,1	360,2
26	96,368	0,391	2,92	1,142	0,913	0,799	193,3	171,1	364,5
27	99,932	0,391	2,95	1,153	0,923	0,807	195,6	172,9	368,5
28	103,501	0,391	2,979	1,165	0,932	0,815	197,6	174,6	372,2
29	107,07	0,391	3,012	1,178	0,942	0,824	199,5	176,5	376,1
30	110,639	0,391	3,038	1,188	0,950	0,832	201,8	178,1	379,8
31	114,208	0,391	3,07	1,200	0,960	0,840	203,5	179,9	383,4
32	117,777	0,391	3,097	1,211	0,969	0,848	205,6	181,5	387,2
33	121,346	0,391	3,119	1,220	0,976	0,854	207,4	182,8	390,3
34	124,915	0,391	3,147	1,230	0,984	0,861	208,9	184,4	393,4
35	128,484	0,391	3,17	1,239	0,992	0,868	210,8	185,8	396,6
36	132,053	0,391	3,199	1,251	1,001	0,876	212,3	187,5	399,8
37	135,622	0,391	3,222	1,260	1,008	0,882	214,3	188,8	403,1

38	139,191	0,391	3,246	1,269	1,015	0,888	217,4	190,2	407,7
39	142,76	0,391	3,27	1,279	1,023	0,895	328,6	287,5	616,0
40	149,898	0,391	3,314	1,296	1,037	0,907	333,00	291,4	624,3
41	153,467	0,391	3,333	1,303	1,043	0,912	223,3	195,3	418,6
42	157,036	0,391	3,352	1,311	1,049	0,917	224,5	196,5	421,0
43	160,605	0,391	3,378	1,321	1,057	0,925	226,3	198,0	424,3
44	164,174	0,391	3,398	1,329	1,063	0,930	227,6	199,2	426,8
45	167,743	0,391	3,418	1,336	1,069	0,936	228,9	200,3	429,3
46	171,312	0,391	3,433	1,342	1,074	0,940	235,1	201,3	436,4
47	174,881	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
48	178,45	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
49	182,019	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
50	185,588	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
51	189,157	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
52	192,726	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
53	196,295	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
54	199,864	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
55	203,433	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
56	207,002	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
57	210,571	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
58	214,14	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
59	217,709	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
60	221,278	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6
61	224,847	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	373,3	326,6	699,9
62	232	0,391	3,715	1,453	1,162	1,017	248,8	217,7	466,6



U **Tablici 16.** su prikazane vrijednosti sila od vjetra na poprečnu stranu zgrade.

**Tablica 16:** Sile vjetra na poprečnu stranu

Etaža (kat)	h [m]	$q_b(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$c_e(z)$	$q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$w_e^D$	$w_e^E$	D [kN]	E [kN]	D "+" E
1	3,569	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	41,8	-33,6	75,4
2	7,138	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	83,6	-67,3	150,8
3	10,707	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	83,6	-67,3	150,8
4	14,276	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	83,6	-67,3	150,8
5	17,845	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	83,6	-67,3	150,8
6	21,414	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	83,6	-67,3	150,8
7	24,983	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	83,6	-67,3	150,8
8	28,552	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	83,6	-67,3	150,8
9	32,121	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	83,6	-67,3	150,8
10	35,69	0,391	2,079	0,813	0,650	-0,524	83,6	-67,3	150,8
11	39,259	0,391	2,152	0,841	0,673	-0,542	86,5	-69,6	156,1
12	42,828	0,391	2,219	0,868	0,694	-0,559	89,2	-71,8	161,0
13	46,397	0,391	2,280	0,891	0,713	-0,574	91,6	-73,8	165,4
14	49,966	0,391	2,343	0,916	0,733	-0,590	94,2	-75,8	170,0
15	53,535	0,391	2,399	0,938	0,750	-0,604	96,4	-77,6	174,0
16	57,104	0,391	2,452	0,959	0,767	-0,617	98,5	-79,3	177,9
17	60,673	0,391	2,501	0,978	0,782	-0,630	100,5	-80,9	181,4
18	64,242	0,391	2,550	0,997	0,798	-0,642	102,5	-82,5	185,0
19	67,811	0,391	2,595	1,015	0,812	-0,653	156,5	-125,9	282,4
20	74,949	0,391	2,678	1,047	0,838	-0,674	161,5	-130,0	291,5
21	78,518	0,391	2,719	1,063	0,851	-0,685	109,3	-88,0	197,2
22	82,087	0,391	2,755	1,077	0,862	-0,694	110,7	-89,1	199,9
23	85,656	0,391	2,795	1,093	0,874	-0,704	112,3	-90,4	202,8
24	89,225	0,391	2,830	1,107	0,885	-0,713	113,7	-91,6	205,3
25	92,794	0,391	2,864	1,120	0,896	-0,721	115,1	-92,7	207,8
26	96,368	0,391	2,898	1,133	0,906	-0,730	116,5	-93,8	210,2
27	99,932	0,391	2,928	1,145	0,916	-0,737	117,7	-94,7	212,4
28	103,501	0,391	2,958	1,157	0,925	-0,745	118,9	-95,7	214,6
29	107,07	0,391	2,988	1,168	0,935	-0,752	120,1	-96,7	216,8
30	110,639	0,391	3,020	1,181	0,945	-0,760	121,4	-97,7	219,1
31	114,208	0,391	3,046	1,191	0,953	-0,767	122,4	-98,5	221,0
32	117,777	0,391	3,078	1,203	0,963	-0,775	123,7	-99,6	223,3
33	121,346	0,391	3,100	1,212	0,970	-0,781	124,6	-100,3	224,9

34	124,915	0,391	3,127	1,223	0,978	-0,787	125,7	-101,2	226,8
35	128,484	0,391	3,155	1,234	0,987	-0,794	126,8	-102,1	228,9
36	132,053	0,391	3,179	1,243	0,994	-0,800	127,8	-102,8	230,6
37	135,622	0,391	3,202	1,252	1,002	-0,806	128,7	-103,6	232,3
38	139,191	0,391	3,231	1,263	1,011	-0,814	129,9	-104,5	234,4
39	142,76	0,391	3,249	1,270	1,016	-0,818	195,8	-157,6	353,5
40	149,898	0,391	3,298	1,290	1,032	-0,830	198,9	-160,0	358,9
41	153,467	0,391	3,317	1,297	1,038	-0,835	133,3	-107,3	240,6
42	157,036	0,391	3,342	1,307	1,045	-0,842	134,3	-108,1	242,4
43	160,605	0,391	3,361	1,314	1,051	-0,846	135,1	-108,7	243,8
44	164,174	0,391	3,381	1,322	1,058	-0,851	135,9	-109,4	245,3
45	167,743	0,391	3,401	1,330	1,064	-0,856	136,7	-110,0	246,7
46	171,312	0,391	3,422	1,338	1,070	-0,862	137,5	-110,7	248,2
47	174,881	0,391	3,442	1,346	1,077	-0,867	138,3	-111,4	249,7
48	178,45	0,391	3,463	1,354	1,083	-0,872	139,2	-112,1	251,2
49	182,019	0,391	3,478	1,360	1,088	-0,876	139,8	-112,5	252,3
50	185,588	0,391	3,500	1,369	1,095	-0,881	140,7	-113,2	253,9
51	189,157	0,391	3,515	1,374	1,099	-0,885	141,3	-113,7	255,0
52	192,726	0,391	3,537	1,383	1,106	-0,891	142,2	-114,4	256,6
53	196,295	0,391	3,715	1,453	1,162	-0,935	149,3	-120,2	269,5
54	199,864	0,391	3,715	1,453	1,162	-0,935	149,3	-120,2	269,5
55	203,433	0,391	3,715	1,453	1,162	-0,935	149,3	-120,2	269,5
56	207,002	0,391	3,715	1,453	1,162	-0,935	149,3	-120,2	269,5
57	210,571	0,391	3,715	1,453	1,162	-0,935	149,3	-120,2	269,5
58	214,14	0,391	3,715	1,453	1,162	-0,935	149,3	-120,2	269,5
59	217,709	0,391	3,175	1,453	1,162	-0,935	149,3	-120,2	269,5
60	221,278	0,391	3,715	1,453	1,162	-0,935	149,3	-120,2	269,5
61	224,847	0,391	3,715	1,453	1,162	-0,935	223,9	-180,2	404,1
62	232,0	0,391	3,715	1,453	1,162	-0,935	149,3	-120,2	269,5

## 5.2 Dinamička djelovanja

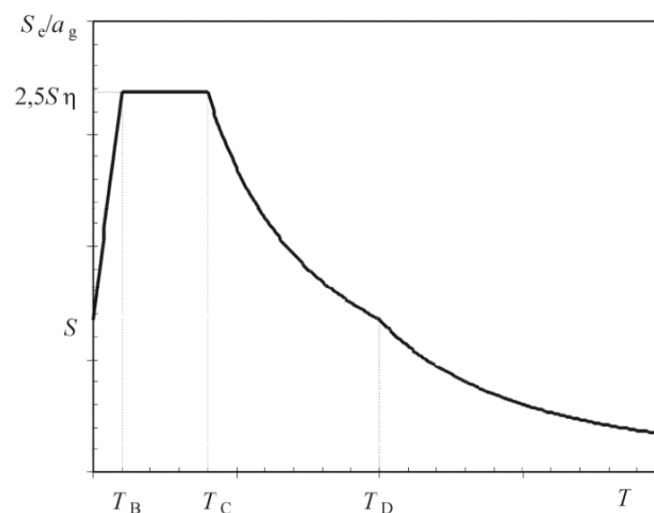
U potresnim područjima konstrukcije se moraju projektirati i graditi na način da ne dođe do rušenja i pojave oštećenja i njima pridruženih ograničenja uporabe. U slučaju potresa najvažnije je zaštititi ljudske živote, ograničiti štetu prouzročenu potresom te osigurati da u funkciji ostanu konstrukcije važne za civilnu zaštitu. Norma EN 1998 daje smjernice za proračun i gradnju zgrada i inženjerskih građevina u potresnim područjima. Seizmičko opterećenje građevine može se analizirati statičkim i dinamičkim metodama koje mogu biti linearne i nelinearne. U ovom radu primjenjuje se linearna dinamička metoda spektra odziva odnosno modalna analiza [11].

### 5.2.1 Linearna dinamička metoda spektra odziva

Linearna dinamička metoda spektra odziva metoda je propisana Eurokodom koja koristi linearni elastični model konstrukcije i proračunskog spektra odziva. Modalnom analizom određuju se dinamički parametri konstrukcije, odnosno modalni oblici, vlastite frekvencije i prigušenja konstrukcije prilikom djelovanja pobude. Dinamički parametri konstrukcije omogućuju predviđanje ponašanja građevine uslijed mogućeg potresnog opterećenja, a ovise o masi, krutosti i rubnim uvjetim [10].

#### 5.2.1.1 Horizontalni elastični spektar odziva

Spektar odziva je krivulja koja predstavlja maksimalni odziv SDOF (eng. Single Degree of Freedom) sustava za određeno ubrzanje tla i vremensko razdoblje (ili učestalost) te je prikazan na **Slici 18**. Spektar odziva se može smatrati mjestom maksimalnog odziva SDOF sustava za dano prigušenje. Pomoću spektra odziva dobivamo vršne vrijednosti odziva konstrukcije u linearnom području. Pomoću njega možemo dobiti potresne sile.



**Slika 18:** Oblik elastičnog spektra odziva (Izvor: [10])

Elastični spektar odziva  $S_e(T)$  za horizontalnu komponentu potresnog djelovanja definiran je izrazima:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]$$

gdje je:

$S_e(T)$  elastični spektar odziva

$T$  period vibracija linearnog sustava s jednim stupnjem slobode

$a_g$  proračunsko ubrzanje na temeljnom tlu tipa A ( $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$ )

$T_B$  donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

$T_C$  gornja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

$T_D$  donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog pomaka

$S$  faktor tla

$\eta$  korekcijski faktor prigušenja,  $\eta=1,0$  za 5%-tno prigušenje

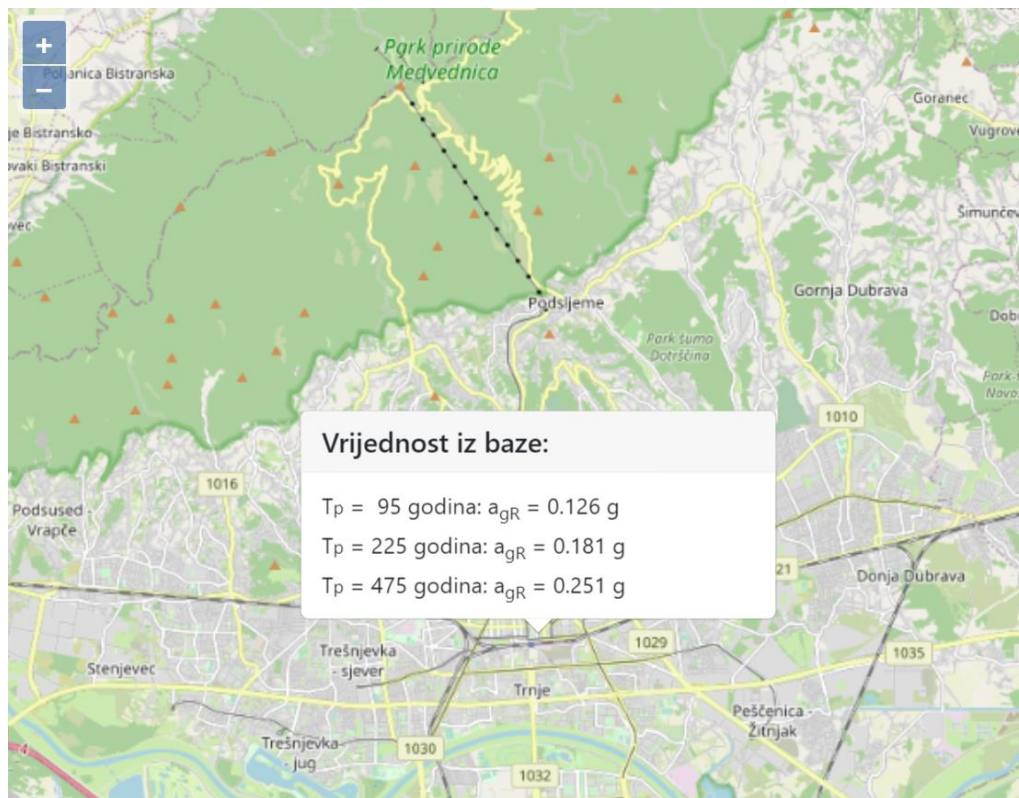
Oblik elastičnog spektra odziva se definira s vrijednostima perioda  $T_B$ ,  $T_C$  i  $T_D$  i faktorom tla  $S$ . Vrijednosti  $T_B$ ,  $T_C$  i  $T_D$  ovise o tipu temeljnog tla. Vrijednosti istih su dane u nacionalnim dodacima pojedinih država. Upotrebljava se tip spektra I (magnituda površinskog vala  $> 5,5$ ) [10]. Parametri temeljnog tla za horizontalni tip spektra 1 dani su u **Tablici 17**.

**Tablica 17:** Parametri temeljnog tla za horizontalni tip spektra 1 (Izvor: [10])

Tip temeljnog tla	$S$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

### 5.2.1.2 Potresno djelovanje

Kako bi se odredili učinci potresnog djelovanja na konstrukciju, treba se odrediti vršno horizontalno ubrzanje tla na lokaciji gdje se nalazi konstrukcija. Za područje Republike Hrvatske, podaci se očitavaju sa seizmološke karte (**Slika 19.**) koja je standardni dio norme nHRN ERN 1998-1:2011/NA:2011 te je dostupna na webu.



**Slika 19:** Vrijednosti vršnog horizontalnog ubrzanja tla na području Zagreba (Izvor: [10])

Vrijednost za povratni period od 475 godina –  $a_{gR} = 0,251 \text{ g}$

Kategorija tla: C

- **Horizontalni proračunski spektar potresnog opterećenja**

Konstrukcije imaju sposobnost odupiranja potresnom djelovanju u nelinearnom području te se zbog toga potresne sile dobivene linearnim proračunom mogu smanjiti. Neelastično ponašanje konstrukcije podrazumijeva trošenje energije pretežito duktilnim ponašanjem elemenata konstrukcije. Proračunski spektar potresnog djelovanja je elastični proračun koji se temelji na spektru odziva smanjenom u odnosu na elastični spektar. Smanjenje elastičnog spektra se provodi pomoću faktora ponašanja.

## Određivanje faktora ponašanja

Faktor ponašanja koristi se u proračunu kako bi se smanjile sile dobivene linearnim proračunom i na taj način uzelo u obzir nelinearno ponašanje konstrukcije. Nelinearnost konstrukcije povezana je s materijalom, konstrukcijskim sustavom i postupcima proračuna.

U **Tablici 18.** dane su vrijednosti faktora ponašanja za različite čelične sustave pravilne po visini.

**Tablica 18:** Granične vrijednosti faktora ponašanja za čelične sustave pravilne po visini (Izvor: [10])

Tip konstrukcije	Razred duktilnosti	
	DCM	DCH
a) okvirne konstrukcije	4	5 $\alpha_d/\alpha_1$
b) okvir s centričnim ukrućenjima		
– dijagonalna ukrućenja	4	4
– ukrućenja u obliku slova V	2	2,5
c) okvir s ekscentričnim ukrućenjima	4	5 $\alpha_d/\alpha_1$
d) obrnuto njihalo	2	2 $\alpha_d/\alpha_1$
e) konstrukcije s betonskim jezgrama ili betonskim zidovima	vidjeti 5. poglavlje	
f) okvir s centričnim ukrućenjem	4	4 $\alpha_d/\alpha_1$
g) okvirne konstrukcije s ispunskim zidom		
– nespojeno betonsko ili zidano zide u dodiru s okvirom	2	2
– spojeni amiranobetonski ispunski elementi	vidjeti 7. poglavlje	
– ispunski elementi izolirani od okvira (vidjeti okvire)	4	5 $\alpha_d/\alpha_1$

Eurocode 8 ne propisuje vrijednosti faktora ponašanja,  $q$ , za sustav s potpornim rešetkama te se usvaja vrijednosti  $q = 2,0$ .

Proračunski spektar odziva  $S_d(T)$  za horizontalnu komponentu potresnog djelovanja definiran je izrazima:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

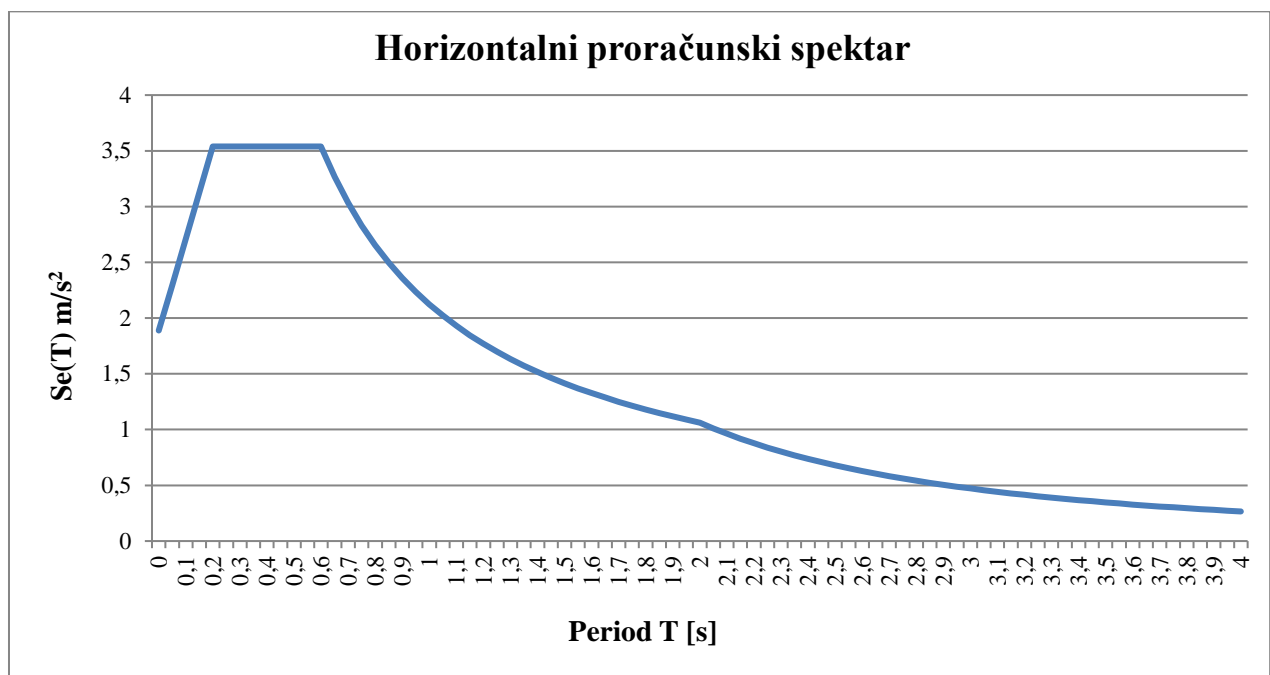
$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \geq \beta \cdot a_g$$

gdje je:

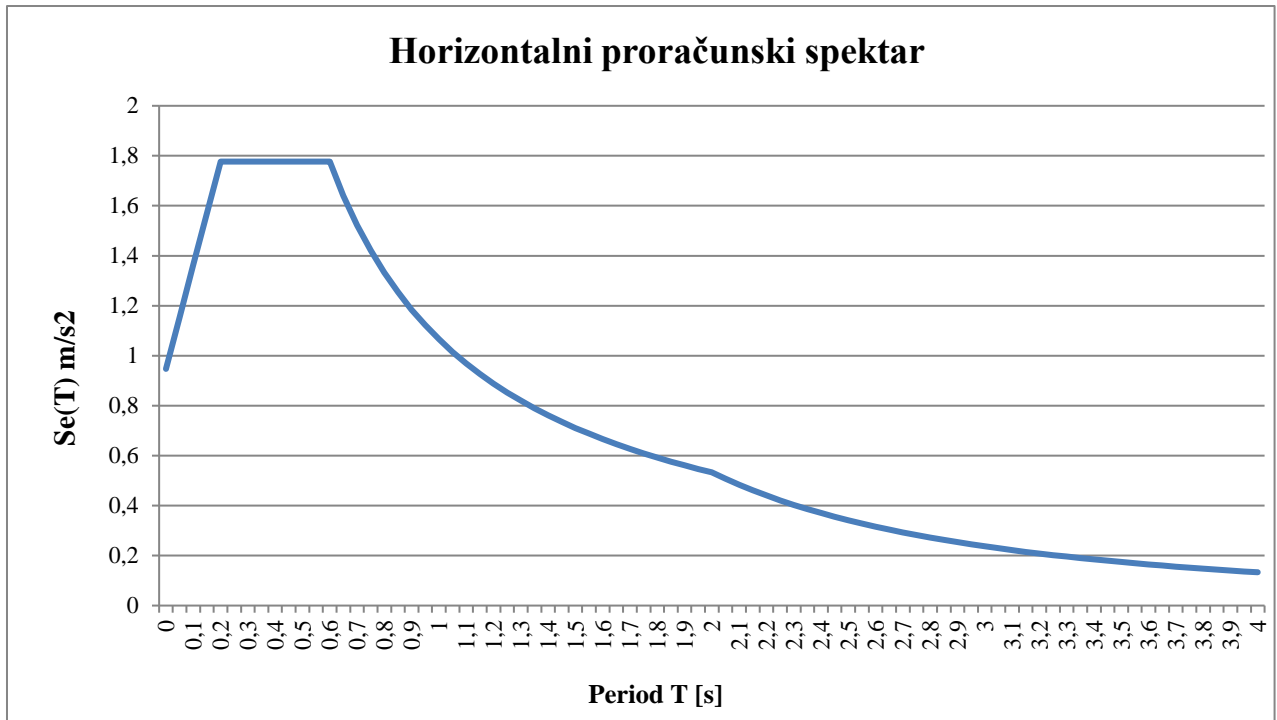
$S_d(T)$	proračunski spektar odziva
$a_g$	projektno ubrzanje tla
$S$	parametar tla
$T$	period titanja SDOF
$T_B, T_C, T_D$	točke (vrijednosti perioda) koje definiraju pojedini dio spektra odziva
$q$	faktor ponašanja
$\beta$	donja vrijednost faktora horizontalnog spektra odziva (preporučena vrijednost 0,2) [10].

Na **Slici 20.** prikazan je horizontalni proračunski spektar za predmetnu građevinu za povratni period od 475 godina.



**Slika 20:** Horizontalni proračunski spektar odziva, povratni period 475 godina

Na **Slici 21.** prikazan je horizontalni proračunski spektar za predmetnu građevinu za povratni period od 95 godina.



Slika 21: Horizontalni proračunski spektar odziva, povratni period 95 godina



## 6 PRELIMINARNO DIMENZIONIRANJE

Preliminarno dimenzioniranje provedeno je u skladu s normom EN 1993.

### 6.1 Međukatna konstrukcija

Spregnuta međukatna konstrukcija odabrana je ovisno o rasponu ploče prema **Tablici 19.** prikazanoj u nastavku.

**Tablica 19:** Rasponi ploče ovisni o debljini ploče i opterećenju (Izvor: [12])

Span Type (support condition)	Slab Depth (mm)	Min Mesh Size	Gauge - 1.00mm					
			Total Applied Load (kN/m <sup>2</sup> ) SLS					
			4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0
			Span (m)					
	100	A142	3.30	3.30	3.22	3.00	3.00	3.00
	110	A142	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22
	120	A142	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
	130	A142	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07
	140	A142	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	150	A142	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94
	160	A193	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89
	175	A193	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
	200	A193	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
	250	A252	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53

- Međukatna konstrukcija:

$$g_{\text{ploča}}^{\text{međukatna}} = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k$$

$$g_{\text{ploča}}^{\text{međukatna}} = 1,35 \cdot 4,91 + 1,5 \cdot 3,0$$

$$g_{\text{ploča}}^{\text{međukatna}} = 11,14 \text{ kN/m}^2 < g_{\text{dop}} = 12,0 \text{ kN/m}^2$$

- Krovna konstrukcija:

$$g_{\text{ploča}}^{\text{krov}} = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k + \psi_i \cdot \gamma_Q \cdot S_k$$

$$g_{\text{ploča}}^{\text{krov}} = 1,35 \cdot 4,71 + 1,5 \cdot 0,6 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 1,4$$

$$g_{\text{ploča}}^{\text{krov}} = 8,31 \text{ kN/m}^2 < g_{\text{dop}} = 12,0 \text{ kN/m}^2$$

Odabrana je spregnuta ploča tipa Multideck 50. Međukatna konstrukcija je raspona 3 m. Multideck 50 je metalna ploča širine 600 mm te debljine 0,85 mm. Uzdužna posmična veza je osigurana utiskivanjem, a oblik ploče pruža dodatno ojačanje. U fazi izvedbe profilirani lim služi kao oplata dok u fazi upotrebe služi kao vlačna armatura.

## 6.2 Glavni nosač

- Vlastita težina glavnog nosača: 2,01 kN/m
- Raspon glavnog nosača: 12 m
- Raster glavnih nosača:  $e = 12$  m
- Mjerodavna kombinacija opterećenja za glavni nosač:

$$g_{Ed} = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k$$

$$g_{Ed} = \gamma_G \cdot \left[ \frac{e \cdot l \cdot g_{k, \text{kat}}}{l_{gl.}} + \frac{n \cdot l_{\text{sek.}} \cdot g_{k, \text{sek.}}}{l_{gl.}} + g_{k, \text{gl.}} \right] + \gamma_Q \cdot \frac{e \cdot l \cdot q_k}{l_{gl.}}$$

$$g_{Ed} = 1,35 \cdot \left[ \frac{12 \cdot 9 \cdot 4,91}{12} + \frac{3 \cdot 12 \cdot 1,88}{12} + 2,01 \right] + 1,5 \cdot \frac{12 \cdot 9 \cdot 3}{12}$$

$$g_{Ed} = 111 \text{ kN/m}$$

- Statički sustav: upeta greda

$$M_{Ed}^{\text{oslonac}} = \frac{-q \cdot l^2}{12} = \frac{-111 \cdot 12^2}{12} = 1332 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed}^{\text{sredina}} = \frac{q \cdot l^2}{24} = \frac{-111 \cdot 12^2}{24} = 666 \text{ kN/m}$$

- Otpornost na savijanje:

Odabran profil: HE 650 A

Kvaliteta čelila: S355

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6136 \cdot 35,5}{1,1} = 198025,45 \text{ kNcm} = 1980,25 \text{ kNm} > 1332 \text{ kN/m}$$

U preliminarnom dimenzioniranju bočno – torzijsko izvijanje nije uzeto u obzir te je iz tog razloga odabran profil veće nosivosti. Bočno – torzijsko izvijanje javlja se u području negativnih momenata savijanja. Bočno – torzijsko izvijanje u području pozitivnih momenata savijanja je spriječeno pridržanjem tlačne pojasnice betonom.

**ODABRANO: HE 650 A**

## 6.3 Stup

### 6.3.1 Obodni stup

- Vlastita težina stupa (HD 400x1086): 10,67 kN/m

Tablica 20: Opterećenja na obodni stup

<b>Snijeg:</b>	$S_{sk} = A \cdot s_k = 6 \cdot 6 \cdot 1,4 = 50,4 \text{ kN}$
<b>Uporabno opterećenje krova:</b>	$Q_{krov} = A \cdot q_{krov} = 6 \cdot 6 \cdot 0,6 = 21,6 \text{ kN}$
<b>Uporabno opterećenje etaže:</b>	$Q_{etaža} = A \cdot q_{etaža} = 6 \cdot 6 \cdot 3,0 = 108,0 \text{ kN}$
<b>Međukatna konstrukcija:</b>	$G_{međ.kon.} = A \cdot g_{međ.kon.} = 6 \cdot 6 \cdot 4,91 = 176,8 \text{ kN}$
<b>Krovnna konstrukcija:</b>	$G_{krov} = A \cdot g_{krov} = 6 \cdot 6 \cdot 4,71 = 169,6 \text{ kN}$
<b>Pregradni zidovi:</b>	$G_{preg.} = A \cdot g_{preg.} = 6 \cdot 6 \cdot 0,7 = 25,2 \text{ kN}$
<b>Glavni nosač:</b>	$G_{gl.nosač} = L \cdot g_{gl.nosač} = 6 \cdot 2,01 = 12,06 \text{ kN}$
<b>Sekundarni nosač:</b>	$G_{sek.nosač} = L \cdot g_{sek.nosač} = 12 \cdot 2,01 = 24,12 \text{ kN}$
<b>Fasada:</b>	$G_{fasada} = L \cdot g_{fasada} = 6 \cdot 2,0 = 12,0 \text{ kN}$
<b>Stupovi:</b>	$G_{stup} = h \cdot g_{stup} = 3,569 \cdot 10,67 = 38,09 \text{ kN}$

Opterećenje stupa prizemlja:

$$N_{G,k} = n \cdot (G_{sek.} + G_{gl.}) + (n + 3) \cdot (G_{stup} + G_{fasada}) + (n - 1) \cdot (G_{međ.kon.} + G_{preg.}) + G_{krov}$$

$$N_{G,k} = 62 \cdot (24,12 + 12,06) + 65 \cdot (38,09 + 12,0) + 64 \cdot (176,8 + 25,2) + 169,6 = 18\,596,61 \text{ kN}$$

$$N_{Q,k} = (n - 1) \cdot Q_{etaža} + Q_{krov} + \psi_i S_k = 61 \cdot 108,0 + 21,6 + 0,5 \cdot 50,4 = 6\,634,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = \gamma_g \cdot N_{G,k} + \gamma_q \cdot N_{Q,k} = 1,35 \cdot 18\,596,61 + 1,5 \cdot 6\,634,8 = 35\,057,62 \text{ kN}$$

Tablica 21: Otpornost obodnog stupa na izvijanje

	<b>Os z - z</b>
<b>Kritična sila:</b>	$N_{cr,z} = 319\,245,62$
<b>Svedena vitkost:</b>	$\lambda_z = 0,393$
<b>Pomoćni faktor:</b>	$\Phi_z = 0,651$
<b>Faktor redukcije:</b>	$\chi_z = 0,854$
<b>Otpornost na izvijanje:</b>	$N_{bz,Rd} = 38\,193,91$

$$N_{bz,Rd} = 38\,193,91 \text{ kN} > 35\,057,62 \text{ kN}$$

**ODABRANO: HD 400x1086**

### 6.3.2 Stup jezgre

- Vlastita težina stupa: (HL 920x725) + (HD 400x1299) = 19,85 kN/m

Tablica 22: Opterećenja na stup jezgre

<b>Snijeg:</b>	$S_{sk} = A \cdot s_k = 12 \cdot 6 \cdot 1,4 = 100,8 \text{ kN}$
<b>Uporabno opterećenje krova:</b>	$Q_{krov} = A \cdot q_{krov} = 12 \cdot 6 \cdot 0,6 = 43,2 \text{ kN}$
<b>Uporabno opterećenje etaže:</b>	$Q_{etaža} = A \cdot q_{etaža} = 12 \cdot 6 \cdot 3,0 = 216,0 \text{ kN}$
<b>Međukatna konstrukcija:</b>	$G_{međ.kon.} = A \cdot g_{međ.kon.} = 12 \cdot 6 \cdot 4,91 = 353,52 \text{ kN}$
<b>Krovnna konstrukcija:</b>	$G_{krov} = A \cdot g_{krov} = 12 \cdot 6 \cdot 4,71 = 339,12 \text{ kN}$
<b>Pregradni zidovi:</b>	$G_{preg.} = A \cdot g_{preg.} = 12 \cdot 6 \cdot 0,7 = 50,4 \text{ kN}$
<b>Glavni nosač:</b>	$G_{gl.nosač} = L \cdot g_{gl.nosač} = 12 \cdot 2,01 = 12,06 \text{ kN}$
<b>Sekundarni nosač:</b>	$G_{sek.nosač} = L \cdot g_{sek.nosač} = 12 \cdot 2,01 = 24,12 \text{ kN}$
<b>Fasada:</b>	$G_{fasada} = L \cdot g_{fasada} = 30 \cdot 2,01 = 60,3 \text{ kN}$
<b>Stupovi:</b>	$G_{stup} = h \cdot g_{stup} = 3,569 \cdot 19,85 = 70,84 \text{ kN}$

Opterećenje stupa prizemlja:

$$N_{G,k} = n \cdot (G_{sek.} + G_{gl.}) + (n + 3) \cdot (G_{stup} + G_{fasada}) + (n - 1) \cdot (G_{međ.kon.} + G_{preg.}) + G_{krov}$$

$$N_{G,k} = 62 \cdot (24,12 + 12,06) + 65 \cdot (70,84 + 60,3) + 64 \cdot (353,52 + 50,4) + 339,12 = 36\,957,26 \text{ kN}$$

$$N_{Q,k} = (n - 1) \cdot Q_{etaža} + Q_{krov} + \psi_i S_k = 61 \cdot 216,0 + 43,2 + 0,5 \cdot 100,8 = 13\,269,6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = \gamma_g \cdot N_{G,k} + \gamma_q \cdot N_{Q,k} = 1,35 \cdot 36\,957,26 + 1,5 \cdot 13\,269,6 = 69\,796,10 \text{ kN}$$

Tablica 23: Otpornost stupa jezgre na izvijanje

	<b>Os z - z</b>
<b>Kritična sila:</b>	$N_{cr,z} = 1\,595\,363,97$
<b>Svedena vitkost:</b>	$\lambda_z = 0,239$
<b>Pomoćni faktor:</b>	$\Phi_z = 0,543$
<b>Faktor redukcije:</b>	$\chi_z = 0,970$
<b>Otpornost na izvijanje:</b>	$N_{bz,Rd} = 80\,727,73$

**ODABRANO: HL 920x725 + HD 400x1299**

## 6.4 Dijagonale jezgre i potpornih rešetki

Poprečni presjek dijagonala je odabran na temelju seizmičkog zahtjeva da svedana vitkost "V" dijagonala mora imati vrijednost  $\bar{\lambda} \leq 2,0$ .

**ODABRANO: RHS 400x200x10**

**Tablica 24:** Otpornost dijagonale jezgre na izvijanje

	<b>Os z - z</b>
<b>Kritična sila:</b>	$N_{cr,z} = 3\,380,62$
<b>Svedena vitkost:</b>	$\lambda_z = 1,089$
<b>Pomoćni faktor:</b>	$\Phi_z = 1,186$
<b>Faktor redukcije:</b>	$\chi_z = 0,604$
<b>Otpornost na izvijanje:</b>	$N_{bz,Rd} = 2\,202,50$

## 7 SILE VJETRA NA KONSTRUKCIJU NAKON PRELIMINARNOG DIMENZIONIRANJA

Nakon provedenog preliminarnog dimenzioniranja poznate su nam mase pojedinih elemenata, a samim time i masa konstrukcije po m' koja nam je potrebna za proračun faktora konstrukcije, odnosno sila vjetra na površinu zgrade.

### 7.1 Faktor konstrukcije $c_{scd}$

Faktor konstrukcije detaljno je objašnjen u poglavlju 5.1.4.1. te su u nastavku proračuna korišteni izrazi iz navedenog poglavlja. U **Tablici 25.** su prikazane vrijednosti potrebne za proračun faktora konstrukcije predmetne građevine.

**Tablica 25:** Određivanje faktora konstrukcije

	vjetar na uzdužnu stranu	vjetar na poprečnu stranu
Faktor pozadine $B^2$ :	0,492	0,506
Osnovna frekvencija prvog tona [Hz]:	0,259	0,334
Bezdimenzijska frekvencija:	2,111	2,722
Bezdimenzijska funkcija spektralne gustoće:	0,080	0,053
Log. dekrement aerodinamičkog prigušenja:	0,041	0,015
Logaritamski dekrement prigušenja:	0,091	0,065
Aerodinamičke prijenosne funkcije za osnovni oblik titranja:		
$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$	9,573	12,344
$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_h})$	0,099	0,078
$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$	2,476	1,915
$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot (1 - e^{-2\eta_b})$	0,323	0,389
Rezonantni udio odziva $R^2$ :	0,139	0,122
Očekivana frekvencija $v$ [Hz]:	0,249	0,325
Vršni faktor (udarni koeficijent):	3,354	3,432
<b>Faktor konstrukcije:</b>	<b>0,701</b>	<b>0,713</b>

### 7.1.1 Rezultirajuća sila vjetra

$$F_w = C_{sCd} \cdot C_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C_e(z_e) \cdot C_{sCd} \cdot C_f \cdot A_{ref}$$

gdje je:

$F_w$	sila vjetra na konstrukciju
$C_{sCd}$	faktor konstrukcije
$C_f$	koeficijent sila
$q_p(z_e)$	vršni tlak uslijed brzine vjetra
$C_e(z_e)$	koeficijent izloženosti
$\rho = 1,25 \text{ kN/m}^3$	gustoća zraka
$v_b$	brzina vjetra
$A_{ref}$	referentna površina na koju djeluje vjetar

U **Tablici 26.** su prikazane vrijednosti sila od vjetra na uzdužnu stranu građevine nakon proračuna faktora konstrukcije.

#### Slučaj 1 – vjetar puše na uzdužnu stranu zgrade

**Tablica 26:** Sile vjetra na uzdužnu stranu nakon proračuna faktora konstrukcije

Etaža (kat)	h [m]	b [m]	z <sub>e</sub> [m]	c <sub>r</sub> (z)	c <sub>e</sub> (z)	q <sub>p</sub> (z)	c <sub>sCd</sub>	c <sub>f</sub>	q <sub>w</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	F <sub>w</sub> [kN]
1	3,569	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	154,6
2	7,138	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
3	10,707	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
4	14,276	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
5	17,845	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
6	21,414	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
7	24,983	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
8	28,552	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
9	32,121	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
10	35,69	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
11	39,259	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
12	42,828	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
13	46,397	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
14	49,966	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
15	53,535	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
16	57,104	60	60	0,958	2,492	0,974	0,701	2,115	1,444	309,2
17	60,673	60	63,569	0,972	2,538	0,992	0,701	2,115	1,471	313,2
18	64,242	60	67,138	0,984	2,579	1,008	0,701	2,115	1,494	320,0

19	67,811	60	70,707	0,996	2,623	1,026	0,701	2,115	1,521	488,6
20	74,949	60	77,845	1,019	2,707	1,058	0,701	2,115	1,569	504,0
21	78,518	60	81,414	1,029	2,744	1,073	0,701	2,115	1,591	340,7
22	82,087	60	84,983	1,040	2,786	1,089	0,701	2,115	1,615	345,7
23	85,656	60	88,552	1,049	2,818	1,102	0,701	2,115	1,634	349,9
24	89,225	60	92,121	1,058	2,852	1,115	0,701	2,115	1,653	354,0
25	92,794	60	95,690	1,067	2,886	1,128	0,701	2,115	1,672	358,1
26	96,368	60	99,259	1,076	2,920	1,141	0,701	2,115	1,692	362,3
27	99,932	60	102,828	1,084	2,950	1,153	0,701	2,115	1,709	366,1
28	103,501	60	106,397	1,092	2,979	1,165	0,701	2,115	1,727	369,9
29	107,07	60	109,966	1,100	3,012	1,178	0,701	2,115	1,747	374,0
30	110,639	60	113,535	1,107	3,038	1,188	0,701	2,115	1,761	377,2
31	114,208	60	117,104	1,115	3,070	1,200	0,701	2,115	1,779	381,0
32	117,777	60	120,673	1,122	3,097	1,211	0,701	2,115	1,795	384,5
33	121,346	60	124,242	1,128	3,119	1,220	0,701	2,115	1,809	387,3
34	124,915	60	127,811	1,135	3,147	1,230	0,701	2,115	1,824	390,5
35	128,484	60	131,38	1,141	3,170	1,239	0,701	2,115	1,837	393,4
36	132,053	60	134,949	1,148	3,199	1,251	0,701	2,115	1,855	397,2
37	135,622	60	138,518	1,154	3,222	1,260	0,701	2,115	1,868	400,0
38	139,191	60	142,087	1,160	3,246	1,269	0,701	2,115	1,881	402,9
39	142,76	60	145,656	1,166	3,270	1,279	0,701	2,115	1,896	609,0
40	149,898	60	152,794	1,177	3,314	1,296	0,701	2,115	1,921	617,0
41	153,467	60	156,363	1,182	3,333	1,303	0,701	2,115	1,932	413,7
42	157,036	60	159,932	1,187	3,352	1,311	0,701	2,115	1,944	416,2
43	160,605	60	163,501	1,193	3,378	1,321	0,701	2,115	1,959	419,4
44	164,174	60	167,070	1,198	3,398	1,329	0,701	2,115	1,970	421,9
45	167,743	60	170,639	1,203	3,418	1,336	0,701	2,115	1,981	424,2
46	171,312	60	174,208	1,207	3,433	1,342	0,701	2,115	1,990	437,1
47	174,881	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
48	178,45	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
49	182,019	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
50	185,588	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
51	189,157	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
52	192,726	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
53	196,295	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
54	199,864	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
55	203,433	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
56	207,002	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
57	210,571	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3



58	214,14	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
59	217,709	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
60	221,278	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3
61	224,847	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	691,9
62	232,0	60	232,0	1,275	3,715	1,453	0,701	2,115	2,154	461,3

U **Tablici 27.** su prikazane vrijednosti sila od vjetra na poprečnu stranu građevine nakon proračuna faktora konstrukcije.

### Slučaj 2 – vjetar puše na poprečnu stranu zgrade

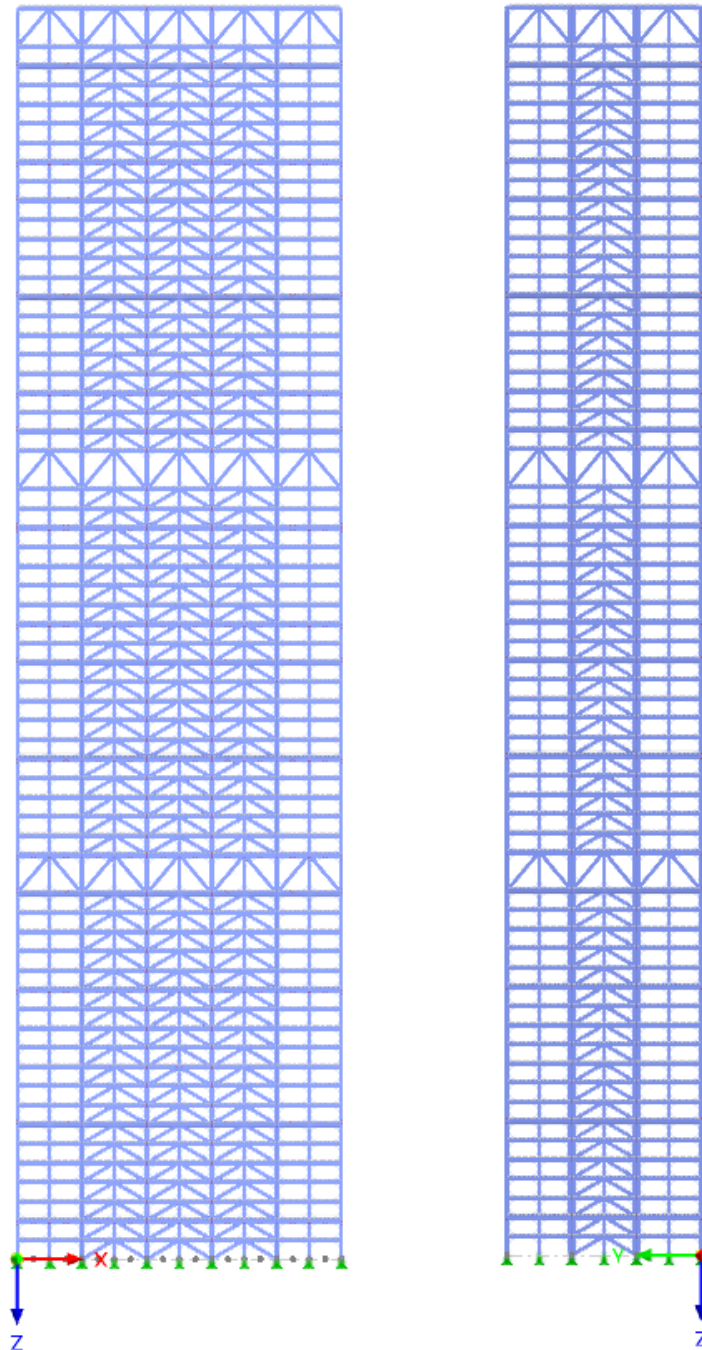
**Tablica 27:** Sile vjetra na poprečnu stranu nakon proračuna faktora konstrukcije

Etaža (kat)	h [m]	b [m]	z <sub>e</sub> [m]	c <sub>r</sub> (z)	c <sub>e</sub> (z)	q <sub>p</sub> (z)	c <sub>s</sub> c <sub>d</sub>	c <sub>f</sub>	q <sub>w</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	F <sub>w</sub> [kN]
1	3,569	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	60,4
2	7,138	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	120,7
3	10,707	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	120,7
4	14,276	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	120,7
5	17,845	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	120,7
6	21,414	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	120,7
7	24,983	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	120,7
8	28,552	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	120,7
9	32,121	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	120,7
10	35,69	36	36	0,839	2,079	0,813	0,713	1,62	0,939	124,0
11	39,259	36	39,569	0,861	2,152	0,841	0,713	1,62	0,971	124,8
12	42,828	36	43,138	0,881	2,219	0,868	0,713	1,62	1,003	128,8
13	46,397	36	46,707	0,899	2,280	0,871	0,713	1,62	1,006	129,3
14	49,966	36	50,276	0,917	2,343	0,916	0,713	1,62	1,058	135,9
15	53,535	36	53,845	0,933	2,399	0,938	0,713	1,62	1,083	139,2
16	57,104	36	57,414	0,948	2,452	0,959	0,713	1,62	1,108	142,3
17	60,673	36	60,983	0,962	2,501	0,978	0,713	1,62	1,130	145,1
18	64,242	36	64,552	0,975	2,550	0,997	0,713	1,62	1,152	148,0
19	67,811	36	68,121	0,988	2,595	1,015	0,713	1,62	1,172	225,9
20	74,949	36	75,259	1,011	2,678	1,047	0,713	1,62	1,209	233,0
21	78,518	36	78,828	1,022	2,719	1,063	0,713	1,62	1,228	157,8
22	82,087	36	82,397	1,032	2,755	1,077	0,713	1,62	1,244	159,8
23	85,656	36	85,966	1,042	2,795	1,092	0,713	1,62	1,261	162,1
24	89,225	36	89,535	1,052	2,830	1,107	0,713	1,62	1,279	164,3

25	92,794	36	93,104	1,061	2,864	1,120	0,713	1,62	1,294	166,2
26	96,368	36	96,673	1,070	2,898	1,133	0,713	1,62	1,309	168,1
27	99,932	36	100,242	1,078	2,928	1,145	0,713	1,62	1,323	169,9
28	103,501	36	103,811	1,086	2,958	1,157	0,713	1,62	1,336	171,7
29	107,07	36	107,380	1,094	2,988	1,168	0,713	1,62	1,349	173,3
30	110,639	36	110,949	1,102	3,020	1,180	0,713	1,62	1,363	175,1
31	114,208	36	114,518	1,109	3,046	1,191	0,713	1,62	1,376	176,8
32	117,777	36	118,087	1,117	3,078	1,203	0,713	1,62	1,390	178,5
33	121,346	36	121,656	1,123	3,100	1,212	0,713	1,62	1,400	179,9
34	124,915	36	125,225	1,130	3,127	1,223	0,713	1,62	1,413	181,5
35	128,484	36	128,794	1,137	3,155	1,234	0,713	1,62	1,425	183,1
36	132,053	36	132,363	1,143	3,179	1,243	0,713	1,62	1,436	184,5
37	135,622	36	135,932	1,149	3,202	1,252	0,713	1,62	1,446	185,8
38	139,191	36	139,501	1,156	3,231	1,263	0,713	1,62	1,459	187,4
39	142,76	36	143,070	1,161	3,249	1,270	0,713	1,62	1,467	282,7
40	149,898	36	150,208	1,173	3,298	1,290	0,713	1,62	1,490	287,2
41	153,467	36	153,777	1,178	3,317	1,297	0,713	1,62	1,498	192,5
42	157,036	36	157,346	1,184	3,342	1,307	0,713	1,62	1,510	194,0
43	160,605	36	160,915	1,189	3,361	1,314	0,713	1,62	1,518	195,0
44	164,174	36	164,484	1,194	3,381	1,322	0,713	1,62	1,527	196,2
45	167,743	36	168,053	1,199	3,401	1,330	0,713	1,62	1,536	197,4
46	171,312	36	171,622	1,204	3,422	1,338	0,713	1,62	1,545	198,6
47	174,881	36	175,191	1,209	3,442	1,346	0,713	1,62	1,555	199,8
48	178,45	36	178,760	1,214	3,463	1,354	0,713	1,62	1,564	200,9
49	182,019	36	182,329	1,218	3,478	1,360	0,713	1,62	1,571	201,8
50	185,588	36	185,898	1,223	3,500	1,369	0,713	1,62	1,581	203,2
51	189,157	36	189,467	1,227	3,515	1,374	0,713	1,62	1,587	203,9
52	192,726	36	193,036	1,232	3,537	1,383	0,713	1,62	1,597	205,2
53	196,295	36	232	1,275	3,715	1,453	0,713	1,62	1,678	211,3
54	199,864	36	232	1,275	3,175	1,453	0,713	1,62	1,678	215,6
55	203,433	36	232	1,275	3,715	1,453	0,713	1,62	1,678	215,6
56	207,002	36	232	1,275	3,715	1,453	0,713	1,62	1,678	215,6
57	210,571	36	232	1,275	3,715	1,453	0,713	1,62	1,678	215,6
58	214,14	36	232	1,275	3,715	1,453	0,713	1,62	1,678	215,6
59	217,709	36	232	1,275	3,175	1,453	0,713	1,62	1,678	215,6
60	221,278	36	232	1,275	3,715	1,453	0,713	1,62	1,678	215,6
61	224,847	36	232	1,275	3,715	1,453	0,713	1,62	1,678	323,4
62	232,0	36	232	1,275	3,715	1,453	0,713	1,62	1,678	215,6

## 8 NUMERIČKO MODELIRANJE

Na Slici 22. je prikazan 3D model konstrukcije.



Slika 22: 3D model konstrukcije

Numerički model zgrade izrađen je u računalnom programu *RFEM 6 - FEM Structural Analysis Software – Dlubal*.

Zgrada ima tri razine potpornih rešetki tako da je jedna postavljena na vrhu zgrade, a preostale dvije na trećinama visine zgrade. Jezgra se modelira kao potpuno ukružena u oba smjera s "V" dijagonalama. Glavni nosači su modelirani kao *beam* odnosno prenose momente na krajevima.

## 8.1 Oblikovanje elemenata konstrukcije

### Potporne rešetke

Zgrada ima tri razine potpornih rešetki tako da je jedna postavljena na vrhu zgrade, a preostale dvije u trećinama visine zgrade.

### Posmična jezgra

Posmična jezgra treba osiguravati dovoljnu krutost te će se oblikovati kao međusobno povezana što daje veću krutost u odnosu na djelomična ukrućenja ili ukrućenja u jednom smjeru.

### Glavni nosači

Unutarnje sile u glavnim nosačima ovise o tipu elementa kojim smo definirali glavni nosač. RFEM omogućuje modeliranje elemenata kao beam, rigid, rib, truss,... U ovom radu glavni nosači su modelirani kao beam. Beam elementi na svojim krajevima prenose moment.

### Sekundarni nosači

Sekundarni nosači se postavljaju u smjeru kraće strane pravokutnog tlocrta. Modelirani su kao proste grede s obzirom da ne utječu na krutost konstrukcije. Sekundarni nosači su spregnuti u promatranjoj građevini.

### Stropne konstrukcije

Način na koji ćemo modelirati stropne konstrukcije utječe na ponašanje cijelog sustava. Cilj je postići ekvivalentno ponašanje spregnute ploče. Stropne konstrukcije se modeliraju kao krute dijafragme (*rigid link*) što znači da se ne definiraju svojom stvarnom krutošću. Svaka dijafragma je postavljena tako da povezuje glavne i sekundarne nosače. U ovom slučaju vrsta površine koja se koristi je *Load transfer*.

## 8.2 Ulazni podaci

U **Tablici 28.** prikazana su opterećenja koja djeluju na konstrukciju, a u **Tablici 29.** kombinacije opterećenja.

**Tablica 28:** Slučajevi opterećenja

Load Case	Name	To Solve	Analysis Type	Static Analysis Settings	EN 1990   CEN   2010-04 Action Category	Self-Weight   Factor in			
						X	Y	Z	
LC1	Vlastita težina	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Analysis	SA1 - Geometrically line...	<b>G</b> Permanent	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.000	1.000
LC2	Stalno opt. međukatne konstrukcije	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Analysis	SA1 - Geometrically line...	<b>G</b> Permanent	<input type="checkbox"/>			
LC3	Stalno opt. krovne konstrukcije	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Analysis	SA1 - Geometrically line...	<b>G</b> Permanent	<input type="checkbox"/>			
LC4	Fasada	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Analysis	SA1 - Geometrically line...	<b>G</b> Permanent	<input type="checkbox"/>			
LC5	Uporabno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Analysis	SA1 - Geometrically line...	<b>QI B</b> Imposed loads - category B: offi...	<input type="checkbox"/>			
LC6	Uporabno krov	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Analysis	SA1 - Geometrically line...	<b>QI H</b> Imposed loads - category H: ro...	<input type="checkbox"/>			
LC7	Snijeg	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Analysis	SA1 - Geometrically line...	<b>Qs</b> Snow/ice loads - H <= 1000 m	<input type="checkbox"/>			
LC8	Vjetar uzdužno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Analysis	SA1 - Geometrically line...	<b>Qw</b> Wind	<input type="checkbox"/>			
LC9	Vjetar poprečno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Analysis	SA1 - Geometrically line...	<b>Qw</b> Wind	<input type="checkbox"/>			
LC10	Modalna analiza	<input checked="" type="checkbox"/>	Modal Analysis	MOS2 - #10   Root of c...	<b>AE</b> Seismic actions				
LC11	Spektar odziva - 475 god.	<input checked="" type="checkbox"/>	Response Spectrum Analysis	SPS1 - SRSS   SRSS	<b>AE</b> Seismic actions				
LC12	Spektar odziva - 95 godina	<input checked="" type="checkbox"/>	Response Spectrum Analysis	SPS1 - SRSS   SRSS	<b>AE</b> Seismic actions				

**Tablica 29:** Kombinacije opterećenja

Load Combin.	Name	Solve	Analysis Type	Static Analysis Settings	Design Situation
CO2	KGS-vj. pop., uporabno domina...	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA2 - Second-order (P-Δ)   Picard...	<b>ULS</b> DS1 - ULS (STR/GE...
CO3	KGS-vj. uzd. dominantno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA2 - Second-order (P-Δ)   Picard...	<b>ULS</b> DS1 - ULS (STR/GE...
CO4	KGS-vjetar pop. dominantno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA2 - Second-order (P-Δ)   Picard...	<b>ULS</b> DS1 - ULS (STR/GE...
CO5	KGS-vj. uzd., snijeg dominantno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA2 - Second-order (P-Δ)   Picard...	<b>ULS</b> DS1 - ULS (STR/GE...
CO6	KGS-vj.pop., snijeg dominantno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA2 - Second-order (P-Δ)   Picard...	<b>ULS</b> DS1 - ULS (STR/GE...
CO7	GSU-vj. uzd. dominantno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA1 - Geometrically linear	<b>S Ch</b> DS2 - SLS - Charac...
CO8	GSU-vj.pop. dominantno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA1 - Geometrically linear	<b>S Ch</b> DS2 - SLS - Charac...
CO9	GSU-vj. uzd., uporabno domina...	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA1 - Geometrically linear	<b>S Ch</b> DS2 - SLS - Charac...
CO10	GSU-vj.pop., uporabno domina...	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA1 - Geometrically linear	<b>S Ch</b> DS2 - SLS - Charac...
CO11	GSU-vj. uzd., snijeg dominantno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA1 - Geometrically linear	<b>S Ch</b> DS2 - SLS - Charac...
CO12	GSU-vj. pop. snijeg dominantno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA1 - Geometrically linear	<b>S Ch</b> DS2 - SLS - Charac...
CO13	Masa za proračun inercijskih sila	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA1 - Geometrically linear	<b>SE/M</b> DS5 - Seismic/Mas...
CO14	Stalno + uporabno	<input checked="" type="checkbox"/>	Static Ana...	SA1 - Geometrically linear	<b>ULS</b> DS1 - ULS (STR/GE...

Load Combin.	LC.1		LC.2		LC.3		LC.4		LC.5		LC.6		LC.7		LC.8	
	Factor	No.	Factor	No.	Factor	No.	Factor	No.	Factor	No.	Factor	No.	Factor	No.	Factor	No.
CO2	1.35	<b>G</b> LC1	1.35	<b>G</b> LC2	1.35	<b>G</b> LC3	1.35	<b>G</b> LC4	1.50	<b>QI B</b> LC5	1.50	<b>QI H</b> LC6	0.75	<b>Qs</b> LC7	0.90	<b>Qw</b> LC9
CO3	1.35	<b>G</b> LC1	1.35	<b>G</b> LC2	1.35	<b>G</b> LC3	1.35	<b>G</b> LC4	1.05	<b>QI B</b> LC5	1.05	<b>QI H</b> LC6	0.75	<b>Qs</b> LC7	1.50	<b>Qw</b> LC9
CO4	1.35	<b>G</b> LC1	1.35	<b>G</b> LC2	1.35	<b>G</b> LC3	1.35	<b>G</b> LC4	1.05	<b>QI B</b> LC5	1.05	<b>QI H</b> LC6	0.75	<b>Qs</b> LC7	1.50	<b>Qw</b> LC9
CO5	1.35	<b>G</b> LC1	1.35	<b>G</b> LC2	1.35	<b>G</b> LC3	1.35	<b>G</b> LC4	1.05	<b>QI B</b> LC5	1.05	<b>QI H</b> LC6	1.50	<b>Qs</b> LC7	0.90	<b>Qw</b> LC9
CO6	1.35	<b>G</b> LC1	1.35	<b>G</b> LC2	1.35	<b>G</b> LC3	1.35	<b>G</b> LC4	1.05	<b>QI B</b> LC5	1.05	<b>QI H</b> LC6	1.50	<b>Qs</b> LC7	0.90	<b>Qw</b> LC9
CO7	1.00	<b>G</b> LC1	1.00	<b>G</b> LC2	1.00	<b>G</b> LC3	1.00	<b>G</b> LC4	0.70	<b>QI B</b> LC5	0.70	<b>QI H</b> LC6	0.50	<b>Qs</b> LC7	1.00	<b>Qw</b> LC9
CO8	1.00	<b>G</b> LC1	1.00	<b>G</b> LC2	1.00	<b>G</b> LC3	1.00	<b>G</b> LC4	0.70	<b>QI B</b> LC5	0.70	<b>QI H</b> LC6	0.50	<b>Qs</b> LC7	1.00	<b>Qw</b> LC9
CO9	1.00	<b>G</b> LC1	1.00	<b>G</b> LC2	1.00	<b>G</b> LC3	1.00	<b>G</b> LC4	1.00	<b>QI B</b> LC5	1.00	<b>QI H</b> LC6	0.50	<b>Qs</b> LC7	0.60	<b>Qw</b> LC9
CO10	1.00	<b>G</b> LC1	1.00	<b>G</b> LC2	1.00	<b>G</b> LC3	1.00	<b>G</b> LC4	1.00	<b>QI B</b> LC5	1.00	<b>QI H</b> LC6	0.50	<b>Qs</b> LC7	0.60	<b>Qw</b> LC9
CO11	1.00	<b>G</b> LC1	1.00	<b>G</b> LC2	1.00	<b>G</b> LC3	1.00	<b>G</b> LC4	0.70	<b>QI B</b> LC5	0.70	<b>QI H</b> LC6	1.00	<b>Qs</b> LC7	0.60	<b>Qw</b> LC9
CO12	1.00	<b>G</b> LC1	1.00	<b>G</b> LC2	1.00	<b>G</b> LC3	1.00	<b>G</b> LC4	0.70	<b>QI B</b> LC5	0.70	<b>QI H</b> LC6	1.00	<b>Qs</b> LC7	0.60	<b>Qw</b> LC9
CO13	1.00	<b>G</b> LC1	1.00	<b>G</b> LC2	1.00	<b>G</b> LC3	1.00	<b>G</b> LC4	0.24	<b>QI B</b> LC5						
CO14	1.35	<b>G</b> LC1	1.35	<b>G</b> LC2	1.35	<b>G</b> LC3	1.35	<b>G</b> LC4	1.50	<b>QI B</b> LC5	1.50	<b>QI H</b> LC6				

Slučajna ekscentričnost masa je uzeta u obzir u potresnom djelovanju, a na katu i se izračunava prema:  $e_{ai} = \pm 0,05L_i$

Consider accidental torsion

Eccentricity

eX 5.00 [%] %

eY 5.00 [%] %

Building length

$\Delta X$  60.000 [m]

$\Delta Y$  36.000 [m]

Slika 23: Slučajni ekscentriciteti

Početne imperfekcije su uzete u obzir za uzdužni i poprečni smjer te su prikazane na Slici 24. u smjeru x te na Slici 25. u smjeru y.

No.	Assigned to Member Sets No.	Imperfection Type	Definition Type	Coordinate System	Direction
1	1-7,17-23	Initial Sway	EN 1993-1-1	1 - Global XYZ	XL
2	8,10,12,14,15,24,28,30,32,41	Initial Sway	EN 1993-1-1	1 - Global XYZ	XL
3	9,11,13,16,25,27,29,31,33-40	Initial Sway	EN 1993-1-1	1 - Global XYZ	XL

Slika 24: Početne imperfekcije u smjeru x

No.	Assigned to Member Sets No.	Imperfection Type	Definition Type	Coordinate System	Direction
1	1,7-17,23-25,27-32,41	Initial Sway	EN 1993-1-1	1 - Global XYZ	-YL
2	2,4,6,18,20,22	Initial Sway	EN 1993-1-1	1 - Global XYZ	-YL
3	3,5,19,21,33-40	Initial Sway	EN 1993-1-1	1 - Global XYZ	-YL

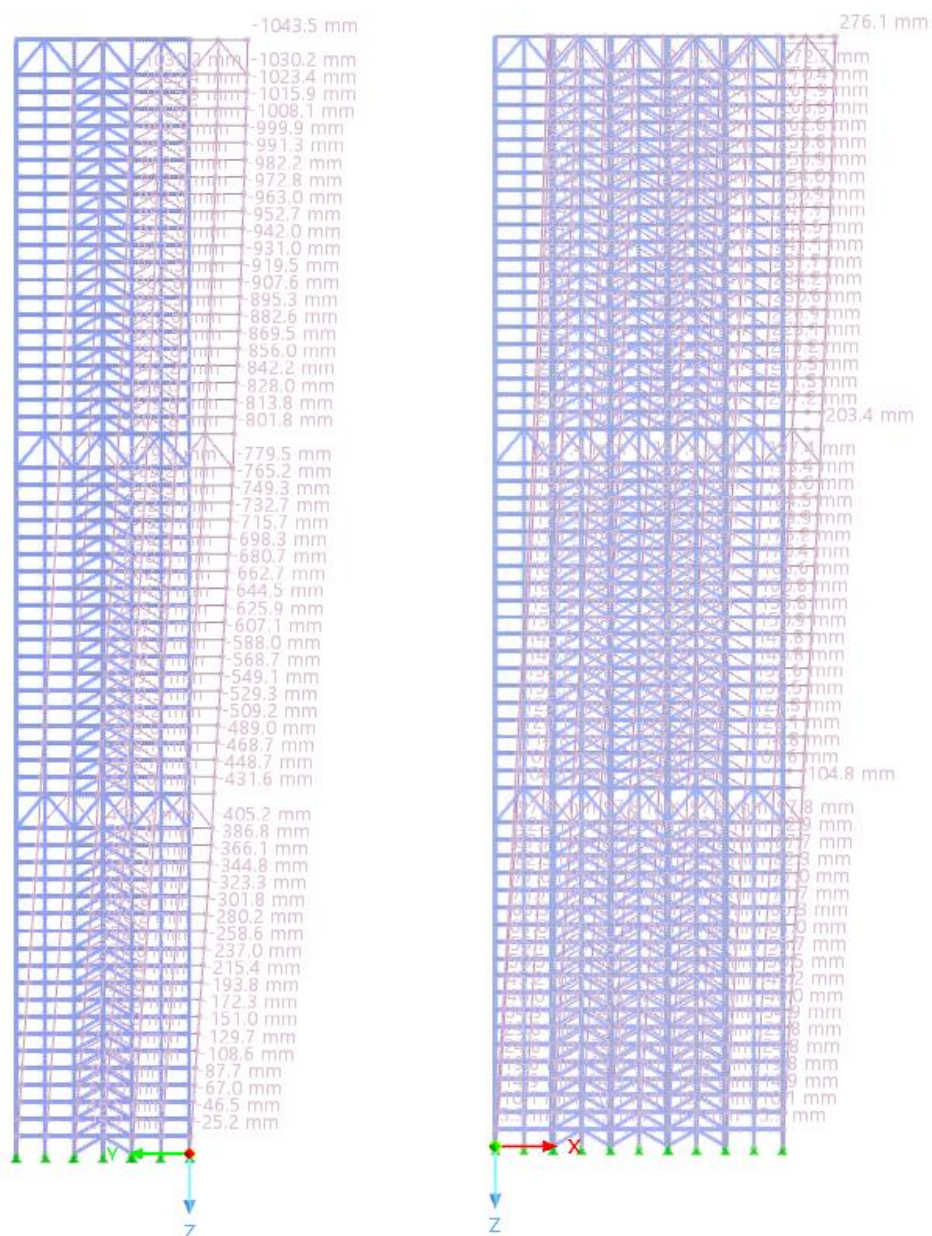
Slika 25: Početne imperfekcije u smjeru y

## 9 REZULTATI ANALIZE KONSTRUKCIJE

### 9.1 Rezultati statičke analize

#### 9.1.1 Granično stanje uporabljivosti

Na Slici 26. prikazani su pomaci konstrukcije u oba smjera za kritične kombinacije.

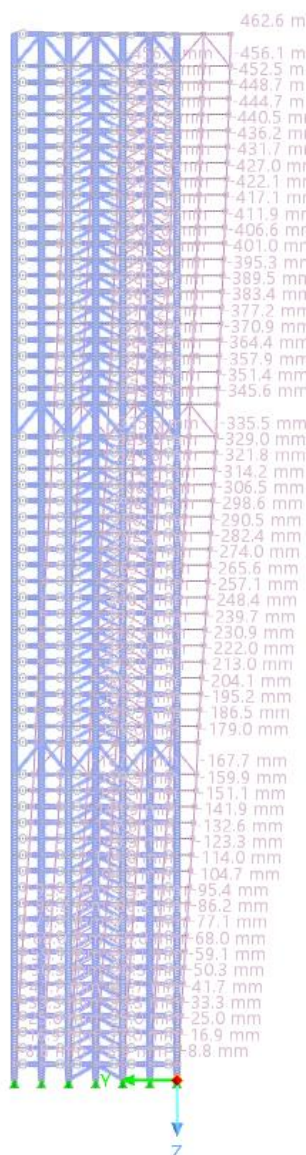


Slika 26: Ukupni horizontalni pomak građevine za C07 i C08



Dopušteni pomak na vrhu građevine:  $u = H/500 = 23200/500 = 46,4 \text{ cm}$

Dobiveni rezultati pomaka u smjeru y ne zadovoljavaju kriterij H/500. Rezultati su dobiveni za zgradu čiji su elementi dimenzija dobivenih preliminarnim proračunom. Potrebno je povećati krutost zgrade povećanjem dimenzija elemenata koji su u sustavu horizontalne stabilizacije. Profili svih stupova su promijenjeni u HD 400x1299 + HL 920x725. Glavni nosači su profila HE 800 M, sekundarni HE 500 B, a dijagonale jezgre i potpornih rešetki CHS 508x30. Na **Slici 27**. su prikazani pomaci konstrukcije u y smjeru za kritičnu kombinaciju nakon promjene dimenzija elemenata.



**Slika 27:** Ukupni horizontalni pomak građevine za CO7 nakon povećanja dimenzija elemenata

Nakon povećanja dimenzija elemenata dobiveni horizontalni pomak je manji od dopuštenog.



### 9.1.2 Klasifikacija konstrukcije

Potrebno je provesti klasifikaciju konstrukcije za kombinacije graničnog stanja nosivosti kako je objašnjeno u poglavlju 3.1. Kritični množitelj određen u software-u RFEM za svaku kombinaciju graničnog stanja nosivosti. U svakoj kombinaciji je kritični množitelj između vrijednosti 3 i 10 što znači da je potrebno uzeti u obzir učinke 2. reda.

$$\alpha_{cr} = 7,488 \text{ (CO1) mod } 79$$

$$\alpha_{cr} = 7,433 \text{ (CO2) mod } 69$$

$$\alpha_{cr} = 8,110 \text{ (CO3) mod } 109$$

$$\alpha_{cr} = 7,990 \text{ (CO4) mod } 70$$

$$\alpha_{cr} = 8,113 \text{ (CO5) mod } 81$$

$$\alpha_{cr} = 8,052 \text{ (CO6) mod } 69$$

### 9.1.3 Učinci djelovanja

#### 9.1.3.1 Stup

#### HL 920x725 + HD 400x1299

Tablica 30: Mjerodavni učinci djelovanja za stup jezgre

	1. – 19. etaže		21. – 39. etaže		41. – 61. etaže	
	max N (18) CO3	max M (2741) CO3	max N (3026) CO2	max M (3020) CO1	max N (5911) CO1	max M (5901) CO1
<b>N [kN]</b>	-95 066,40	-25 722,50	-45 293,90	-28 260	-22 430,60	-13 228
<b>M<sub>y</sub> [kNm]</b>	577,07	0	194,74	0	363,12	0
<b>V<sub>z</sub> [kN]</b>	178,19	0	93,87	0	166,76	0
<b>M<sub>z</sub> [kNm]</b>	1 602,57	3 384,77	301,64	2988,73	338,03	2 476,01
<b>V<sub>y</sub> [kN]</b>	459,85	1 288,43	120,68	1296,02	12,98	1 114,40

Tablica 31: Mjerodavni učinci djelovanja za stup etaža s potpornim rešetkama

	20. etaža		40. etaža		62. etaža	
	max N (2887) CO2	max M (2094) CO3	max N (5770) CO1	max M (5763) CO1	max N (8978) CO1	max M (8979) CO6
<b>N [kN]</b>	-46 638,10	-16 663,0	-23 606,60	-16 888,40	-3 435,32	-952,43
<b>M<sub>y</sub> [kNm]</b>	482,60	383,54	246,0	1 314,89	0	2 643,57
<b>V<sub>z</sub> [kN]</b>	133,14	107,93	66,41	373,73	0	609,86
<b>M<sub>z</sub> [kNm]</b>	202,87	1 509,67	731,94	157,85	330,79	142,25
<b>V<sub>y</sub> [kN]</b>	47,19	408,59	184,12	27,43	57,60	34,55

## 9.1.3.2 Glavni nosač

**HE 800 M**

Tablica 32: Mjerodavni učinci djelovanja za glavni nosač

	<b>(80) CO3</b>
<b>N [kN] tlak</b>	8 635,85
<b>N [kN] vlak</b>	8 634,80
<b>M<sub>y</sub> [kNm]</b>	1 735,59
<b>V<sub>z</sub> [kN]</b>	413,21

## 9.1.3.3 Dijagonale posmične jezgre

**CHS 508x30**

Tablica 33: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale jezgre

	<b>1. – 19. etaže</b>		<b>21. – 39. etaže</b>		<b>41. – 61. etaže</b>	
	<b>max N vlak (272) CO3</b>	<b>max N tlak (271) CO3</b>	<b>max N vlak (3584) CO3</b>	<b>max N tlak (3439) CO3</b>	<b>max N vlak (9031) CO3</b>	<b>max N tlak (6319) CO3</b>
<b>N [kN]</b>	9 680,24	-10 430,10	3 126,23	-3 687,57	1 257,53	-1 597,24

Tablica 34: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale jezgre na etažama s potpornim rešetkama

	<b>20. etaža</b>		<b>40. etaža</b>		<b>62. etaža</b>	
	<b>max N vlak (2912) CO3</b>	<b>max N tlak (2911) CO3</b>	<b>max N vlak (5792) CO3</b>	<b>max N tlak (5791) CO3</b>	<b>max N vlak (9031) CO3</b>	<b>max N tlak (9032) CO3</b>
<b>max N [kN]</b>	1 297,17	-2 349,0	491,50	-1 233,47	1 257,53	-1 517,52

## 9.1.3.4 Dijagonale potporne rešetke

**CHS 508x30**

Tablica 35: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale potporne rešetke

	<b>20. etaža</b>		<b>40. etaža</b>		<b>62. etaža</b>	
	<b>max N vlak (8930) CO3</b>	<b>max N tlak (8931) CO3</b>	<b>max N vlak (8961) CO3</b>	<b>max N tlak (8954) CO3</b>	<b>max N vlak (9041) CO3</b>	<b>max N tlak (9042) CO3</b>
<b>max N [kN]</b>	7 618,10	-7 065,87	6 425,75	-6 425,07	4 134,68	-4 545,39

## 9.2 Rezultati dinamičke analize

U **Tablici 36.** dane su vrijednosti prirodnih perioda i frekvencija konstrukcije za prvih 20 modova odziva.

**Tablica 36:** Prirodni periodi i frekvencije modova odziva

Mode No.	Eigenvalue $\lambda$ [1/s <sup>2</sup> ]	Angular Frequency $\omega$ [rad/s]	Natural Frequency $f$ [Hz]	Natural Period $T$ [s]
1	0.889	0.943	0.150	6.665
2	2.097	1.448	0.230	4.339
3	2.122	1.457	0.232	4.313
4	9.376	3.062	0.487	2.052
5	19.129	4.374	0.696	1.437
6	24.156	4.915	0.782	1.278
7	31.602	5.622	0.895	1.118
8	53.013	7.281	1.159	0.863
9	70.022	8.368	1.332	0.751
10	86.480	9.299	1.480	0.676
11	109.489	10.464	1.665	0.600
12	119.892	10.950	1.743	0.574
13	175.422	13.245	2.108	0.474
14	183.483	13.546	2.156	0.464
15	184.666	13.589	2.163	0.462
16	254.856	15.964	2.541	0.394
17	279.252	16.711	2.660	0.376
18	280.336	16.743	2.665	0.375
19	338.617	18.402	2.929	0.341
20	349.947	18.707	2.977	0.336

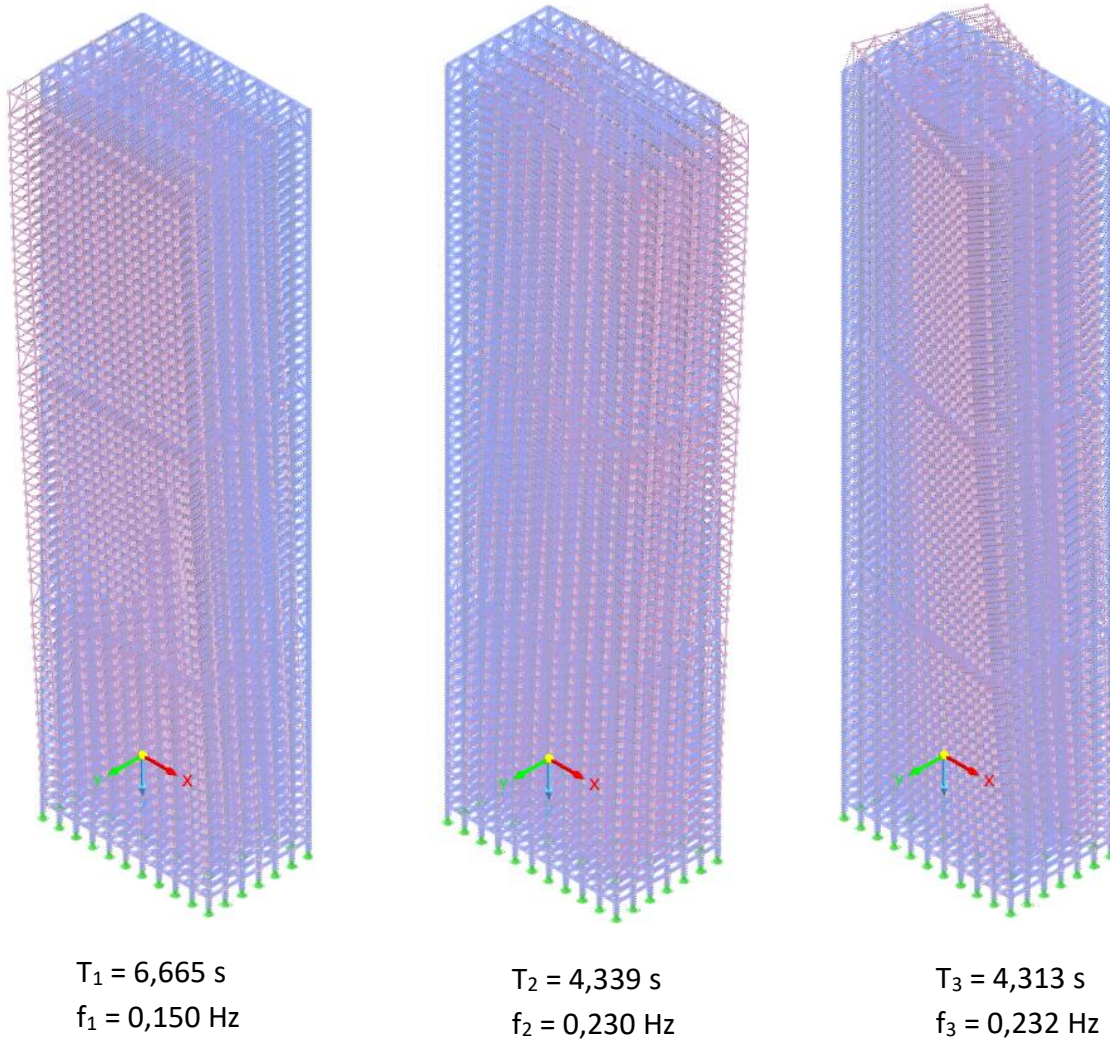
U **Tablici 37.** dane su vrijednosti efektivne modalne mase konstrukcije.

**Tablica 37:** Efektivna modalna masa

Mode No.	Modal Mass $M_i$ [kg]	Effective Modal Mass - Translational Direction [kg]			Effective Modal Mass - Rotational Direction [kgm <sup>2</sup> ]		
		$m_{eX}$	$m_{eY}$	$m_{eZ}$	$m_{e\varphi X}$	$m_{e\varphi Y}$	$m_{e\varphi Z}$
1	41804811.8	0.3	81755800.0	0.0	1.13e+11	434.00	82794.40
2	34008186.1	77254700.0	0.2	0.0	538.93	1.30e+11	2.86e+08
3	21481351.1	485690.0	141.5	0.0	238107.00	8.20e+08	4.55e+10
4	42567972.5	0.0	14517600.0	0.0	2.30e+11	15.41	905.78
5	22043167.1	0.0	0.7	0.0	10147.30	82.48	5.05e+09
6	32913779.7	16720000.0	0.0	0.0	2.96	1.97e+11	10.45
7	44518099.1	0.0	4019630.0	0.0	3.80e+10	1.90	3.83
8	21082648.0	0.0	0.0	0.0	190.84	220.05	1.53e+09
9	46419510.6	0.0	2318300.0	0.0	3.42e+10	0.39	20.14
10	23439110.5	5120900.0	0.0	0.0	0.14	4.78e+10	0.24
11	18780089.8	0.0	0.0	0.0	4.80	31.33	1.07e+09
12	46317721.3	0.0	1222400.0	0.0	1.50e+10	0.00	1.14
13	15748542.7	0.0	0.0	0.0	26.05	7.19	5.15e+08
14	11143787.6	2449190.0	0.0	0.0	1.74	3.23e+10	0.79
15	48265259.5	0.0	671728.0	0.0	9.57e+09	6.37	1.51
16	7692990.2	0.0	0.0	0.0	22.19	0.00	2.55e+08
17	48379938.0	0.0	560618.0	0.0	6.00e+09	23.59	0.00
18	2519830.3	1093810.0	0.0	0.0	10.67	1.34e+10	0.19
19	737056.0	264689.0	0.0	0.0	0.00	3.52e+09	0.08
20	107314.7	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00
$\Sigma$	5.3e+08	1.0e+08	1.1e+08	0.0	4.45e+11	4.25e+11	5.42e+10
$\Sigma M$		1.1e+08	1.1e+08	0.0	4.77e+11	4.77e+11	5.56e+10
%		96.32 %	97.88 %		93.41 %	89.16 %	97.56 %

Factor for Effective Modal Mass - Translational Direction			Factor for Effective Modal Mass - Rotational Direction		
f <sub>meX</sub>	f <sub>meY</sub>	f <sub>meZ</sub>	f <sub>mφX</sub>	f <sub>mφY</sub>	f <sub>mφZ</sub>
0.000	0.762	0.000	0.237	0.000	0.000
0.720	0.000	0.000	0.000	0.273	0.005
0.005	0.000	0.000	0.000	0.002	0.819
0.000	0.135	0.000	0.482	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091
0.156	0.000	0.000	0.000	0.413	0.000
0.000	0.037	0.000	0.080	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027
0.000	0.022	0.000	0.072	0.000	0.000
0.048	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019
0.000	0.011	0.000	0.031	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009
0.023	0.000	0.000	0.000	0.068	0.000
0.000	0.006	0.000	0.020	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005
0.000	0.005	0.000	0.013	0.000	0.000
0.010	0.000	0.000	0.000	0.028	0.000
0.002	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.963	0.979	0.000	0.934	0.892	0.976

Na **Slici 28.** prikazani su oblici titranja, period i frekvencija zgrade za prva tri moda odziva.



**Slika 28:** Modalni oblici za prva tri tona

## 9.2.1 Klasifikacija konstrukcije za proračunsku potresnu situaciju

Tablica 38: Klasifikacija konstrukcije u x smjeru

Etaža	$P_{tot}$ [kN]	$V_{tot}$ [kN]	$d_r$ [cm]	h [cm]	$\Phi$	Rezultat	Uvjet
1	1073024	390520,8	$0,30 \cdot 2 = 0,60$	356,9	0,047	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
2	1056578	390422,2	$0,31 \cdot 2 = 0,61$	356,9	0,046	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
3	1039457	390211,4	$0,33 \cdot 2 = 0,66$	356,9	0,050	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
4	1022337	389880,9	$0,36 \cdot 2 = 0,72$	356,9	0,053	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
5	1005217	389422,7	$0,39 \cdot 2 = 0,78$	356,9	0,056	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
6	988097,2	388822,4	$0,41 \cdot 2 = 0,82$	356,9	0,058	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
7	970977,1	388077,1	$0,43 \cdot 2 = 0,86$	356,9	0,061	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
8	953857	387172,2	$0,46 \cdot 2 = 0,92$	356,9	0,063	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
9	936737	386099,8	$0,48 \cdot 2 = 0,96$	356,9	0,065	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
10	919616,9	384856,6	$0,49 \cdot 2 = 0,98$	356,9	0,066	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
11	902496,8	383432,5	$0,51 \cdot 2 = 1,02$	356,9	0,068	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
12	885376,7	381822,7	$0,53 \cdot 2 = 1,06$	356,9	0,069	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
13	868256,7	380024,9	$0,54 \cdot 2 = 1,08$	356,9	0,069	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
14	851136,6	378031,3	$0,56 \cdot 2 = 1,12$	356,9	0,070	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
15	834016,5	375831	$0,57 \cdot 2 = 1,14$	356,9	0,071	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
16	816896,4	373422,9	$0,58 \cdot 2 = 1,16$	356,9	0,071	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
17	799776,4	370809	$0,58 \cdot 2 = 1,16$	356,9	0,071	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
18	782656,3	367981,1	$0,59 \cdot 2 = 1,18$	356,9	0,070	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
19	765536,2	364948,2	$0,57 \cdot 2 = 1,14$	356,9	0,067	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
20	747412,1	361496,2	$0,75 \cdot 2 = 1,50$	713,8	0,044	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
21	726423,3	357245,2	$0,60 \cdot 2 = 1,20$	356,9	0,069	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
22	709303,2	353437,7	$0,63 \cdot 2 = 1,26$	356,9	0,070	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
23	692183,1	349403,1	$0,63 \cdot 2 = 1,26$	356,9	0,070	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
24	675063,1	345124,9	$0,64 \cdot 2 = 1,28$	356,9	0,070	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
25	657943	340619,1	$0,65 \cdot 2 = 1,30$	356,9	0,070	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
26	640822,9	335854,7	$0,65 \cdot 2 = 1,30$	356,9	0,070	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
27	623702,8	330861,3	$0,65 \cdot 2 = 1,30$	356,9	0,069	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
28	606582,7	325624,8	$0,65 \cdot 2 = 1,30$	356,9	0,068	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
29	589462,7	320151,2	$0,65 \cdot 2 = 1,30$	356,9	0,067	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
30	572342,6	314426,5	$0,65 \cdot 2 = 1,30$	356,9	0,066	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
31	555222,5	308463,7	$0,65 \cdot 2 = 1,30$	356,9	0,066	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
32	538102,4	302265,6	$0,65 \cdot 2 = 1,30$	356,9	0,065	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓

33	520982,4	295828	$0,64 \cdot 2 = 1,28$	356,9	0,064	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
34	503862,3	289142,1	$0,64 \cdot 2 = 1,28$	356,9	0,063	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
35	486742,2	282236,9	$0,63 \cdot 2 = 1,26$	356,9	0,061	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
36	469622,1	275090,8	$0,63 \cdot 2 = 1,26$	356,9	0,060	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
37	452502,1	267717,5	$0,62 \cdot 2 = 1,24$	356,9	0,059	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
38	435382	260112,6	$0,61 \cdot 2 = 1,22$	356,9	0,057	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
39	418261,9	252269	$0,58 \cdot 2 = 1,16$	356,9	0,054	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
40	400137,8	243908,5	$0,78 \cdot 2 = 1,56$	713,8	0,036	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
41	379149	233981,7	$0,58 \cdot 2 = 1,16$	356,9	0,052	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
42	362028,9	225422,6	$0,58 \cdot 2 = 1,16$	356,9	0,052	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
43	344908,8	216662,1	$0,57 \cdot 2 = 1,14$	356,9	0,051	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
44	327788,8	207685	$0,57 \cdot 2 = 1,14$	356,9	0,050	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
45	310668,7	198505,8	$0,56 \cdot 2 = 1,12$	356,9	0,049	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
46	293548,6	189109,4	$0,55 \cdot 2 = 1,10$	356,9	0,048	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
47	276428,5	179509,5	$0,54 \cdot 2 = 1,08$	356,9	0,047	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
48	259308,4	169703,5	$0,53 \cdot 2 = 1,06$	356,9	0,046	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
49	242188,4	159699,3	$0,52 \cdot 2 = 1,04$	356,9	0,044	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
50	225068,3	149506	$0,51 \cdot 2 = 1,02$	356,9	0,043	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
51	207948,2	139134,7	$0,50 \cdot 2 = 1,00$	356,9	0,042	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
52	190828,1	128565,4	$0,49 \cdot 2 = 0,98$	356,9	0,041	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
53	173708,1	117825,2	$0,48 \cdot 2 = 0,96$	356,9	0,040	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
54	156588	106905,7	$0,47 \cdot 2 = 0,94$	356,9	0,038	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
55	139467,9	95814	$0,46 \cdot 2 = 0,92$	356,9	0,037	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
56	122347,8	84541,3	$0,45 \cdot 2 = 0,90$	356,9	0,036	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
57	105227,8	73103,4	$0,43 \cdot 2 = 0,86$	356,9	0,035	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
58	88107,68	73103,4	$0,42 \cdot 2 = 0,84$	356,9	0,034	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
59	70987,61	49732,2	$0,41 \cdot 2 = 0,42$	356,9	0,033	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
60	53867,53	37831,4	$0,40 \cdot 2 = 0,80$	356,9	0,032	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
61	36747,46	25770,2	$0,38 \cdot 2 = 0,76$	356,9	0,031	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
62	18623,32	13097,8	$0,54 \cdot 2 = 1,08$	713,8	0,022	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓

Tablica 39: Klasifikacija konstrukcije u y smjeru

Etaža	$P_{tot}$ [kN]	$V_{tot}$ [kN]	$d_r$ [cm]	$h$ [cm]	$\Phi$	Rezultat	Uvjet
1	1073024	42594,06	$1,20 \cdot 2 = 2,40$	356,9	0,170	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
2	1056578	42577,92	$1,12 \cdot 2 = 2,24$	356,9	0,156	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
3	1039457	42542,61	$1,13 \cdot 2 = 2,26$	356,9	0,155	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
4	1022337	42489,18	$1,17 \cdot 2 = 2,34$	356,9	0,157	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
5	1005217	42417,10	$1,21 \cdot 2 = 2,42$	356,9	0,161	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
6	988097,2	42327,78	$1,25 \cdot 2 = 2,50$	356,9	0,164	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
7	970977,1	42216,77	$1,29 \cdot 2 = 2,58$	356,9	0,167	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
8	953857	42084,62	$1,33 \cdot 2 = 2,66$	356,9	0,169	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
9	936737	41933,83	$1,36 \cdot 2 = 2,72$	356,9	0,170	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
10	919616,9	41763,22	$1,39 \cdot 2 = 2,78$	356,9	0,171	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
11	902496,8	41572,39	$1,41 \cdot 2 = 2,82$	356,9	0,172	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
12	885376,7	41357,89	$1,43 \cdot 2 = 2,86$	356,9	0,172	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
13	868256,7	41122,78	$1,45 \cdot 2 = 2,90$	356,9	0,172	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
14	851136,6	40864,39	$1,46 \cdot 2 = 2,92$	356,9	0,171	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
15	834016,5	40583,96	$1,48 \cdot 2 = 2,96$	356,9	0,170	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
16	816896,4	40280,57	$1,48 \cdot 2 = 2,96$	356,9	0,168	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
17	799776,4	39955,55	$1,47 \cdot 2 = 2,94$	356,9	0,165	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
18	782656,3	39604,86	$1,42 \cdot 2 = 2,84$	356,9	0,158	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
19	765536,2	39219,73	$1,27 \cdot 2 = 2,54$	356,9	0,139	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
20	747412,1	38788,16	$1,86 \cdot 2 = 3,72$	713,8	0,100	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
21	726423,3	38291,94	$1,27 \cdot 2 = 2,54$	356,9	0,135	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
22	709303,2	37827,95	$1,44 \cdot 2 = 2,88$	356,9	0,152	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
23	692183,1	37347,42	$1,50 \cdot 2 = 3,00$	356,9	0,156	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
24	675063,1	36838,54	$1,52 \cdot 2 = 3,04$	356,9	0,156	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
25	657943	36307,04	$1,52 \cdot 2 = 3,04$	356,9	0,154	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
26	640822,9	35746,74	$1,52 \cdot 2 = 3,04$	356,9	0,153	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
27	623702,8	35165,77	$1,51 \cdot 2 = 3,02$	356,9	0,150	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
28	606582,7	34558,90	$1,50 \cdot 2 = 3,00$	356,9	0,148	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
29	589462,7	33930,12	$1,50 \cdot 2 = 3,00$	356,9	0,146	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
30	572342,6	33273,56	$1,48 \cdot 2 = 2,96$	356,9	0,143	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
31	555222,5	32595,37	$1,47 \cdot 2 = 2,94$	356,9	0,140	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
32	538102,4	31890,90	$1,46 \cdot 2 = 2,92$	356,9	0,138	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
33	520982,4	31165,66	$1,44 \cdot 2 = 2,88$	356,9	0,135	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
34	503862,3	30411,41	$1,42 \cdot 2 = 2,84$	356,9	0,132	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
35	486742,2	29638,31	$1,40 \cdot 2 = 2,80$	356,9	0,129	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
36	469622,1	28841,99	$1,37 \cdot 2 = 2,74$	356,9	0,125	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
37	452502,1	28026,94	$1,34 \cdot 2 = 2,68$	356,9	0,121	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ



38	435382	27181,55	$1,28 \cdot 2 = 2,56$	356,9	0,115	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
39	418261,9	26323,57	$1,16 \cdot 2 = 2,32$	356,9	0,103	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
40	400137,8	25399,70	$1,79 \cdot 2 = 3,58$	713,8	0,079	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
41	379149	24372,61	$1,09 \cdot 2 = 2,18$	356,9	0,095	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
42	362028,9	23439,88	$1,18 \cdot 2 = 2,36$	356,9	0,102	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
43	344908,8	22498,39	$1,19 \cdot 2 = 2,38$	356,9	0,102	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
44	327788,8	21527,13	$1,18 \cdot 2 = 2,36$	356,9	0,100	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	P-Δ
45	310668,7	20543,26	$1,15 \cdot 2 = 2,30$	356,9	0,098	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
46	293548,6	19533,99	$1,13 \cdot 2 = 2,26$	356,9	0,095	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
47	276428,5	18519,34	$1,10 \cdot 2 = 2,20$	356,9	0,092	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
48	259308,4	17475,83	$1,07 \cdot 2 = 2,14$	356,9	0,089	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
49	242188,4	16420,52	$1,04 \cdot 2 = 2,08$	356,9	0,086	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
50	225068,3	15341,71	$1,01 \cdot 2 = 2,02$	356,9	0,083	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
51	207948,2	14260,00	$0,98 \cdot 2 = 1,96$	356,9	0,080	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
52	190828,1	13151,06	$0,95 \cdot 2 = 1,90$	356,9	0,077	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
53	173708,1	12034,44	$0,92 \cdot 2 = 1,84$	356,9	0,074	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
54	156588	10894,81	$0,88 \cdot 2 = 1,76$	356,9	0,071	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
55	139467,9	9745,68	$0,85 \cdot 2 = 1,70$	356,9	0,068	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
56	122347,8	8574,99	$0,82 \cdot 2 = 1,64$	356,9	0,065	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
57	105227,8	7403,61	$0,79 \cdot 2 = 1,58$	356,9	0,063	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
58	88107,68	6205,58	$0,75 \cdot 2 = 1,50$	356,9	0,060	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
59	70987,61	5003,56	$0,72 \cdot 2 = 1,44$	356,9	0,057	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
60	53867,53	3781,84	$0,68 \cdot 2 = 1,36$	356,9	0,054	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
61	36747,46	2560,41	$0,64 \cdot 2 = 1,28$	356,9	0,051	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓
62	18623,32	1254,40	$1,13 \cdot 2 = 2,26$	713,8	0,047	$0,1 < \Phi \leq 0,2$	✓

### 9.2.2 Zahtjev ograničenog oštećenja

Konstrukcija se mora oduprijeti djelovanju koje ima veću vjerojatnost pojave ( $T_{DLR} = 95$  god.) od proračunskog potresnog djelovanja ( $T_{DLR} = 475$  god.), bez pojave oštećenja i njima pridruženih ograničenja uporabe, troškova koji bi bili nesrazmjerno veliki u usporedbi s cijenom same konstrukcije.

Za zgrade koje imaju nekonstrukcijske elemente pričvršćene, tako da na njih nemaju utjecaj deformiranja konstrukcije ili zgrade bez nekonstrukcijskih elemenata, ograničenje međukatnog pomaka je:

$$d_r \cdot v \leq 0,010 h$$

gdje su:

$d_r$	proračunski katni pomak
$v$	faktor smanjenja

Ograničenje za etaže s potpornim rešetkama:

$$0,010 h = 0,010 \cdot 713,8 = 7,138 \text{ cm}$$

Ograničenje za ostale etaže zgrade:

$$0,010 h = 0,010 \cdot 356,9 = 3,569 \text{ cm}$$

Prema hrvatskom nacionalnom dodatku, vrijednost faktora smanjenja iznosi:

$$v = 1,0$$

U **Tablici 40.** i **Tablici 41.** su prikazane vrijednosti međukatnog pomaka.

Tablica 40: Zahtjev ograničenog oštećenja za smjer x

Etaža	$d_r[m]$	$d_{dop}[m]$	Uvjet ispunjen?
1	$0,003 \cdot 2 = 0,006$	0,036	✓
2	$0,003 \cdot 2 = 0,006$	0,036	✓
3	$0,003 \cdot 2 = 0,006$	0,036	✓
4	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
5	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
6	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
7	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
8	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
9	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
10	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
11	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
12	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
13	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
14	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
15	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
16	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
17	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
18	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
19	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
20	$0,008 \cdot 2 = 0,016$	0,071	✓
21	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
22	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
23	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
24	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
25	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
26	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
27	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
28	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
29	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
30	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
31	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
32	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
33	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
34	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓

35	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
36	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
37	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
38	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
39	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
40	$0,008 \cdot 2 = 0,016$	0,071	✓
41	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
42	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
43	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
44	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
45	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
46	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
47	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
48	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
49	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
50	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
51	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
52	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
53	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
54	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
55	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
56	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,036	✓
57	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
58	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
59	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
60	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
61	$0,004 \cdot 2 = 0,008$	0,036	✓
62	$0,005 \cdot 2 = 0,010$	0,071	✓

Tablica 41: Zahtjev ograničenog oštećenja za smjer y

Etaža	$d_r[m]$	$d_{dop}[m]$	Uvjet ispunjen?
1	$0,012 \cdot 2 = 0,024$	0,036	✓
2	$0,011 \cdot 2 = 0,022$	0,036	✓
3	$0,011 \cdot 2 = 0,022$	0,036	✓
4	$0,012 \cdot 2 = 0,024$	0,036	✓
5	$0,012 \cdot 2 = 0,024$	0,036	✓
6	$0,012 \cdot 2 = 0,024$	0,036	✓
7	$0,013 \cdot 2 = 0,026$	0,036	✓
8	$0,013 \cdot 2 = 0,026$	0,036	✓
9	$0,013 \cdot 2 = 0,026$	0,036	✓
10	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓
11	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓
12	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓
13	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓
14	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
15	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
16	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
17	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
18	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
19	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓
20	$0,013 \cdot 2 = 0,026$	0,071	✓
21	$0,019 \cdot 2 = 0,038$	0,036	✓
22	$0,013 \cdot 2 = 0,026$	0,036	✓
23	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓
24	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
25	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
26	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
27	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
28	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
29	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
30	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
31	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
32	$0,015 \cdot 2 = 0,030$	0,036	✓
33	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓
34	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓

<b>35</b>	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓
<b>36</b>	$0,014 \cdot 2 = 0,028$	0,036	✓
<b>37</b>	$0,013 \cdot 2 = 0,026$	0,036	✓
<b>38</b>	$0,013 \cdot 2 = 0,026$	0,036	✓
<b>39</b>	$0,012 \cdot 2 = 0,024$	0,036	✓
<b>40</b>	$0,018 \cdot 2 = 0,036$	0,071	✓
<b>41</b>	$0,011 \cdot 2 = 0,022$	0,036	✓
<b>42</b>	$0,012 \cdot 2 = 0,024$	0,036	✓
<b>43</b>	$0,012 \cdot 2 = 0,024$	0,036	✓
<b>44</b>	$0,012 \cdot 2 = 0,024$	0,036	✓
<b>45</b>	$0,012 \cdot 2 = 0,024$	0,036	✓
<b>46</b>	$0,011 \cdot 2 = 0,022$	0,036	✓
<b>47</b>	$0,011 \cdot 2 = 0,022$	0,036	✓
<b>48</b>	$0,011 \cdot 2 = 0,022$	0,036	✓
<b>49</b>	$0,011 \cdot 2 = 0,022$	0,036	✓
<b>50</b>	$0,010 \cdot 2 = 0,020$	0,036	✓
<b>51</b>	$0,010 \cdot 2 = 0,020$	0,036	✓
<b>52</b>	$0,010 \cdot 2 = 0,020$	0,036	✓
<b>53</b>	$0,009 \cdot 2 = 0,018$	0,036	✓
<b>54</b>	$0,009 \cdot 2 = 0,018$	0,036	✓
<b>55</b>	$0,009 \cdot 2 = 0,018$	0,036	✓
<b>56</b>	$0,008 \cdot 2 = 0,016$	0,036	✓
<b>57</b>	$0,008 \cdot 2 = 0,016$	0,036	✓
<b>58</b>	$0,008 \cdot 2 = 0,016$	0,036	✓
<b>59</b>	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
<b>60</b>	$0,007 \cdot 2 = 0,014$	0,036	✓
<b>61</b>	$0,006 \cdot 2 = 0,012$	0,036	✓
<b>62</b>	$0,011 \cdot 2 = 0,022$	0,071	✓

### 9.2.3 Učinci djelovanja

#### 9.2.3.1 Stup

#### HL 920x725 + HD 400x1299

Tablica 42: Mjerodavni učinci djelovanja za stup

	1. – 19. etaže		21. – 39. etaže		41. – 61. etaže	
	max N (23)	max M (2740)	max N (3034)	max M (3028)	max N (5911)	max M (5908)
	0,3X+1,0Y	0,3X+1,0Y	1,0X+0,3Y	0,3X+1,0Y	1,0X+0,3Y	0,3X+1,0Y
<b>N [kN]</b>	38 769,5	1 433,85	11 845,70	1 304,39	7 525,99	628,54
<b>M<sub>y</sub> [kNm]</b>	147,42	21,70	1 132,39	27,63	1 070,40	24,32
<b>V<sub>z</sub> [kN]</b>	41,35	4,58	525,92	5,27	499,84	4,89
<b>M<sub>z</sub> [kNm]</b>	1 827,15	3 866,63	1 123,95	4 925,37	895,75	3 478,13
<b>V<sub>y</sub> [kN]</b>	512,05	1 476,72	421,30	2 118,08	360,64	1 527,13

Tablica 43: Mjerodavni učinci djelovanja za stup etaže s potpornim rešetkama

	20. etaža		40. etaža		62. etaža	
	max N (2893)	max M (2888)	max N (5770)	max M (5753)	max N (8994)	max M (8992)
	1,0X+0,3Y	0,3X+1,0Y	1,0X+0,3Y	0,3X+1,0Y	1,0X+0,3Y	1,0X+0,3Y
<b>N [kN]</b>	12 131,60	1 412,92	7 723,63	4 421,12	779,69	82,99
<b>M<sub>y</sub> [kNm]</b>	176,63	32,90	131,49	211,66	66,15	209,75
<b>V<sub>z</sub> [kN]</b>	47,23	6,23	39,99	59,61	30,14	48,88
<b>M<sub>z</sub> [kNm]</b>	481,88	1 448,24	462,72	1 005,66	152,0	532,01
<b>V<sub>y</sub> [kN]</b>	131,32	318,07	122,98	259,03	37,45	116,15

#### 9.2.3.2 Glavni nosač

#### HE 800 M

Tablica 44: Mjerodavni učinci djelovanja za glavni nosač

	max N (73) 0,3X+1,0Y	max M ( ) 1,0X+0,3Y
<b>N [kN]</b>	-3 528,15 (L/2) 8 528,15 (L/2)	204,59
<b>M<sub>y</sub> [kNm]</b>	1 428,0	2 635,77
<b>V<sub>z</sub> [kN]</b>	248,49	859,71

## 9.2.3.3 Dijagonale posmične jezgre

## CHS 508x30

Tablica 45: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale jezgre

	1. – 19. etaže		21. – 39. etaže		41. – 61. etaže	
	max N vlak (258) 0,3X+1,0Y	max N tlak (258) 0,3X+1,0Y	max N vlak (3570) 0,3X+1,0Y	max N tlak (3570) 0,3X+1,0Y	max N vlak (6306) 0,3X+1,0Y	max N tlak (6306) 0,3X+1,0Y
	<b>N [kN]</b>	9 959,38	-9 959,38	4 207,87	-4 207,87	2 584,81

Tablica 46: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale jezgre na etažama s potpornim rešetkama

	20. etaža		40. etaža		62. etaža	
	max N vlak (2914) 1,0X+0,3Y	max N tlak (2914) 1,0X+0,3Y	max N vlak (5793) 1,0X+0,3Y	max N tlak (5793) 1,0X+0,3Y	max N vlak (9021) 1,0X+0,3Y	max N tlak (9021) 1,0X+0,3Y
	<b>maxN [kN]</b>	1 566,67	-1 566,67	1 810,03	-1 810,03	2 240,75

## 9.2.3.4 Dijagonale potporne rešetke

## CHS 508x30

Tablica 47: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale potporne rešetke

	20. etaža		40. etaža		62. etaža	
	max N vlak (8925) 0,3X+1,0Y	max N tlak (8925) 0,3X+1,0Y	max N vlak (8957) 0,3X+1,0Y	max N tlak (8957) 0,3X+1,0Y	max N vlak (9056) 1,0X+0,3Y	max N tlak (9056) 1,0X+0,3Y
	<b>maxN [kN]</b>	8 114,23	-8 114,23	6 075,30	-6 075,30	1 932,41



## 10 DIMENZIONIRANJE OSNOVNIH KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA I PRIKLJUČAKA

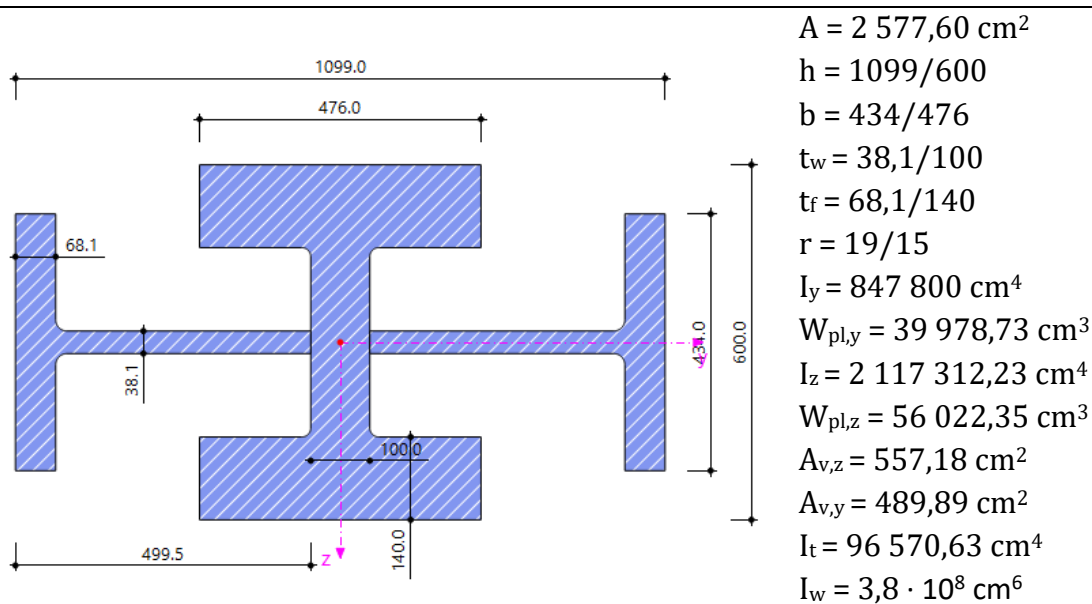
Dimenzioniranje se provodi u skladu s normama EN 1993 i EN 1994.

### 10.1 Prva iteracija analize i proračuna elemenata

#### 10.1.1 Stup

Tablica 48: Karakteristike HL 920x725 + HD 400x1299 profila

#### HL 920x725 + HD 400x1299



Tablica 49: Mjerodavni učinci djelovanja na stup

	max N (18) CO3	max M (2741) CO3
N [kN]	-95 463,50	-25 721,70
M <sub>y</sub> [kNm]	576,17	0
V <sub>z</sub> [kN]	178,0	0
M <sub>z</sub> [kNm]	1 620,05	3 426,83
V <sub>y</sub> [kN]	464,86	1 304,92

## 10.1.1.1 Klasifikacija poprečnog profila

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

HRBAT PROFILA HL 920x725

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r - t_{w,HD}}{2}}{t_w} = \frac{999 - 2 \cdot 68,1 - 2 \cdot 19 - 100}{38,1} = 9,51$$

$$9,51 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \quad \rightarrow \text{hrbat je klase 1}$$

POJASNICA PROFILA 920x725

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{434 - 38,1 - 2 \cdot 19}{68,1} = 2,63$$

$$2,63 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \quad \rightarrow \text{pojasnica je klase 1}$$

HRBAT PROFILA HD 400x1299

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r - t_{w,HL}}{2}}{t_w} = \frac{600 - 2 \cdot 140 - 2 \cdot 15 - 38,1}{100} = 1,26$$

$$1,26 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73 \quad \rightarrow \text{hrbat je klase 1}$$

POJASNICA PROFILA 400x1299

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{476 - 100 - 2 \cdot 15}{140} = 1,24$$

$$1,24 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \quad \rightarrow \text{pojasnica je klase 1}$$

Poprečni presjek je klase 1.

### 10.1.2 Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka na tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,577,60 \cdot 35,5}{1,0} = 91\,504,05 \text{ kN} < N_{Ed} = 95\,066,40 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{95\,066,40}{91\,504,05} = 1,04 > 1,0$$

Potrebno je povećati kvalitetu čelika.

## 10.2 Druga iteracija analize i proračuna elemenata

### 10.2.1 Stup

Stup će se provjeriti na maksimalnu tlačnu silu te na maksimalni moment savijanja.

#### 10.2.1.1 Klasifikacija poprečnog profila

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{460}} = 0,71$$

#### HRBAT PROFILA HL 920x725

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r - t_{w,HD}}{2}}{t_w} = \frac{999 - 2 \cdot 68,1 - 2 \cdot 19 - 100}{2 \cdot 38,1} = 9,51$$

$$9,51 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,71 = 23,43 \quad \rightarrow \text{hrbat je klase 1}$$

#### POJASNICA PROFILA 920x725

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{434 - 38,1 - 2 \cdot 19}{2 \cdot 68,1} = 2,63$$

$$2,63 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,71 = 6,39 \quad \rightarrow \text{pojasnica je klase 1}$$

#### HRBAT PROFILA HD 400x1299

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r - t_{w,HL}}{2}}{t_w} = \frac{600 - 2 \cdot 140 - 2 \cdot 15 - 38,1}{2 \cdot 100} = 1,26$$

$$1,26 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,71 = 23,43 \quad \rightarrow \text{hrbat je klase 1}$$

### POJASNICA PROFILA 400x1299

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{476 - 100 - 2 \cdot 15}{2}}{140} = 1,24$$

$$1,24 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,71 = 6,39 \quad \rightarrow \text{pojasnica je klase 1}$$

Poprečni presjek je klase 1.

### MAKSIMALNA UZDUŽNA SILA

10.2.1.2 Otpornost poprečnog presjeka – max N

- **Otpornost poprečnog presjeka na tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,577,60 \cdot 46,0}{1,0} = 118\,569,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{95\,463,50}{118\,569,6} = 0,81 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 81%.

- **Otpornost poprečnog na savijanje**

**Savijanje oko osi y**

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{39\,978,73 \cdot 46,0}{1,0} = 1\,839\,021,58 \text{ kNcm} = 18\,390,22 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{576,17}{18\,390,22} = 0,03 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 3%.

**Savijanje oko osi z**

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{1,0} = 2\,577\,028,1 \text{ kNcm} = 25\,770,28 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} = \frac{1\,620,05}{25\,770,28} = 0,06$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 6%.

- **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

### U smjeru osi z

-Provjera izbočavanja hrpta na posmik:

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = \frac{h - 2 \cdot t_f - t_{w,HL}}{2} = \frac{600 - 2 \cdot 140 - 38,1}{2} = 140,95 \text{ mm}$$

$\eta = 1,20$  za valjane profile

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{140,95}{100} = 1,410 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

-Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{557,18 \cdot (46,0 / \sqrt{3})}{1,0} = 14\,797,65 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{178,19}{14\,797,65} = 0,01 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 1%.

### U smjeru osi y

-Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

-Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = \frac{h - 2 \cdot t_f - t_{w,HD}}{2} = \frac{1099 - 2 \cdot 68,1 - 100}{2} = 431,4 \text{ mm}$$

$\eta = 1,20$  za valjane profile

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{431,4}{38,1} = 11,32 < 72 \cdot \frac{0,71}{1,20} = 42,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

-Posmična površina  $A_{v,y}$ :

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{489,89 \cdot (46,0/\sqrt{3})}{1,0} = 13\,010,55 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{464,86}{13\,010,55} = 0,04 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 4%.

- **Interakcija M/V/N**

### Utjecaj posmične sile

Smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na uzdužnu silu i/ili moment savijanja nema ukoliko je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$V_{z,Ed} = 178,0 \text{ kN} < 0,5 \cdot 14\,797,65 = 7\,398,83 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

$$V_{y,Ed} = 464,86 \text{ kN} < 0,5 \cdot 13\,010,55 = 6\,505,28 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

### Utjecaj uzdužne sile

Uzdužna sila nema utjecaj na otpornost na savijanje oko **osi y** ako su zadovoljeni slijedeći uvjeti:

$$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{c,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,50 \cdot \Sigma(h_w \cdot t_w) \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 95\,463,50 > 0,25 \cdot 108\,259,2 = 27\,064,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 95\,463,50 > \frac{0,50 \cdot 2 \cdot (14,095 \cdot 10,0 \cdot 46,0 + 43,14 \cdot 3,81 \cdot 46,0)}{1,0} = 14\,044,42 \text{ kN}$$

Kako oba uvjeta nisu zadovoljena vrijedi:

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{95\,066,40}{118\,569,6} = 0,802$$

$$a = \frac{A - \sum b \cdot t_f}{A} = \frac{2\,577,6 - 2 \cdot (47,6 \cdot 14,0 + 43,4 \cdot 6,81)}{2\,577,60} = 0,254 < 0,5$$

$$M_{N,V,y,Rd} = 18\,390,22 \cdot \frac{1-0,254}{1-0,5 \cdot 0,254} = 15\,714,90 \text{ kNm} \leq 18\,390,22 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,V,N,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{576,17}{15\,714,90} = 0,04 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 4%.

Uzdužna sila nema utjecaj na otpornost na savijanje oko **osi z** ako su zadovoljeni slijedeći uvjeti:

$$N_{Ed} \leq \frac{0,50 \cdot \sum h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 95\,463,50 > \frac{0,50 \cdot 2 \cdot (14,095 \cdot 10,0 \cdot 46,0 + 43,14 \cdot 3,81 \cdot 46,0)}{1,0} = 14\,044,42 \text{ kN}$$

Kako uvjet nije zadovoljen vrijedi:

$$\text{za } n \leq a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{za } n > a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{95\,463,50}{118\,569,6} = 0,805$$

$$a = \frac{A - \sum b \cdot t_f}{A} = \frac{2\,577,6 - 2 \cdot (47,6 \cdot 14,0 + 43,4 \cdot 6,81)}{2\,577,60} = 0,254 < 0,5$$

$$M_{z,v,N,Rd} = 25\,770,28 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{0,805 - 0,254}{1 - 0,254} \right)^2 \right] = 11\,711,60 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{z,v,N,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1\,620,05}{11\,711,60} = 0,14 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 14%.

### Dvoosno savijanje

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$$

$$\alpha = 2,0; \quad \beta = 5 \cdot n = 5 \cdot 0,805 = 4,025$$

$$\left[ \frac{576,17}{15\,714,90} \right]^{2,0} + \left[ \frac{1\,620,05}{11\,711,60} \right]^{4,025} = 0,002 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 0,2%.

### 10.2.1.3 Otpornost elementa - max N

- **Otpornost elementa na izvijanje**

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

### Izvijanje oko slabije osi

Kritična duljina:  $L_{cr} = 2,498 \text{ m}$

Elastična kritična sila:



$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}{249,8^2} = 2\,815\,967,15 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 2\,577,60}{2\,815\,967,15}} = 0,205$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,205 - 0,2) + 0,205^2] = 0,522$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,522 + \sqrt{0,522^2 - 0,205^2}} = 0,998$$

Računska otpornost:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,998 \cdot \frac{2\,577,6 \cdot 46,0}{1,1} = 107\,574,96 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{95\,463,50}{107\,574,96} = 0,89 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 89%.

### Izvijanje oko jače osi

Kritična duljina:  $L_{cr} = 2,498 \text{ m}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2\,117\,312,23}{249,8^2} = 7\,032\,651,2 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 2\,577,6}{7\,032\,651,2}} = 0,130$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,130 - 0,2) + 0,130^2] = 0,501$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,501 + \sqrt{0,501^2 - 0,130^2}} = 1,015 > 1,0$$

Računska otpornost:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{2\,577,60 \cdot 46,0}{1,1} = 107\,790,55 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{95\,463,50}{107\,790,55} = 0,89 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 89%.

- **Otpornost elementa na savijanje**

Elastični kritični moment:

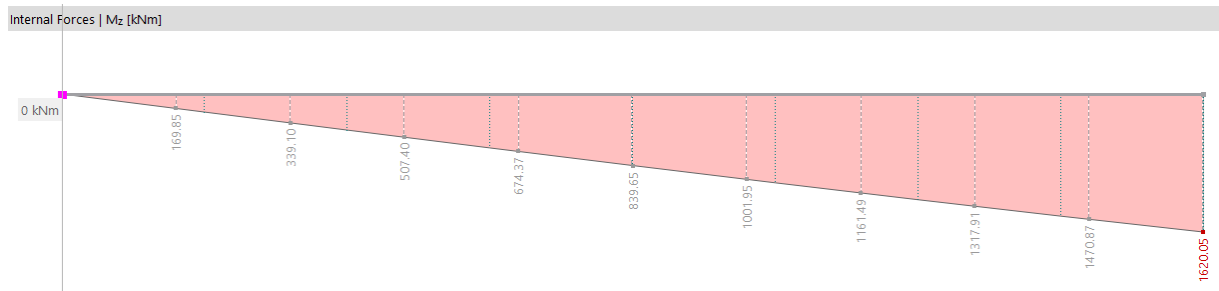
$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(k \cdot L_{cr})^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_y} + \frac{(k \cdot L_{cr})^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_y} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

gdje je:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21\,000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8\,077 \text{ kN/cm}^2$$

Vrijednosti koeficijenta  $C_1$  i  $C_2$ :

Prema obliku dijagrama momenta savijanja za  $\psi = 0$ :



$$C_1 = 1,77 \quad C_2 = 0$$

Stoga vrijedi:

$$M_{cr} = 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}{249,8^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{3,8 \cdot 10^8}{847\,800} + \frac{249,8^2 \cdot 8\,077 \cdot 96\,570,63}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}} \right]$$

$$M_{cr} = 3\,614\,642\,196 \text{ kNcm} = 36\,146\,421,96 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{36\,146\,421,96}} = 0,027 < 0,4$$

→ EC3 ne zahtjeva provjeru elementa za bočno – torzijsko izvijanje

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,0$$

Otpornost elementa na savijanje:

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \cdot \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{1,1} = 2\,342\,753 \text{ kNcm} = 23\,427,53 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1\,620,05}{23\,427,53} = 0,07 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 7%.

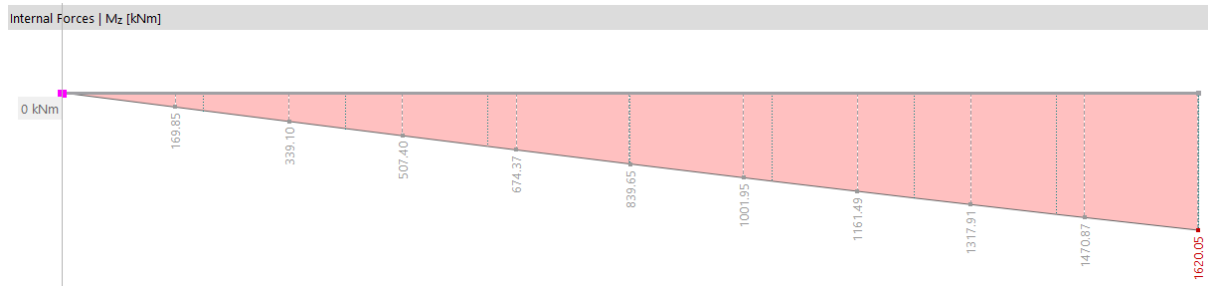
• Interakcija M/N

Koeficijenti jednolikog ekvivalentnog momenta  $C_m$ :

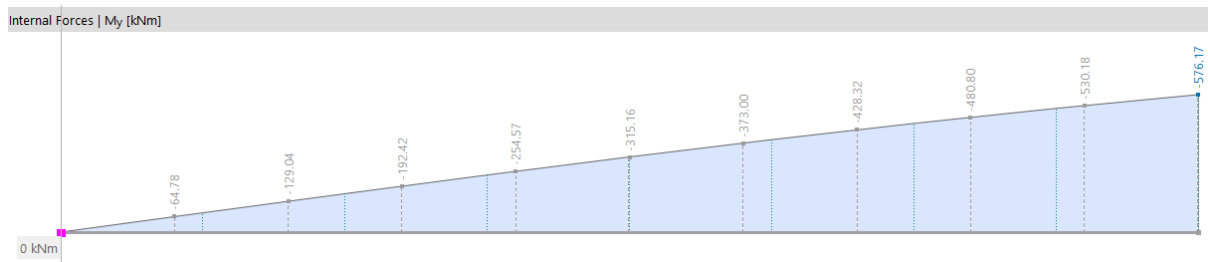
Prema obliku dijagrama savijanja oko jače osi, koeficijent  $C_{my}$  iznosi:

$$\psi = 0 \quad \alpha_s = 0,5$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 > 0,4$$



Prema obliku dijagrama savijanja oko slabije osi, koeficijent  $C_{mz}$  iznosi:



$$\psi = 0 \quad \alpha_s = 0,5$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 > 0,4$$

Interakcijski koeficijenti:

$$k_{yy} = C_{my} \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \leq C_{my} \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,6 \left[ 1 + (0,130 - 0,2) \cdot \frac{95\,463,50}{107\,790,55} \right] \leq 0,6 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{95\,463,50}{107\,790,55} \right]$$

$$k_{yy} = 0,563 < 1,025$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left[ 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \leq C_{mz} \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zz} = 0,6 \left[ 1 + (2 \cdot 0,205 - 0,6) \cdot \frac{95\,463,50}{107\,574,96} \right] \leq 0,6 \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{95\,463,50}{107\,574,96} \right]$$

$$k_{zz} = 0,499 < 1,345$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,338$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,299$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{95\,463,50}{107\,790,55} + 0,563 \cdot \frac{1\,620,05}{1,0 \cdot 23\,427,53} + 0,299 \cdot \frac{576,17}{18\,390,22} = 0,93 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 93%.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{95\,463,50}{107\,574,96} + 0,338 \cdot \frac{1\,602,57}{1,0 \cdot 23\,427,53} + 0,499 \cdot \frac{577,07}{18\,390,22} = 0,93 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 93%.

## MAKSIMALAN MOMENT SAVIJANJA

### 10.2.1.4 Otpornost poprečnog presjeka – max M

- Otpornost poprečnog presjeka na tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,577,60 \cdot 46,0}{1,0} = 118\,569,6 \text{ kN} > N_{Ed} = 25\,722,50 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{25\,722,50}{118\,569,6} = 0,22 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 22%.

- **Otpornost poprečnog na savijanje**

**Savijanje oko osi z**

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{1,0} = 2\,577\,028,1 \text{ kNcm} = 25\,770,28 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} = \frac{3\,426,83}{25\,770,28} = 0,13$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 13%.

- **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

**U smjeru osi y**

-Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

-Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = \frac{h - 2 \cdot t_f - t_{w,HD}}{2} = \frac{1099 - 2 \cdot 68,1 - 100}{2} = 431,4 \text{ mm}$$

$\eta = 1,20$  za valjane profile

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{431,4}{38,1} = 11,32 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

-Posmična površina  $A_{v,y}$ :

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{489,89 \cdot (46,0/\sqrt{3})}{1,0} = 13\,010,55 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{1\,304,92}{13\,010,55} = 0,10 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 10%.

- Interakcija M/V/N

**Utjecaj posmične sile**

Smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na uzdužnu silu i/ili moment savijanja nema ukoliko je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$V_{y,Ed} = 1\,304,92 \text{ kN} < 0,5 \cdot 13\,010,55 = 6\,505,28 \text{ kN} \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

**Utjecaj uzdužne sile**

Uzdužna sila nema utjecaj na otpornost na savijanje oko **osi z** ako su zadovoljeni slijedeći uvjeti:

$$N_{Ed} \leq \frac{0,50 \cdot \Sigma h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 25\,722,50 > \frac{0,50 \cdot 2 \cdot (14,095 \cdot 10,0 \cdot 46,0 + 43,14 \cdot 3,81 \cdot 46,0)}{1,0} = 14\,044,42 \text{ kN}$$

Kako uvjet nije zadovoljen vrijedi:

$$\text{za } n \leq a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{za } n > a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{25\,721,70}{118\,569,6} = 0,217$$

$$a = \frac{A - \Sigma b \cdot t_f}{A} = \frac{2\,577,6 - 2 \cdot (47,6 \cdot 14,0 + 43,4 \cdot 6,81)}{2\,577,60} = 0,254 < 0,5$$

$$M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 25\,770,28 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{z,V,N,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{3\,426,83}{25\,770,28} = 0,13 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 13%.

## 10.2.1.5 Otpornost elementa – max M

- Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

**Izvijanje oko slabije osi**

Kritična duljina:  $L_{cr} = 1,785 \text{ m}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}{178,5^2} = 5\,514\,879,30 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 2\,577,60}{5\,514\,879,30}} = 0,147$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,147 - 0,2) + 0,147^2] = 0,505$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,505 + \sqrt{0,505^2 - 0,147^2}} = 1,012$$

Računska otpornost:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{2\,577,6 \cdot 46,0}{1,1} = 107\,790,55 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{25\,721,70}{107\,790,55} = 0,24 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 24%.



**Izvijanje oko jače osi**

Kritična duljina:  $L_{cr} = 1,785 \text{ m}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2\,117\,312,23}{178,5^2} = 13\,772\,966,95 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 2\,577,6}{13\,772\,966,95}} = 0,093$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,093 - 0,2) + 0,093^2] = 0,494$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,494 + \sqrt{0,494^2 - 0,093^2}} = 1,021 > 1,0$$

Računska otpornost:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{2\,577,60 \cdot 46,0}{1,1} = 107\,790,55 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{25\,721,70}{107\,790,55} = 0,89 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 24%.

- **Otpornost elementa na savijanje**

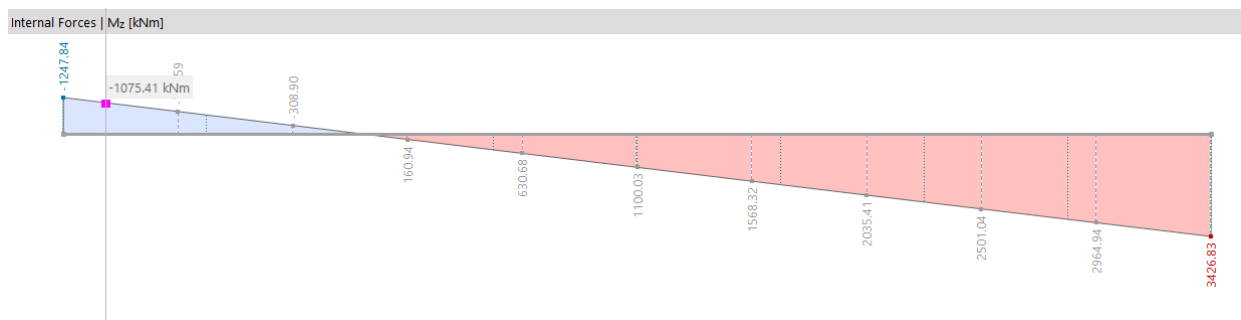
Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(k \cdot L_{cr})^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_y} + \frac{(k \cdot L_{cr})^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_y} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

gdje je:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21\,000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8\,077 \text{ kN/cm}^2$$

Vrijednosti koeficijenata  $C_1$  i  $C_2$ :



Prema obliku dijagrama momenta savijanja za  $\psi = -0,364$ :

$$C_1 = 2,18 \quad C_2 = 0$$

Stoga vrijedi:

$$M_{cr} = 2,18 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}{178,5^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{3,8 \cdot 10^8}{847\,800} + \frac{178,5^2 \cdot 8\,077 \cdot 96\,570,63}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}} \right]$$

$$M_{cr} = 291\,938\,497,6 \text{ kNcm} = 2\,919\,384,98 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{291\,938\,497,6}} = 0,094 < 0,4$$

→ EC3 ne zahtjeva provjeru elementa za bočno – torzijsko izvijanje

$$\overline{\lambda}_{LT} = 1,0$$

Otpornost elementa na savijanje:

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \cdot \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{1,1} = 2\,342\,752,82 \text{ kNcm} = 23\,427,53 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

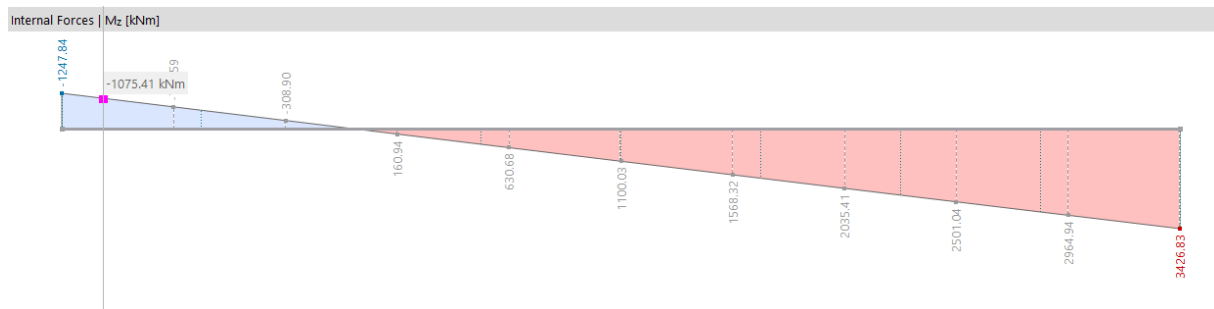
$$\frac{3\,426,83}{23\,427,53} = 0,15 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 15%.

- Interakcija M/N

Koeficijenti jednolikog ekvivalentnog momenta  $C_m$

Prema obliku dijagrama savijanja oko jače osi, koeficijent  $C_{my}$  iznosi:



$$\psi = -0,364$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,364) = 0,454 > 0,4$$

Interakcijski koeficijenti:

$$k_{yy} = C_{my} \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \leq C_{my} \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,454 \left[ 1 + (0,093 - 0,2) \cdot \frac{25\,721,70}{107\,790,55} \right] \leq 0,454 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{25\,721,70}{107\,790,55} \right]$$

$$k_{yy} = 0,442 < 0,541$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,265$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{25\,721,70}{107\,790,55} + 0,442 \cdot \frac{3\,426,83}{23\,427,53} = 0,30 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 30%.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{25\,721,70}{107\,790,55} + 0,265 \cdot \frac{3\,426,83}{23\,427,53} = 0,28 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 28%.

## 10.2.2 Stup na etaži s potpornim rešetkama

Tablica 50: Mjerodavni učinci djelovanja na stup (etaže s potpornim rešetkama)

	max N (2887) CO2	max M (5763) CO1
N [kN]	-46 678,70	-16 890,30
M <sub>y</sub> [kNm]	483,21	1 314,94
V <sub>z</sub> [kN]	133,32	373,74
M <sub>z</sub> [kNm]	204,01	158,25
V <sub>y</sub> [kN]	47,50	27,44

### MAKSIMALNA UZDUŽNA SILA

#### 10.2.2.1 Otpornost poprečnog presjeka – max N

- Otpornost poprečnog presjeka na tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,577,60 \cdot 46,0}{1,0} = 118\,569,6 \text{ kN} > N_{Ed} = 95\,066,40 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{46\,678,70}{118\,569,6} = 0,39 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 39%.

- **Otpornost poprečnog na savijanje**

**Savijanje oko osi y**

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{39\,978,73 \cdot 46,0}{1,0} = 1\,839\,021,58 \text{ kNcm} = 18\,390,22 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{483,21}{18\,390,22} = 0,03 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 3%.

**Savijanje oko osi z**

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{1,0} = 2\,577\,028,1 \text{ kNcm} = 25\,770,28 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} = \frac{204,01}{25\,770,28} = 0,008$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 0,8%.

- **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

**U smjeru z osi**

-Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = \frac{h - 2 \cdot t_f - t_{w,HL}}{2} = \frac{600 - 2 \cdot 140 - 38,1}{2} = 140,95 \text{ mm}$$

$\eta = 1,20$  za valjane profile

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{140,95}{100} = 1,410 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

-Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{557,18 \cdot (46,0 / \sqrt{3})}{1,0} = 14\,797,65 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{133,32}{14\,797,65} = 0,009 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 0,9%.

### U smjeru y osi

-Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

-Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = \frac{h - 2 \cdot t_f - t_{w,HD}}{2} = \frac{1099 - 2 \cdot 68,1 - 100}{2} = 431,4 \text{ mm}$$

$\eta = 1,20$  za valjane profile

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{431,4}{38,1} = 11,32 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

-Posmična površina  $A_{v,y}$ :

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{489,89 \cdot (46,0 / \sqrt{3})}{1,0} = 13\,010,55 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{47,50}{13\,010,55} = 0,004 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 0,4%.

- Interakcija M/V/N

**Utjecaj posmične sile**

Smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na uzdužnu silu i/ili moment savijanja nema ukoliko je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$V_{z,Ed} = 133,32 \text{ kN} < 0,5 \cdot 14\,797,65 = 7\,398,83 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

$$V_{y,Ed} = 47,50 \text{ kN} < 0,5 \cdot 13\,010,55 = 6\,505,28 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

**Utjecaj uzdužne sile**

Uzdužna sila nema utjecaj na otpornost na savijanje oko **osi y** ako su zadovoljeni slijedeći uvjeti:

$$N_{Ed} = 46\,678,70 > 0,25 \cdot 108\,259,2 = 27\,064,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 46\,678,70 > \frac{0,50 \cdot 2 \cdot (14,095 \cdot 10,0 \cdot 46,0 + 43,14 \cdot 3,81 \cdot 46,0)}{1,0} = 14\,044,42 \text{ kN}$$

Kako oba uvjeta nisu zadovoljena vrijedi:

$$M_{N,V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{46\,678,70}{118\,569,6} = 0,394$$

$$a = \frac{A - \sum b \cdot t_f}{A} = \frac{2\,577,6 - 2 \cdot (47,6 \cdot 14,0 + 43,4 \cdot 6,81)}{2\,577,60} = 0,254 < 0,5$$

$$M_{N,V,y,Rd} = 18\,390,22 \cdot \frac{1-0,254}{1-0,5 \cdot 0,254} = 15\,714,90 \text{ kNm} \leq 18\,390,22 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,V,N,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{483,21}{15\,714,92} = 0,03 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 3%.

Uzdužna sila nema utjecaj na otpornost na savijanje oko **osi z** ako su zadovoljeni slijedeći uvjeti:

$$N_{Ed} \leq \frac{0,50 \cdot \Sigma h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 95\,066,40 > \frac{0,50 \cdot 2 \cdot (14,095 \cdot 10,0 \cdot 46,0 + 43,14 \cdot 3,81 \cdot 46,0)}{1,0} = 14\,044,42 \text{ kN}$$

Kako uvjet nije zadovoljen vrijedi:

$$\text{za } n \leq a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{za } n > a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{46\,638,10}{118\,569,6} = 0,393$$

$$a = \frac{A - \Sigma b \cdot t_f}{A} = \frac{2\,577,6 - 2 \cdot (47,6 \cdot 14,0 + 43,4 \cdot 6,81)}{2\,577,60} = 0,254 < 0,5$$

$$M_{z,V,N,Rd} = 25\,770,28 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{0,393 - 0,254}{1 - 0,254} \right)^2 \right] = 24\,875,59 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{z,V,N,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{204,01}{24\,875,59} = 0,008 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 0,8%.

### Dvoosno savijanje

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$$

$$\alpha = 2,0; \quad \beta = 5 \cdot n = 5 \cdot 0,393 = 1,965$$

$$\left[ \frac{483,21}{15\,714,92} \right]^{2,0} + \left[ \frac{204,01}{11\,864,27} \right]^{1,965} = 0,002 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen!



## 10.2.2.2 Otpornost elementa – max N

- Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

**Izvijanje oko slabije osi**Kritična duljina:  $L_{cr} = 3,569 \text{ m}$ 

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}{356,9^2} = 1\,379\,492,54 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 2\,577,60}{1\,379\,492,54}} = 0,086$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,086 - 0,2) + 0,086^2] = 0,492$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,492 + \sqrt{0,492^2 - 0,086^2}} = 1,024 > 1,0$$

Računska otpornost:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{2\,577,6 \cdot 46,0}{1,1} = 107\,790,55 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{46\,678,70}{107\,790,55} = 0,43 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 43%.

**Izvijanje oko jače osi**

Kritična duljina:  $L_{cr} = 3,569 \text{ m}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2\,117\,312,23}{356,9^2} = 3\,445\,171,54 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 2\,577,6}{3\,445\,171,54}} = 0,186$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,186 - 0,2) + 0,186^2] = 0,516$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,516 + \sqrt{0,516^2 - 0,186^2}} = 1,003 > 1,0$$

Računska otpornost:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{2\,577,60 \cdot 46,0}{1,1} = 107\,790,55 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{46\,678,70}{107\,790,55} = 0,43 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 43%.

- **Otpornost elementa na savijanje**

**Savijanje oko osi z**

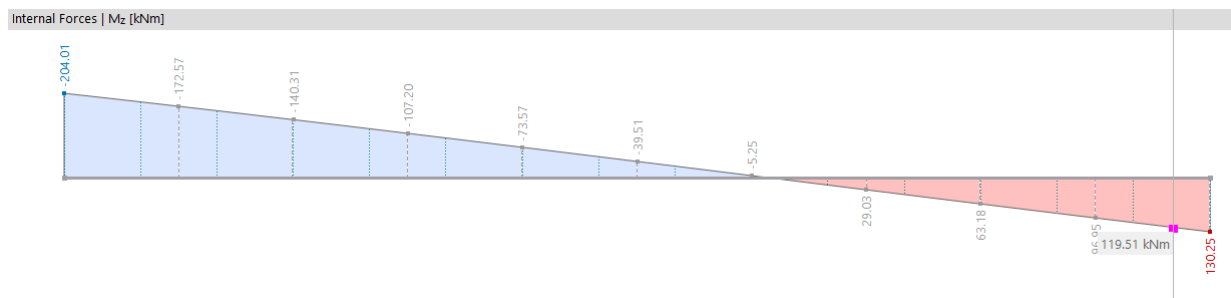
Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(k \cdot L_{cr})^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_y} + \frac{(k \cdot L_{cr})^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_y} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

Gdje je:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21\,000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8\,077 \text{ kN/cm}^2$$

Vrijednosti koeficijenata  $C_1$  i  $C_2$ :



Prema obliku dijagrama momenta savijanja za  $\psi = -0,637$ :

$$C_1 = 2,46 \quad C_2 = 0$$

Stoga vrijedi:

$$M_{cr} = 2,46 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}{356,9^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{3,8 \cdot 10^8}{847\,800} + \frac{356,9^2 \cdot 8\,077 \cdot 96\,570,63}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}} \right]$$

$$M_{cr} = 343\,985\,646,1 \text{ kNcm} = 3\,439\,856,46 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{343\,985\,646,1}} = 0,087 < 0,4$$

→ EC3 ne zahtjeva provjeru elementa za bočno – torzijsko izvijanje

$$\overline{\lambda}_{LT} = 1,0$$

Otpornost elementa na savijanje:

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \cdot \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{1,1} = 2\,342\,752,82 \text{ kNcm} = 23\,472,53 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

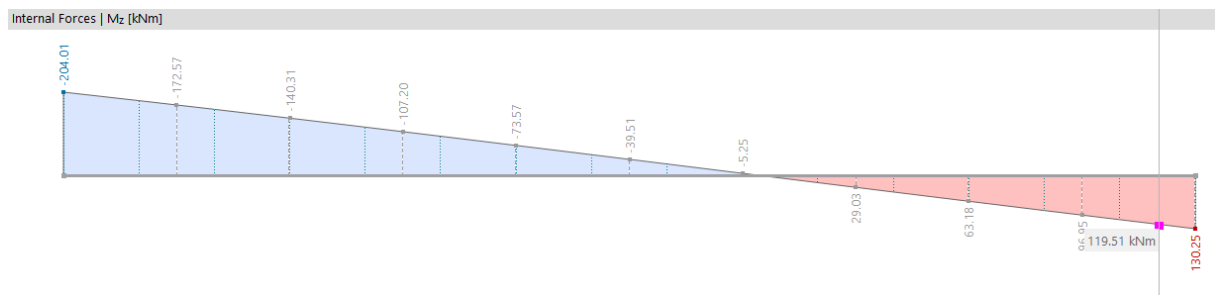
$$\frac{204,01}{25\,770,38} = 0,008 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 0,8%.

- Interakcija M/N

Koeficijenti jednolikog ekvivalentnog momenta  $C_m$

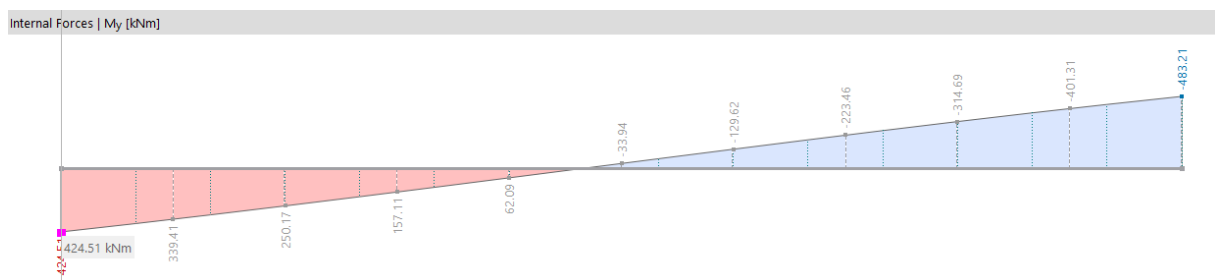
Prema obliku dijagrama savijanja oko jače osi, koeficijent  $C_{my}$  iznosi:



$$\psi = \frac{130,25}{204,01} = 0,637$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,855 > 0,4$$

Prema obliku dijagrama savijanja oko slabije osi, koeficijent  $C_{mz}$  iznosi:



$$\psi = \frac{424,51}{483,21} = 0,879$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,952 > 0,4$$

Interakcijski koeficijenti:

$$k_{yy} = C_{my} \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right] \leq C_{my} \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,855 \left[ 1 + (0,186 - 0,2) \cdot \frac{46\,678,70}{107\,790,55} \right] \leq 0,855 \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{46\,678,70}{107\,790,55} \right]$$

$$k_{yy} = 0,850 < 1,373$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left[ 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right] \leq C_{mz} \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zz} = 0,952 \left[ 1 + (2 \cdot 0,086 - 0,6) \cdot \frac{46\,678,50}{107\,790,55} \right] \leq 0,952 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{46\,678,50}{107\,790,55} \right]$$

$$k_{zz} = 0,776 < 1,281$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,510$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,466$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{46\,678,50}{107\,790,55} + 0,850 \cdot \frac{204,01}{23\,472,53} + 0,466 \cdot \frac{483,21}{18\,390,22} = 0,45 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 45%.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{46\,678,50}{107\,790,55} + 0,510 \cdot \frac{204,01}{23\,472,53} + 0,776 \cdot \frac{483,21}{18\,390,22} = 0,46 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 46%.

**MAKSIMALAN MOMENT SAVIJANJA**

## 10.2.2.3 Otpornost poprečnog presjeka – max M

- **Otpornost poprečnog presjeka na tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2\,577,60 \cdot 46,0}{1,0} = 118\,569,6 \text{ kN} > N_{Ed} = 25\,722,50 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{16\,890,30}{118\,569,6} = 0,14 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 14%.

- **Otpornost poprečnog na savijanje**

**Savijanje oko osi y**

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{39\,978,73 \cdot 46,0}{1,0} = 1\,839\,021,58 \text{ kNcm} = 18\,390,22 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{1\,314,94}{18\,390,22} = 0,07 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 7%.

**Savijanje oko osi z**

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{1,0} = 2\,577\,028,1 \text{ kNcm} = 25\,770,28 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,z,Ed}}{M_{c,z,Rd}} = \frac{158,25}{25\,770,28} = 0,006$$

- **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

**U smjeru osi z**

-Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = \frac{h - 2 \cdot t_f - t_{w,HL}}{2} = \frac{600 - 2 \cdot 140 - 38,1}{2} = 140,95 \text{ mm}$$

$\eta = 1,20$  za valjane profile

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{140,95}{100} = 1,410 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

-Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{557,18 \cdot (46,0 / \sqrt{3})}{1,0} = 14\,797,65 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{373,74}{14\,797,65} = 0,03 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 3%.

### U smjeru osi y

-Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{A_{v,y} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

-Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = \frac{h - 2 \cdot t_f - t_{w,HD}}{2} = \frac{1099 - 2 \cdot 68,1 - 100}{2} = 431,4 \text{ mm}$$

$\eta = 1,20$  za valjane profile

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{431,4}{38,1} = 11,32 < 72 \cdot \frac{0,81}{1,20} = 48,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

-Posmična površina  $A_{v,y}$ :

$$V_{pl,y,Rd} = \frac{489,89 \cdot (46,0 / \sqrt{3})}{1,0} = 13\,010,55 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{c,y,Rd}} = \frac{27,44}{13\,010,55} = 0,002 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 0,2%.

- **Interakcija M/V/N**

### Utjecaj posmične sile

Smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na uzdužnu silu i/ili moment savijanja nema ukoliko je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$V_{y,Ed} = 1\,288,43 \text{ kN} < 0,5 \cdot 13\,010,55 = 6\,505,28 \text{ kN} \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

### Utjecaj uzdužne sile

Uzdužna sila nema utjecaj na otpornost na savijanje oko **osi y** ako su zadovoljeni slijedeći uvjeti:

$$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{c,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,50 \cdot \Sigma h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 16\,890,30 > 0,25 \cdot 108\,259,2 = 27\,064,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 16\,890,30 > \frac{0,50 \cdot 2 \cdot (14,095 \cdot 10,0 \cdot 46,0 + 43,14 \cdot 3,81 \cdot 46,0)}{1,0} = 14\,044,42 \text{ kN}$$

Kako uvjet nije zadovoljen vrijedi:

$$\text{za } n \leq a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{za } n > a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{16\,890,30}{118\,569,6} = 0,142$$

$$a = \frac{A - \Sigma b \cdot t_f}{A} = \frac{2\,577,6 - 2 \cdot (47,6 \cdot 14,0 + 43,4 \cdot 6,81)}{2\,577,60} = 0,254 < 0,5$$

$$M_{N,V,y,Rd} = 18\,390,22 \text{ kNm}$$



Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{y,V,N,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1\,314,94}{18\,390,22} = 0,07 < 1,0 \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

Uzdužna sila nema utjecaj na otpornost na savijanje oko **osi z** ako su zadovoljeni slijedeći uvjeti:

$$N_{Ed} = 16\,890,30 > \frac{0,50 \cdot 2 \cdot (14,095 \cdot 10,0 \cdot 46,0 + 43,14 \cdot 3,81 \cdot 46,0)}{1,0} = 14\,044,42 \text{ kN}$$

Kako uvjet nije zadovoljen vrijedi:

$$\text{za } n \leq a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{za } n > a \quad M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{16\,890,30}{118\,569,6} = 0,142$$

$$a = \frac{A - \sum b \cdot t_f}{A} = \frac{2\,577,6 - 2 \cdot (47,6 \cdot 14,0 + 43,4 \cdot 6,81)}{2\,577,60} = 0,254 < 0,5$$

$$M_{z,V,N,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 25\,770,28 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{z,V,N,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{158,25}{25\,770,28} = 0,006 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 0,6%.

### Dvoosno savijanje

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$$

$$\alpha = 2,0; \quad \beta = 5 \cdot n = 5 \cdot 0,142 = 0,71 \rightarrow \beta = 1,0$$

$$\left[ \frac{1\,314,94}{18\,390,22} \right]^{2,0} + \left[ \frac{158,25}{25\,770,28} \right]^{1,0} = 0,011 < 1,0 \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

#### 10.2.2.4 Otpornost elementa – max M

- **Otpornost elementa na izvijanje**

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

#### Izvijanje oko slabije osi

Kritična duljina:  $L_{cr} = 3,569 \text{ m}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}{356,9^2} = 1\,379\,492,54 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 2\,577,60}{1\,379\,492,54}} = 0,086$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ z a liniju izvijanja a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,086 - 0,2) + 0,086^2] = 0,492$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,492 + \sqrt{0,492^2 - 0,086^2}} = 1,024 > 1,0$$

Računska otpornost:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{2\,577,6 \cdot 46,0}{1,1} = 107\,790,55 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{16\,890,30}{107\,790,55} = 0,16 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 16%.

### Izvijanje oko jače osi

Kritična duljina:  $L_{cr} = 3,569$  m

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 2\,117\,312,23}{356,9^2} = 3\,445\,171,54 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 2\,577,6}{3\,445\,171,54}} = 0,186$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,21(0,186 - 0,2) + 0,186^2] = 0,516$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,516 + \sqrt{0,516^2 - 0,186^2}} = 1,003 > 1,0$$

Računska otpornost:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{2\,577,60 \cdot 46,0}{1,1} = 107\,790,55 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{16\,890,30}{107\,790,55} = 0,16 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 16%.

- **Otpornost elementa na savijanje**

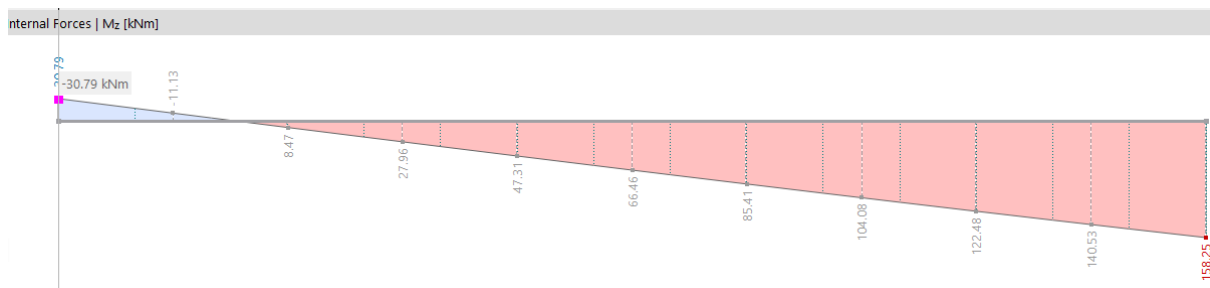
Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(k \cdot L_{cr})^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_y} + \frac{(k \cdot L_{cr})^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

gdje je:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21\,000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8\,077 \text{ kN/cm}^2$$

Vrijednosti koeficijenta  $C_1$  i  $C_2$ :



Prema obliku dijagrama momenta savijanja za  $\psi = -0,195$ :

$$C_1 = 1,99 \quad C_2 = 0$$

Stoga vrijedi:

$$M_{cr} = 1,99 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}{356,9^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{3,8 \cdot 10^8}{847\,800} + \frac{356,9^2 \cdot 8\,077 \cdot 96\,570,63}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 847\,800}} \right]$$

$$M_{cr} = 1\,385\,675\,474 \text{ kNcm} = 13\,856\,754,74 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{1\,385\,675\,474}} = 0,043 < 0,4$$

→ EC3 ne zahtjeva provjeru elementa za bočno – torzijsko izvijanje

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,0$$

Otpornost elementa na savijanje:

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \cdot \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{56\,022,35 \cdot 46,0}{1,1} = 2\,342\,752,82 \text{ kNcm} = 23\,472,53 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

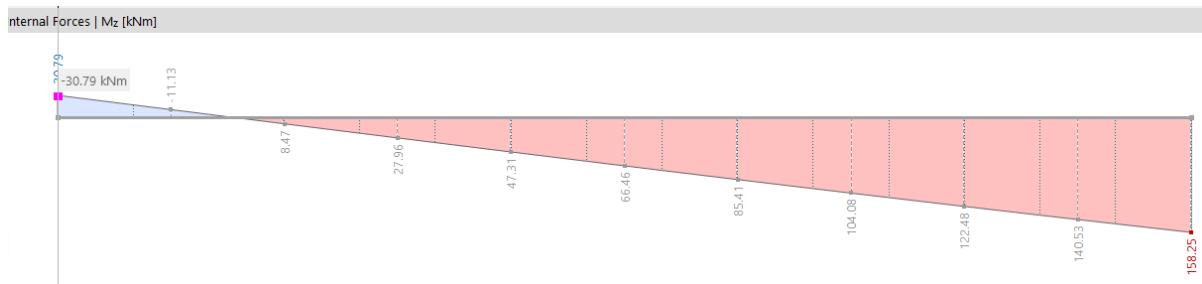
$$\frac{158,25}{23\,472,53} = 0,006 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen!

- Interakcija M/N

Koeficijenti jednolikog ekvivalentnog momenta  $C_m$

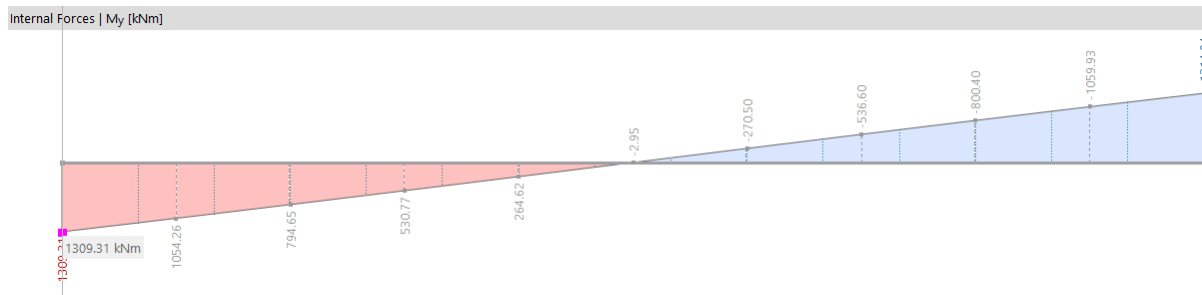
Prema obliku dijagrama savijanja oko jače osi, koeficijent  $C_{my}$  iznosi:



$$\psi = \frac{30,79}{158,25} = 0,195$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,678 > 0,4$$

Prema obliku dijagrama savijanja oko slabije osi, koeficijent  $C_{mz}$  iznosi:



$$\psi = \frac{1309,31}{1314,94} = -0,996$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,996) = 0,202 < 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,4$$

Interakcijski koeficijenti:

$$k_{yy} = C_{my} \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right] \leq C_{my} \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,678 \left[ 1 + (0,186 - 0,2) \cdot \frac{16\,890,30}{107\,790,55} \right] \leq 0,678 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{16\,890,30}{107\,790,55} \right]$$

$$k_{yy} = 0,677 < 0,763$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left[ 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right] \leq C_{mz} \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zz} = 0,4 \left[ 1 + (2 \cdot 0,086 - 0,6) \cdot \frac{16\,890,30}{107\,790,55} \right] \leq 0,4 \left[ 1 + 1,4 \cdot \frac{16\,890,30}{107\,790,55} \right]$$

$$k_{zz} = 0,373 < 0,488$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,224$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,406$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{16\,890,30}{107\,790,55} + 0,677 \cdot \frac{158,25}{23\,472,53} + 0,224 \cdot \frac{1\,314,94}{18\,390,22} = 0,18 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 18%.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

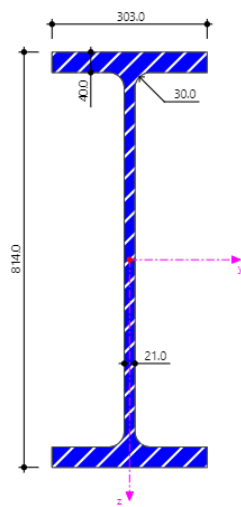
$$\frac{16\,890,30}{107\,790,55} + 0,406 \cdot \frac{158,25}{23\,472,53} + 0,373 \cdot \frac{1\,314,94}{18\,390,22} = 0,19 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 19%.

## 10.2.3 Glavni nosač

Tablica 51: Karakteristike HEM 800 profila

## HEM 800



$A = 404,30 \text{ cm}^2$
$h = 814 \text{ mm}$
$b = 303 \text{ mm}$
$t_w = 21 \text{ mm}$
$t_f = 40 \text{ mm}$
$r = 30 \text{ mm}$
$I_y = 442\,600 \text{ cm}^4$
$W_{el,y} = 10\,875,0 \text{ cm}^3$
$I_z = 18\,630,0 \text{ cm}^4$
$W_{el,z} = 1\,230,0 \text{ cm}^3$
$I_t = 1\,663,0 \text{ cm}^4$
$I_w = 27\,472\,000 \text{ cm}^6$

Tablica 52: Mjerodavni učinci djelovanja glavnog nosača

	(80) CO3
<b>N [kN] tlak</b>	-8 724,04
<b>N [kN] vlak</b>	8 722,98
<b>M<sub>y</sub> [kNm]</b>	1 749,06
<b>V<sub>z</sub> [kN]</b>	415,69

## 10.2.3.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{460}} = 0,71$$

HRBAT PROFILA HEM 800

$$c = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r$$

$$t = t_w$$

Uvjet za klasu 3:

$$\frac{c}{t} \leq 42 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{814 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 30}{21} = 32,10$$

$$32,10 > 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 0,71 = 29,82 \quad \rightarrow \text{hrbat je klase 4}$$

### POJASNICA PROFILA HEM 800

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}$$

$$t = t_w$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{c}{t} = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{303 - 21,0 - 2 \cdot 30}{40} = 2,78$$

$$2,78 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,71 = 6,39 \quad \rightarrow \text{pojasnica je klase 1}$$

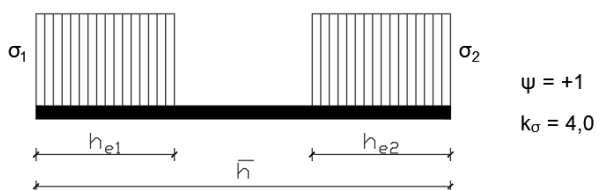
Poprečni presjek je klase 4.

#### 10.2.3.2 Otpornost poprečnog presjeka

- **Otpornost poprečnog presjeka na tlak**

#### Sudjelujuća širina za elemente u tlaku

- **HRBAT**



$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{h}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}}$$

$$\bar{h} = c = 674 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{674}{21}}{28,4 \cdot 0,71 \cdot \sqrt{4}} = 0,796$$



za  $0,796 > 0,673$  i  $(3 + \psi) \geq 0$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

$$\rho = \frac{0,796 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{0,796^2} = 0,909 \leq 1,0$$

$$h_{\text{eff}} = \rho \cdot \bar{h} = 0,909 \cdot 674 = 612,67 \text{ mm}$$

- **POJASNICA**

Nema redukcije pojasnice.

Reducirana površina poprečnog presjeka:

$$A_{\text{eff}} = A - \Delta A = 404,30 - (67,4 - 61,267) \cdot 2,1 = 391,42 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{\text{eff}} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{391,42 \cdot 46,0}{1,0} = 18\,005,32 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{8\,724,04}{18\,055,32} = 0,48 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 49%.

- **Otpornost poprečnog presjeka na vlak**

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{404,30 \cdot 46,0}{1,0} = 18\,597,8 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

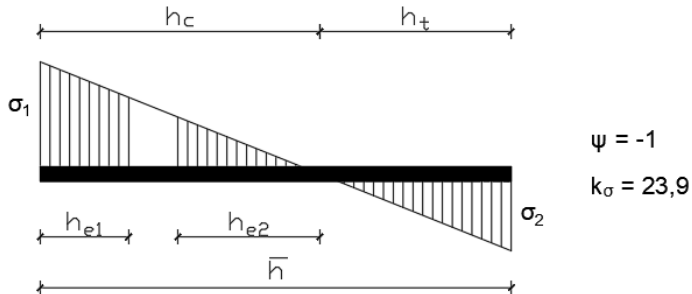
$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{8\,722,98}{18\,597,80} = 0,47 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 47%.

- **Otpornost poprečnog na savijanje**

**Sudjelujuća širina za elemente u tlaku**

- **HRBAT**



$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{h}}{t}}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}}$$

$$\bar{h} = c = 674 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{674}{21}}{28,4 \cdot 0,71 \cdot \sqrt{23,9}} = 0,326$$

za  $0,326 < 0,673$  je  $\rho = 1,0 \rightarrow$  nema redukcije

- **POJASNICA**

Nema redukcije pojasnice.

**Savijanje oko osi y**

$$M_{c,y,Rd} = M_{el,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{el,y,Rd} = \frac{10\,875,0 \cdot 46,0}{1,0} = 500\,250,0 \text{ kNcm} = 5\,002,50 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{1\,749,06}{5\,002,50} = 0,35 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 35%.

- **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

**U smjeru os z**

-Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 814 - 2 \cdot 40,0 = 734,0 \text{ mm}$$

$\eta = 1,20$  za valjane profile

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{734,0}{21,0} = 34,95 < 72 \cdot \frac{0,71}{1,20} = 42,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

-Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

-Posmična površina  $A_{v,z}$ :

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,z} = 404,30 - 2 \cdot 30,3 \cdot 4,0 + (0,21 + 2 \cdot 3,0) \cdot 4,0 = 186,74 \text{ cm}^2$$

$$186,74 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 73,40 \cdot 2,1 = 184,97$$

$$A_{v,z} = 186,74 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{186,74 \cdot (46,0 / \sqrt{3})}{1,0} = 4\,959,46 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,z,Rd}} = \frac{415,69}{4\,959,46} = 0,08 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 8%.

- **Interakcija M/V/N**

**Utjecaj posmične sile**

Smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na uzdužnu silu i/ili moment savijanja nema ukoliko je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$V_{z,Ed} = 415,69 \text{ kN} < 0,5 \cdot 3\,827,41 = 1\,913,71 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

### Utjecaj uzdužne sile

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Naprezanje od uzdužne sile:

$$\sigma_{x,N,Ed} = \frac{N}{A} = \frac{8\,724\,040}{39\,142,0} = 222,88 \text{ MPa}$$

Naprezanje od uzdužne sile:

$$\sigma_{x,My,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} = \frac{1\,749\,060\,000}{10\,875\,000} = 160,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,N,Ed} + \sigma_{x,My,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$222,88 + 160,83 \leq \frac{460}{1,0}$$

$$380 \text{ MPa} < 460,0 \text{ MPa}$$

Uvjet je zadovoljen!

### 10.2.3.3 Otpornost elementa

- **Otpornost elementa na izvijanje**

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

### Izvijanje oko osi y

Kritična duljina:  $L_{cr,y} = 4,2 \text{ m}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 442\,600}{420^2} = 520\,034,16 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 391,42}{520\,034,16}} = 0,186$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja  $a_0$ :

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5[1 + 0,13(0,186 - 0,2) + 0,186^2] = 0,516$$

Faktor redukcije:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,516 + \sqrt{0,516^2 - 0,186^2}} = 1,003 > 1,0$$

Računska otpornost:

$$N_{b,y,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{391,42 \cdot 46,0}{1,1} = 16\,368,47 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{8\,724,04}{16\,368,47} = 0,53 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 53%.

### Izvijanje oko osi z

Kritična duljina:  $L_{cr,z} = 4,2 \text{ m}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 18\,627,0}{420^2} = 21\,885,85 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{46,0 \cdot 391,42}{21\,885,85}} = 0,907$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja  $a_0$ :

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5[1 + 0,13(0,907 - 0,2) + 0,907^2] = 0,957$$

Faktor redukcije:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,957 + \sqrt{0,957^2 - 0,907^2}} = 0,792$$

Računska otpornost:

$$N_{b,z,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,792 \cdot \frac{391,42 \cdot 46,0}{1,1} = 12\,967,32 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{8\,635,85}{12\,967,32} = 0,67 > 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 67%.

- **Otpornost elementa na savijanje**

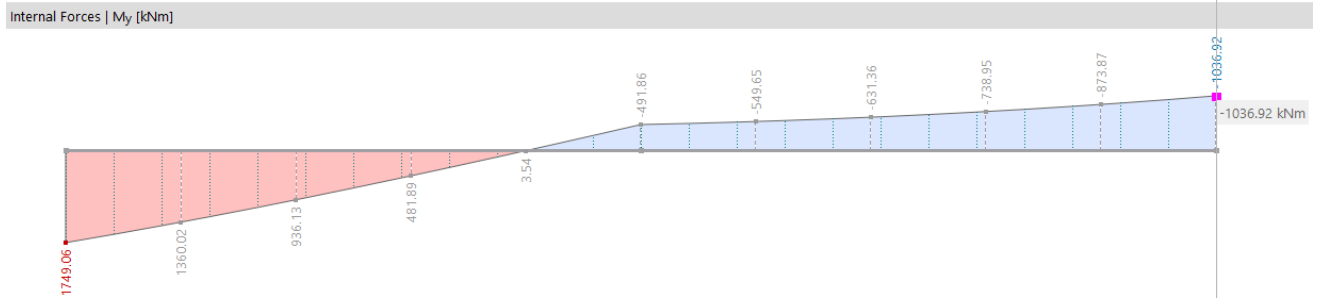
Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L_{cr})^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L_{cr})^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot z_g)^2 - C_2 \cdot z_g \right]$$

gdje je:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21\,000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8\,077 \text{ kN/cm}^2$$

Vrijednosti koeficijenta  $C_1$  i  $C_2$ :



Prema obliku dijagrama momenta savijanja za  $\psi = -0,593$ :

$$C_1 = 2,42 \quad C_2 = 0$$

Stoga vrijedi:

$$M_{cr} = 2,42 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 18\,630}{1200^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{27\,775\,000}{18\,630} + \frac{1200^2 \cdot 8\,077 \cdot 1\,650}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 18\,630}} \right]$$

$$M_{cr} = 4\,581\,603,28 \text{ kNcm} = 45\,816,03 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{10\,875,0 \cdot 46,0}{4\,581\,603,28}} = 0,330 < 0,4$$

→ EC3 ne zahtjeva provjeru elementa za bočno – torzijsko izvijanje

$$\overline{\lambda}_{LT} = 1,0$$

Otpornost elementa na savijanje:

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \cdot \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{10\,875,0 \cdot 46,0}{1,1} = 454\,772,73 \text{ kNcm} = 4\,547,73 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

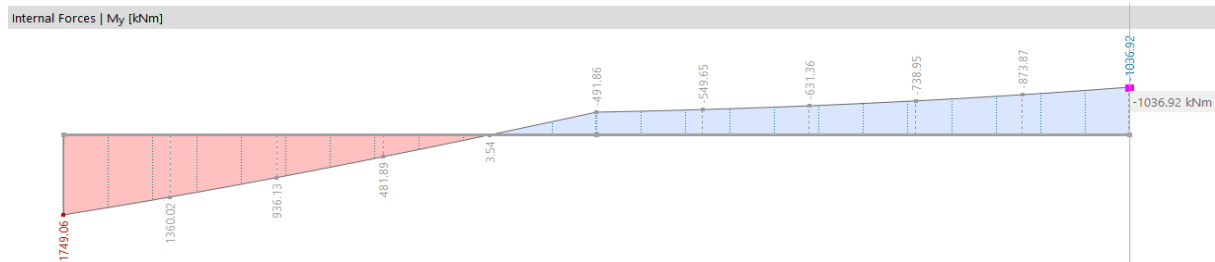
$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1\,749,06}{4\,547,73} = 0,38 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 38%.

- Interakcija M/N

Prema obliku dijagrama savijanja oko jače osi, koeficijent  $C_{my}$  iznosi:



$$\psi = -0,593$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,593) = 0,363 < 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,4$$

Interakcijski koeficijenti:

$$k_{yy} = C_{my} \left[ 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \leq C_{my} \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{yy} = 0,4 \left[ 1 + (0,186 - 0,2) \cdot \frac{8\,724,04}{16\,368,47} \right] \leq 0,4 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{8\,724,04}{16\,368,47} \right] k_{yy} = 0,397$$

$$< 0,571$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,397 = 0,238$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{8\,724,04}{16\,368,47} + 0,397 \cdot \frac{1\,749,06}{4\,547,73} = 0,69 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 69%.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{8\,724,04}{12\,967,32} + 0,238 \cdot \frac{1\,749,06}{4\,547,73} = 0,76 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 76%.



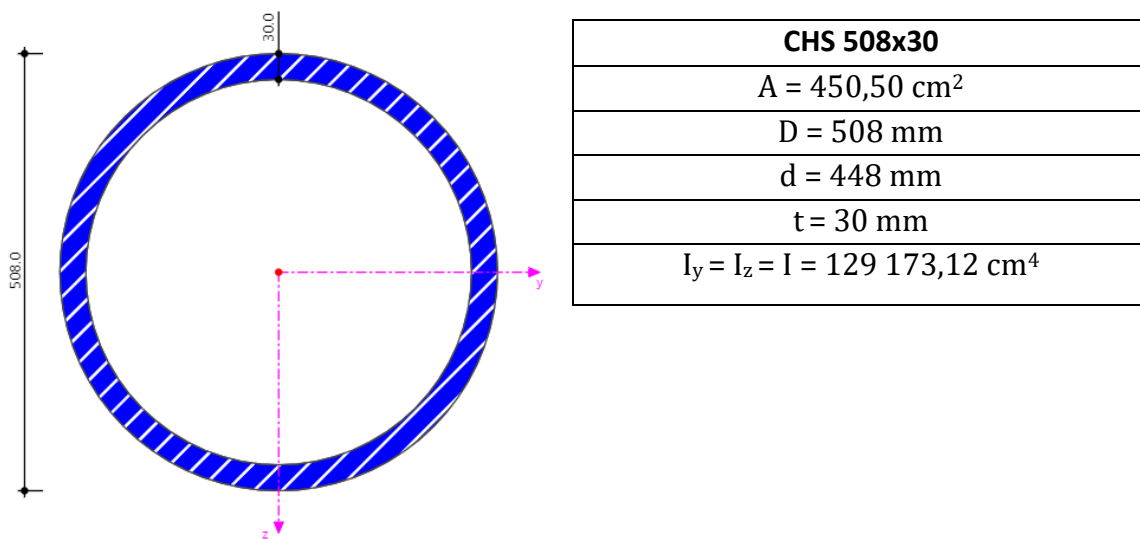
10.2.3.4 Granično stanje uporabljivosti

$$\delta_{\text{tot}} = 5,7 \text{ mm} > \frac{L}{250} = \frac{12\,000}{250} = 48 \text{ mm}$$

Uvjet je zadovoljen!

10.2.4 Dijagonale posmične jezgre

Tablica 53: Karakteristike CHS 508x30 profila



Tablica 54: Mjerodavni učinci djelovanja dijagonala posmične jezgre

	<b>max N vlak (272) CO3</b>	<b>max N tlak (271) CO3</b>
<b>N [kN]</b>	9 782,95	-10 532,60

10.2.4.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Uvjet za klasu I:

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2$$

$$\frac{d}{t} = \frac{508}{30} = 16,93$$

$$33,27 < 50 \cdot 0,81^2 = 32,81$$

Poprečni presjek je klase I.

#### 10.2.4.2 Otpornost poprečnog presjeka

- **Otpornost poprečnog presjeka na tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{450,50 \cdot 35,5}{1,0} = 15\,992,75 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{10\,532,60}{15\,992,75} = 0,66 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 66%.

- **Otpornost poprečnog presjeka na vlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{450,50 \cdot 35,5}{1,0} = 15\,992,75 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{9\,782,95}{15\,992,75} = 0,61 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 61%.

#### 10.2.4.3 Otpornost elementa

- **Otpornost elementa na izvijanje oko osi y i z**

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Kritična duljina:  $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 6,981 \text{ m}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 129\,173,12}{698,1^2} = 54\,935,86 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 450,50}{54\,935,86}} = 0,540$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja  $a_0$ :

$$\phi_y = \phi_z = \phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,13(0,540 - 0,2) + 0,540^2 \right]$$

$$\phi = 0,668$$

Faktor redukcije:

$$\chi_y = \chi_z = \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,668 + \sqrt{0,668^2 - 0,540^2}} = 0,943$$

Računska otpornost:

$$N_{b,y,Rd} = N_{b,z,Rd} = N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,943 \cdot \frac{450,50 \cdot 35,5}{1,1} = 13\,703,59 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{10\,532,60}{13\,703,59} = 0,77 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen!

### 10.2.5 Dijagonale potporne rešetke

Tablica 55: Mjerodavni učinci djelovanja dijagonala potpornih rešetki

	max N vlak (8930) CO3	max N tlak (8931) CO3
<b>N [kN]</b>	7 704,50	-7 167,56

#### 10.2.5.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \varepsilon^2$$

$$\frac{d}{t} = \frac{508}{30} = 16,93$$

$$33,27 < 50 \cdot 0,81^2 = 32,81$$

Poprečni presjek je klase 1.

#### 10.2.5.2 Otpornost poprečnog presjeka

- **Otpornost poprečnog presjeka na tlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{450,50 \cdot 35,5}{1,0} = 15\,992,75 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{7\,167,56}{15\,992,75} = 0,45 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 45%.

- **Otpornost poprečnog presjeka na vlak**

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{450,50 \cdot 35,5}{1,0} = 15\,992,75 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{7\,704,50}{15\,992,75} = 0,48 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 48%.

#### 10.2.5.3 Otpornost elementa

- **Otpornost elementa na izvijanje oko osi y i z**

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Kritična duljina:  $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 9,325 \text{ m}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,y} = N_{cr,z} = N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 129\,173,12}{932,5^2} = 30\,788,85 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 450,50}{30\,788,85}} = 0,721$$

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja  $a_0$ :

$$\phi_y = \phi_z = \phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,13(0,721 - 0,2) + 0,721^2 \right]$$

$$\phi = 0,794$$

Faktor redukcije:

$$\chi_y = \chi_z = \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,794 + \sqrt{0,794^2 - 0,721^2}} = 0,888$$

Računska otpornost:

$$N_{b,y,Rd} = N_{b,z,Rd} = N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,888 \cdot \frac{450,50 \cdot 35,5}{1,1} = 12\,910,51 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

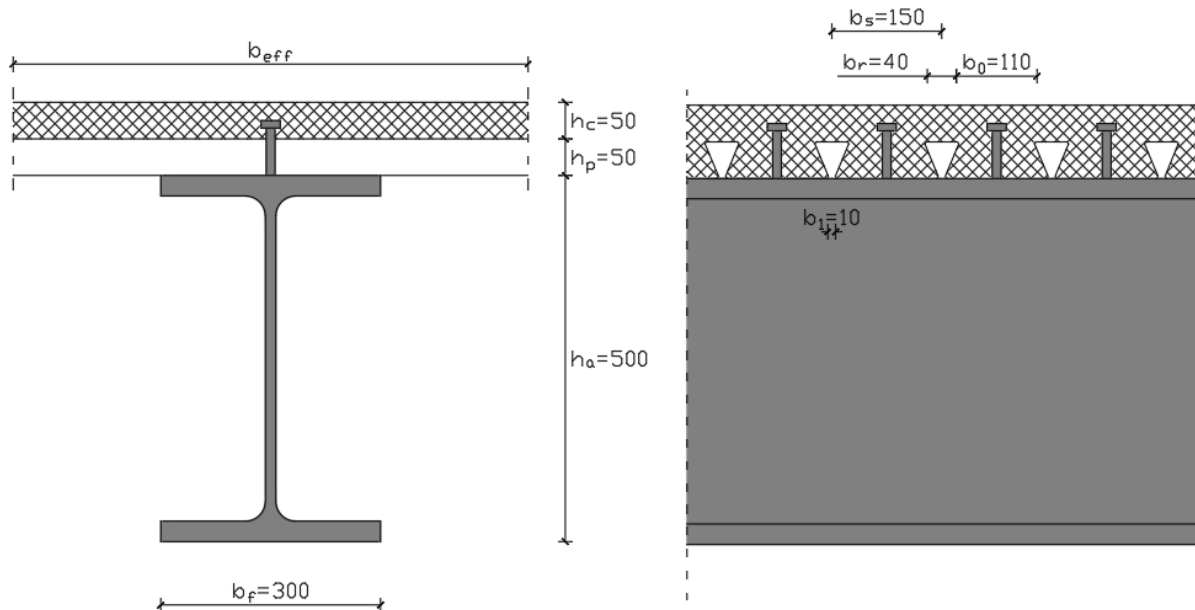
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{7\,704,5}{12\,910,51} = 0,60 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 60%.

### 10.2.6 Spregnuti nosač

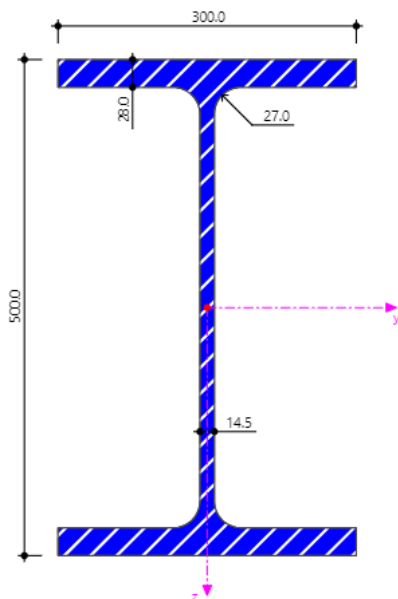
Proračun spregnutog nosača i spregnute ploče proveden je prema predavanjima na kolegiju Spregnute konstrukcije Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu [13] te prema knjigama *Projektiranje spregnutih konstrukcija prema Eurocode 4* [14] i *Primjeri proračuna spregnutih konstrukcija prema Eurocode 4*. [15].



Slika 29: Prikaz spregnutog nosača

Tablica 56: Karakteristike HE 500 B profila

**HE 500 B**



- $A = 238,60 \text{ cm}^2$
- $h = 500 \text{ mm}$
- $b = 300 \text{ mm}$
- $t_w = 14,5 \text{ mm}$
- $t_f = 28 \text{ mm}$
- $r = 27 \text{ mm}$
- $I_y = 107\,200 \text{ cm}^4$
- $W_{pl,y} = 4\,815,0 \text{ cm}^3$
- $I_z = 12\,620 \text{ cm}^4$
- $W_{pl,z} = 1\,292,0 \text{ cm}^3$
- $I_t = 538,40 \text{ cm}^4$
- $I_w = 7\,018\,000 \text{ cm}^6$

Statički sustav: prosta greda

Duljina: 12 m

Beton: 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm} = 33\,000 \text{ N/mm}^2$$

Armatura: B500B

$$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ N/mm}^2$$

Konstrukcijski čelik: S460

$$f_{yk} = 460 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{460}{1,0} = 460 \text{ N/mm}^2$$

$$E_a = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

Moždanici:

$$f_u = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$d = 22 \text{ mm}$$

$$h_{sc} = 80 \text{ mm}$$

#### 10.2.6.1 Djelovanja

##### 1. faza: IZVEDBA

Spregnuta betonska ploča:

$$g_{c,1} = 2,14 \text{ kN/m}^2$$

Profilirani čelični lim:

$$g_p = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

Čelični nosač (HE 500 B):

$$g_n = 0,31 \text{ kN/m}^2$$

**Ukupno:**

$$\Sigma g_{k,1} = 2,56 \text{ kN/m}^2$$

Servisno opterećenje:

$$q_{k,1} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

##### 2. faza: UPORABA

Spregnuta betonska ploča:

$$g_{c,2} = 2,10 \text{ kN/m}^2$$

Profilirani čelični lim:

$$g_p = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

Čelični nosač (HE 500 B):

$$g_n = 0,31 \text{ kN/m}^2$$

**Ukupno:**

$$\Sigma g_{k,2} = 2,52 \text{ kN/m}^2$$

Slojevi poda:

$$\Delta g = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Pregradni zidovi:

$$g_{preg.} = 0,70 \text{ kN/m}^2$$

Instalacije:

$$g_{inst.} = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

**Ukupno:**

$$\Sigma g_{k,3} = 2,7 \text{ kN/m}^2$$

Korisno opterećenje:

$$q_{k,2} = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

Čelični nosač se tijekom izvedbe ne podupire.

## 10.2.6.2 Faza izvedbe

- Proračunski učinci djelovanja

$$e_d = b \cdot (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) = 6,0 \cdot (1,35 \cdot 2,56 + 1,5 \cdot 0,75) = 27,49 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{27,49 \cdot 12^2}{8} = 494,82 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{e_d \cdot l}{2} = \frac{27,49 \cdot 12}{2} = 164,94 \text{ kN}$$

- Klasifikacija poprečnog presjek

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{460}} = 0,71$$

HRBAT

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{2}}{t_w} = \frac{\frac{500 - 2 \cdot 28,0 - 2 \cdot 27,0}{2}}{14,5} = 13,45$$

$$13,45 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,71 = 23,43 \quad \rightarrow \text{hrbat je klase 1}$$

POJASNICA

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{300 - 14,5 - 2 \cdot 27}{2}}{28} = 4,13$$

$$4,13 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,71 = 6,39 \quad \rightarrow \text{pojasnica je klase 1}$$

Profil HE 500 B je klase 1.

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{c,y,Rd} = M_{el,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,y,Rd} = M_{el,y,Rd} = \frac{4\,815,0 \cdot 46,0}{1,0} = 221\,490 \text{ kNcm} = 2\,214,9 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{c,y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} = \frac{494,82}{2\,214,9} = 0,22 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 22%.



- **Posmična otpornost poprečnog presjeka**

**U smjeru os z**

-Provjera izbočavanja hrpta na posmik

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$h_w = \frac{h - 2 \cdot t_f}{2} = \frac{500 - 2 \cdot 28,0}{2} = 222,0 \text{ mm}$$

$\eta = 1,20$  za valjane profile

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{222,0}{14,5} = 15,31 < 72 \cdot \frac{0,71}{1,20} = 42,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

-Posmična površina  $A_{v,z}$ :

$$A_{v,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{v,z} = 238,60 - 2 \cdot 30,0 \cdot 2,8 + (1,45 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,8 = 89,78 \text{ cm}^2$$

$$89,78 \text{ cm}^2 > 1,2 \cdot 22,2 \cdot 1,45 = 39,15 \text{ cm}^2$$

$$A_{v,z} = 89,78 \text{ cm}^2$$

-Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{89,78 \cdot (46,0 / \sqrt{3})}{1,0} = 2\,384,39 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{C,z,Rd}} = \frac{164,94}{2\,384,39} = 0,07 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 7%.

- **Interakcija M/V**

**Utjecaj posmične sile**

Smanjenja otpornosti poprečnog presjeka na uzdužnu silu i/ili moment savijanja nema ukoliko je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$V_{z,Ed} = 164,94 \text{ kN} < 0,5 \cdot 2 \ 384,39 = 1 \ 192,20 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen!

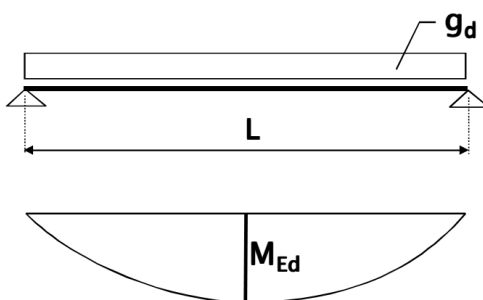
- **Otpornost elementa na savijanje**

Elastični kritični moment:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L_{cr})^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L_{cr})^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

Prema obliku momentnog dijagrama vrijednosti koeficijenta  $C_1$  i  $C_2$  iznose:

$$C_1 = 1,127 \quad C_2 = 0,454$$



Slika 30: Oblik momentnog dijagrama spregnutog nosača

Stoga vrijedi:

$$M_{cr} = 1,127 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21 \ 000 \cdot 12 \ 620}{1200^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{7 \ 018 \ 000}{12 \ 620} + \frac{1200^2 \cdot 8 \ 077 \cdot 538,40}{\pi^2 \cdot 21 \ 000 \cdot 12 \ 620} + (0,454 \cdot 25,0)^2} - 0,454 \cdot 25,0 \right]$$

$$M_{cr} = 90 \ 356,70 \text{ kNcm} = 903,57 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4\,815,0 \cdot 46,0}{90\,356,70}} = 1,566 < 0,4$$

→ EC3 zahtjeva provjeru elementa za bočno – torzijsko izvijanje

Pomoćna veličina za određivanje faktora redukcije:

→ za liniju izvijanja b:

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5[1 + 0,34(1,566 - 0,2) + 1,566^2] = 1,958$$

Faktor redukcije:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,859 + \sqrt{1,859^2 - 1,508^2}} = 0,319 > 1,0$$

Otpornost elementa na savijanje:

$$M_{b,Rd} = \lambda_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,319 \cdot \frac{4\,815,0 \cdot 46,0}{1,1} = 64\,262,09 \text{ kNcm} = 642,62 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{494,82}{642,62} = 0,77 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 77%.

### 10.2.6.3 Faza uporabe

- **Proračunski učinci djelovanja**

$$e_d = b \cdot (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) = 6,0 \cdot (1,35 \cdot 5,22 + 1,5 \cdot 3,0) = 69,28 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{69,28 \cdot 12^2}{8} = 1\,247,08 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{e_d \cdot l}{2} = \frac{69,28 \cdot 12}{2} = 415,68 \text{ kN}$$

- **Efektivna širina betonske pojasnice u polju**

$$b_{\text{eff}} = b_0 + b_{e1} + b_{e2}$$

$b_0 = 0$  – razmak moždanika (u poprečnom presjeku se planira staviti jedan red moždanika)

$$b_{e1} = b_{e2} = \frac{L_e}{8} = \frac{L}{8} = \frac{12,0}{8} = 1,50 \text{ m}$$

$$b_{\text{eff}} = 0 + 1,50 + 1,50 = 3,0 \text{ m} < b = 6,0 \text{ m}$$

- **Položaj neutralne osi**

Ako je  $N_{c,f} > N_{pl,a}$ , plastična neutralna os se nalazi u betonskoj pojasnici:

$$b_{\text{eff}} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} > A_a \cdot f_{yd}$$

$$300 \cdot 5 \cdot 0,85 \cdot 2,0 = 2\,550 \text{ kN} < 238,60 \cdot 46,0 = 10\,975,6 \text{ kN}$$

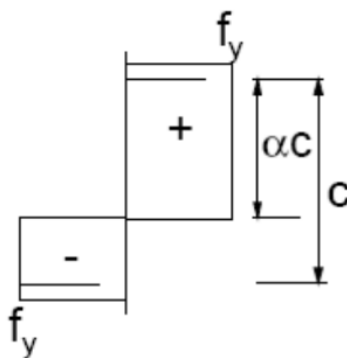
Plastična neutralna os ne nalazi se u betonskoj pojasnici.

Pretpostavka da se neutralna os nalazi u hrptu čeličnog nosača:

$$x_{pl} = h_c + h_p + t_f + \frac{A_a - 2 \cdot b \cdot t_f}{2 \cdot t_w} - \frac{b_{\text{eff}} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}}{2 \cdot t_w \cdot f_{yd}}$$

$$x_{pl} = 5,0 + 5,0 + 2,8 + \frac{238,6 - 2 \cdot 30,0 \cdot 2,8}{2 \cdot 1,45} - \frac{300 \cdot 5 \cdot 0,85 \cdot 2,0}{2 \cdot 1,45 \cdot 46,0} = 18,03 \text{ cm}$$

- **Klasifikacija poprečnog presjeka**



Slika 31: Raspored naprezanja hrpta poprečnog presjeka

### HRBAT

$$c = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 814 - 2 \cdot 40 - 2 \cdot 30 = 674 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 21 \text{ mm}$$

Uvjet za 1. klasu:

$$\alpha = \frac{c_c}{c} = \frac{264,4}{674} = 0,392$$

$$\frac{c}{t_w} \leq \frac{36 \cdot \varepsilon}{\alpha}$$

$$32,10 < 64,20$$

Hrbat je klase 1.

### POJASNICA

Pojasnica je klase 1 u fazi izvedbe te je također klase 1 i u spregnutom stanju.

Spregnuti poprečni presjek je klase 1.

- **Plastični moment otpornosti**

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot \left( z + h_p \cdot \frac{h_c}{2} \right) - t_w \cdot f_{yd} \cdot (x_{pl} - h_c - h_p - t_f)(x_{pl} + h_p + t_f) - b \cdot t_f \cdot f_{yd}(h_c + 2h_p + t_f)$$

$$M_{pl,Rd} = 238,6 \cdot 46,0 \cdot \left( 18,03 + 5 \cdot \frac{5}{2} \right) - 1,45 \cdot 46 \cdot (18,03 - 5 - 5 - 2,8)(18,03 + 5 + 2,8) - 30,0 \cdot 2,8 \cdot 46 \cdot (5 + 2 \cdot 5 + 2,8)$$

$$M_{pl,Rd} = 257\,295,31 \text{ kNcm} = 2\,572,95 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1\,247,08}{2\,572,95} = 0,48 < 1,0$$

Uvjet je zadovoljen uz iskoristivost od 48%.

- **Otpornost poprečnog presjeka na posmik**

Dokaz:

$$V_{Ed} < V_{pl,Rd} = 164,94 \text{ kN} < 2\,384,39 \text{ kN}$$

Dokaz u svrhu osiguranja od pojave izbočavanja:

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$15,31 < 742,6$$

Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

#### 10.2.6.4 Proračunska otpornost i raspored moždanika

- **Otkazivanje preko moždanika**

$$P_{Rd}^s = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4}{\gamma_{Vc}} = \frac{0,8 \cdot 45 \cdot \pi \cdot 2,2^2 / 4}{1,25} = 110 \text{ kN}$$

- **Otkazivanje preko betona**

$$P_{Rd}^c = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_{Vc}}$$

$\alpha$  – faktor korekcije, uzima u obzir omjere vitkosti moždanika

$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{80}{25} = 3,64 < 4 \rightarrow \alpha = 0,2 \cdot \left( \frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) = 0,2 \cdot \left( \frac{80}{22} + 1 \right) = 0,927$$

$$P_{Rd}^c = \frac{0,29 \cdot 0,927 \cdot 2,2^2 \sqrt{3,0 \cdot 3300}}{1,5} = 86,31 \text{ kN}$$

- **Faktor redukcije,  $k_t$**

$$P_{t,Rd} = k_t \cdot \min(P_{Rd}^s; P_{Rd}^c)$$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left( \frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq k_{t,max}$$

za  $n_r = 1$  (broj moždanikaza jedno rebro);  $b_0 = 11 \text{ cm}$ ;  $h_p = 5 \text{ cm}$ ;  $h_{sc} = 8 \text{ cm}$ ;  $d = 22 \text{ cm}$ ;  $t_{lim} = 0,85 \text{ mm} \rightarrow k_{t,max} = 0,75$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{11}{5} \cdot \left( \frac{8}{5} - 1 \right) = 0,924 < k_{t,max} = 0,75 \rightarrow k_t = 0,75$$

$$P_{t,Rd} = 0,75 \cdot \min(110; 86,31) = 0,75 \cdot 86,33 = 64,73 \text{ kN}$$

- **Potreban broj moždanika**

$$n_s = \frac{N_{cf}}{P_{t,Rd}} = \frac{b_{eff} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}}{P_{t,Rd}} = \frac{300 \cdot 5 \cdot 0,85 \cdot 2,0}{64,73} = 39,39 \sim 40 \text{ moždanika}$$

- **Broj rebra uzduž nosača**

$$n_r = \frac{L}{b_s} = \frac{12\,000}{150} = 80$$

$$n_r \text{ (za } L/2) = 40 = n_s = 40$$

Za svako rebro profiliranog lima uzduž nosača se postavlja po jedan moždanik.

### 10.2.6.5 Provjera na uzdužni posmik betonske pojasnice

- **Provjera poprečne armature na os nosača**

Kad je betonska ploča u tlaku, uzdužni posmični tok može se odrediti kao:

$$v_{L,Ed} = \frac{V_{L,Ed}}{2 \cdot h_f \cdot a_v}$$

Razmatra se središnje područje nosača, odnosno područje pozitivnog momenta:

$$h_f = h_c = 50 \text{ mm}$$

$$a_v = \frac{L}{2} = 6000 \text{ mm} - \text{kritična duljina, tj. udaljenost od ležaja do položaja max. mom.}$$

$$V_{L,Ed} = \min(N_{Pl,a}; N_c; \sum P_{Rd})$$

$$V_{L,Ed} = \min(10\,975,6; 2\,550; 2\,590) - \text{računska uzd. posmična sila u bet. pojasnici}$$

$$V_{L,Ed} = N_{cf} = 2\,550 \text{ kN}$$

$$v_{L,Ed} = \frac{V_{L,Ed}}{2 \cdot h_f \cdot a_v} = \frac{2\,550\,000}{2 \cdot 50 \cdot 6\,000} = 4,25 \text{ N/mm}^2$$

$$A_t \geq \frac{v_{L,Ed}}{f_{sd}} \cdot \frac{h_f}{\cot\theta}$$

$$\frac{v_{L,Ed}}{f_{sd}} \cdot \frac{h_f}{\cot\theta} = \frac{4,25}{435} \cdot \frac{50}{\cot 45} \cdot 10^3 = 488,51 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Odabrana je armatura  $\phi 10/150$  mm.

$$\frac{A_{sf}}{s_f} = A_t = \frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{1000}{150} = 523,59 \text{ mm}^2/\text{m} > 488,51 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Zahtjev minimalne armature izražen preko udjela površine betonskog presjeka:

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08\sqrt{f_{ck}}}{f_{y,rk}} = \frac{0,08\sqrt{30}}{500} = 0,000876$$

$$A_c = h_c \cdot b = 50 \cdot 1000 = 50\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = \rho_{w,min} \cdot A_c = 0,000876 \cdot 50\,000 = 43,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{prov} = 523,59 \text{ mm}^2 > A_{s,min} = 43,8 \text{ mm}^2 \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

- **Slom betonske pojasnice**

Slijedeći uvjet treba biti zadovoljen za izbjegavanje sloma betonskih tlačnih dijagonala:

$$v_{L,Ed} \leq v_{Rd}$$

$$v_{L,Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta \quad \text{gdje je:}$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$v_{Rd} = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ = 6,72 \text{ N/m}^2$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{v_{L,Ed}}{v_{Rd}} = \frac{4,25}{6,72} = 0,63 < 1,0 \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$



## 10.2.6.6 Granično stanje uporabljivosti

- **Faza izvedbe**

Granične vrijednosti progiba iznose:

$$\delta_G \leq \frac{L}{250} \qquad \delta_Q \leq \frac{L}{300}$$

Progib zbog stalnog i promijenjivog djelovanja

$$e_d = b \cdot (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) = 6,0 \cdot (1,0 \cdot 2,56 + 1,0 \cdot 0,75) = 19,86 \text{ kN/m}$$

$$E_a I_a = 225\,120 \text{ kNm}^2$$

$$\delta_{\text{tot}} = \frac{5 \cdot e_d \cdot L^4}{384 \cdot E_a I_a}$$

$$\delta_{\text{tot}} = \frac{5 \cdot 19,86 \cdot 12^4}{384 \cdot 225\,120}$$

$$\delta_{\text{tot}} = 0,0238 \text{ m}$$

$$\delta_{\text{tot}} = 23,82 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{12\,000}{250} = 48,0 \text{ mm}$$

Uvjet je zadovoljen!

Progib zbog korisnog djelovanja

$$e_d = b \cdot (\gamma_Q \cdot q_{k,1}) = 6,0 \cdot (1,0 \cdot 0,75) = 4,5 \text{ kN/m}$$

$$E_a I_a = 225\,120 \text{ kNm}^2$$

$$\delta_{\text{var}} = \frac{5 \cdot e_d \cdot L^4}{384 \cdot E_a I_a}$$

$$\delta_{\text{var}} = \frac{5 \cdot 4,5 \cdot 12^4}{384 \cdot 225\,120}$$

$$\delta_{\text{var}} = 5,40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta_{\text{var}} = 5,40 \text{ mm} < \frac{L}{300} = \frac{12\,000}{300} = 40,0 \text{ mm}$$

Uvjet je zadovoljen!

- **Faza uporabe**

- Proračun koeficijenta puzanja

$$\delta_{\text{tot}} = \frac{2A_c}{u} = \frac{b \cdot h_c}{b} = h_c = 50,0 \text{ mm}$$

Za relativnu vlažnost RH 50%, razred betona C30/35 i razred cementa S, koeficijet puzanja:

$$\varphi_t = \varphi(\infty, t_0 = 1 \text{ dan}) = 4,9$$

$$\varphi_t = \varphi(\infty, t_0 = 28 \text{ dana}) = 2,8$$

- Efektivna krutost spregnutog presjeka

$$EI = E_a \cdot I_a + E_L \cdot I_c + \frac{E_a \cdot I_a \cdot E_L \cdot I_c}{E_a \cdot I_a + E_L \cdot I_c} \cdot a^2$$

Kratkotrajno opterećenje

$$E_a = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I_a = 107\,200 \text{ cm}^4$$

$$A_a = 238,60 \text{ cm}^2$$

$$I_c = \frac{b_{\text{eff}} \cdot h_c^3}{12} = \frac{210 \cdot 5^3}{12} = 2\,187,5 \text{ cm}^4$$

$$A_c = b_{\text{eff}} \cdot h_c = 210 \cdot 5 = 1\,050 \text{ cm}^2$$

- Udaljenost težišne osi betonske pojasnice i čeličnog nosača

$$a = \frac{h_a}{2} + h_p + \frac{h_c}{2} = \frac{50,0}{2} + 5 + \frac{5}{2} = 32,5 \text{ cm}$$

$$n_c = 1$$

$$E_0 = \frac{E_{\text{cm}}}{n_c} = \frac{3\,300}{1,0} = 3\,300 \text{ kN/cm}^2$$

$$EI_0 = 21\,000 \cdot 107\,200 + 3\,300 \cdot 2\,187,5 + \frac{21\,000 \cdot 238,6 \cdot 3\,300 \cdot 1\,050}{21\,000 \cdot 238,6 + 3\,300 \cdot 1\,050} \cdot 32,5^2$$

$$EI_0 = 4\,422\,079\,878 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 442\,207,99 \text{ kN/m}^2$$

Konstantno stalno opterećenje

$$n_c = 1 + 1,10 \varphi \cdot (\infty, t_0) = 1 + 1,10 \cdot 2,8 = 4,08$$

$$E_p = \frac{E_{cm}}{n_c} = \frac{3\,300}{4,08} = 809 \text{ kN/cm}^2$$

$$EI_p = 21\,000 \cdot 107\,200 + 809 \cdot 2\,187,5 + \frac{21\,000 \cdot 238,6 \cdot 809 \cdot 1\,050}{21\,000 \cdot 238,6 + 809 \cdot 1\,050} \cdot 32,5^2$$

$$EI_p = 3\,020\,142\,061 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 302\,014,21 \text{ kN/m}^2$$

### Sekundarni učinci zbog skupljanja

$$n_c = 1 + 1,10 \varphi \cdot (\infty, t_0) = 1 + 0,55 \cdot 4,9 = 3,70$$

$$E_s = \frac{E_{cm}}{n_c} = \frac{3\,300}{3,70} = 892 \text{ kN/cm}^2$$

$$EI_s = 21\,000 \cdot 107\,200 + 892 \cdot 2\,187,5 + \frac{21\,000 \cdot 238,6 \cdot 892 \cdot 1\,050}{21\,000 \cdot 238,6 + 892 \cdot 1\,050} \cdot 32,5^2$$

$$EI_s = 3\,086\,636\,782 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 308\,663,68 \text{ kN/m}^2$$

### **- Proračun pojedinih udjela progiba**

*Stalno djelovanje - progib neposredno nakon betoniranja:*

$$e_d = b \cdot g_{k,1} = 6,0 \cdot 3,29 = 19,74 \text{ kN/m}$$

$$E_a I_a = 225\,120 \text{ kNm}^2$$

$$\delta_{1,1} = \frac{5 \cdot e_d \cdot L^4}{384 \cdot E_a I_a}$$

$$\delta_{1,1} = \frac{5 \cdot 19,74 \cdot 12^4}{384 \cdot 225\,120} = 0,02368 \text{ m}$$

$$\delta_{1,1} = 23,68 \text{ mm}$$

*Progib odmah nakon završetka izvođenja spregnutog nosača – t = 0 (prvo opterećenje):*

$$e_d = b \cdot g_{k,3} = 6,0 \cdot 2,7 = 16,2 \text{ kN/m}$$

$$EI_0 = 442\,207,99 \text{ kNm}^2$$

$$\delta_{1,2} = \frac{5 \cdot e_d \cdot L^4}{384 \cdot E_a I_a}$$

$$\delta_{1,2} = \frac{5 \cdot 16,2 \cdot 12^4}{384 \cdot 442\,207,99} = 9,89 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta_{1,2} = 9,89 \text{ mm}$$

*Progib za čestu kombinaciju promjenjivog djelovanja, za kategoriju B, koef.  $\Psi = 0,5$ ,  $t = 0$ :*

$$e_d = b \cdot \Psi_1 \cdot g_{k,2} = 6,0 \cdot 0,5 \cdot 3,0 = 9,0 \text{ kN/m}$$

$$EI_0 = 442\,207,99 \text{ kNm}^2$$

$$\delta_{2,1} = \frac{5 \cdot e_d \cdot L^4}{384 \cdot E_a I_a}$$

$$\delta_{2,1} = \frac{5 \cdot 9,0 \cdot 12^4}{384 \cdot 442\,207,99} = 5,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta_{2,1} = 5,49 \text{ mm}$$

*Progib uslijed puzanja pri nazovistalnoj kombinaciji:*

$$e_d = b \cdot (g_{k,3} + \Psi_2 \cdot g_{k,2}) = 6,0 \cdot (2,7 + 0,3 \cdot 0,3) = 16,74 \text{ kN/m}$$

-progib zbog puzanja u vremenu:

$$EI_p = 302\,014,21 \text{ kNm}^2$$

$$\delta_a = \frac{5 \cdot e_d \cdot L^4}{384 \cdot E_a I_a}$$

$$\delta_a = \frac{5 \cdot 16,74 \cdot 12^4}{384 \cdot 302\,014,21} = 0,0149 \text{ m}$$

$$\delta_a = 14,9 \text{ mm}$$

-progib uslijed tijekom prvog opterećenja:

$$EI_0 = 442\,207,99 \text{ kNm}^2$$

$$\delta_a = \frac{5 \cdot e_d \cdot L^4}{384 \cdot E_a I_a}$$

$$\delta_a = \frac{5 \cdot 16,74 \cdot 12^4}{384 \cdot 442\,207,99} = 0,010 \text{ m}$$

$$\delta_a = 10,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{2,2} = \delta_a - \delta_b = 14,9 - 10,0 = 4,9 \text{ mm}$$

*Progib zbog skupljanja:*

$$N_{cs} = \varepsilon(\infty) \cdot E_s \cdot A_c = 4,15 \cdot 10^{-4} \cdot 892 \cdot 210 \cdot 5 = 389 \text{ kN}$$

$$a_c = \frac{E_a \cdot A_a}{E_a \cdot A_a + E_s \cdot A_s} \cdot a = \frac{21\,000 \cdot 404}{21\,000 \cdot 404 + 892 \cdot 1\,050} \cdot 18,2 = 16,39 \text{ cm}$$

$$M_{cs} = N_{cs} \cdot a_c = 389 \cdot 16,39 = 6\,375,92 = 63,76 \text{ kNm}$$

$$EI_s = 308\,663,68 \text{ kNm}^2$$

$$\delta_{2,3} = \frac{1}{8} \frac{M_{cs} \cdot L^2}{EI_s}$$

$$\delta_{2,3} = \frac{1}{8} \frac{63,76 \cdot 12^2}{308\,663,68} = 3,72 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta_{2,3} = 3,72 \text{ mm}$$

Progib od stalnog opterećenja

$$\delta_1 = \sum \delta_{1,i} = 23,68 + 9,89 = 33,57 \text{ mm}$$

Progib od korisnog opterećenja, puzanja i skupljanja

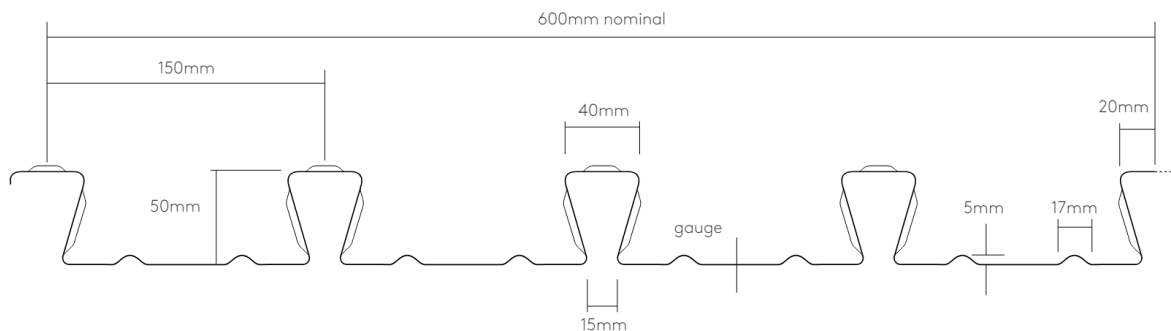
$$\delta_2 = \sum \delta_{2,i} = 5,49 + 4,97 + 3,72 = 14,18 \text{ mm}$$

### Ukupan progib uslijed svih djelovanja

$$\delta_{\text{tot}} = \delta_1 + \delta_2 = 33,57 + 14,18 = 47,75 \text{ mm} < L/250 = 12\ 000/250 = 48 \text{ mm}$$

Ukupan progib zadovoljava uvjet graničnog progiba!

### 10.2.7 Spregnuta ploča



Slika 32. Profilirani čelični lim (Izvor: [12])

Beton: 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$0,85 \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 20 = 17 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm} = 33\ 000 \text{ N/mm}^2$$

Armatura: B500B

$$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ N/mm}^2$$

Profilirani lim:

$$t = 0,85 \text{ mm}$$

$$h_p = 50 \text{ mm}$$

$$A_p = A_{pe} = 14,18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I_p = 56,58 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$E_p = E_a = 210\ 000 \text{ N/mm}^2/\text{m}$$

$$f_{yp,k} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yp,d} = \frac{f_{yp,k}}{\gamma_M} = \frac{450}{1,0} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Plastični moment otpora:

$$M_{pa,rk} = 450 \text{ kNm/m}$$

Moment otpornosti:

$$M_{Rk}^+ = 6,47 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Rk}^- = 6,30 \text{ kNm/m}$$

Vrijednosti otpornosti profiliranog čeličnog lima propisane su od strane proizvođača [12].

#### 10.2.7.1 Djelovanja

##### 1. faza: IZVEDBA

Spregnuta betonska ploča:

$$g_{c,1} = 2,14 \text{ kN/m}^2$$

Profilirani čelični lim:

$$g_p = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

**Ukupno:**

$$\Sigma g_k = 2,25 \text{ kN/m}^2$$

Servisno opterećenje:

$$s_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

##### 2. faza: UPORABA

Spregnuta betonska ploča:

$$g_{c,1} = 2,10 \text{ kN/m}^2$$

Profilirani čelični lim:

$$g_p = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

Slojevi poda:

$$\Delta g = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Pregradni zidovi:

$$g_{preg.} = 0,70 \text{ kN/m}^2$$

Instalacije:

$$g_{inst.} = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

**Ukupno:**

$$\Sigma g_k = 4,91 \text{ kN/m}^2$$

Korisno opterećenje:

$$q = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

#### 10.2.7.2 Zahtjevana debljina ploče i minimalna armatura

Ukupna visina spregnute ploče:

$$h > 80 \text{ mm} \rightarrow h = 100 \text{ mm (zadovoljeno)}$$

Debljina betonske pojasnice iznad gornje točke profiliranog lima:

$$h_c > 40 \text{ mm} \rightarrow h_c = 50 \text{ mm (zadovoljeno)}$$

Omjer širine rebara profiliranog lima i razmaku rebara:

$$\frac{b_r}{b_s} \leq 0,6 \rightarrow \frac{40}{150} = 0,27 < 0,6 \text{ (zadovoljeno)}$$

Minimalna armatura u oba smjera ne bi smjela biti manja od:

$$A_{s,min} = 80 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,\min} = 0,004 \cdot h_c \cdot b = 0,004 \cdot 50 \cdot 1\,000 = 200 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Pretpostavka:  $\phi 10 / 15 \text{ cm}$

$$A_s = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \frac{1\,000}{150} = 523,60 \text{ mm}^2/\text{m} > A_{\min}$$

Razmak šipki armature:

$$e = 150 \text{ mm} < 2 \cdot h = 2 \cdot 100 = 200 \text{ mm ili } < 350 \text{ mm (zadovoljeno)}$$

### 10.2.7.3 Dužine oslanjanja i preklapanja limova

Minimalna duljina oslanjanja profiliranog lima na čelični ležaj iznosi  $l_{bs}=50 \text{ mm}$ . Ovaj uvjet je zadovoljen jer gornja pojasnica profila na koji se spregnuta ploča oslanja šira od zahtjevanih 50 mm ( $b_f = 300 \text{ mm}$ )

### 10.2.7.4 Faza izvedbe

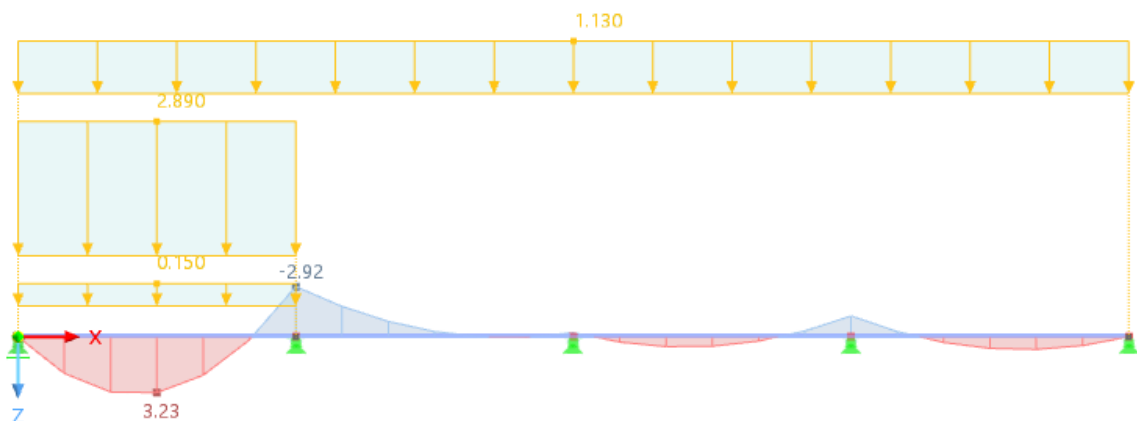
U fazi izvedbe profilirani čelični lim ima ulogu oplata i nosi vlastitu težinu, težinu svježeg betona te servisno opterećenje.

#### Maksimalni pozitivni moment savijanja:

$$e_{d,p} = \gamma_G \cdot q_{pk} = 1,35 \cdot 0,11 = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,c} = \gamma_G \cdot q_{ck} = 1,35 \cdot 2,14 = 2,89 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,s} = \gamma_Q \cdot s_k = 1,35 \cdot 0,75 = 1,13 \text{ kN/m}^2$$



Slika 33: Momentni dijagram nosača za fazu izvedbe (maksimalan pozitivan moment)

Dokaz pouzdanosti provodi se u skladu s EN 1993-1-3:



$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}} = \frac{6,47}{1,0} = 6,47 \text{ kNm/m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} < 1,0$$

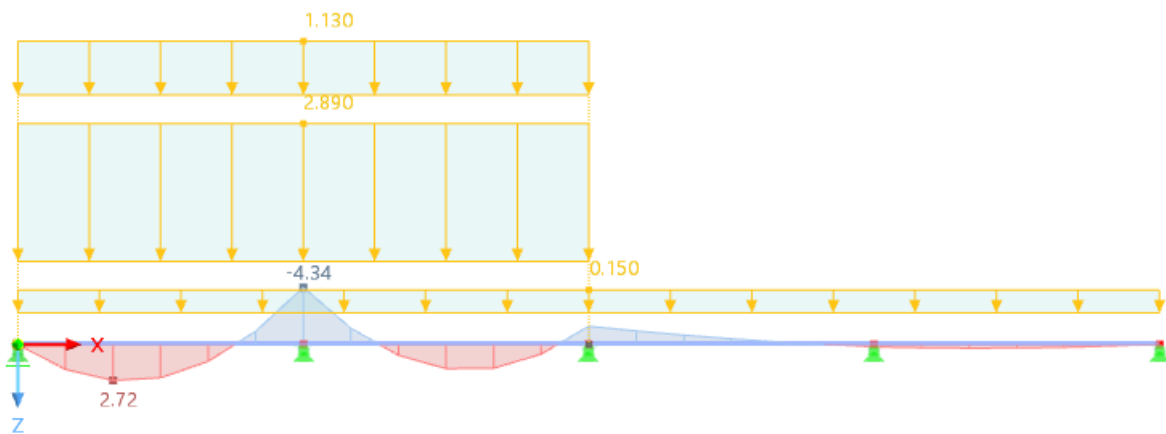
$$\frac{3,23}{6,47} = 0,50 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

#### Maksimalni negativni moment savijanja:

$$e_{d,p} = \gamma_G \cdot q_{pk} = 1,35 \cdot 0,11 = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,c} = \gamma_G \cdot q_{ck} = 1,35 \cdot 2,14 = 2,89 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,s} = \gamma_Q \cdot s_k = 1,35 \cdot 0,75 = 1,13 \text{ kN/m}^2$$



**Slika 34:** Momentni dijagram nosača za fazu izvedbe (maksimalan negativan moment)

Dokaz pouzdanosti provodi se u skladu s EN 1993-1-3:

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}} = \frac{6,30}{1,0} = 6,30 \text{ kNm/m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} < 1,0$$

$$\frac{4,34}{6,30} = 0,69 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

#### 10.2.7.5 Faza uporabe

Kontinuirana spregnuta ploča promatra se kao niz jednostavno oslonjenih nosača.

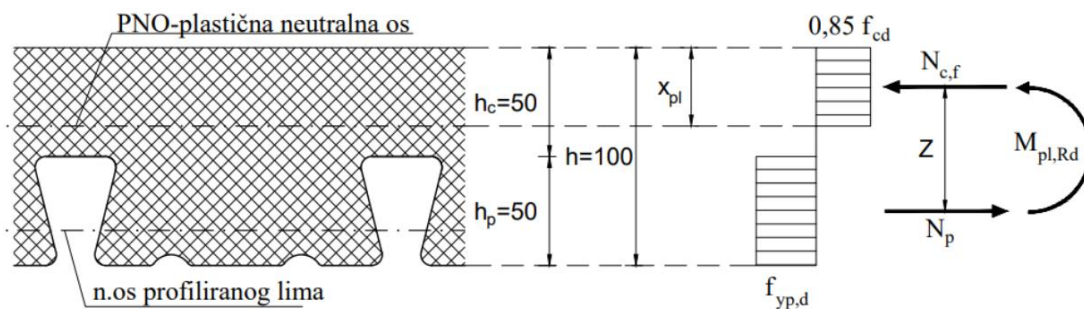
Raspon: 3 m

Proračunske vrijednosti unutarnjih sila:

$$M_{Ed} = \frac{(\gamma_G \cdot \sum g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot L^2}{8} = \frac{(1,35 \cdot 4,91 + 1,5 \cdot 3,0) \cdot 3,0^2}{8} = 12,52 \text{ kNm/m}$$

$$V_{Ed} = \frac{(\gamma_G \cdot \sum g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot L}{8} = \frac{(1,35 \cdot 4,91 + 1,5 \cdot 3,0) \cdot 3,0}{8} = 16,69 \text{ kN/m}$$

Pretpostavka: neutralna os nalazi iznad profiliranog čeličnog lima



Slika 35: Položaj neutralne osi i raspored naprezanja

Proračunska vrijednost uzdužne sile  $N_{cf}$  iznosi:

$$N_{cf} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot h_c \cdot b$$

$$N_{cf} = 0,85 \cdot 20 \cdot 50 \cdot 1\,000 \cdot 10^{-3} = 850 \text{ kN/m}$$

Proračunska vrijednost vlačne sile u profiliranom limu, koristeći karakteristike efektivne površine  $A_{pe}$  iznosi:

$$N_p = f_{yp,d} \cdot A_{pe}$$

$$N_p = 450 \cdot 1\,418 \cdot 10^{-3} = 638 \text{ kN/m}$$

Kako je  $N_p < N_{cf}$ , plastična neutralna os leži u betonskoj pojasnici. Proračunski moment otpornosti računa se prema raspodjeli naprezanja.

Položaj plastične neutralne osi u spregnutom presjeku  $x_{pl}$  je:

$$x_{pl} = \frac{A_p \cdot f_{yp,d}}{0,85 \cdot b \cdot f_{cd}}$$

$$x_{pl} = \frac{1\,418 \cdot 450}{0,85 \cdot 1\,000 \cdot 20} = 37,5 \text{ mm} < h_c = 50 \text{ mm}$$

Proračunski moment otpornosti  $M_{pl,Rd}$  računa se kao:

$$M_{pl,Rd} = \min(N_{c,f}, N_p) \cdot z$$

$$M_{pl,Rd} = N_p \cdot \left( d_p \cdot \frac{x_{pl}}{2} \right)$$

$$M_{pl,Rd} = 638 \cdot \left( 83,9 \cdot \frac{37,5}{2} \right) \cdot 10^{-3} = 41,56 \text{ kNm/m}$$

Uvjet pouzdanosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} < 1,0$$

$$\frac{12,52}{41,60} = 0,30 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Otpornost na uzdužni posmik:

Zahtijevana posmična duljina za puno sprezanje određuje se kao:

$$N_c = \tau_{u,Rd} \cdot b \cdot L_x \leq N_{c,f}$$

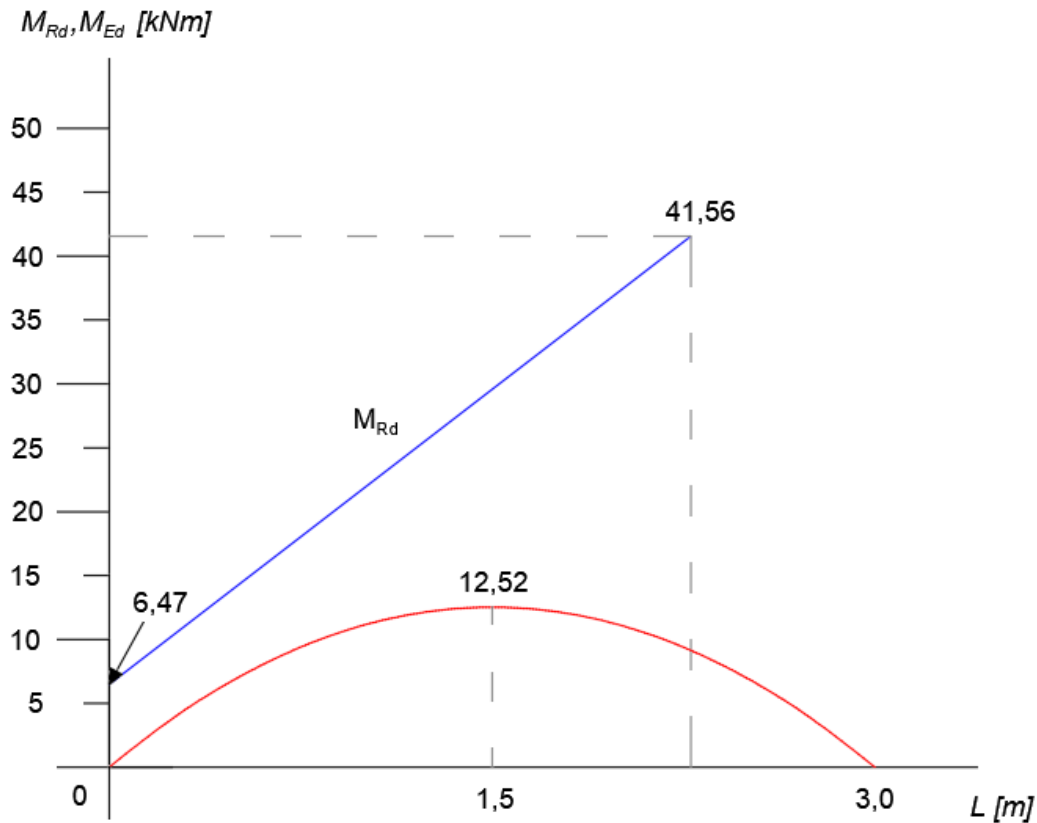
Proračunska posmična čvrstoća:

$$\tau_{u,Rd} = \frac{\tau_{u,Rk}}{\gamma_{vs}} = \frac{0,280}{1,0} = 0,280 \text{ N/mm}^2 < 1,0$$

Udaljenost do najbližeg ležaja  $L_x$ , za ostvarenje pune posmične veze:

$$L_x = \frac{N_c}{b \cdot \tau_{u,Rd}} = \frac{A_p \cdot f_{yd}}{b \cdot \tau_{u,Rd}}$$

$$L_x = \frac{1\,418 \cdot 450}{1\,000 \cdot 0,280} = 2\,279 \text{ mm} > \frac{L}{2} = 1\,500 \text{ mm}$$



Slika 36: Dokaz nosivosti na uzdužni posmik

Otpornost na vertikalni posmik:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_w \cdot d \geq v_{min} \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$V_{l,Rd} = l_{bs} \cdot \tau_{u,Rd} = 0,15 \cdot 280 = 42,0 \text{ kN/m}$$

Efektivna površina profiliranog lima:

$$A_{p*} = A_{pe} \cdot \frac{V_{l,Rd}}{A_{pe} \cdot f_{yd}} = \frac{V_{l,Rd}}{f_{yd}} = \frac{42,0}{45,0} = 0,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Statička visina spregnute ploče:

$$d = \frac{A_s \cdot f_{sd} \cdot e_s + A_{p*} \cdot f_{y,pd} \cdot (h_p + h_p - e)}{A_s \cdot f_{sd} + A_{p*} \cdot f_{y,pd}}$$

$$A_s = \frac{\phi 10}{16} = \frac{l^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{100}{16} = 4,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$d = \frac{4,91 \cdot 43,5 \cdot 2,5 + 0,93 \cdot 45,0 \cdot (5 + 5 - 1,61)}{4,91 \cdot 43,5 + 0,93 \cdot 45,0} = 3,5 \text{ cm}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_p}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{35,0}} = 3,39 > 2,00 \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d}$$

$$A_{s1} = A_s + A_{p*} = 4,91 + 0,93 = 5,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$b_w = (150 - 40) \cdot \frac{1000}{150} = 733 \text{ mm}$$

$$\rho_1 = \frac{584}{733 \cdot 35} = 0,0228 > 0,02 \rightarrow \rho_1 = 0,02$$

Proračunska vrijednost otpornosti na vertikalni posmik:

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2,00^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,542$$

$$v_{\min} \cdot b_w \cdot d = 0,542 \cdot 733 \cdot 35,0 = 13\,905 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,02 \cdot 30)^{1/3}] \cdot 733 \cdot 35,0 = 24\,105 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 24\,105 \text{ N} > v_{\min} \cdot b_w \cdot d = 13\,905 \text{ N}$$

Proračunska poprečna sila:

$$V_{z,Ed} = g_d \cdot (0,5 \cdot L - x - d) = 11,13 \cdot (0,5 \cdot 3 - 0,15 - 0,035) = 14,64 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} \leq 1,0$$

$$\frac{14,64}{24,11} = 0,61 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

#### 10.2.7.6 Granično stanje uporabljivosti

##### Provjera raspucalosti betona

Minimalna armatura protiv raspucavanja betona mora biti najmanje 0,4% poprečnog presjeka betona iznad čeličnog lima za nepoduprt način gradnje.

$$\min A_s = 0,004 \cdot b \cdot h_c = 0,004 \cdot 100 \cdot 5 = 2,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,\text{prov}} = \phi 10/16 = 4,91 \text{ cm}^2/\text{m} > \min A_s = 2,0 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Provjera veličine progiba

Ako su ispunjeni sljedeći uvjeti, proračun progiba se zanemaruje:

- za kontinuiranu gredu, omjer raspona i statičke visine treba biti:  
 $L \leq 26 d$  za krajnji raspon  
 $L \leq 30 d$  za unutarnji raspon
- uzdužni pomak između betona i čeličnog lima je manji od 0,5 mm kod 20% većeg opterećenja od uporabnog

$$L/d = 3\,000/83,9 = 36 > 26$$

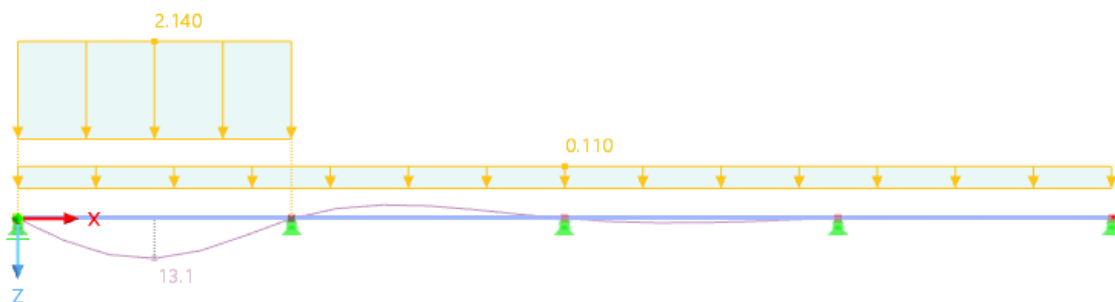
$$L/d = 3\,000/83,9 = 36 > 30$$

Omjer raspona i statičke visine prelazi granične vrijednosti te je potrebno provjeriti veličinu progiba.

### FAZA IZVEDBE

$$e_{d,p} = \gamma_G \cdot q_{pk} = 1,0 \cdot 0,11 = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,c} = \gamma_G \cdot q_{ck} = 1,0 \cdot 2,14 = 2,14 \text{ kN/m}^2$$



Slika 37: Deformacija za fazu izvedbe

Tijekom izvedbe, progib profiliranog lima ne smije biti veći od:

$$\delta_{\max} = L/180 \leq 2,0 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = 13,1 \text{ mm} < 3\,000/180 = 16,7 \text{ mm} \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

**FAZA UPORABE**

$$n = \frac{E_a}{E_{cm}/2} = \frac{210\,000}{33\,000/2} = 12,73$$

Krutost na savijanje za neraspucali beton:

$$b_{m1} = (150 - 40) \cdot \frac{1\,000}{150} = 733 \text{ mm}$$

$$b_{m2} = (150 - 15) \cdot \frac{1\,000}{150} = 900 \text{ mm}$$

$$b_m = \frac{b_{m1} + b_{m2}}{2} = \frac{733 + 900}{2} = 817 \text{ mm}$$

$$z_u = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h_c^2 + b_m \cdot h_p \cdot (h - 0,5 \cdot h_p) + n \cdot A_p \cdot d_p}{b \cdot h_c + b_m \cdot h_p + n \cdot A_p}$$

$$z_u = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{0,5 \cdot 100 \cdot 5^2 + 81,7 \cdot 5 \cdot (5 - 0,5 \cdot 5) + 12,73 \cdot 14,18 \cdot 8,39}{100 \cdot 5 + 81,7 \cdot 5 + 12,73 \cdot 14,18} = 5,35 \text{ cm}$$

Krutost na savijanje za neraspucali beton:

$$I_{eff,u} = \frac{b \cdot h_c^3}{12n} + \frac{b \cdot h_c}{n} \left( z_u - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{b_m \cdot h_p^3}{12n} + \frac{b_m \cdot h_p}{n} \left( h - z_u - \frac{h_p}{2} \right)^2 + A_p (d_p - z_u)^2 + I_p$$

$$I_{eff,u} = \frac{100 \cdot 5^3}{12 \cdot 12,73} + \frac{100 \cdot 5}{12,73} \left( 5,35 - \frac{5}{2} \right)^2 + \frac{81,7 \cdot 5^3}{12 \cdot 12,73} + \frac{81,7 \cdot 5}{12,73} \left( 10 - 5,35 - \frac{5}{2} \right)^2 + 14,18(8,39 - 5,35)^2 + 56,58$$

$$I_{eff,u} = 803,7 \text{ cm}^4/\text{m}$$

Krutost na savijanje za raspucali beton:

$$z_c = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{n \cdot A_p}{b} \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d_p}{n \cdot A_p}} - 1 \right)$$

$$z_c = \frac{12,73 \cdot 14,18}{100} \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 83,9}{12,73 \cdot 14,18}} - 1 \right) = 3,99 \text{ cm}$$

Krutost na savijanje za raspucali beton:

$$I_{\text{eff},c} = \frac{b \cdot z_c^3}{3n} + A_p(d_p - z_c)^2 + I_p$$

$$I_{\text{eff},c} = \frac{100 \cdot 3,99^3}{3 \cdot 12,73} + 14,18(8,39 - 3,99)^2 + 56,58 = 497,4 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{eff},u} + I_{\text{eff},c}}{2} = \frac{803,7 + 497,4}{2} = 650,6 \text{ cm}^4/\text{m}$$

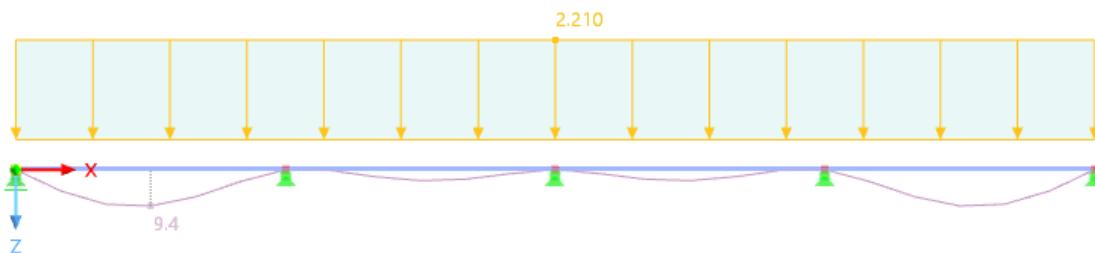
Progib za korisno opterećenje:

$$\delta_p = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E_a \cdot I_{\text{eff}}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,03 \cdot 3,0^4}{21\,000 \cdot 650,6} = 0,23 \text{ cm}$$

$$\delta_p = 0,23 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{300}{300} = 1,0 \text{ cm} \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

Progib za stalno opterećenje:

$$e_d = \gamma_G \cdot g_{pk} = 1,0 \cdot 2,21 = 2,21 \text{ kN/m}^2$$



Slika 38: Deformacija za konačno stanje

$$\delta_g = 0,94 \text{ cm} < \frac{L}{180} = \frac{300}{180} = 1,7 \text{ cm} \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

Ukupan progib:

$$\delta_{\text{max}} = \delta_g + \delta_p = 0,94 + 0,23 = 1,10 \text{ cm}$$

$$1,17 \text{ cm} < L/250 = 300/250 = 1,2 \text{ cm} \quad \text{Uvjet je zadovoljen!}$$

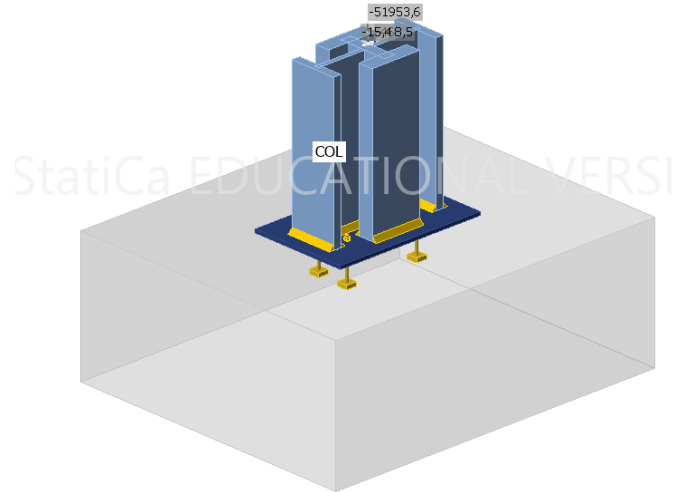
Gраниčni stanje uporabljivosti je zadovoljeno!

Usvojena spregnuta ploča je Multideck 50, d = 10 cm.



## 10.3 Dimenzionirajte priključake elemenata

### 10.3.1 Priključak temeljne stope obodnog stupa



Slika 39: Priključak temeljne stope obodnog stupa

#### Members

##### Geometry

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
COL	6 - HL 920x725 + HD 400x1299(General)	0.0	90.0	0.0	0	0	0

#### Cross-sections

Name	Material
6 - HL 920x725 + HD 400x1299(General)	S 460 M/ML, S 460 M/ML, S 460 M/ML

#### Anchors

Name	Diameter [mm]	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M27 8.8	27	640.0	800.0	573

#### Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	COL / End	-51953.6	-468.5	-15.4	0.0	0.0	0.0

**Foundation block**

Item	Value	Unit
<b>CB 1</b>		
Dimensions	3200 x 2700	mm
Depth	1200	mm
Anchor	M27 8.8	
Anchoring length	300	mm
Shear force transfer	Friction	

**Summary**

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.6 < 5.0%	OK
Anchors	0.0 < 100%	OK
Welds	99.4 < 100%	OK
Concrete block	95.8 < 100%	OK
Shear	3.6 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

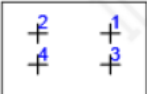
**Plates**

Name	Material	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
COL-bfl 1	S 460 M/ML	140.0	LE1	205.8	0.0	0.0	OK
COL-tfl 1	S 460 M/ML	140.0	LE1	206.4	0.0	0.0	OK
COL-w 1	S 460 M/ML	100.0	LE1	193.6	0.0	0.0	OK
COL-tfl 2	S 460 M/ML	73.9	LE1	347.9	0.0	0.0	OK
COL-w 2	S 460 M/ML	40.9	LE1	385.5	0.0	0.0	OK
COL-tfl 3	S 460 M/ML	73.9	LE1	348.3	0.0	0.0	OK
COL-w 3	S 460 M/ML	40.9	LE1	365.0	0.0	0.0	OK
BP1	S 355	30.0	LE1	356.2	0.6	0.0	OK

**Design data**

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 460 M/ML	430.0	5.0
S 355	355.0	5.0

**Anchors**

Shape	Item	Loads	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$N_{Rd,p}$ [kN]	$V_{Rd,cp}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	A1	LE1	0.0	0.0	3535.3	1386.6	0.0	0.0	0.0	OK
	A2	LE1	0.0	0.1	3535.3	1386.6	0.0	0.0	0.0	OK
	A3	LE1	0.0	0.0	3535.3	1386.6	0.0	0.0	0.0	OK
	A4	LE1	0.0	0.1	3535.3	1386.6	0.0	0.0	0.0	OK

Design data

Grade	$N_{Rd,s}$ [kN]	$V_{Rd,s}$ [kN]
M27 8.8 - 1	208.1	146.9

Welds

Item	Edge	$T_w$ [mm]	L [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	Ut [%]	Ut <sub>c</sub> [%]	Status
BP1	COL-bfl 1	▲ 30.0 ▼	476	LE1	503.0	2.4	-249.4	-245.7	56.9	99.0	99.0	OK
		▲ 30.0 ▼	475	LE1	505.3	3.6	-247.2	249.8	-48.5	99.4	99.4	OK
BP1	COL-tfl 1	▲ 30.0 ▼	475	LE1	505.4	3.6	-247.0	-249.9	48.5	99.4	99.4	OK
		▲ 30.0 ▼	476	LE1	503.0	2.4	-249.7	245.6	-56.8	99.0	99.0	OK
BP1	COL-w 1	▲ 30.0 ▼	459	LE1	486.0	0.0	-228.7	-231.6	-87.4	95.6	66.9	OK
		▲ 30.0 ▼	459	LE1	484.6	0.0	-232.7	229.8	86.1	95.3	67.6	OK
BP1	COL-tfl 2	▲ 30.0 ▼	436	LE1	499.8	0.9	-219.5	-224.6	-129.6	98.3	94.6	OK
		▲ 30.0 ▼	436	LE1	499.7	0.8	-225.2	219.8	134.2	98.3	92.9	OK
BP1	COL-w 2	▲ 30.0 ▼	462	LE1	379.2	0.0	-185.0	-190.1	-19.7	74.6	47.5	OK
		▲ 30.0 ▼	462	LE1	378.9	0.0	-192.6	187.4	19.4	74.6	47.9	OK
BP1	COL-tfl 3	▲ 30.0 ▼	436	LE1	499.8	0.8	-221.1	-226.6	-125.1	98.3	94.9	OK
		▲ 30.0 ▼	436	LE1	499.7	0.8	-228.3	222.6	127.7	98.3	93.3	OK
BP1	COL-w 3	▲ 30.0 ▼	462	LE1	378.9	0.0	-192.0	-188.5	-3.3	74.5	48.2	OK
		▲ 30.0 ▼	462	LE1	379.8	0.0	-187.2	190.7	6.8	74.7	47.1	OK

Design data

Material	$f_u$ [MPa]	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 460	540.0	0.85	508.2	388.8

Concrete block

Item	Loads	c [mm]	$A_{eff}$ [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [MPa]	$k_j$ [-]	$f_{jd}$ [MPa]	Ut [%]	Status
CB 1	LE1	30	466634	112.0	2.91	116.9	95.8	OK

Shear in contact plane

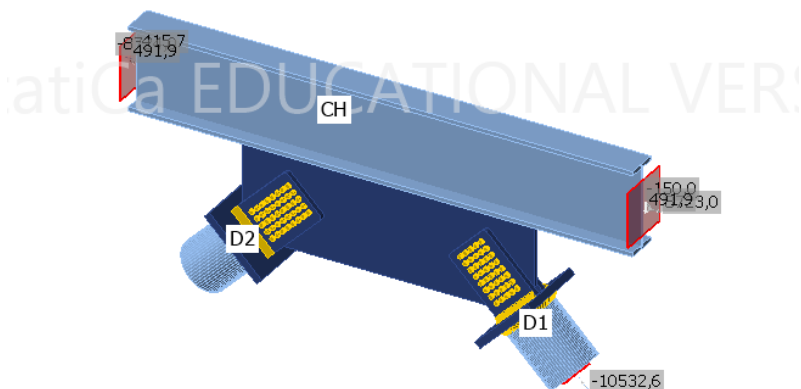
Name	Loads	$V_y$ [kN]	$V_z$ [kN]	$V_{Rd,y}$ [kN]	$V_{Rd,z}$ [kN]	Ut [%]	Status
BP1	LE1	-468.4	-15.4	13068.4	13068.4	3.6	OK

Buckling

Loads	Shape	Factor [-]
LE1	1	43.33
	2	43.95
	3	44.85
	4	45.78
	5	48.51
	6	49.53

S

## 10.3.2 Priključak dviju dijagonala na glavni nosač



Slika 40: Priključak dviju dijagonala na glavni nosač

## Members

## Geometry

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
CH	2 - HEM800	0.0	0.0	0.0	0	0	0
D1	10 - CHS508x30(CHS508,30)	0.0	-45.0	0.0	1500	0	0
D2	10 - CHS508x30(CHS508,30)	180.0	-45.0	0.0	1500	0	0

## Cross-sections

Name	Material
2 - HEM800	S460
10 - CHS508x30(CHS508,30)	S 355

## Bolts

Name	Diameter [mm]	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M27 10.9	27	900.0	1000.0	573

## Load effects (Equilibrium not required)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	D1 / End	-10532.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	D2 / End	9783.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.5 < 5.0%	OK
Loc. deformation	0.1 < 3%	OK
Bolts	95.7 < 100%	OK
Welds	98.9 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

**Plates**

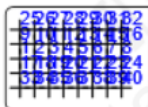
Name	Material	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
CH-bfl 1	S460	40.0	LE1	328.3	0.0	0.0	OK
CH-tfl 1	S460	40.0	LE1	257.1	0.0	0.0	OK
CH-w 1	S460	21.0	LE1	341.9	0.0	0.0	OK
D1	S 355	30.0	LE1	356.1	0.5	0.0	OK
D2	S 355	30.0	LE1	355.8	0.4	0.0	OK
SP1	S460 - 1	50.0	LE1	425.3	0.0	95.4	OK
CPL1a	S460 - 1	70.0	LE1	460.3	0.2	0.0	OK
CPL1b	S460 - 1	50.0	LE1	350.0	0.0	59.3	OK
CPL1c	S460 - 1	50.0	LE1	350.0	0.0	59.3	OK
CPL2a	S460 - 1	70.0	LE1	460.2	0.1	0.0	OK
CPL2b	S460 - 1	50.0	LE1	393.3	0.0	7.5	OK
CPL2c	S460 - 1	50.0	LE1	393.3	0.0	7.5	OK

**Design data**

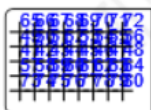
Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S460	460.0	5.0
S 355	355.0	5.0
S460 - 1	460.0	5.0

**Bolts**

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_t$ [%]	$U_s$ [%]	$U_{ts}$ [%]	Status
	B1	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	132.8	913.7	0.0	72.3	72.3	OK
	B2	M27 10.9 - 1	LE1	1.0	120.4	482.2	0.3	65.6	65.8	OK
	B3	M27 10.9 - 1	LE1	1.6	112.6	482.2	0.5	61.4	61.7	OK
	B4	M27 10.9 - 1	LE1	0.9	109.2	482.2	0.3	59.5	59.7	OK
	B5	M27 10.9 - 1	LE1	1.2	109.9	482.2	0.4	59.9	60.1	OK
	B6	M27 10.9 - 1	LE1	5.5	114.2	482.2	1.7	62.2	63.4	OK
	B7	M27 10.9 - 1	LE1	16.5	123.4	482.2	5.0	67.2	70.8	OK
	B8	M27 10.9 - 1	LE1	25.9	140.0	482.2	7.8	76.2	81.8	OK
	B9	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	136.5	913.7	0.0	74.4	74.4	OK
	B10	M27 10.9 - 1	LE1	1.1	124.6	482.2	0.3	67.9	68.1	OK
	B11	M27 10.9 - 1	LE1	1.8	117.1	482.2	0.5	63.8	64.1	OK
	B12	M27 10.9 - 1	LE1	1.0	113.7	482.2	0.3	61.9	62.2	OK
	B13	M27 10.9 - 1	LE1	1.3	114.5	482.2	0.4	62.3	62.6	OK
	B14	M27 10.9 - 1	LE1	5.4	118.9	482.2	1.6	64.8	65.9	OK
	B15	M27 10.9 - 1	LE1	15.6	128.1	482.2	4.7	69.8	73.1	OK
	B16	M27 10.9 - 1	LE1	24.3	144.8	482.2	7.3	78.9	84.1	OK
	B17	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	139.2	913.7	0.0	75.8	75.8	OK
	B18	M27 10.9 - 1	LE1	1.2	126.9	482.2	0.4	69.1	69.4	OK
	B19	M27 10.9 - 1	LE1	1.8	119.3	482.2	0.5	65.0	65.4	OK
	B20	M27 10.9 - 1	LE1	0.9	115.8	482.2	0.3	63.1	63.3	OK
	B21	M27 10.9 - 1	LE1	1.1	116.5	482.2	0.3	63.5	63.7	OK
	B22	M27 10.9 - 1	LE1	5.3	121.2	482.2	1.6	66.0	67.2	OK
	B23	M27 10.9 - 1	LE1	16.1	130.4	482.2	4.9	71.0	74.5	OK



B24	M27 10.9 - 1	LE1	25.8	146.9	482.2	7.8	80.0	85.6	OK
B25	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	151.3	913.7	0.0	82.4	82.4	OK
B26	M27 10.9 - 1	LE1	2.2	141.1	482.2	0.7	76.9	77.3	OK
B27	M27 10.9 - 1	LE1	2.7	134.7	482.2	0.8	73.4	74.0	OK
B28	M27 10.9 - 1	LE1	1.6	131.7	482.2	0.5	71.7	72.1	OK
B29	M27 10.9 - 1	LE1	1.7	132.3	482.2	0.5	72.1	72.4	OK
B30	M27 10.9 - 1	LE1	5.3	136.6	482.2	1.6	74.4	75.6	OK
B31	M27 10.9 - 1	LE1	13.3	145.6	482.2	4.0	79.3	82.2	OK
B32	M27 10.9 - 1	LE1	18.1	160.9	482.2	5.5	87.6	91.5	OK
B33	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	156.7	913.7	0.0	85.4	85.4	OK
B34	M27 10.9 - 1	LE1	2.4	145.1	482.2	0.7	79.0	79.6	OK
B35	M27 10.9 - 1	LE1	2.7	138.3	482.2	0.8	75.3	75.9	OK
B36	M27 10.9 - 1	LE1	1.6	135.4	482.2	0.5	73.7	74.1	OK
B37	M27 10.9 - 1	LE1	1.9	136.2	482.2	0.6	74.2	74.6	OK
B38	M27 10.9 - 1	LE1	6.4	141.0	482.2	1.9	76.8	78.2	OK
B39	M27 10.9 - 1	LE1	16.3	150.4	482.2	4.9	81.9	85.4	OK
B40	M27 10.9 - 1	LE1	24.8	165.8	482.2	7.5	90.3	95.7	OK
B41	M27 10.9 - 1	LE1	49.0	120.9	482.2	14.8	65.8	76.4	OK
B42	M27 10.9 - 1	LE1	9.2	110.7	482.2	2.8	60.3	62.3	OK
B43	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	103.8	482.2	0.0	56.6	56.6	OK
B44	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	99.5	482.2	0.0	54.2	54.2	OK
B45	M27 10.9 - 1	LE1	0.6	98.9	482.2	0.2	53.9	54.0	OK
B46	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	102.7	482.2	0.0	55.9	55.9	OK
B47	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	111.5	482.2	0.0	60.8	60.8	OK
B48	M27 10.9 - 1	LE1	1.1	127.6	913.7	0.3	69.5	69.7	OK
B49	M27 10.9 - 1	LE1	47.9	127.2	482.2	14.5	69.3	79.6	OK
B50	M27 10.9 - 1	LE1	9.1	116.9	482.2	2.8	63.7	65.7	OK
B51	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	110.3	482.2	0.0	60.1	60.1	OK
B52	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	106.3	482.2	0.0	57.9	57.9	OK
B53	M27 10.9 - 1	LE1	0.6	106.1	482.2	0.2	57.8	57.9	OK
B54	M27 10.9 - 1	LE1	0.1	110.0	482.2	0.0	59.9	60.0	OK
B55	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	118.8	482.2	0.0	64.7	64.7	OK
B56	M27 10.9 - 1	LE1	1.3	134.6	913.7	0.4	73.3	73.6	OK
B57	M27 10.9 - 1	LE1	48.4	126.2	482.2	14.6	68.7	79.2	OK
B58	M27 10.9 - 1	LE1	9.3	116.7	482.2	2.8	63.6	65.6	OK
B59	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	110.0	482.2	0.0	59.9	59.9	OK
B60	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	105.7	482.2	0.0	57.6	57.6	OK
B61	M27 10.9 - 1	LE1	0.6	104.9	482.2	0.2	57.1	57.3	OK
B62	M27 10.9 - 1	LE1	0.1	108.5	482.2	0.0	59.1	59.1	OK
B63	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	117.5	482.2	0.0	64.0	64.0	OK
B64	M27 10.9 - 1	LE1	1.2	134.1	913.7	0.4	73.0	73.3	OK
B65	M27 10.9 - 1	LE1	44.1	146.0	482.2	13.4	79.5	89.1	OK
B66	M27 10.9 - 1	LE1	9.0	136.6	482.2	2.7	74.4	76.4	OK
B67	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	130.7	482.2	0.0	71.2	71.2	OK
B68	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	127.2	482.2	0.0	69.3	69.3	OK
B69	M27 10.9 - 1	LE1	0.7	127.2	482.2	0.2	69.3	69.4	OK
B70	M27 10.9 - 1	LE1	0.5	131.1	482.2	0.2	71.4	71.5	OK
B71	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	139.7	482.2	0.0	76.1	76.1	OK
B72	M27 10.9 - 1	LE1	4.1	155.1	913.7	1.2	84.5	85.4	OK
B73	M27 10.9 - 1	LE1	45.5	144.8	482.2	13.8	78.9	88.7	OK



Dimenzioniranje osnovnih konstrukcijskih elemenata i priključaka

B74	M27 10.9 - 1	LE1	9.6	136.5	482.2	2.9	74.3	76.4	OK
B75	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	130.4	482.2	0.0	71.0	71.0	OK
B76	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	126.3	482.2	0.0	68.8	68.8	OK
B77	M27 10.9 - 1	LE1	0.6	125.4	482.2	0.2	68.3	68.4	OK
B78	M27 10.9 - 1	LE1	0.4	128.7	482.2	0.1	70.1	70.2	OK
B79	M27 10.9 - 1	LE1	0.0	136.9	482.2	0.0	74.5	74.5	OK
B80	M27 10.9 - 1	LE1	3.8	151.4	818.5	1.2	82.4	83.3	OK

Design data

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M27 10.9 - 1	330.5	1754.8	183.6

Welds

Item	Edge	$T_w$ [mm]	L [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	Ut [%]	Ut <sub>c</sub> [%]	Status
CH-bfl 1	SP1	▲ 25.0 ▼	3497	LE1	309.5	0.0	4.2	-4.2	-178.6	60.9	49.4	OK
		▲ 25.0 ▼	3497	LE1	309.5	0.0	4.2	4.2	178.6	60.9	49.4	OK
CPL1a	CPL1b	▲ 35.0	497	LE1	502.7	2.3	-263.1	-236.7	-71.6	98.9	97.4	OK
CPL1a	CPL1c	▲ 35.0	497	LE1	502.7	2.3	-263.1	236.7	71.6	98.9	97.4	OK
CPL2a	CPL2b	▲ 35.0	497	LE1	502.2	2.0	242.5	244.8	-67.4	98.8	97.7	OK
CPL2a	CPL2c	▲ 35.0	497	LE1	502.2	2.0	242.4	-244.8	67.4	98.8	97.7	OK
CPL1a	D1	▲ 35.0	1501	LE1	452.0	0.0	-221.1	227.4	-9.0	88.9	38.6	OK
CPL2a	D2	▲ 35.0	1501	LE1	443.0	0.0	212.5	-224.3	-8.2	87.2	35.8	OK

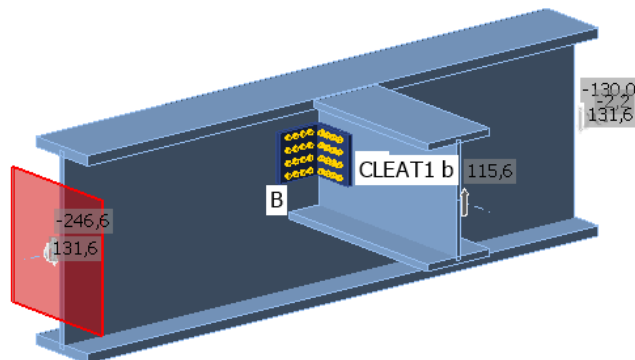
Design data

Material	$f_u$ [MPa]	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 460	540.0	0.85	508.2	388.8

Buckling

Loads	Shape	Factor [-]
LE1	1	2.44
	2	4.84
	3	5.91
	4	6.04
	5	6.23
	6	6.92

### 10.3.3 Priključak sekundarnog nosača na glavni nosač



Slika 41: Priključak sekundarnog nosača na glavni nosač

#### Members

##### Geometry

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B	6 - HEM800	0.0	0.0	0.0	0	0	0
B1	7 - HEB500	-90.0	0.0	0.0	0	0	157

#### Cross-sections

Name	Material
6 - HEM800	S 460 M/ML
7 - HEB500	S 460 M/ML
8 - L200	S 460 M/ML

#### Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B / Begin	0.0	0.0	-246.6	0.0	131.6	0.0
	B / End	0.0	0.0	-130.0	0.0	131.6	0.0
	B1 / End	0.0	0.0	115.6	0.0	0.0	0.0

#### Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.0 < 5.0%	OK
Bolts	66.9 < 100%	OK
Buckling	94.35	



**Plates**

Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B-bfl 1	40.0	LE1	39.3	0.0	0.0	OK
B-tfl 1	40.0	LE1	42.2	0.0	0.0	OK
B-w 1	21.0	LE1	299.4	0.0	52.7	OK
B1-bfl 1	28.0	LE1	19.8	0.0	0.0	OK
B1-tfl 1	28.0	LE1	19.8	0.0	0.0	OK
B1-w 1	14.5	LE1	74.4	0.0	60.0	OK
CLEAT1 a-bfl 1	20.0	LE1	162.8	0.0	118.7	OK
CLEAT1 a-w 1	20.0	LE1	180.0	0.0	118.7	OK
CLEAT1 b-bfl 1	20.0	LE1	181.4	0.0	110.6	OK
CLEAT1 b-w 1	20.0	LE1	196.6	0.0	110.6	OK

**Design data**

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 460 M/ML	460.0	5.0

**Bolts**

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_t$ [%]	$U_s$ [%]	$U_{ts}$ [%]	Detailing	Status
	B1	M12 8.8 - 1	LE1	2.9	4.8	155.5	5.9	14.9	19.1	OK	OK
	B2	M12 8.8 - 1	LE1	3.9	4.8	155.5	8.1	14.7	20.5	OK	OK
	B3	M12 8.8 - 1	LE1	2.2	4.8	155.5	4.5	14.8	18.0	OK	OK
	B4	M12 8.8 - 1	LE1	0.7	4.9	155.5	1.5	15.2	16.2	OK	OK
	B5	M12 8.8 - 1	LE1	0.7	4.9	155.5	1.4	15.2	16.2	OK	OK
	B6	M12 8.8 - 1	LE1	0.1	4.9	155.5	0.1	15.1	15.2	OK	OK
	B7	M12 8.8 - 1	LE1	0.0	5.2	155.5	0.0	16.0	16.0	OK	OK
	B8	M12 8.8 - 1	LE1	0.1	5.2	155.5	0.3	16.1	16.3	OK	OK
	B9	M12 8.8 - 1	LE1	0.0	5.2	155.5	0.0	15.9	15.9	OK	OK
	B10	M12 8.8 - 1	LE1	5.1	4.9	155.5	10.5	15.2	22.7	OK	OK
	B11	M12 8.8 - 1	LE1	13.6	4.8	155.5	28.0	14.8	34.8	OK	OK
	B12	M12 8.8 - 1	LE1	7.9	4.8	155.5	16.2	14.9	26.5	OK	OK
	B13	M12 8.8 - 1	LE1	8.9	6.4	259.2	18.4	19.8	33.0	OK	OK
	B14	M12 8.8 - 1	LE1	3.0	6.8	259.2	6.2	20.9	25.3	OK	OK
	B15	M12 8.8 - 1	LE1	0.0	5.0	214.5	0.0	15.6	15.6	OK	OK
	B16	M12 8.8 - 1	LE1	5.1	5.2	259.2	10.6	16.1	23.7	OK	OK
	B17	M12 8.8 - 1	LE1	1.6	5.6	259.2	3.3	17.4	19.8	OK	OK
	B18	M12 8.8 - 1	LE1	0.0	3.8	214.5	0.0	11.9	11.9	OK	OK
	B19	M12 8.8 - 1	LE1	6.5	4.1	259.2	13.4	12.8	22.3	OK	OK
	B20	M12 8.8 - 1	LE1	1.0	4.7	259.2	2.0	14.5	16.0	OK	OK
	B21	M12 8.8 - 1	LE1	0.0	2.7	214.5	0.0	8.3	8.3	OK	OK
	B22	M12 8.8 - 1	LE1	28.1	7.7	214.5	57.8	23.7	65.0	OK	OK
	B23	M12 8.8 - 1	LE1	5.9	8.0	259.2	12.2	24.8	33.5	OK	OK
	B24	M12 8.8 - 1	LE1	5.4	6.3	214.5	11.0	19.5	27.4	OK	OK
	B25	M12 8.8 - 1	LE1	9.3	6.8	259.2	19.2	21.1	34.8	OK	OK
	B26	M12 8.8 - 1	LE1	3.0	7.3	259.2	6.2	22.5	26.9	OK	OK
	B27	M12 8.8 - 1	LE1	0.0	5.2	214.5	0.0	16.2	16.2	OK	OK

## Dimenzioniranje osnovnih konstrukcijskih elemenata i priključaka

	B28	M12 8.8 - 1	LE1	5.8	5.6	259.2	11.9	17.4	25.8	OK	OK
	B29	M12 8.8 - 1	LE1	1.7	6.1	259.2	3.5	19.0	21.4	OK	OK
	B30	M12 8.8 - 1	LE1	0.0	4.0	214.5	0.0	12.3	12.3	OK	OK
	B31	M12 8.8 - 1	LE1	8.7	4.5	259.2	17.9	14.0	26.8	OK	OK
	B32	M12 8.8 - 1	LE1	1.0	5.2	259.2	2.1	16.0	17.5	OK	OK
	B33	M12 8.8 - 1	LE1	0.0	2.8	214.5	0.0	8.5	8.5	OK	OK
	B34	M12 8.8 - 1	LE1	28.5	8.1	214.5	58.6	25.0	66.9	OK	OK
	B35	M12 8.8 - 1	LE1	5.8	8.6	259.2	12.0	26.5	35.0	OK	OK
	B36	M12 8.8 - 1	LE1	5.2	6.6	214.5	10.7	20.3	28.0	OK	OK

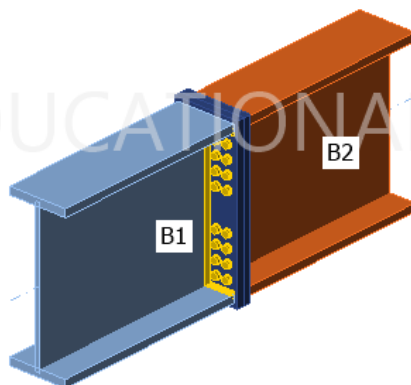
### Design data

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$F_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M12 8.8 - 1	48.6	309.7	32.4

### Buckling

Loads	Shape	Factor [-]
LE1	1	94.35
	2	100.08
	3	131.44
	4	149.32
	5	153.66
	6	157.76

## 10.3.4 Priključak nastavka glavnog nosača



Slika 42: Priključak nastavka glavnog nosača

## Members

## Geometry

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B1	2 - HEM800	0.0	0.0	0.0	0	0	0
B2	2 - HEM800	180.0	0.0	0.0	0	0	0

## Cross-sections

Name	Material
2 - HEM800	S 460 M/ML

## Bolts

Name	Diameter [mm]	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M24 10.9	24	900.0	1000.0	452

## Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B1 / End	0.0	0.0	-1159.6	0.0	1238.0	0.0
	B2 / End	0.0	0.0	1159.6	0.0	1238.0	0.0

## Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.2 < 5.0%	OK
Bolts	97.3 < 100%	OK
Welds	98.8 < 100%	OK
Buckling	15.53	

**Plates**

Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B1-bfl 1	40.0	LE1	157.0	0.0	0.0	OK
B1-tfl 1	40.0	LE1	73.2	0.0	0.0	OK
B1-w 1	21.0	LE1	292.3	0.0	0.0	OK
B2-bfl 1	40.0	LE1	224.5	0.0	0.0	OK
B2-tfl 1	40.0	LE1	222.8	0.0	0.0	OK
B2-w 1	21.0	LE1	425.0	0.0	0.0	OK
PP1a	30.0	LE1	460.3	0.2	133.2	OK
PP1b	30.0	LE1	460.4	0.2	133.2	OK

**Design data**

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 460 M/ML	460.0	5.0

**Bolts**

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Detailing	Status
	B1	M24 10.9 - 1	LE1	233.8	29.0	308.3	92.0	20.5	86.2	OK	OK
	B2	M24 10.9 - 1	LE1	247.1	18.7	308.3	97.2	13.3	82.7	OK	OK
	B3	M24 10.9 - 1	LE1	234.1	28.6	308.3	92.1	20.2	86.0	OK	OK
	B4	M24 10.9 - 1	LE1	247.4	18.6	308.3	97.3	13.2	82.7	OK	OK
	B5	M24 10.9 - 1	LE1	15.9	38.4	308.3	6.3	27.2	31.7	OK	OK
	B6	M24 10.9 - 1	LE1	234.2	30.0	308.3	92.1	21.2	87.1	OK	OK
	B7	M24 10.9 - 1	LE1	17.9	38.4	308.3	7.0	27.2	32.2	OK	OK
	B8	M24 10.9 - 1	LE1	234.3	29.8	308.3	92.2	21.1	87.0	OK	OK
	B9	M24 10.9 - 1	LE1	0.0	37.8	308.3	0.0	26.8	26.8	OK	OK
	B10	M24 10.9 - 1	LE1	229.7	38.6	308.3	90.4	27.3	91.9	OK	OK
	B11	M24 10.9 - 1	LE1	0.0	37.9	308.3	0.0	26.8	26.8	OK	OK
	B12	M24 10.9 - 1	LE1	229.7	38.5	308.3	90.4	27.3	91.8	OK	OK
	B13	M24 10.9 - 1	LE1	11.5	38.8	308.3	4.5	27.5	30.7	OK	OK
	B14	M24 10.9 - 1	LE1	214.8	42.6	308.3	84.5	30.2	90.5	OK	OK
	B15	M24 10.9 - 1	LE1	11.6	38.9	308.3	4.6	27.6	30.8	OK	OK
	B16	M24 10.9 - 1	LE1	214.2	42.6	308.3	84.3	30.2	90.4	OK	OK
	B17	M24 10.9 - 1	LE1	0.3	34.9	308.3	0.1	24.8	24.8	OK	OK
	B18	M24 10.9 - 1	LE1	0.0	38.9	308.3	0.0	27.5	27.5	OK	OK
	B19	M24 10.9 - 1	LE1	0.2	35.0	308.3	0.1	24.8	24.8	OK	OK
	B20	M24 10.9 - 1	LE1	0.0	38.8	308.3	0.0	27.5	27.5	OK	OK
	B21	M24 10.9 - 1	LE1	1.9	35.4	308.3	0.8	25.0	25.6	OK	OK
	B22	M24 10.9 - 1	LE1	0.0	39.8	308.3	0.0	28.2	28.2	OK	OK
	B23	M24 10.9 - 1	LE1	1.8	35.4	308.3	0.7	25.1	25.6	OK	OK
	B24	M24 10.9 - 1	LE1	0.0	39.8	308.3	0.0	28.2	28.2	OK	OK
	B25	M24 10.9 - 1	LE1	0.0	36.4	308.3	0.0	25.8	25.8	OK	OK
	B26	M24 10.9 - 1	LE1	12.0	40.7	308.3	4.7	28.8	32.2	OK	OK
	B27	M24 10.9 - 1	LE1	0.0	36.4	308.3	0.0	25.8	25.8	OK	OK



Dimenzioniranje osnovnih konstrukcijskih elemenata i priključaka

B28	M24 10.9 - 1	LE1	12.0	40.6	308.3	4.7	28.8	32.2	OK	OK
B29	M24 10.9 - 1	LE1	12.3	38.3	308.3	4.8	27.1	30.6	OK	OK
B30	M24 10.9 - 1	LE1	73.7	42.1	308.3	29.0	29.8	50.5	OK	OK
B31	M24 10.9 - 1	LE1	12.3	38.4	308.3	4.8	27.2	30.7	OK	OK
B32	M24 10.9 - 1	LE1	73.7	42.1	308.3	29.0	29.8	50.5	OK	OK

Design data

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M24 10.9 - 1	254.2	928.1	141.2

Welds

Item	Edge	$T_w$ [mm]	L [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{PI}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	Ut [%]	Ut <sub>c</sub> [%]	Detailing	Status
PP1a	B1-bfl 1	▲ 12.0	303	LE1	500.0	1.0	-233.1	-255.3	6.2	98.4	96.9	OK	OK
PP1a	B1-tfl 1	▲ 12.0	303	LE1	304.4	0.0	175.8	-115.1	-85.7	59.9	52.8	OK	OK
PP1a	B1-w 1	▲ 12.0 ▼	773	LE1	498.8	0.4	-244.1	-244.5	-57.3	98.2	72.6	OK	OK
		▲ 12.0 ▼	773	LE1	498.8	0.4	-244.7	244.5	56.8	98.2	72.6	OK	OK
PP1b	B2-bfl 1	▲ 12.0	302	LE1	502.4	2.1	-253.8	-249.2	24.0	98.8	95.9	OK	OK
PP1b	B2-tfl 1	▲ 12.0	303	LE1	326.3	0.0	198.0	-120.9	88.2	64.2	54.4	OK	OK
PP1b	B2-w 1	▲ 12.0 ▼	773	LE1	499.8	0.8	-250.0	-249.7	-9.2	98.3	83.6	OK	OK
		▲ 12.0 ▼	773	LE1	499.8	0.8	-249.6	249.8	10.0	98.3	83.8	OK	OK

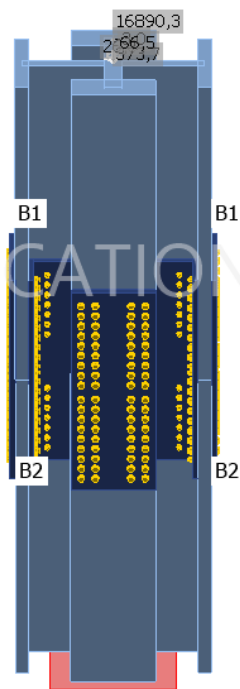
Design data

Material	$f_u$ [MPa]	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 460	540.0	0.85	508.2	388.8

Buckling

Loads	Shape	Factor [-]
LE1	1	15.53
	2	17.62
	3	18.67
	4	18.94
	5	26.30
	6	29.96

### 10.3.5 Nastavak stupa



Slika 43: Priključak nastavka stupa

#### Members

##### Geometry

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B1	6 - HL 920x725 + HD 400x1299(General)	90.0	0.0	0.0	0	0	0
B2	6 - HL 920x725 + HD 400x1299(General)	-90.0	0.0	0.0	0	0	0

#### Cross-sections

Name	Material
6 - HL 920x725 + HD 400x1299(General)	S 460 M/ML, S 460 M/ML, S 460 M/ML

#### Bolts

Name	Diameter [mm]	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M22 8.8	22	640.0	800.0	380
M16 8.8	16	640.0	800.0	201

#### Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B1 / End	16890.3	26.6	373.7	0.0	-3.0	66.5
	B2 / End	16890.3	-26.6	-373.7	0.0	-3.0	66.5

**Summary**

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	$0.1 < 5.0\%$	OK
Bolts	$76.7 < 100\%$	OK
Buckling	348.51	

**Plates**

Name	Material	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B1-bfl 1	S 460 M/ML	140.0	LE1	89.8	0.0	131.0	OK
B1-tfl 1	S 460 M/ML	140.0	LE1	104.8	0.0	150.0	OK
B1-w 1	S 460 M/ML	100.0	LE1	103.5	0.0	11.4	OK
B1-tfl 2	S 460 M/ML	73.9	LE1	134.5	0.0	8.4	OK
B1-w 2	S 460 M/ML	40.9	LE1	391.6	0.1	8.8	OK
B1-tfl 3	S 460 M/ML	73.9	LE1	130.2	0.0	8.6	OK
B1-w 3	S 460 M/ML	40.9	LE1	145.5	0.0	6.7	OK
B2-bfl 1	S 460 M/ML	140.0	LE1	106.3	0.0	23.1	OK
B2-tfl 1	S 460 M/ML	140.0	LE1	92.5	0.0	20.6	OK
B2-w 1	S 460 M/ML	100.0	LE1	104.0	0.0	12.7	OK
B2-tfl 2	S 460 M/ML	73.9	LE1	129.1	0.0	8.6	OK
B2-w 2	S 460 M/ML	40.9	LE1	384.5	0.0	9.2	OK
B2-tfl 3	S 460 M/ML	73.9	LE1	136.2	0.0	8.4	OK
B2-w 3	S 460 M/ML	40.9	LE1	152.9	0.0	7.5	OK
SPL1a	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	311.4	0.0	24.5	OK
SPL1b	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	321.4	0.0	25.1	OK
SPL1c	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	333.0	0.0	25.0	OK
SPL2a	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	307.5	0.0	22.2	OK
SPL2b	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	326.4	0.0	23.4	OK
SPL2c	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	336.7	0.0	25.5	OK
SPL3a	S 460 M/ML - 1	20.0	LE1	243.1	0.0	12.4	OK
SPL3b	S 460 M/ML - 1	20.0	LE1	274.8	0.0	11.8	OK
SPL3c	S 460 M/ML - 1	20.0	LE1	248.1	0.0	12.2	OK
SPL4a	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	207.7	0.0	12.3	OK
SPL4b	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	206.5	0.0	14.3	OK
SPL4c	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	205.4	0.0	14.4	OK
SPL5a	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	191.5	0.0	10.6	OK
SPL5b	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	216.7	0.0	10.7	OK
SPL5c	S 460 M/ML - 1	30.0	LE1	217.2	0.0	10.9	OK
SPL6a	S 460 M/ML - 1	20.0	LE1	233.7	0.0	12.5	OK
SPL6b	S 460 M/ML - 1	20.0	LE1	233.2	0.0	10.8	OK
SPL7a	S 460 M/ML - 1	20.0	LE1	223.9	0.0	9.8	OK
SPL7b	S 460 M/ML - 1	20.0	LE1	223.8	0.0	11.5	OK

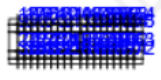
**Design data**

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 460 M/ML	430.0	5.0
S 460 M/ML - 1	460.0	5.0



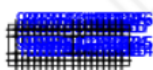
**Bolts**

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_t$ [%]	$U_s$ [%]	$U_{ts}$ [%]	Status
	B1	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	65.5	514.8	0.0	56.3	56.3	OK
	B2	M22 8.8 - 1	LE1	2.3	62.2	514.8	1.3	53.4	54.4	OK
	B3	M22 8.8 - 1	LE1	2.7	58.8	514.8	1.6	50.5	51.6	OK
	B4	M22 8.8 - 1	LE1	2.2	56.0	514.8	1.3	48.2	49.1	OK
	B5	M22 8.8 - 1	LE1	1.6	54.0	514.8	0.9	46.5	47.1	OK
	B6	M22 8.8 - 1	LE1	0.9	53.1	514.8	0.5	45.6	46.0	OK
	B7	M22 8.8 - 1	LE1	0.8	52.2	514.8	0.5	44.9	45.2	OK
	B8	M22 8.8 - 1	LE1	6.9	50.0	514.8	4.0	42.9	45.8	OK
	B9	M22 8.8 - 1	LE1	33.0	45.7	712.8	18.9	39.2	52.7	OK
	B10	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	66.1	514.8	0.0	56.8	56.8	OK
	B11	M22 8.8 - 1	LE1	3.5	62.2	514.8	2.0	53.5	54.9	OK
	B12	M22 8.8 - 1	LE1	4.1	59.0	514.8	2.3	50.7	52.4	OK
	B13	M22 8.8 - 1	LE1	3.1	56.3	514.8	1.8	48.4	49.6	OK
	B14	M22 8.8 - 1	LE1	2.1	54.3	514.8	1.2	46.7	47.5	OK
	B15	M22 8.8 - 1	LE1	1.0	53.3	514.8	0.6	45.8	46.2	OK
	B16	M22 8.8 - 1	LE1	0.2	52.9	514.8	0.1	45.4	45.5	OK
	B17	M22 8.8 - 1	LE1	5.1	50.5	514.8	2.9	43.4	45.5	OK
	B18	M22 8.8 - 1	LE1	30.7	45.8	712.8	17.6	39.4	51.9	OK
	B19	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	62.7	514.8	0.0	53.9	53.9	OK
	B20	M22 8.8 - 1	LE1	2.4	60.0	514.8	1.4	51.5	52.5	OK
	B21	M22 8.8 - 1	LE1	2.7	57.0	514.8	1.5	49.0	50.1	OK
	B22	M22 8.8 - 1	LE1	2.1	54.4	514.8	1.2	46.7	47.6	OK
	B23	M22 8.8 - 1	LE1	1.5	52.6	514.8	0.9	45.2	45.9	OK
	B24	M22 8.8 - 1	LE1	0.8	51.7	514.8	0.5	44.4	44.7	OK
	B25	M22 8.8 - 1	LE1	0.7	50.8	514.8	0.4	43.7	44.0	OK
	B26	M22 8.8 - 1	LE1	6.5	48.5	514.8	3.7	41.7	44.4	OK
	B27	M22 8.8 - 1	LE1	31.2	44.3	712.8	17.9	38.1	50.9	OK
	B28	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	61.9	514.8	0.0	53.2	53.2	OK
	B29	M22 8.8 - 1	LE1	2.9	58.4	514.8	1.7	50.2	51.4	OK
	B30	M22 8.8 - 1	LE1	3.5	55.7	514.8	2.0	47.8	49.3	OK
	B31	M22 8.8 - 1	LE1	2.8	53.2	514.8	1.6	45.7	46.9	OK
	B32	M22 8.8 - 1	LE1	2.0	51.6	514.8	1.1	44.4	45.2	OK
	B33	M22 8.8 - 1	LE1	1.1	50.8	514.8	0.6	43.7	44.1	OK
	B34	M22 8.8 - 1	LE1	0.4	50.3	514.8	0.2	43.2	43.4	OK
	B35	M22 8.8 - 1	LE1	5.5	47.9	514.8	3.2	41.1	43.4	OK
	B36	M22 8.8 - 1	LE1	30.1	43.3	712.8	17.2	37.2	49.5	OK
	B37	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	68.4	514.8	0.0	58.8	58.8	OK
	B38	M22 8.8 - 1	LE1	2.5	63.6	514.8	1.5	54.6	55.7	OK
	B39	M22 8.8 - 1	LE1	2.9	59.3	514.8	1.6	51.0	52.2	OK
	B40	M22 8.8 - 1	LE1	2.3	56.1	514.8	1.3	48.3	49.2	OK
	B41	M22 8.8 - 1	LE1	1.7	53.8	514.8	1.0	46.3	47.0	OK
	B42	M22 8.8 - 1	LE1	1.0	52.5	514.8	0.5	45.1	45.5	OK
	B43	M22 8.8 - 1	LE1	0.7	51.4	514.8	0.4	44.2	44.4	OK
	B44	M22 8.8 - 1	LE1	6.5	48.8	514.8	3.7	42.0	44.6	OK
	B45	M22 8.8 - 1	LE1	32.3	44.3	712.8	18.5	38.1	51.3	OK
	B46	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	68.4	514.8	0.0	58.8	58.8	OK
	B47	M22 8.8 - 1	LE1	3.4	63.7	514.8	1.9	54.7	56.1	OK
	B48	M22 8.8 - 1	LE1	4.1	59.5	514.8	2.3	51.1	52.8	OK
	B49	M22 8.8 - 1	LE1	3.1	56.2	514.8	1.8	48.3	49.6	OK
	B50	M22 8.8 - 1	LE1	2.1	53.9	514.8	1.2	46.4	47.2	OK

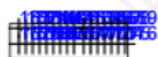




B51	M22 8.8 - 1	LE1	1.0	52.6	514.8	0.6	45.2	45.6	OK
B52	M22 8.8 - 1	LE1	0.1	51.8	514.8	0.0	44.5	44.5	OK
B53	M22 8.8 - 1	LE1	4.8	49.1	514.8	2.8	42.2	44.2	OK
B54	M22 8.8 - 1	LE1	30.0	44.2	712.8	17.2	38.0	50.3	OK
B55	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	65.8	514.8	0.0	56.5	56.5	OK
B56	M22 8.8 - 1	LE1	2.7	61.3	514.8	1.6	52.7	53.8	OK
B57	M22 8.8 - 1	LE1	3.0	57.4	514.8	1.7	49.3	50.5	OK
B58	M22 8.8 - 1	LE1	2.3	54.3	514.8	1.3	46.7	47.6	OK
B59	M22 8.8 - 1	LE1	1.6	52.3	514.8	0.9	44.9	45.6	OK
B60	M22 8.8 - 1	LE1	0.8	51.0	514.8	0.5	43.8	44.1	OK
B61	M22 8.8 - 1	LE1	0.6	49.8	514.8	0.3	42.8	43.0	OK
B62	M22 8.8 - 1	LE1	6.1	47.3	514.8	3.5	40.7	43.1	OK
B63	M22 8.8 - 1	LE1	30.4	42.8	712.8	17.4	36.8	49.2	OK
B64	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	63.8	514.8	0.0	54.9	54.9	OK
B65	M22 8.8 - 1	LE1	2.8	59.6	514.8	1.6	51.2	52.4	OK
B66	M22 8.8 - 1	LE1	3.4	55.9	514.8	2.0	48.1	49.5	OK
B67	M22 8.8 - 1	LE1	2.8	53.0	514.8	1.6	45.6	46.7	OK
B68	M22 8.8 - 1	LE1	2.0	51.1	514.8	1.2	43.9	44.7	OK
B69	M22 8.8 - 1	LE1	1.1	49.8	514.8	0.6	42.8	43.2	OK
B70	M22 8.8 - 1	LE1	0.3	48.9	514.8	0.2	42.0	42.2	OK
B71	M22 8.8 - 1	LE1	5.3	46.3	514.8	3.0	39.8	41.9	OK
B72	M22 8.8 - 1	LE1	29.4	41.5	712.8	16.8	35.7	47.7	OK
B73	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	67.7	514.8	0.0	58.2	58.2	OK
B74	M22 8.8 - 1	LE1	2.5	62.9	514.8	1.4	54.1	55.1	OK
B75	M22 8.8 - 1	LE1	2.8	58.7	514.8	1.6	50.5	51.6	OK
B76	M22 8.8 - 1	LE1	2.3	55.6	514.8	1.3	47.7	48.7	OK
B77	M22 8.8 - 1	LE1	1.7	53.3	514.8	1.0	45.8	46.5	OK
B78	M22 8.8 - 1	LE1	0.9	52.0	514.8	0.5	44.7	45.0	OK
B79	M22 8.8 - 1	LE1	0.6	50.9	514.8	0.4	43.7	44.0	OK
B80	M22 8.8 - 1	LE1	6.4	48.5	514.8	3.7	41.7	44.3	OK
B81	M22 8.8 - 1	LE1	32.1	44.0	712.8	18.4	37.8	50.9	OK
B82	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	67.8	514.8	0.0	58.3	58.3	OK
B83	M22 8.8 - 1	LE1	3.4	63.0	514.8	1.9	54.1	55.5	OK
B84	M22 8.8 - 1	LE1	4.0	58.9	514.8	2.3	50.6	52.2	OK
B85	M22 8.8 - 1	LE1	3.1	55.7	514.8	1.8	47.8	49.1	OK
B86	M22 8.8 - 1	LE1	2.1	53.3	514.8	1.2	45.9	46.7	OK
B87	M22 8.8 - 1	LE1	1.0	52.0	514.8	0.6	44.7	45.1	OK
B88	M22 8.8 - 1	LE1	0.1	51.3	514.8	0.1	44.1	44.1	OK
B89	M22 8.8 - 1	LE1	4.8	48.8	514.8	2.8	41.9	43.9	OK
B90	M22 8.8 - 1	LE1	29.8	43.9	712.8	17.1	37.7	49.9	OK
B91	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	65.3	514.8	0.0	56.1	56.1	OK
B92	M22 8.8 - 1	LE1	2.7	60.7	514.8	1.6	52.2	53.3	OK
B93	M22 8.8 - 1	LE1	2.9	56.9	514.8	1.7	48.9	50.1	OK
B94	M22 8.8 - 1	LE1	2.2	53.9	514.8	1.3	46.3	47.2	OK
B95	M22 8.8 - 1	LE1	1.6	51.8	514.8	0.9	44.6	45.2	OK
B96	M22 8.8 - 1	LE1	0.8	50.6	514.8	0.5	43.4	43.8	OK
B97	M22 8.8 - 1	LE1	0.5	49.5	514.8	0.3	42.5	42.7	OK
B98	M22 8.8 - 1	LE1	6.0	47.0	514.8	3.4	40.4	42.9	OK
B99	M22 8.8 - 1	LE1	30.2	42.6	712.8	17.3	36.6	49.0	OK
B100	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	63.4	514.8	0.0	54.5	54.5	OK
B101	M22 8.8 - 1	LE1	2.8	59.1	514.8	1.6	50.8	51.9	OK
B102	M22 8.8 - 1	LE1	3.4	55.5	514.8	2.0	47.7	49.1	OK
B103	M22 8.8 - 1	LE1	2.8	52.6	514.8	1.6	45.2	46.4	OK



B104	M22 8.8 - 1	LE1	2.0	50.7	514.8	1.2	43.6	44.4	OK
B105	M22 8.8 - 1	LE1	1.1	49.5	514.8	0.6	42.5	43.0	OK
B106	M22 8.8 - 1	LE1	0.4	48.6	514.8	0.2	41.8	41.9	OK
B107	M22 8.8 - 1	LE1	5.2	46.0	514.8	3.0	39.6	41.7	OK
B108	M22 8.8 - 1	LE1	29.2	41.3	712.8	16.8	35.5	47.5	OK
B109	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	65.2	514.8	0.0	56.1	56.1	OK
B110	M22 8.8 - 1	LE1	2.2	61.6	514.8	1.3	53.0	53.9	OK
B111	M22 8.8 - 1	LE1	2.7	58.3	514.8	1.5	50.1	51.2	OK
B112	M22 8.8 - 1	LE1	2.2	55.5	514.8	1.3	47.7	48.6	OK
B113	M22 8.8 - 1	LE1	1.6	53.6	514.8	0.9	46.1	46.7	OK
B114	M22 8.8 - 1	LE1	0.9	52.6	514.8	0.5	45.2	45.6	OK
B115	M22 8.8 - 1	LE1	0.8	51.9	514.8	0.5	44.6	44.9	OK
B116	M22 8.8 - 1	LE1	6.9	49.6	514.8	3.9	42.6	45.5	OK
B117	M22 8.8 - 1	LE1	32.8	45.4	712.8	18.8	39.1	52.5	OK
B118	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	66.0	514.8	0.0	56.7	56.7	OK
B119	M22 8.8 - 1	LE1	3.6	61.8	514.8	2.1	53.1	54.5	OK
B120	M22 8.8 - 1	LE1	4.2	58.5	514.8	2.4	50.3	52.0	OK
B121	M22 8.8 - 1	LE1	3.1	55.8	514.8	1.8	48.0	49.2	OK
B122	M22 8.8 - 1	LE1	2.1	53.9	514.8	1.2	46.3	47.2	OK
B123	M22 8.8 - 1	LE1	0.9	53.0	514.8	0.5	45.5	45.9	OK
B124	M22 8.8 - 1	LE1	0.1	52.6	514.8	0.1	45.2	45.2	OK
B125	M22 8.8 - 1	LE1	5.0	50.2	514.8	2.9	43.2	45.2	OK
B126	M22 8.8 - 1	LE1	30.5	45.6	712.8	17.5	39.2	51.7	OK
B127	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	62.6	514.8	0.0	53.8	53.8	OK
B128	M22 8.8 - 1	LE1	2.5	59.4	514.8	1.4	51.1	52.1	OK
B129	M22 8.8 - 1	LE1	2.8	56.3	514.8	1.6	48.4	49.6	OK
B130	M22 8.8 - 1	LE1	2.1	53.8	514.8	1.2	46.2	47.1	OK
B131	M22 8.8 - 1	LE1	1.5	52.1	514.8	0.9	44.8	45.4	OK
B132	M22 8.8 - 1	LE1	0.8	51.2	514.8	0.5	44.0	44.3	OK
B133	M22 8.8 - 1	LE1	0.7	50.3	514.8	0.4	43.3	43.5	OK
B134	M22 8.8 - 1	LE1	6.4	48.1	514.8	3.7	41.4	44.0	OK
B135	M22 8.8 - 1	LE1	31.0	44.0	712.8	17.7	37.8	50.5	OK
B136	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	61.6	514.8	0.0	52.9	52.9	OK
B137	M22 8.8 - 1	LE1	2.8	57.8	514.8	1.6	49.7	50.8	OK
B138	M22 8.8 - 1	LE1	3.4	55.0	514.8	1.9	47.3	48.7	OK
B139	M22 8.8 - 1	LE1	2.7	52.7	514.8	1.5	45.3	46.3	OK
B140	M22 8.8 - 1	LE1	1.9	51.1	514.8	1.1	43.9	44.7	OK
B141	M22 8.8 - 1	LE1	1.0	50.3	514.8	0.6	43.2	43.6	OK
B142	M22 8.8 - 1	LE1	0.3	49.7	514.8	0.2	42.8	42.9	OK
B143	M22 8.8 - 1	LE1	5.4	47.4	514.8	3.1	40.8	43.0	OK
B144	M22 8.8 - 1	LE1	29.9	42.9	712.8	17.1	36.9	49.1	OK
B145	M16 8.8 - 2	LE1	0.7	32.8	345.6	0.8	54.5	55.0	OK
B146	M16 8.8 - 2	LE1	2.0	31.2	345.6	2.2	51.8	53.4	OK
B147	M16 8.8 - 2	LE1	1.7	29.8	345.6	1.8	49.4	50.7	OK
B148	M16 8.8 - 2	LE1	1.6	28.6	345.6	1.8	47.5	48.7	OK
B149	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	27.9	345.6	1.6	46.3	47.4	OK
B150	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	27.6	345.6	1.5	45.8	46.9	OK
B151	M16 8.8 - 2	LE1	0.8	27.8	345.6	0.9	46.1	46.7	OK
B152	M16 8.8 - 2	LE1	1.8	27.6	345.6	1.9	45.7	47.1	OK
B153	M16 8.8 - 2	LE1	14.4	26.3	345.6	16.0	43.6	55.0	OK
B154	M16 8.8 - 2	LE1	0.7	32.7	345.6	0.8	54.3	54.8	OK
B155	M16 8.8 - 2	LE1	1.8	31.3	345.6	2.0	51.9	53.4	OK
B156	M16 8.8 - 2	LE1	1.7	30.0	345.6	1.9	49.7	51.1	OK

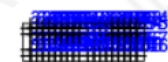


B157	M16 8.8 - 2	LE1	1.7	29.0	345.6	1.9	48.0	49.4	OK
B158	M16 8.8 - 2	LE1	1.5	28.6	345.6	1.7	47.4	48.6	OK
B159	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	28.7	345.6	1.4	47.6	48.6	OK
B160	M16 8.8 - 2	LE1	0.7	29.1	345.6	0.8	48.2	48.8	OK
B161	M16 8.8 - 2	LE1	2.0	29.3	345.6	2.2	48.6	50.1	OK
B162	M16 8.8 - 2	LE1	14.4	28.4	345.6	15.9	47.0	58.4	OK
B163	M16 8.8 - 2	LE1	0.8	40.0	345.6	0.9	66.3	67.0	OK
B164	M16 8.8 - 2	LE1	2.4	38.3	345.6	2.6	63.5	65.4	OK
B165	M16 8.8 - 2	LE1	2.1	36.9	345.6	2.3	61.1	62.8	OK
B166	M16 8.8 - 2	LE1	1.8	35.8	345.6	2.0	59.4	60.9	OK
B167	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	35.4	345.6	1.2	58.7	59.5	OK
B168	M16 8.8 - 2	LE1	2.2	34.7	345.6	2.5	57.6	59.4	OK
B169	M16 8.8 - 2	LE1	18.5	32.0	192.0	20.4	53.0	67.6	OK
B170	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	41.7	345.6	1.1	69.2	70.0	OK
B171	M16 8.8 - 2	LE1	2.5	40.6	345.6	2.7	67.4	69.4	OK
B172	M16 8.8 - 2	LE1	2.4	39.9	345.6	2.7	66.1	68.0	OK
B173	M16 8.8 - 2	LE1	1.8	39.5	345.6	2.0	65.5	66.9	OK
B174	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	39.5	345.6	1.4	65.6	66.6	OK
B175	M16 8.8 - 2	LE1	2.8	39.3	345.6	3.1	65.2	67.4	OK
B176	M16 8.8 - 2	LE1	18.7	37.4	192.0	20.7	62.0	76.7	OK
B177	M16 8.8 - 3	LE1	0.1	39.5	518.4	0.1	65.5	65.6	OK
B178	M16 8.8 - 3	LE1	1.2	37.7	518.4	1.3	62.6	63.5	OK
B179	M16 8.8 - 3	LE1	1.3	36.3	518.4	1.4	60.2	61.2	OK
B180	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	35.3	518.4	1.2	58.5	59.4	OK
B181	M16 8.8 - 3	LE1	0.9	34.8	518.4	1.0	57.7	58.4	OK
B182	M16 8.8 - 3	LE1	0.5	34.8	518.4	0.6	57.7	58.1	OK
B183	M16 8.8 - 3	LE1	0.3	35.0	518.4	0.4	58.1	58.4	OK
B184	M16 8.8 - 3	LE1	2.9	35.2	518.4	3.2	58.4	60.7	OK
B185	M16 8.8 - 3	LE1	14.2	35.3	518.4	15.7	58.6	69.8	OK
B186	M16 8.8 - 3	LE1	0.0	39.1	518.4	0.0	64.9	64.9	OK
B187	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	37.4	518.4	1.2	62.0	62.8	OK
B188	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	36.0	518.4	1.2	59.7	60.5	OK
B189	M16 8.8 - 3	LE1	1.0	35.0	518.4	1.1	58.0	58.8	OK
B190	M16 8.8 - 3	LE1	0.8	34.5	518.4	0.9	57.2	57.9	OK
B191	M16 8.8 - 3	LE1	0.5	34.4	518.4	0.5	57.1	57.5	OK
B192	M16 8.8 - 3	LE1	0.2	34.8	518.4	0.2	57.7	57.8	OK
B193	M16 8.8 - 3	LE1	2.5	34.9	518.4	2.8	57.9	59.9	OK
B194	M16 8.8 - 3	LE1	13.9	34.9	518.4	15.4	57.9	68.9	OK
B195	M16 8.8 - 3	LE1	0.0	39.9	518.4	0.0	66.2	66.2	OK
B196	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	38.1	518.4	1.2	63.2	64.0	OK
B197	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	36.7	518.4	1.2	60.8	61.7	OK
B198	M16 8.8 - 3	LE1	1.0	35.7	518.4	1.1	59.2	60.0	OK
B199	M16 8.8 - 3	LE1	0.8	35.2	518.4	0.9	58.4	59.0	OK
B200	M16 8.8 - 3	LE1	0.5	35.2	518.4	0.5	58.4	58.8	OK
B201	M16 8.8 - 3	LE1	0.3	35.6	518.4	0.4	59.0	59.2	OK
B202	M16 8.8 - 3	LE1	2.9	35.8	518.4	3.3	59.5	61.8	OK
B203	M16 8.8 - 3	LE1	14.4	36.0	518.4	16.0	59.8	71.2	OK
B204	M16 8.8 - 3	LE1	0.1	39.9	518.4	0.1	66.2	66.2	OK
B205	M16 8.8 - 3	LE1	1.3	38.1	518.4	1.4	63.2	64.2	OK
B206	M16 8.8 - 3	LE1	1.3	36.7	518.4	1.5	60.8	61.9	OK
B207	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	35.7	518.4	1.2	59.2	60.1	OK
B208	M16 8.8 - 3	LE1	0.9	35.2	518.4	1.0	58.4	59.2	OK

B209	M16 8.8 - 3	LE1	0.5	35.3	518.4	0.6	58.5	58.9	OK
B210	M16 8.8 - 3	LE1	0.2	35.7	518.4	0.2	59.2	59.3	OK
B211	M16 8.8 - 3	LE1	2.5	36.0	518.4	2.8	59.7	61.6	OK
B212	M16 8.8 - 3	LE1	14.0	36.1	518.4	15.5	60.0	71.0	OK
B213	M16 8.8 - 3	LE1	0.0	39.8	518.4	0.0	66.0	66.0	OK
B214	M16 8.8 - 3	LE1	1.0	38.0	518.4	1.2	63.1	63.9	OK
B215	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	36.6	518.4	1.2	60.8	61.6	OK
B216	M16 8.8 - 3	LE1	1.0	35.7	518.4	1.1	59.2	59.9	OK
B217	M16 8.8 - 3	LE1	0.8	35.2	518.4	0.9	58.4	59.0	OK
B218	M16 8.8 - 3	LE1	0.5	35.2	518.4	0.5	58.4	58.8	OK
B219	M16 8.8 - 3	LE1	0.3	35.5	518.4	0.3	59.0	59.2	OK
B220	M16 8.8 - 3	LE1	2.9	35.9	518.4	3.2	59.5	61.7	OK
B221	M16 8.8 - 3	LE1	14.4	36.1	518.4	15.9	59.9	71.2	OK
B222	M16 8.8 - 3	LE1	0.1	39.7	518.4	0.1	65.9	66.0	OK
B223	M16 8.8 - 3	LE1	1.3	38.0	518.4	1.4	63.0	64.0	OK
B224	M16 8.8 - 3	LE1	1.3	36.6	518.4	1.5	60.7	61.8	OK
B225	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	35.7	518.4	1.2	59.2	60.0	OK
B226	M16 8.8 - 3	LE1	0.9	35.2	518.4	1.0	58.4	59.1	OK
B227	M16 8.8 - 3	LE1	0.5	35.2	518.4	0.6	58.4	58.8	OK
B228	M16 8.8 - 3	LE1	0.1	35.7	518.4	0.2	59.1	59.3	OK
B229	M16 8.8 - 3	LE1	2.5	36.0	518.4	2.7	59.7	61.6	OK
B230	M16 8.8 - 3	LE1	14.0	36.2	518.4	15.5	60.0	71.1	OK
B231	M16 8.8 - 3	LE1	0.1	39.4	518.4	0.1	65.4	65.5	OK
B232	M16 8.8 - 3	LE1	1.2	37.7	518.4	1.3	62.5	63.4	OK
B233	M16 8.8 - 3	LE1	1.2	36.3	518.4	1.4	60.2	61.2	OK
B234	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	35.3	518.4	1.2	58.6	59.4	OK
B235	M16 8.8 - 3	LE1	0.9	34.8	518.4	1.0	57.7	58.4	OK
B236	M16 8.8 - 3	LE1	0.5	34.8	518.4	0.5	57.7	58.1	OK
B237	M16 8.8 - 3	LE1	0.3	35.1	518.4	0.4	58.2	58.5	OK
B238	M16 8.8 - 3	LE1	2.9	35.3	518.4	3.2	58.6	60.8	OK
B239	M16 8.8 - 3	LE1	14.2	35.4	518.4	15.7	58.8	70.0	OK
B240	M16 8.8 - 3	LE1	0.0	39.1	518.4	0.0	64.9	64.9	OK
B241	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	37.4	518.4	1.2	62.0	62.8	OK
B242	M16 8.8 - 3	LE1	1.1	36.0	518.4	1.2	59.7	60.6	OK
B243	M16 8.8 - 3	LE1	1.0	35.0	518.4	1.1	58.1	58.9	OK
B244	M16 8.8 - 3	LE1	0.8	34.5	518.4	0.9	57.3	57.9	OK
B245	M16 8.8 - 3	LE1	0.5	34.5	518.4	0.5	57.2	57.6	OK
B246	M16 8.8 - 3	LE1	0.1	34.8	518.4	0.2	57.8	57.9	OK
B247	M16 8.8 - 3	LE1	2.5	35.0	518.4	2.8	58.1	60.1	OK
B248	M16 8.8 - 3	LE1	13.9	35.1	518.4	15.4	58.2	69.2	OK
B249	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	44.5	490.8	0.0	38.2	38.2	OK
B250	M22 8.8 - 1	LE1	1.7	40.9	490.8	0.9	35.2	35.8	OK
B251	M22 8.8 - 1	LE1	1.6	38.0	490.8	0.9	32.6	33.3	OK
B252	M22 8.8 - 1	LE1	1.2	35.9	490.8	0.7	30.8	31.3	OK
B253	M22 8.8 - 1	LE1	1.0	35.0	490.8	0.5	30.1	30.5	OK
B254	M22 8.8 - 1	LE1	0.6	35.0	490.8	0.4	30.1	30.4	OK
B255	M22 8.8 - 1	LE1	0.1	35.8	490.8	0.0	30.7	30.8	OK
B256	M22 8.8 - 1	LE1	1.9	36.7	490.8	1.1	31.5	32.3	OK
B257	M22 8.8 - 1	LE1	16.5	37.2	1208.9	9.5	32.0	38.7	OK
B258	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	44.0	490.8	0.0	37.8	37.8	OK
B259	M22 8.8 - 1	LE1	1.8	40.3	490.8	1.1	34.6	35.4	OK
B260	M22 8.8 - 1	LE1	1.7	37.3	490.8	1.0	32.1	32.7	OK



B261	M22 8.8 - 1	LE1	1.3	35.6	490.8	0.7	30.6	31.1	OK
B262	M22 8.8 - 1	LE1	1.1	34.7	490.8	0.6	29.8	30.3	OK
B263	M22 8.8 - 1	LE1	0.7	34.7	490.8	0.4	29.9	30.2	OK
B264	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	35.6	490.8	0.0	30.6	30.6	OK
B265	M22 8.8 - 1	LE1	1.5	36.7	490.8	0.9	31.5	32.1	OK
B266	M22 8.8 - 1	LE1	16.2	37.2	1208.9	9.3	32.0	38.6	OK
B267	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	45.1	490.8	0.0	38.8	38.8	OK
B268	M22 8.8 - 1	LE1	2.0	41.5	490.8	1.2	35.7	36.5	OK
B269	M22 8.8 - 1	LE1	2.0	38.5	490.8	1.1	33.1	33.9	OK
B270	M22 8.8 - 1	LE1	1.5	36.4	490.8	0.8	31.3	31.9	OK
B271	M22 8.8 - 1	LE1	1.1	35.1	490.8	0.6	30.1	30.6	OK
B272	M22 8.8 - 1	LE1	0.7	34.7	490.8	0.4	29.8	30.1	OK
B273	M22 8.8 - 1	LE1	0.1	35.2	490.8	0.1	30.3	30.3	OK
B274	M22 8.8 - 1	LE1	1.8	36.0	490.8	1.0	31.0	31.7	OK
B275	M22 8.8 - 1	LE1	16.3	36.4	1208.9	9.3	31.3	37.9	OK
B276	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	44.0	490.8	0.0	37.8	37.8	OK
B277	M22 8.8 - 1	LE1	1.5	40.3	490.8	0.8	34.6	35.2	OK
B278	M22 8.8 - 1	LE1	1.4	37.2	490.8	0.8	32.0	32.6	OK
B279	M22 8.8 - 1	LE1	1.1	35.0	490.8	0.6	30.1	30.6	OK
B280	M22 8.8 - 1	LE1	0.9	34.1	490.8	0.5	29.3	29.7	OK
B281	M22 8.8 - 1	LE1	0.7	34.0	490.8	0.4	29.2	29.5	OK
B282	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	34.7	490.8	0.0	29.8	29.8	OK
B283	M22 8.8 - 1	LE1	1.6	35.5	490.8	0.9	30.5	31.2	OK
B284	M22 8.8 - 1	LE1	16.0	35.7	1208.9	9.2	30.7	37.3	OK
B285	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	45.1	490.8	0.0	38.8	38.8	OK
B286	M22 8.8 - 1	LE1	2.1	41.5	490.8	1.2	35.7	36.5	OK
B287	M22 8.8 - 1	LE1	2.0	38.5	490.8	1.1	33.1	33.9	OK
B288	M22 8.8 - 1	LE1	1.5	36.3	490.8	0.8	31.2	31.8	OK
B289	M22 8.8 - 1	LE1	1.1	35.0	490.8	0.6	30.1	30.5	OK
B290	M22 8.8 - 1	LE1	0.7	34.6	490.8	0.4	29.7	30.0	OK
B291	M22 8.8 - 1	LE1	0.1	35.2	490.8	0.1	30.3	30.3	OK
B292	M22 8.8 - 1	LE1	1.8	36.1	490.8	1.1	31.0	31.8	OK
B293	M22 8.8 - 1	LE1	16.2	36.5	1208.9	9.3	31.4	38.0	OK
B294	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	44.0	490.8	0.0	37.8	37.8	OK
B295	M22 8.8 - 1	LE1	1.5	40.3	490.8	0.8	34.6	35.2	OK
B296	M22 8.8 - 1	LE1	1.4	37.2	490.8	0.8	32.0	32.6	OK
B297	M22 8.8 - 1	LE1	1.1	35.0	490.8	0.6	30.1	30.5	OK
B298	M22 8.8 - 1	LE1	0.9	34.0	490.8	0.5	29.2	29.6	OK
B299	M22 8.8 - 1	LE1	0.7	34.0	490.8	0.4	29.2	29.5	OK
B300	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	34.7	490.8	0.0	29.8	29.8	OK
B301	M22 8.8 - 1	LE1	1.6	35.5	490.8	0.9	30.5	31.2	OK
B302	M22 8.8 - 1	LE1	16.0	35.8	1208.9	9.2	30.8	37.4	OK
B303	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	44.6	490.8	0.0	38.3	38.3	OK
B304	M22 8.8 - 1	LE1	1.7	41.0	490.8	1.0	35.2	35.9	OK
B305	M22 8.8 - 1	LE1	1.6	38.0	490.8	0.9	32.7	33.3	OK
B306	M22 8.8 - 1	LE1	1.2	35.9	490.8	0.7	30.8	31.3	OK
B307	M22 8.8 - 1	LE1	0.9	35.1	490.8	0.5	30.1	30.5	OK
B308	M22 8.8 - 1	LE1	0.6	35.1	490.8	0.4	30.1	30.4	OK
B309	M22 8.8 - 1	LE1	0.1	35.9	490.8	0.0	30.8	30.8	OK
B310	M22 8.8 - 1	LE1	1.9	36.8	490.8	1.1	31.6	32.4	OK
B311	M22 8.8 - 1	LE1	16.6	37.4	1208.9	9.5	32.1	38.9	OK
B312	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	44.2	490.8	0.0	38.0	38.0	OK



B313	M22 8.8 - 1	LE1	1.8	40.4	490.8	1.0	34.7	35.5	OK
B314	M22 8.8 - 1	LE1	1.8	37.3	490.8	1.0	32.1	32.8	OK
B315	M22 8.8 - 1	LE1	1.3	35.6	490.8	0.8	30.6	31.1	OK
B316	M22 8.8 - 1	LE1	1.1	34.8	490.8	0.6	29.9	30.4	OK
B317	M22 8.8 - 1	LE1	0.7	34.8	490.8	0.4	29.9	30.2	OK
B318	M22 8.8 - 1	LE1	0.0	35.7	490.8	0.0	30.7	30.7	OK
B319	M22 8.8 - 1	LE1	1.6	36.8	490.8	0.9	31.7	32.3	OK
B320	M22 8.8 - 1	LE1	16.2	37.4	1208.9	9.3	32.1	38.8	OK
B321	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	35.1	654.4	1.3	58.2	59.2	OK
B322	M16 8.8 - 2	LE1	1.7	32.9	345.6	1.9	54.6	56.0	OK
B323	M16 8.8 - 2	LE1	1.5	31.3	345.6	1.6	51.8	53.0	OK
B324	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	30.2	345.6	1.5	50.0	51.1	OK
B325	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	29.5	345.6	1.4	49.0	50.0	OK
B326	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	29.3	345.6	1.4	48.7	49.6	OK
B327	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	29.7	345.6	1.1	49.2	50.0	OK
B328	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	30.4	345.6	1.0	50.4	51.1	OK
B329	M16 8.8 - 2	LE1	8.5	31.0	345.6	9.4	51.5	58.2	OK
B330	M16 8.8 - 2	LE1	2.0	36.5	654.4	2.2	60.5	62.1	OK
B331	M16 8.8 - 2	LE1	1.8	34.3	345.6	1.9	56.9	58.3	OK
B332	M16 8.8 - 2	LE1	1.5	32.6	345.6	1.6	54.1	55.3	OK
B333	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	31.5	345.6	1.5	52.3	53.4	OK
B334	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	30.8	345.6	1.5	51.1	52.2	OK
B335	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	30.6	345.6	1.4	50.7	51.7	OK
B336	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	30.8	345.6	1.1	51.0	51.8	OK
B337	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	31.3	345.6	1.1	51.9	52.7	OK
B338	M16 8.8 - 2	LE1	9.1	31.7	345.6	10.1	52.6	59.8	OK
B339	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	35.0	654.4	1.1	58.1	58.8	OK
B340	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	32.9	345.6	1.6	54.5	55.6	OK
B341	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	31.2	345.6	1.5	51.8	52.8	OK
B342	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	30.1	345.6	1.4	49.9	50.9	OK
B343	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	29.5	345.6	1.4	48.9	49.9	OK
B344	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	29.3	345.6	1.4	48.6	49.6	OK
B345	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	29.6	345.6	1.1	49.1	49.9	OK
B346	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	30.3	345.6	1.0	50.2	50.9	OK
B347	M16 8.8 - 2	LE1	9.1	30.8	345.6	10.1	51.1	58.3	OK
B348	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	35.3	654.4	1.3	58.5	59.5	OK
B349	M16 8.8 - 2	LE1	1.8	33.1	345.6	2.0	54.9	56.3	OK
B350	M16 8.8 - 2	LE1	1.5	31.4	345.6	1.7	52.2	53.3	OK
B351	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	30.3	345.6	1.5	50.3	51.4	OK
B352	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	29.7	345.6	1.4	49.2	50.2	OK
B353	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	29.5	345.6	1.4	48.9	49.9	OK
B354	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	29.8	345.6	1.1	49.5	50.3	OK
B355	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	30.6	345.6	1.0	50.7	51.4	OK
B356	M16 8.8 - 2	LE1	8.5	31.2	345.6	9.4	51.8	58.5	OK
B357	M16 8.8 - 2	LE1	2.0	36.3	654.4	2.3	60.1	61.8	OK
B358	M16 8.8 - 2	LE1	1.7	34.1	345.6	1.9	56.5	57.9	OK
B359	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	32.4	345.6	1.6	53.7	54.9	OK
B360	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	31.3	345.6	1.5	51.8	52.9	OK
B361	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	30.6	345.6	1.5	50.8	51.8	OK
B362	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	30.4	345.6	1.4	50.4	51.4	OK
B363	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	30.6	345.6	1.1	50.8	51.6	OK
B364	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	31.2	345.6	1.1	51.7	52.5	OK



B365	M16 8.8 - 2	LE1	9.1	31.6	345.6	10.1	52.5	59.7	OK
B366	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	35.0	654.4	1.1	58.1	58.9	OK
B367	M16 8.8 - 2	LE1	1.5	32.9	345.6	1.7	54.5	55.7	OK
B368	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	31.2	345.6	1.5	51.8	52.8	OK
B369	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	30.1	345.6	1.5	49.9	50.9	OK
B370	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	29.4	345.6	1.4	48.8	49.9	OK
B371	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	29.3	345.6	1.4	48.6	49.6	OK
B372	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	29.6	345.6	1.1	49.1	49.9	OK
B373	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	30.3	345.6	1.0	50.2	51.0	OK
B374	M16 8.8 - 2	LE1	9.2	30.9	345.6	10.1	51.2	58.4	OK
B375	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	28.0	654.4	1.0	46.5	47.1	OK
B376	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	26.4	345.6	1.4	43.8	44.8	OK
B377	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	25.3	345.6	1.2	41.9	42.8	OK
B378	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	24.6	345.6	1.2	40.7	41.6	OK
B379	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	24.2	345.6	1.2	40.2	41.0	OK
B380	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	24.3	345.6	1.1	40.3	41.1	OK
B381	M16 8.8 - 2	LE1	0.8	24.7	345.6	0.9	41.0	41.6	OK
B382	M16 8.8 - 2	LE1	0.7	25.5	345.6	0.8	42.3	42.8	OK
B383	M16 8.8 - 2	LE1	7.5	26.2	345.6	8.2	43.4	49.3	OK
B384	M16 8.8 - 2	LE1	2.2	33.9	654.4	2.4	56.3	58.0	OK
B385	M16 8.8 - 2	LE1	1.8	31.7	345.6	2.0	52.6	54.1	OK
B386	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	30.0	345.6	1.6	49.8	50.9	OK
B387	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	28.8	345.6	1.4	47.8	48.9	OK
B388	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	28.2	345.6	1.4	46.7	47.7	OK
B389	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	27.9	345.6	1.3	46.3	47.3	OK
B390	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	28.2	345.6	1.0	46.7	47.4	OK
B391	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	28.7	345.6	1.0	47.7	48.4	OK
B392	M16 8.8 - 2	LE1	8.1	29.2	345.6	8.9	48.4	54.7	OK
B393	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	30.4	654.4	1.0	50.5	51.2	OK
B394	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	28.6	345.6	1.4	47.4	48.4	OK
B395	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	27.1	345.6	1.3	45.0	46.0	OK
B396	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	26.2	345.6	1.2	43.4	44.3	OK
B397	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	25.7	345.6	1.2	42.6	43.5	OK
B398	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	25.6	345.6	1.2	42.5	43.3	OK
B399	M16 8.8 - 2	LE1	0.8	25.9	345.6	0.9	43.0	43.7	OK
B400	M16 8.8 - 2	LE1	0.8	26.6	345.6	0.9	44.2	44.8	OK
B401	M16 8.8 - 2	LE1	8.1	27.2	345.6	8.9	45.1	51.5	OK
B402	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	28.2	654.4	1.0	46.7	47.4	OK
B403	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	26.6	345.6	1.4	44.1	45.1	OK
B404	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	25.4	345.6	1.3	42.2	43.1	OK
B405	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	24.7	345.6	1.2	41.0	41.9	OK
B406	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	24.4	345.6	1.2	40.4	41.3	OK
B407	M16 8.8 - 2	LE1	1.0	24.4	345.6	1.1	40.5	41.3	OK
B408	M16 8.8 - 2	LE1	0.8	24.9	345.6	0.9	41.2	41.9	OK
B409	M16 8.8 - 2	LE1	0.8	25.6	345.6	0.8	42.5	43.1	OK
B410	M16 8.8 - 2	LE1	7.5	26.3	345.6	8.3	43.6	49.5	OK
B411	M16 8.8 - 2	LE1	2.1	33.8	654.4	2.4	56.1	57.8	OK
B412	M16 8.8 - 2	LE1	1.8	31.6	345.6	1.9	52.4	53.8	OK
B413	M16 8.8 - 2	LE1	1.4	29.9	345.6	1.5	49.6	50.7	OK
B414	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	28.8	345.6	1.4	47.7	48.7	OK
B415	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	28.1	345.6	1.4	46.6	47.6	OK
B416	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	27.8	345.6	1.3	46.1	47.1	OK

B417	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	28.0	345.6	1.0	46.4	47.2	OK
B418	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	28.5	345.6	1.0	47.3	48.0	OK
B419	M16 8.8 - 2	LE1	8.0	29.0	345.6	8.9	48.1	54.4	OK
B420	M16 8.8 - 2	LE1	0.9	30.4	654.4	1.0	50.5	51.2	OK
B421	M16 8.8 - 2	LE1	1.3	28.6	345.6	1.4	47.4	48.4	OK
B422	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	27.1	345.6	1.3	45.0	45.9	OK
B423	M16 8.8 - 2	LE1	1.2	26.2	345.6	1.3	43.4	44.4	OK
B424	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	25.7	345.6	1.3	42.6	43.5	OK
B425	M16 8.8 - 2	LE1	1.1	25.6	345.6	1.2	42.5	43.3	OK
B426	M16 8.8 - 2	LE1	0.8	26.0	345.6	0.9	43.1	43.7	OK
B427	M16 8.8 - 2	LE1	0.8	26.6	345.6	0.9	44.2	44.8	OK
B428	M16 8.8 - 2	LE1	8.0	27.2	345.6	8.9	45.1	51.4	OK

Design data

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M22 8.8 - 1	174.5	876.0	116.4
M16 8.8 - 2	90.4	413.3	60.3
M16 8.8 - 3	90.4	619.9	60.3

Buckling

Loads	Shape	Factor [-]
LE1	1	348.51
	2	354.97
	3	424.93
	4	433.17
	5	612.62
	6	616.04



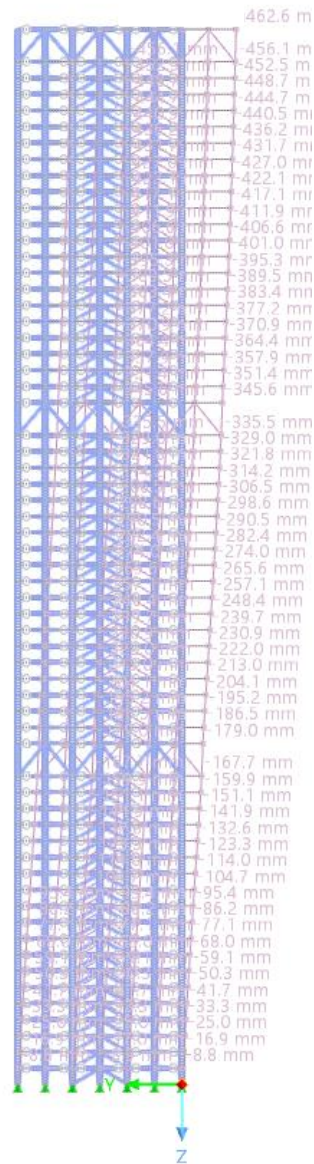
## 11 UTJECAJ POLOŽAJA POTPORNIH REŠETKI NA PONAŠANJE KONSTRUKCIJE

Sustavi s potpornim rešetkama koriste se kod visokih građevina kako bi se povećala krutost konstrukcije te smanjili bočni pomaci i deformacije nastale zbog momenta savijanja. Ovisno o krutosti jezgre i potpornog sustava smanjenje može biti značajno u odnosu na slobodnu konzolu. Kako bi se postigla optimalna učinkovitost, potporne rešetke moraju biti postavljene na odgovarajućim visinama.

U ovom radu proveden je proračun konstrukcije s potpornim rešetkama na vrhu zgrade te u trećinama. U nastavku je prikazana usporedba bočnog pomaka konstrukcije za kritičnu kombinaciju (kombinacija gdje je dominantno djelovanje vjetra na uzdužnu stranu građevine) za različit broj i položaj potpornih rešetki po visini konstrukcije. Analize su provedene za numerički model koji je opisan u 8. poglavlju kako bi se ocjenila učinkovitost odabranog broja i položaja potpornih rešetki. Broj i položaj potpornih rešetki je odabran prema preporukama iz literature.

### 11.1 Položaj potpornih rešetki na visinama $H/3$ , $2H/3$ i $H$

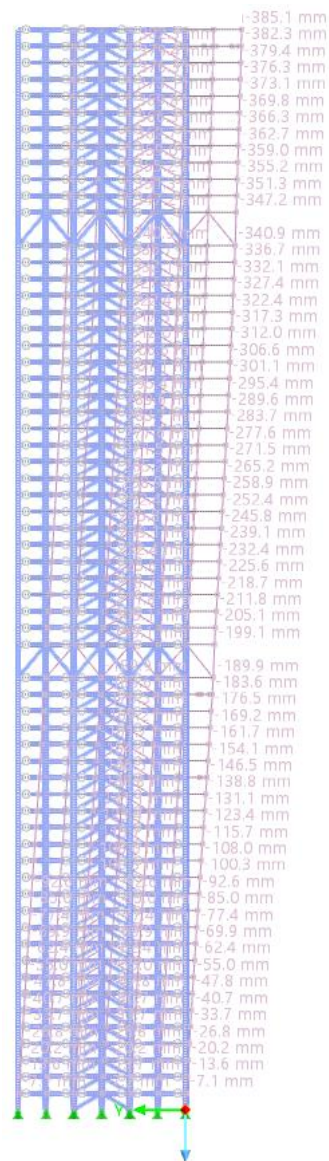
Na **Slici 29.** prikazan je bočni pomak za položaj potpornih rešetki koji je odabran za predmetnu građevinu, na visinama  $H/3$ ,  $2H/3$  i  $H$ .



**Slika 44:** Bočni pomaci konstrukcije s potpornim rešetkama na  $H/3$ ,  $2H/3$  i  $H$

## 11.2 Položaj potpornih rešetki na visinama 4H/5 i 2H/5

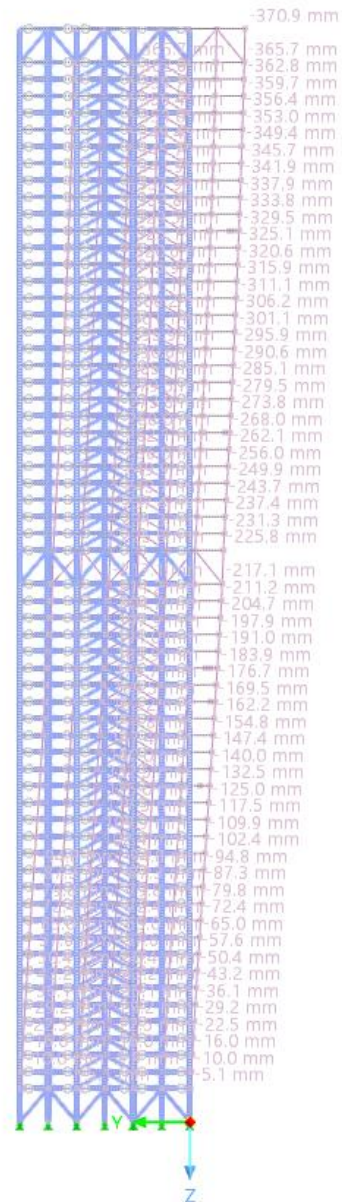
Na Slici 30. prikazan je bočni pomak za položaj potpornih rešetki na visinama 4H/5 i 2H/5.



Slika 45: Bočni pomaci konstrukcije s potpornim rešetkama na 4H/5 i 2H/5

### 11.3 Položaj potpornih rešetki na visinama 0H, H/2 i H

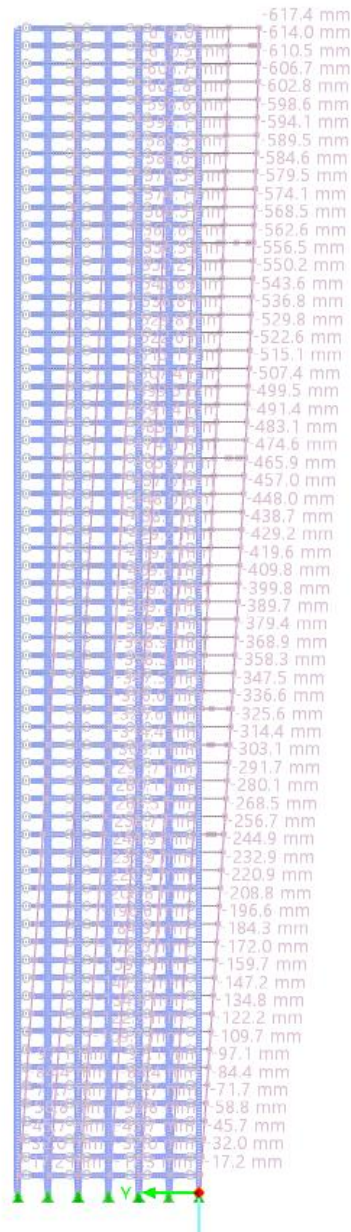
Na Slici 31. prikazan je bočni pomak za položaj potpornih rešetki na visinama 0H, H/2 i H.



Slika 46: Bočni pomaci konstrukcije s potpornim rešetkama na 0H, H/2 i H

## 11.4 Okvirni nosivi sustav

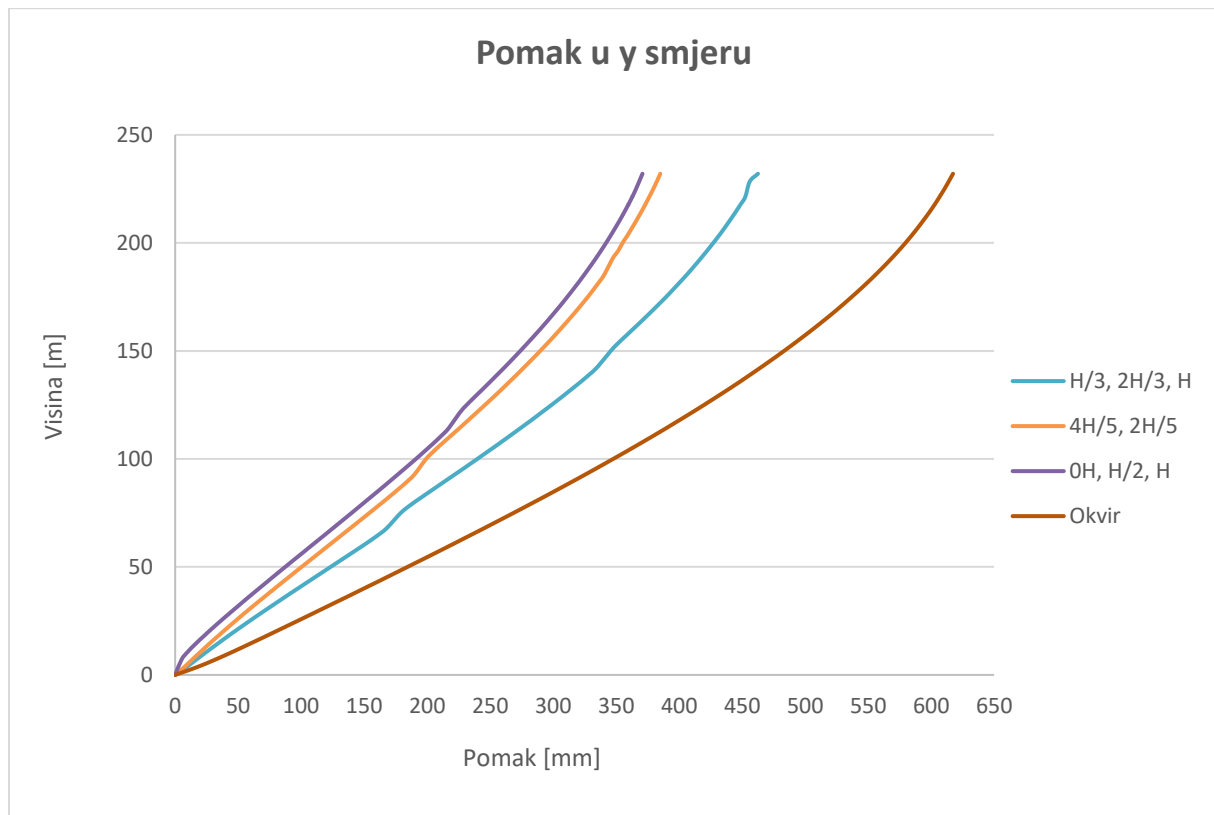
Na **Slici 32.** prikazan je bočni pomak za konstrukciju gdje je nosivi sustav samo okvirna konstrukcija.



**Slika 47:** Bočni pomaci okvira

## 11.5 Usporedba bočnih pomaka

Na Slici 33. je prikazana usporedba pomaka za 4 razmatrana slučaja.



Slika 48: Bočni pomaci konstrukcije u ovisnosti o rasporedbu i broju potpornih rešetki

Prikazano je kako konstrukcija sa sustavom potpornih rešetki ima manji bočni pomak od konstrukcije čiji statički sustav čine okviri s jezgrom. Učinkovitost sustava s potpornim rešetkama ovisi o broji i rasporedu potpornih rešetki po visini konstrukcije. Za sustav gdje su potporne rešetke postavljene na H/3, 2H/3 i H bočni pomak je smanjen za 30%, za položaj potpornih rešetki na 4H/5 i 2H/5 za 38% te za 0H, H/2 i H za 40%.

Iz navedenog vidimo da se za bilo koji položaj i broj potpornih rešetki smanjuje bočni pomak konstrukcije te kao takav predstavlja učinkovito rješenje kod visokih zgrada gdje su bočni pomaci građevine veliki.

## 12 ZAKLJUČAK

Nosivi sustav potpornih rešetki pokazao se kao učinkovito rješenje u reduciranju bočnih pomaka uslijed horizontalnih djelovanja. Kod visokih građevina, kao što je i građevina proračunata u ovome radu, najkritičnija kombinacija djelovanja je upravo ona u kojoj je vjetar dominantno opterećenje.

Učinkovitost sustava s potpornim rešetkama ovisi o broju i položaju rešetki po visini što je pokazano u 11. poglavlju. Uspoređene su vrijednosti pomaka na vrhu zgrade za kombinaciju gdje je vjetar u uzdužnom smjeru dominantno promijenjivo djelovanje. Optimalni položaji potpora po visini razlikuju se za različite zgrade i različite zahtijevane kriterije (u ovom slučaju pomak vrha zgrade) te se varijanta gdje se potporne rešetke nalaze na visinama  $0H$ ,  $H/2$  i  $H$  pokazala kao najbolja za zadovoljenje tog kriterija. Međutim, razmještaj potpornih rešetki ovisi i o arhitektonskom razmještaju, organizaciji prostora i troškovima same konstrukcije i gradnje, stoga je potrebno uključiti i ostale struke kao bi se pronašlo optimalno rješenje.

---

**POPIS LITERATURE**

- [1] The Polynesian outrigger canoe  
URL: <https://www.moanavoyages.com/enau/blog/the-polynesian-outrigger-canoe/>  
[Pristupljeno: 8.4.2024.]
- [2] Vlašić, A., Puž G., Skokandić D. *Skripta iz kolegija Visoke građevine*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2018.
- [3] Lukačević I. (ak. god.2022./23.) 10. predavanje, *Posebni, složeni i mješoviti sustavi*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet
- [4] Choi, H. S., Ho, G., Joseph, L., Mathias, N. *Outrigger Design for High-Rise Buildings 2nd Edition: An Output of the CTBUH Outrigger Working Group*. Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Chicago; 2017.
- [5] Outrigger Structural System for High-Rise Building  
URL: <https://theconstructor.org/exclusive/outriggers-high-rise-building/247964/>  
[Pristupljeno: 8.4.2024.]
- [6] Biškup, D. *Nelinearna seizmička analiza visoke čelične građevine s konstrukcijskim sustavima potpornih rešetki*, Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2021.
- [7] Choi, H. S., Tomasetti, T., Joseph, L., Mathias, N. *Outrigger System Design Considerations*. International Journal of High-Rise Buildings Volume 1 Number; 2012.
- [8] Ćurković, I. *Visoke građevine 4. auditorne vježbe* [PowerPoint slajdovi]. Preuzeto s [https://www.grad.unizg.hr/predmet/visgra\\_b](https://www.grad.unizg.hr/predmet/visgra_b)
- [9] HRN EN 1993
- [10] HRN EN 1998
- [11] HRN EN 1990



- [12] Multideck Tehnical Handbook  
URL: [https://www.raisedfloor.co.uk/wp-content/uploads/2020/06/32\\_114-KSP-Multideck-Handbook-EN-LR.pdf](https://www.raisedfloor.co.uk/wp-content/uploads/2020/06/32_114-KSP-Multideck-Handbook-EN-LR.pdf)  
[Pristupljeno: 5.11.2023.]
- [13] HRN EN 1991
- [14] Ćurković, I., Lukačević, I. Spregnute konstrukcije: *Predavanja* [PowerPoint slajdovi].  
Preuzeto s [https://www.grad.unizg.hr/predmet/sprkon\\_a/predavanja](https://www.grad.unizg.hr/predmet/sprkon_a/predavanja)
- [15] Dujmović, D., Androić, B., Lukačević, I. *Projektiranje spregnutih konstrukcija prema Eurocode 4*. Zagreb: IA Projektiranje; 2012.
- [16] Dujmović, D., Androić, B., Lukačević, I. *Primjeri proračuna spregnutih konstrukcija prema Eurocode 4*. Zagreb: IA Projektiranje; 2014.

## POPIS SLIKA

Slika 1: Polinezijski outrigger kanu (Izvor: [1]) .....	2
Slika 2: Usporedba konstrukcijskih sustava iz 1970-ih godina (Izvor: [4]) .....	3
Slika 3: US Bank Center, Milwaukee, USA (Izvor: [4]) .....	4
Slika 4: Konstrukcijski sustav U.S. Bank Center, Milwaukee, USA (Izvor: [4]) .....	4
Slika 5: Ponašanje sustava s potpornim rešetkama (Izvor: [3]) .....	5
Slika 6: Načelo sustava potpornih rešetki (Izvor: [5]) .....	5
Slika 7: Virtualni ili indirektan sustav s potpornim rešetkama (Izvor: [6]) .....	7
Slika 8: P - $\Delta$ učinci uslijed promjene geometrije (Izvor: [8]) .....	9
Slika 9: Globalne nesavršenosti okvira (Izvor: [8]) .....	11
Slika 10: Karta snježnih područja u Hrvatskoj (Izvor: [13]) .....	22
Slika 11: Karta osnovne brzine vjetra (Izvor: [13]) .....	25
Slika 12: Grafički prikaz faktora izloženosti $c_e(z)$ za $c_o = 1,0$ , $k_1 = 1,0$ (Izvor: [13]) .....	28
Slika 13: Koeficijent sile $c_{f,0}$ za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja (Izvor:[13]) .....	29
Slika 14: Faktor redukcije uslijed vitkosti (Izvor: [13]) .....	29
Slika 15: Vertikalne konstrukcije (Izvor: [13]) .....	30
Slika 16: Odgovarajuća raspodjela profila tlaka (Izvor: [13]) .....	34
Slika 17: Područja za vertikalne zidove s pravokutnim tlocrtom (Izvor: [13]) .....	38
Slika 18: Oblik elastičnog spektra odziva (Izvor: [10]) .....	44
Slika 19: Vrijednosti vršnog horizontalnog ubrzanja tla na području Zagreba (Izvor: [10]) .....	46
Slika 20: Horizontalni proračunski spektar odziva, povratni period 475 godina .....	48
Slika 21: Horizontalni proračunski spektar odziva, povratni period 95 godina .....	49
Slika 22: 3D model konstrukcije .....	60
Slika 23: Slučajni ekscentriciteti .....	63
Slika 24: Početne imperfekcije u smjeru x .....	63
Slika 25: Početne imperfekcije u smjeru y .....	63
Slika 26: Ukupni horizontalni pomak građevine za CO7 i CO8 .....	64
Slika 27: Ukupni horizontalni pomak građevine za CO7 nakon povećanja dimenzija elemenata .....	65
Slika 28: Modalni oblici za prva tri tona .....	70
Slika 29: Prikaz spregnutog nosača .....	135
Slika 30: Oblik momentnog dijagrama spregnutog nosača .....	139
Slika 31: Raspored naprezanja hrpta poprečnog presjeka .....	141
Slika 32. Profilirani čelični lim (Izvor: [12]) .....	151
Slika 33: Momentni dijagram nosača za fazu izvedbe (maksimalan pozitivan moment) .....	153
Slika 34: Momentni dijagram nosača za fazu izvedbe (maksimalan negativan moment) .....	154
Slika 35: Položaj neutralne osi i raspored naprezanja .....	155

---

Slika 36: Dokaz nosivosti na uzdužni posmik .....	157
Slika 37: Deformacija za fazu izvedbe .....	159
Slika 38: Deformacija za konačno stanje .....	161
Slika 39: Priključak temeljne stope obodnog stupa .....	162
Slika 40: Priključak dviju dijagonala na glavni nosač .....	165
Slika 41: Priključak sekundarnog nosača na glavni nosač .....	169
Slika 42: Priključak nastavka glavnog nosača .....	172
Slika 43: Priključak nastavka stupa .....	175
Slika 44: Bočni pomaci konstrukcije s potpornim rešetkama na $H/3$ , $2H/3$ i $H$ .....	187
Slika 45: Bočni pomaci konstrukcije s potpornim rešetkama na $4H/5$ i $2H/5$ .....	188
Slika 46: Bočni pomaci konstrukcije s potpornim rešetkama na $0H$ , $H/2$ i $H$ .....	189
Slika 47: Bočni pomaci okvira .....	190
Slika 48: Bočni pomaci konstrukcije u ovisnosti o rasporedbu i broju potpornih rešetki .....	191

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Početne lokalne imperfekcije oblika luka (Izvor: [6]).....	12
Tablica 2: Preporučene vrijednosti faktora $\Psi$ za zgrade (Izvor: [11]) .....	15
Tablica 3: Razredi važnosti za zgrade (Izvor: [10]) .....	17
Tablica 4: Vrijednost $\phi$ pri proračunu $\Psi_{E,i}$ (Izvor: [10]) .....	18
Tablica 5: Karakteristike profiliranog lima (Izvor: [12]).....	19
Tablica 6: Karakteristike spregnute ploče ovisno o debljini (Izvor: [12]).....	19
Tablica 7: Uporabna opterećenja stropova (Izvor:[13]).....	20
Tablica 8: Karakteristična uporabna opterećenja krova (Izvor:[12]) .....	21
Tablica 9: Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (Izvor: [13]) .....	23
Tablica 10: Kategorije terena i parametri terena (Izvor:[13]) .....	26
Tablica 11: Određivanje koeficijenta sile .....	30
Tablica 12. Sile vjetra na uzdužnu stranu .....	34
Tablica 13: Sile vjetra na poprečnu stranu .....	36
Tablica 14: Preporučene vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada (Izvor: [13]).....	38
Tablica 15: Sile vjetra na uzdužnu stranu .....	40
Tablica 16: Sile vjetra na poprečnu stranu .....	42
Tablica 17: Parametri temeljnog tla za horizontalni tip spektra 1 (Izvor: [10]) .....	45
Tablica 18: Granične vrijednosti faktora ponašanja za čelične sustave pravilne po visini (Izvor: [10]) .....	47
Tablica 19: Rasponi ploče ovisni o debljini ploče i opterećenju (Izvor: [12]).....	50
Tablica 20: Opterećenja na obodni stup .....	52
Tablica 21: Otpornost obodnog stupa na izvijanje.....	52
Tablica 22: Opterećenja na stup jezgre .....	53
Tablica 23: Otpornost stupa jezgre na izvijanje .....	53
Tablica 24: Otpornost dijagonale jezgre na izvijanje .....	54
Tablica 25: Određivanje faktora konstrukcije .....	55
Tablica 26: Sile vjetra na uzdužnu stranu nakon proračuna faktora konstrukcije.....	56
Tablica 27: Sile vjetra na poprečnu stranu nakon proračuna faktora konstrukcije .....	58
Tablica 28: Slučajevi opterećenja .....	62
Tablica 29: Kombinacije opterećenja .....	62
Tablica 30: Mjerodavni učinci djelovanja za stup jezgre.....	66
Tablica 31: Mjerodavni učinci djelovanja za stup etaža s potpornim rešetkama .....	66
Tablica 32: Mjerodavni učinci djelovanja za glavni nosač.....	67
Tablica 33: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale jezgre .....	67

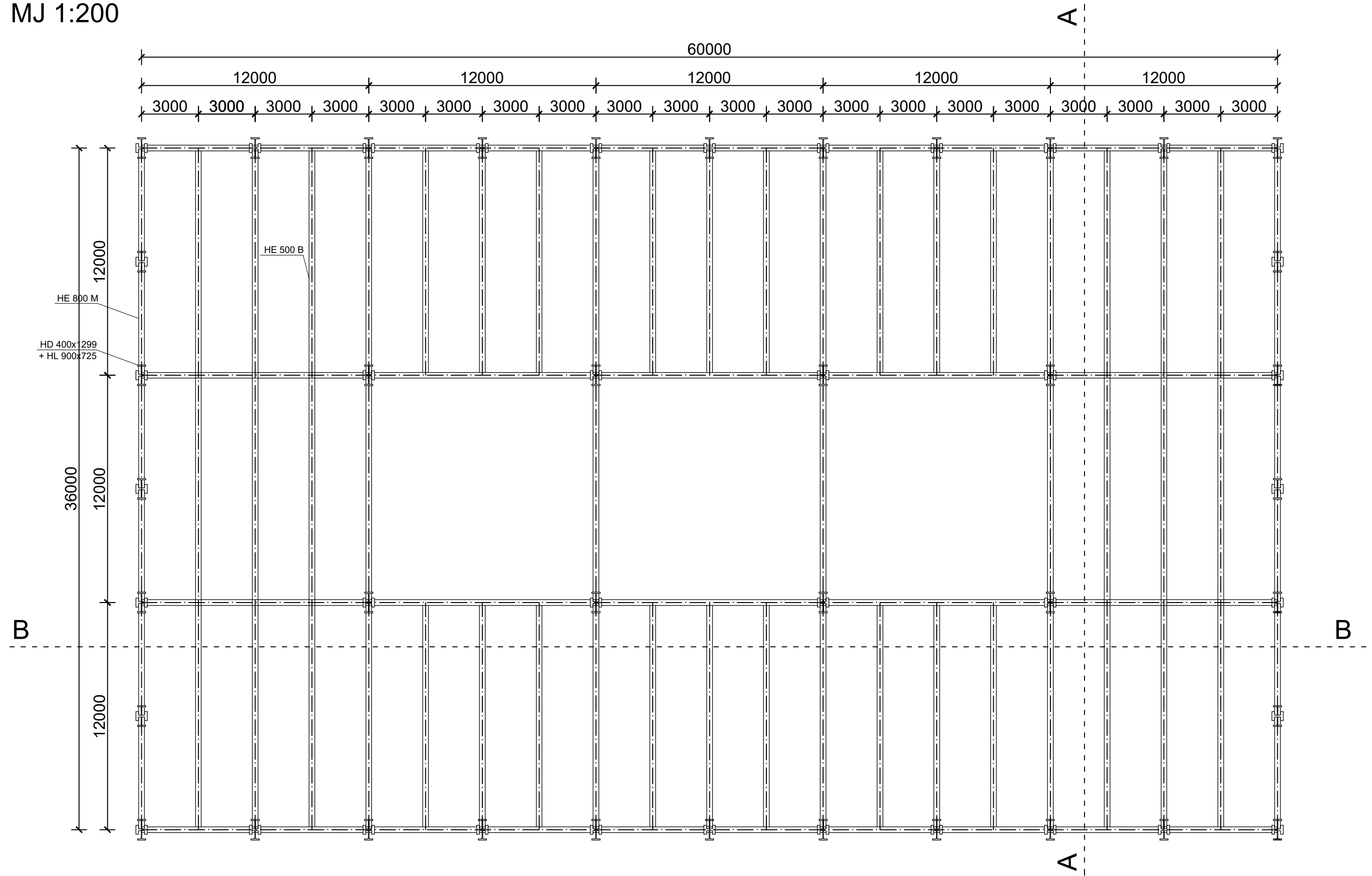
---


Tablica 34: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale jezgre na etažama s potpornim rešetkama.....	67
Tablica 35: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale potporne rešetke.....	67
Tablica 36: Prirodni periodi i frekvencije modova odziva .....	68
Tablica 37: Efektivna modalna masa .....	68
Tablica 38: Klasifikacija konstrukcije u x smjeru .....	71
Tablica 39: Klasifikacija konstrukcije u y smjeru .....	73
Tablica 40: Zahtjev ograničenog oštećenja za smjer x .....	76
Tablica 41: Zahtjev ograničenog oštećenja za smjer y .....	78
Tablica 42: Mjerodavni učinci djelovanja za stup .....	80
Tablica 43: Mjerodavni učinci djelovanja za stup etaže s potpornim rešetkama .....	80
Tablica 44: Mjerodavni učinci djelovanja za glavni nosač.....	80
Tablica 45: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale jezgre .....	81
Tablica 46: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale jezgre na etažama s potpornim rešetkama.....	81
Tablica 47: Mjerodavni učinci djelovanja za dijagonale potporne rešetke.....	81
Tablica 48: Karakteristike HL 920x725 + HD 400x1299 profila .....	82
Tablica 49: Mjerodavni učinci djelovanja na stup .....	82
Tablica 50: Mjerodavni učinci djelovanja na stup (etaže s potpornim rešetkama) .....	101
Tablica 51: Karakteristike HEM 800 profila .....	120
Tablica 52: Mjerodavni učinci djelovanja glavnog nosača .....	120
Tablica 53: Karakteristike CHS 508x30 profila.....	130
Tablica 54: Mjerodavni učinci djelovanja dijagonala posmične jezgre .....	130
Tablica 55: Mjerodavni učinci djelovanja dijagonala potpornih rešetki .....	132
Tablica 56: Karakteristike HE 500 B profila .....	135

## PRILOZI

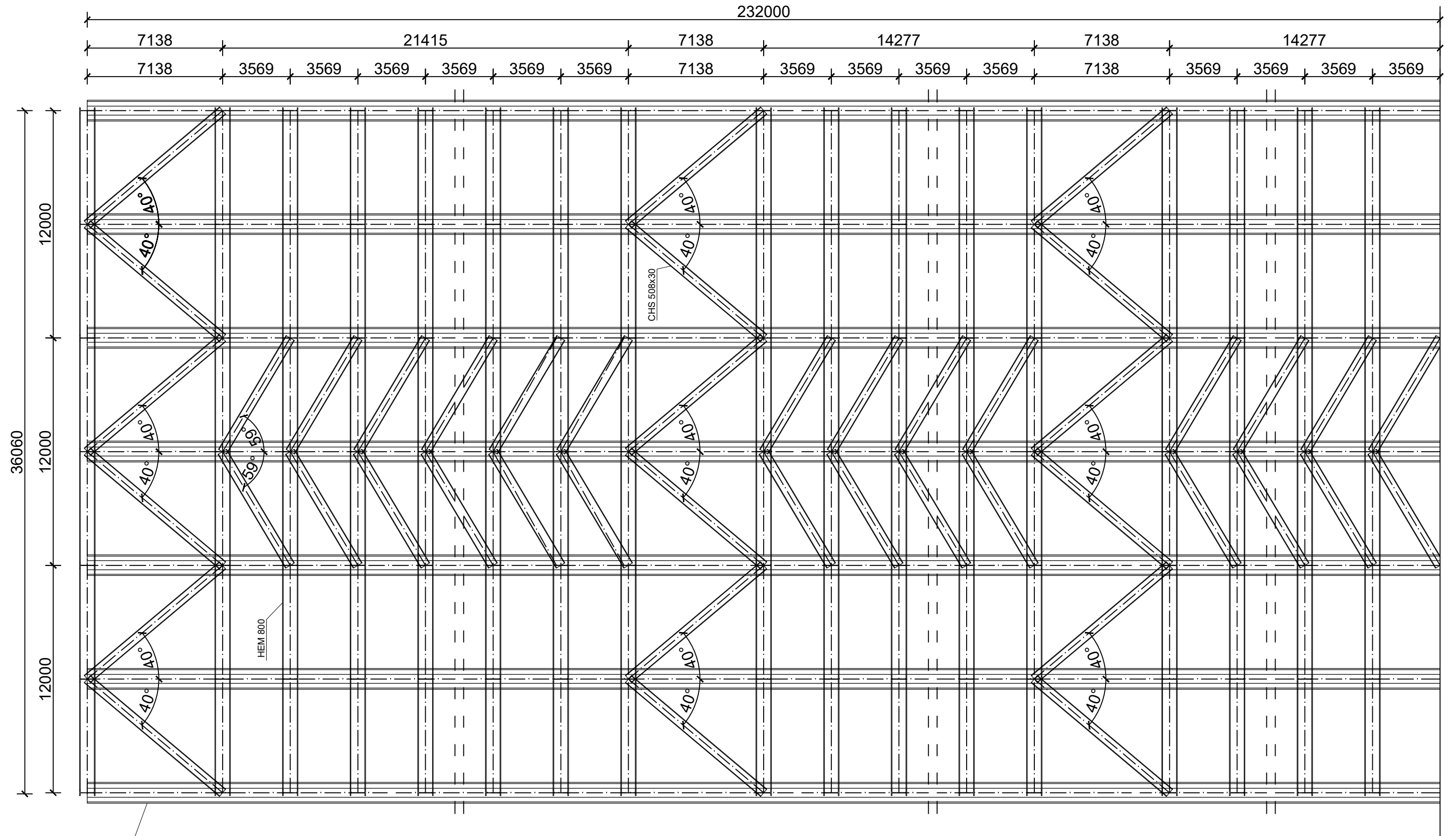
# TLOCRT ZGRADE

## MJ 1:200



	Diplomski rad	
	Sadržaj nacrt:	Dispozicija - Tlocrt
	Mentor:	izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević
Studentica:	Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:200

PRESJEK A-A  
MJ 1:200



HD 400x1299  
+ HL 900x725

HEM 800

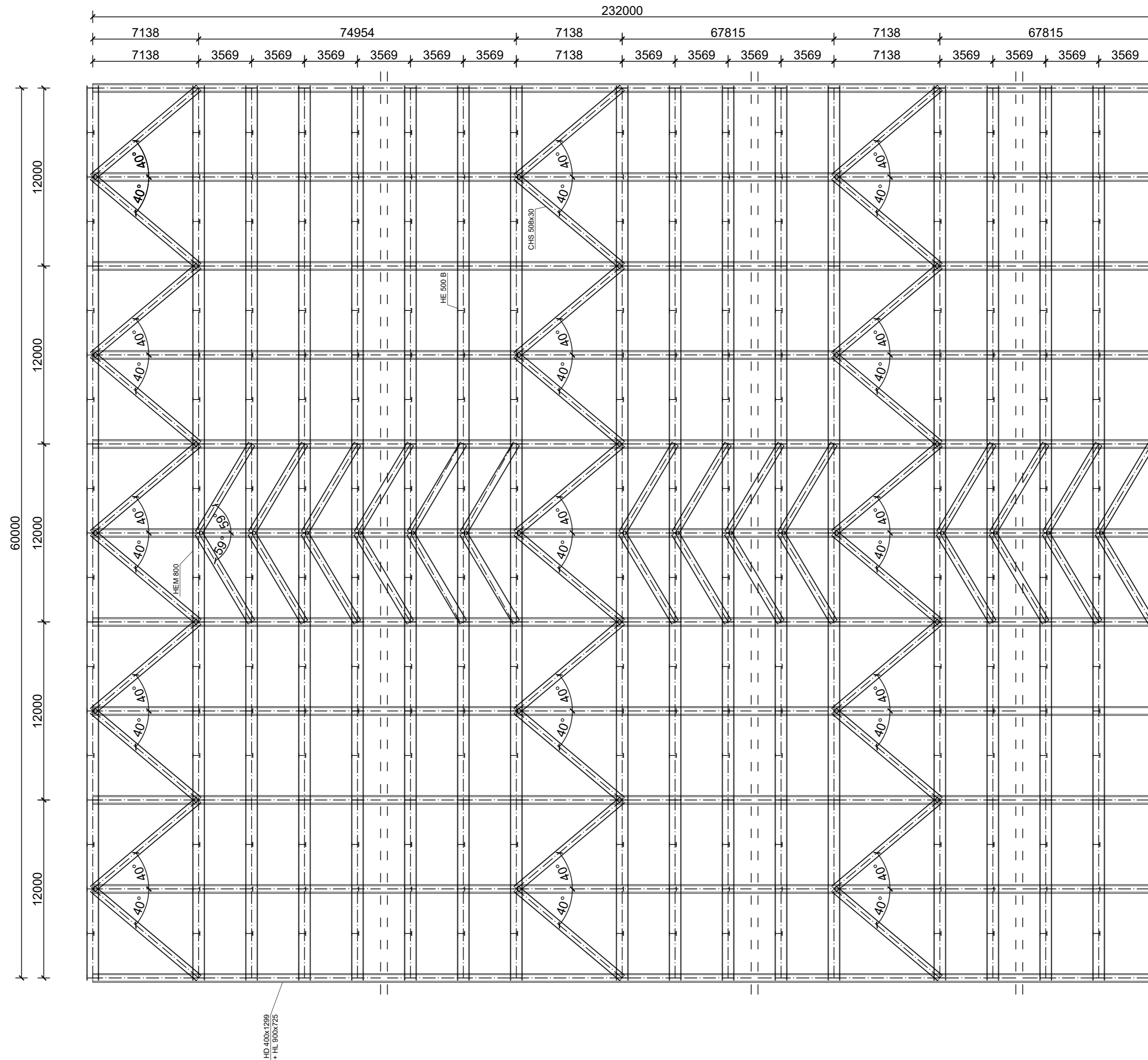
CHS 508x30

	<b>Diplomski rad</b>	
	Sadržaj nacrt:	Dispozicija - Presjek A-A
	Mentor:	izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević
	Studentica:	Anamaria Smolić
		Mjerilo: 1:200



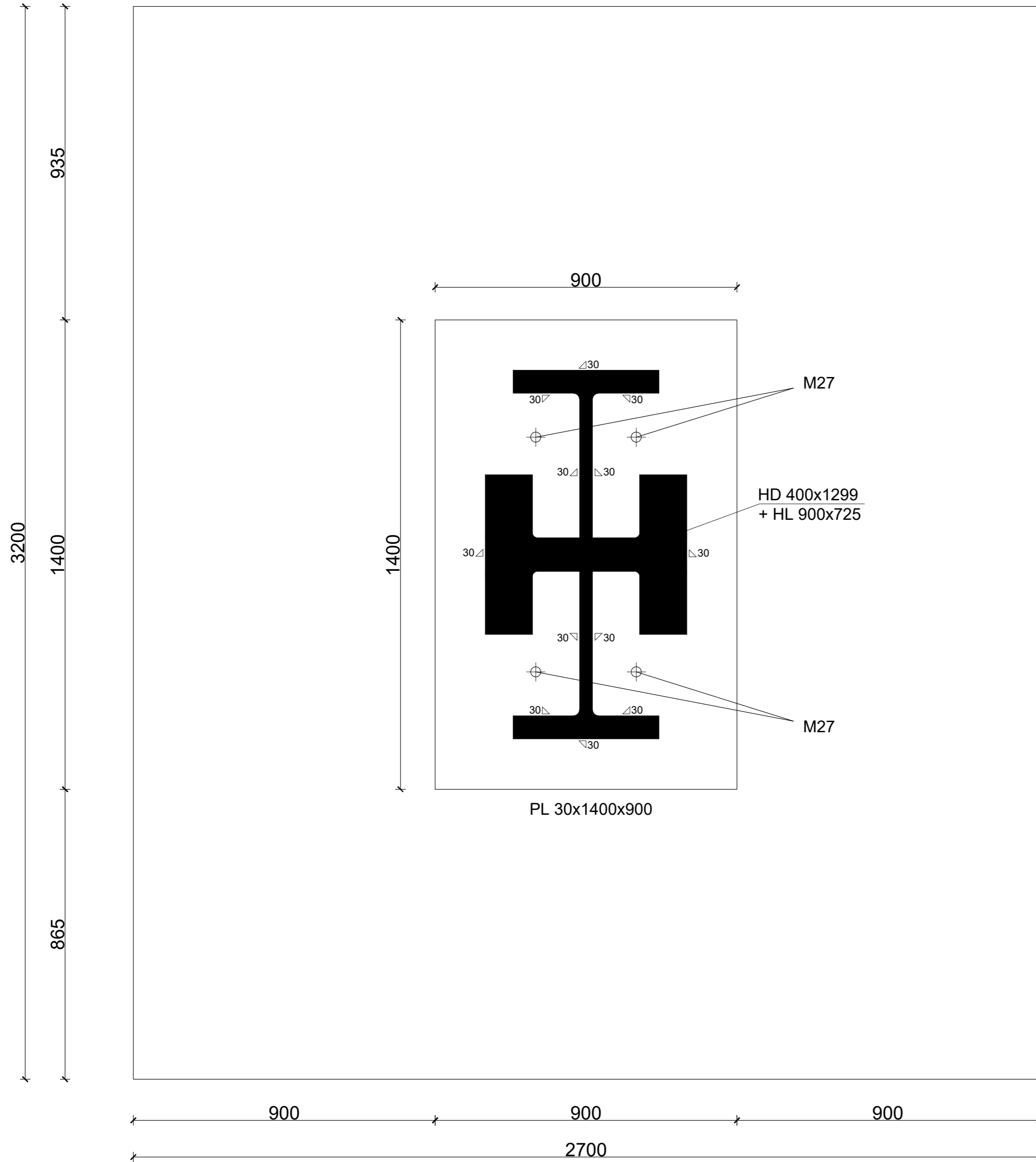
# PRESJEK B-B

MJ 1:200

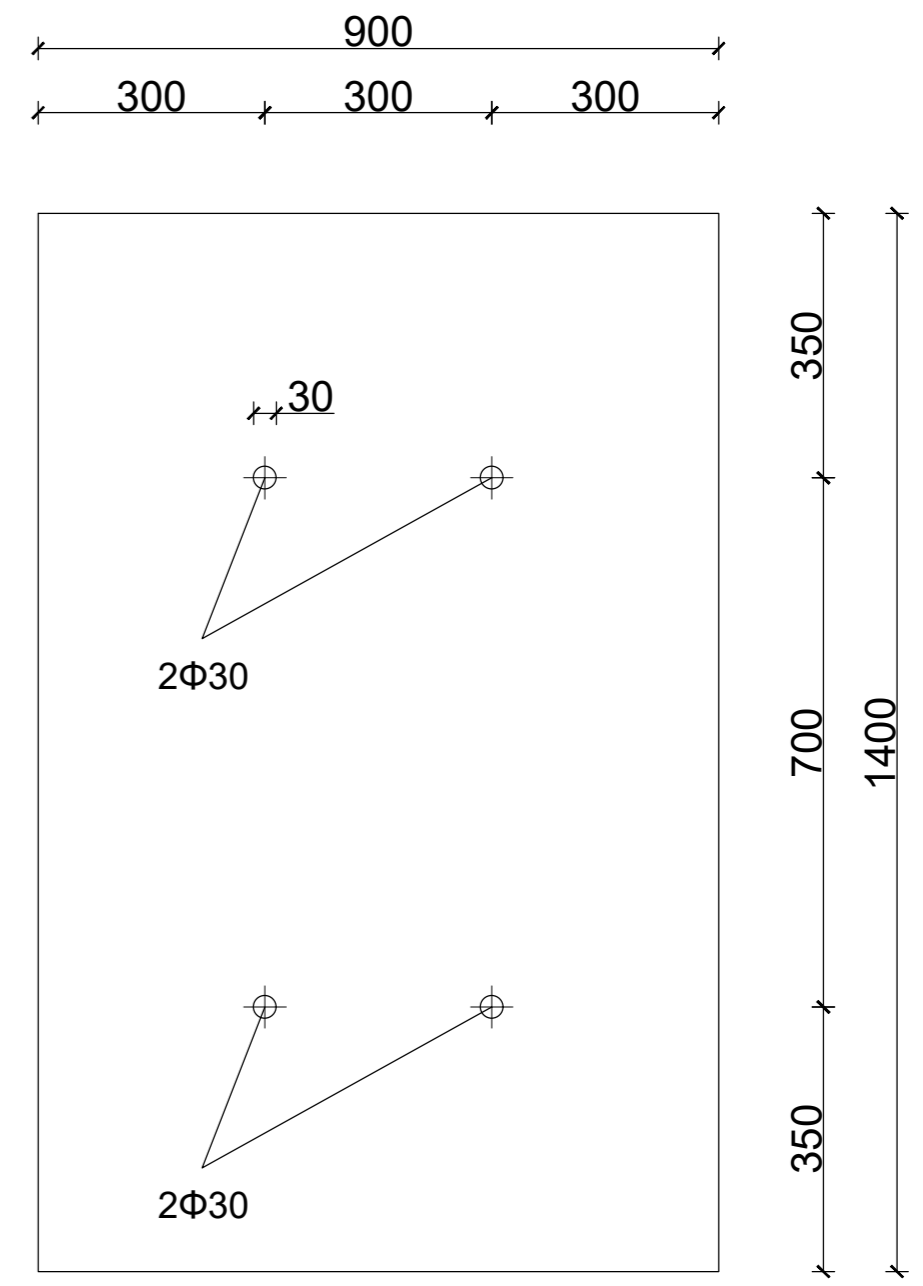


	Diplomski rad	
Sadržaj nacrt:	Dispozicija - Presjek B-B	
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
Studentica:	Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:200

PRIKLJUČAK TEMELJNE STOPE OBODNOG STUPA  
 TLOCRT  
 MJ 1:10

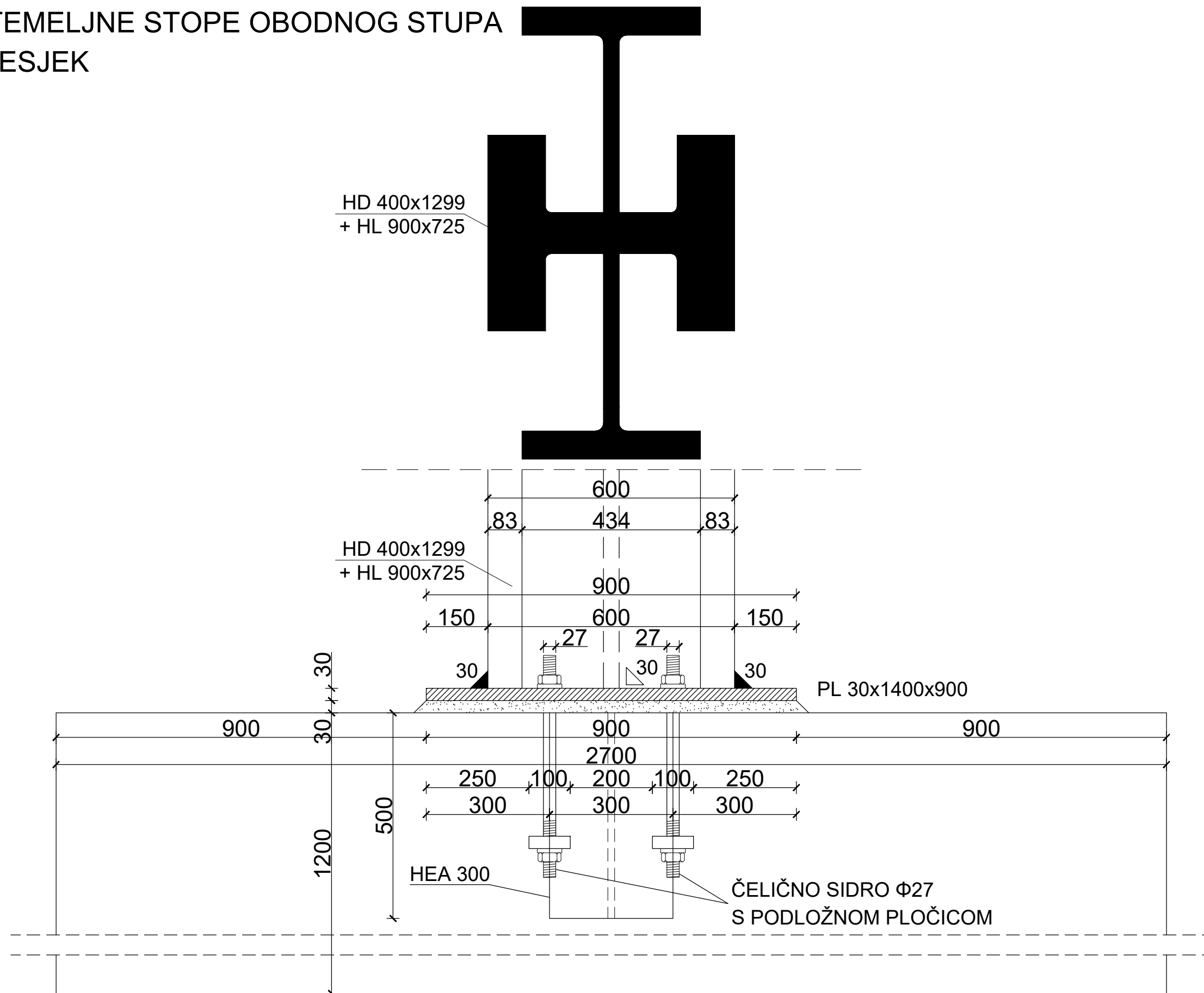



ČELIČNI LIM



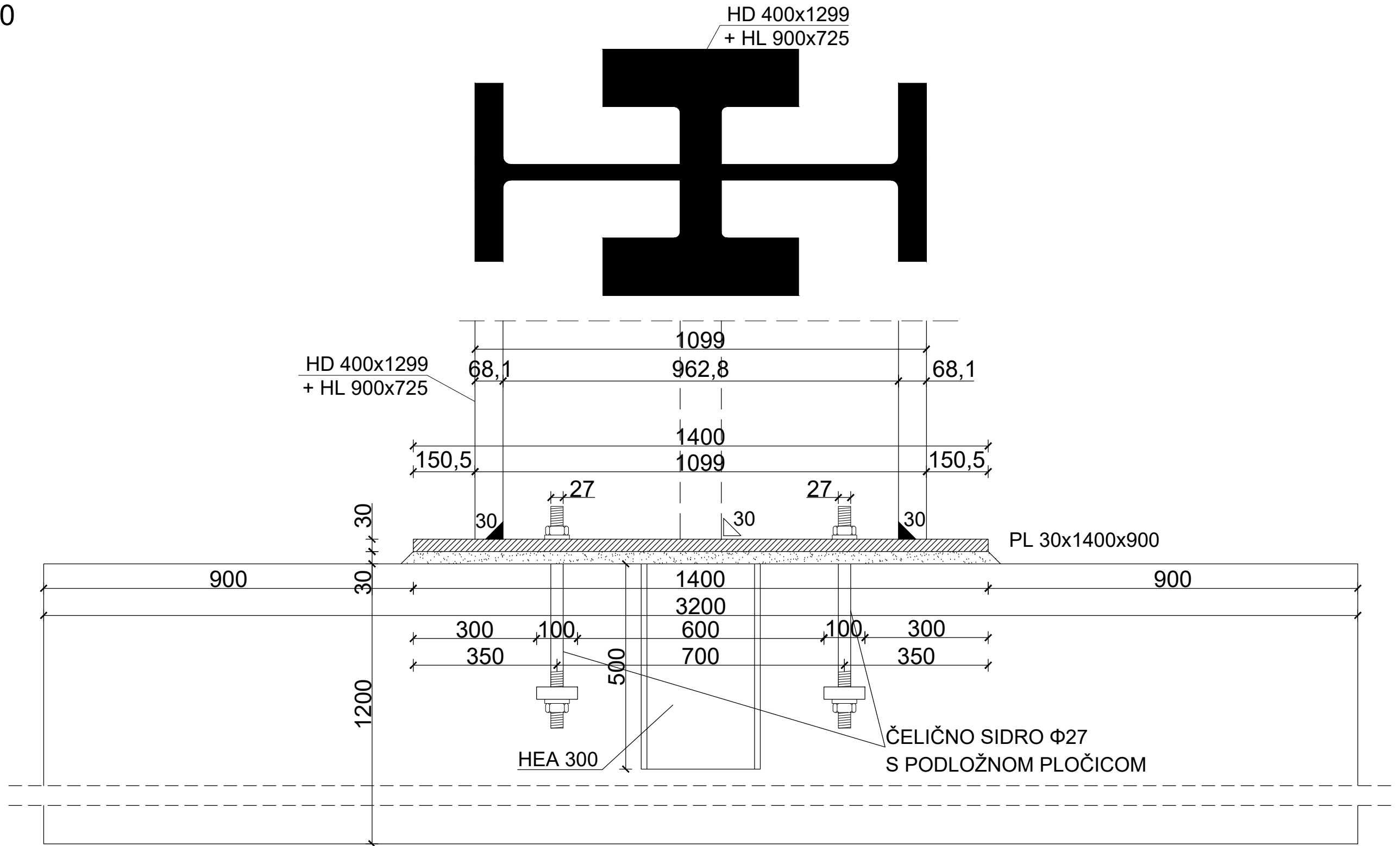
	Diplomski rad	
	Sadržaj nacrt: Priključak temeljne stope obodnog stupa - tlocrt	
	Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
	Studentica: Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:10


PRIKLJUČAK TEMELJNE STOPE OBODNOG STUPA  
 POPREČNI PRESJEK  
 MJ 1:10



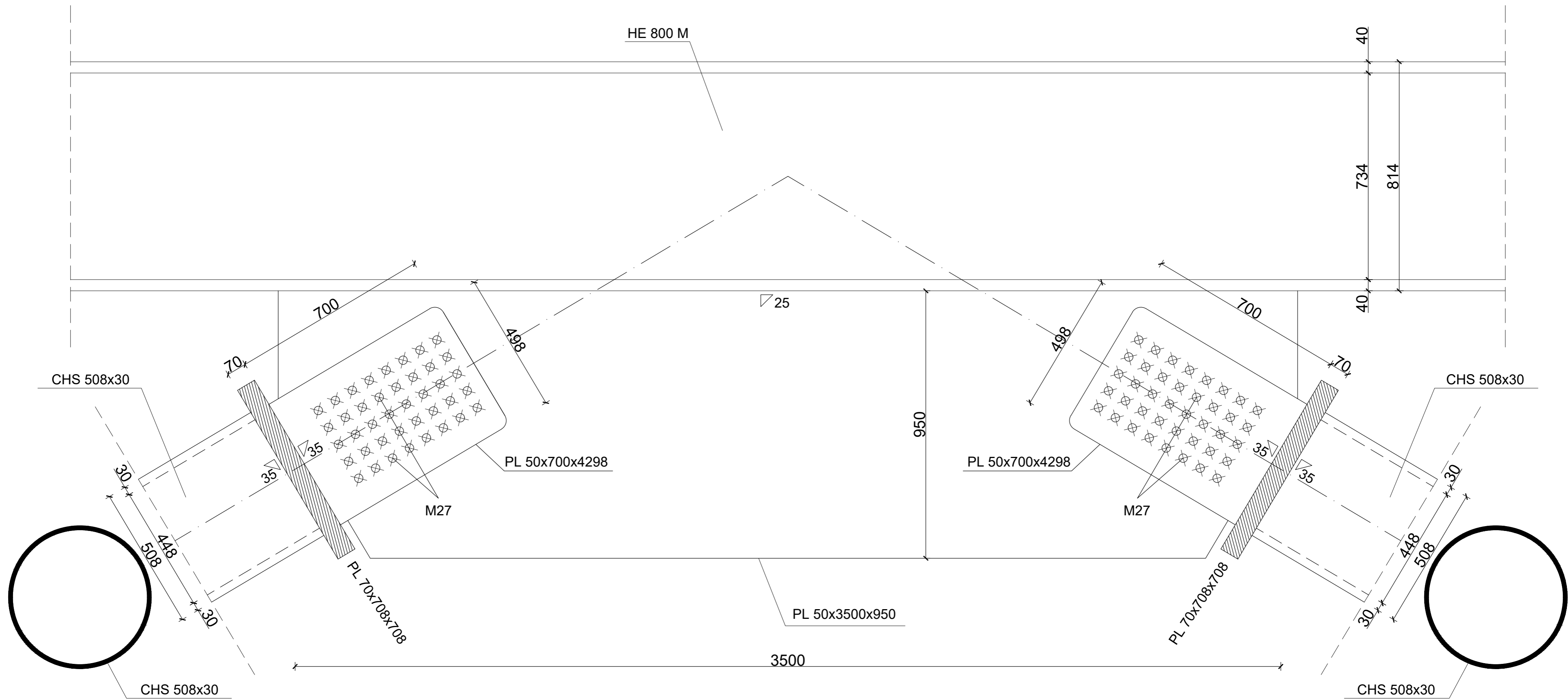
	Diplomski rad	
	Sadržaj nacrt: Priključak temeljne stope obodnog stupa - poprečni presjek	
	Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
	Studentica: Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:10

PRIKLJUČAK TEMELJNE STOPE OBODNOG STUPA  
 UZDUŽNI PRESJEK  
 MJ 1:10



	Diplomski rad	
	Sadržaj nacрта:	Priključak temeljne stope obodnog stupa - uzdužni presjek
	Mentor:	izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević
	Studentica:	Anamaria Smolić
	Mjerilo:	1:10

PRIKLJUČAK DIJAGONALA NA GLAVNI NOSAČ  
 UZDUŽNI PRESJEK  
 MJ 1:10

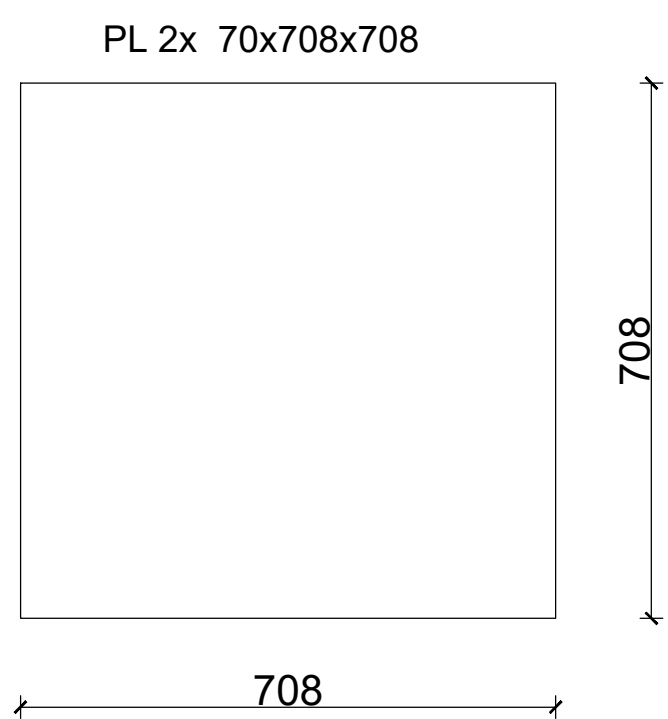
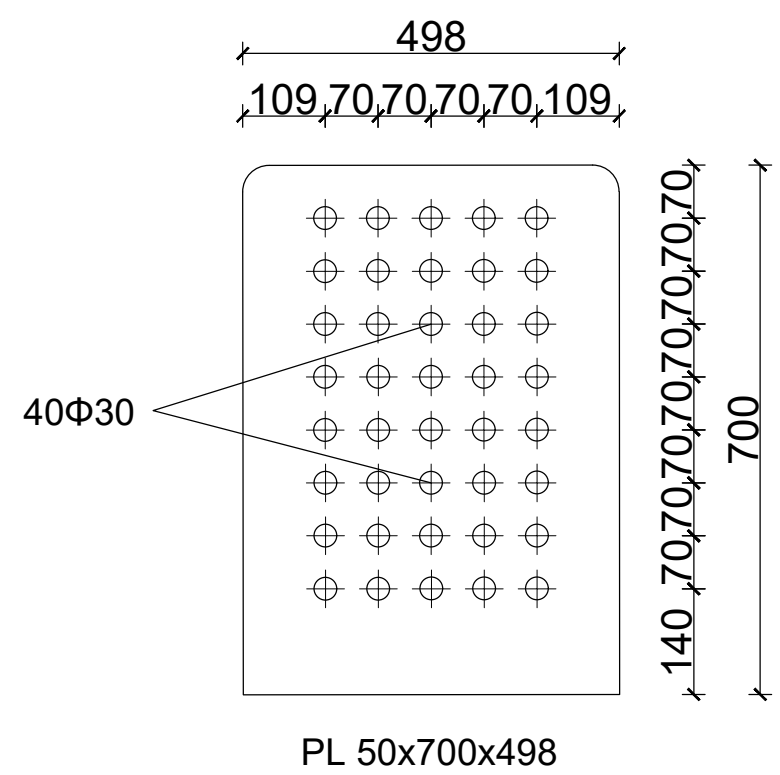
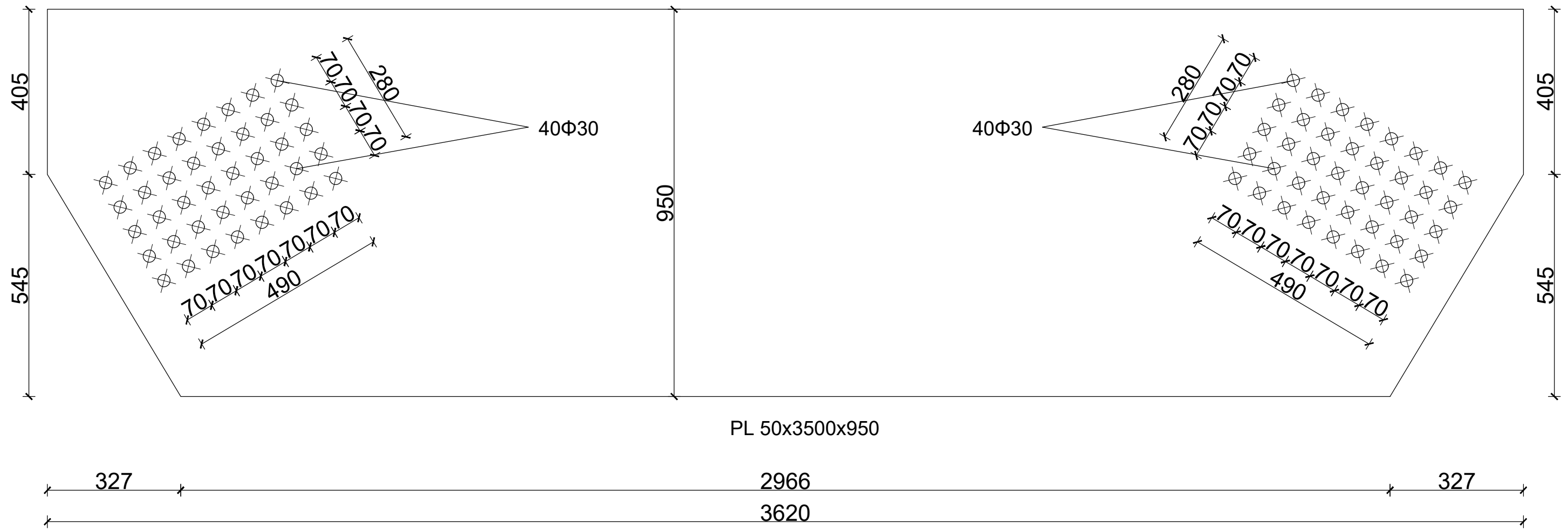


	Diplomski rad	
Sadržaj nacrt:	Priključak dijagonala na glavni nosač - uzdužni presjek	
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
Studentica:	Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:200

# PRIKLJUČAK DIJAGONALA NA GLAVNI NOSAČ

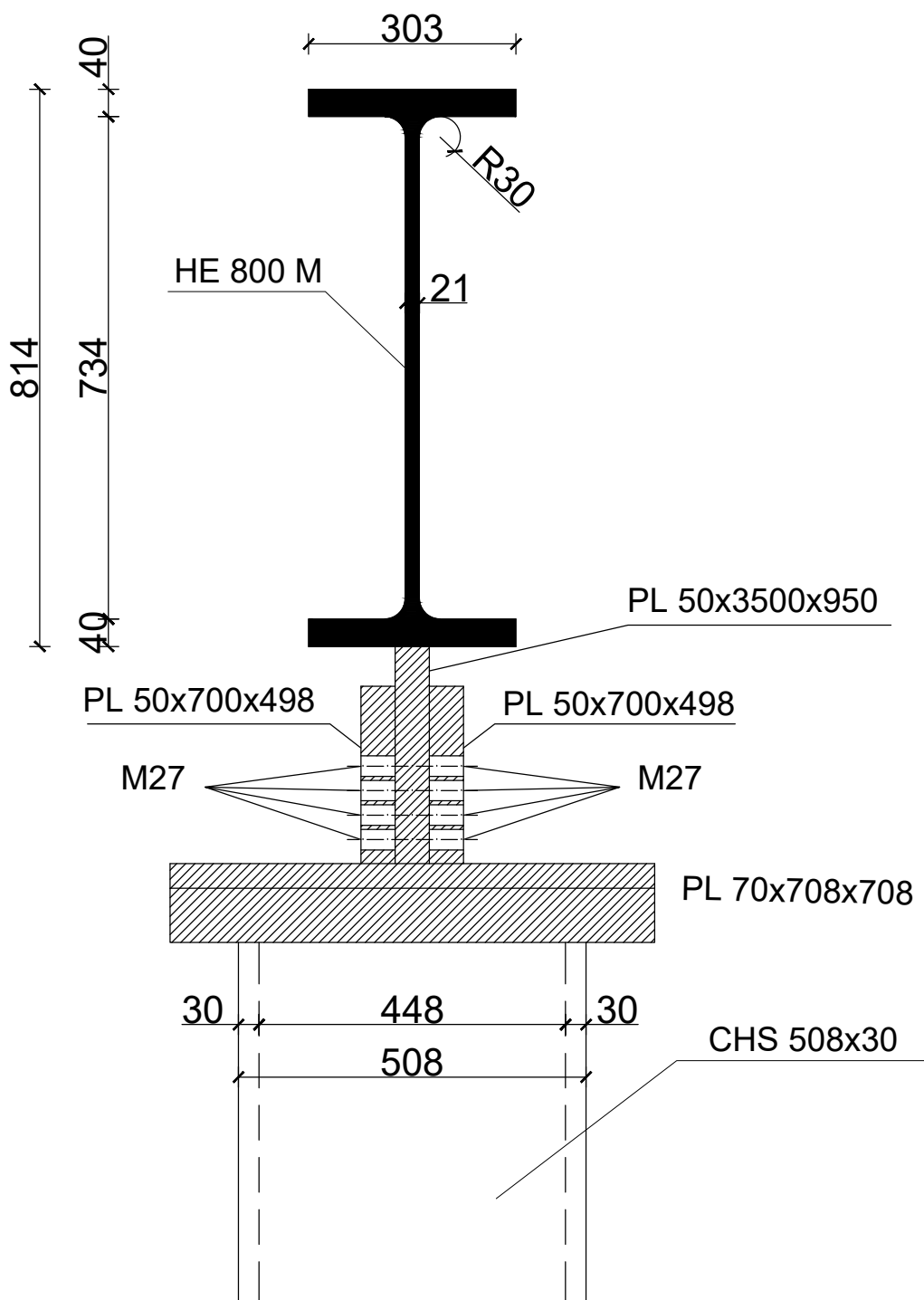
## ČELIČNI LIMOVI


### MJ 1:10



	Diplomski rad	
	Sadržaj nacрта: Priključak dijagonala na glavni nosač - čelični limovi	
	Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
	Studentica: Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:10

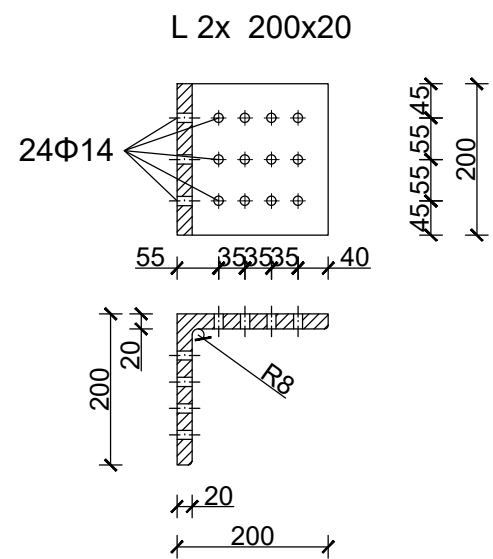
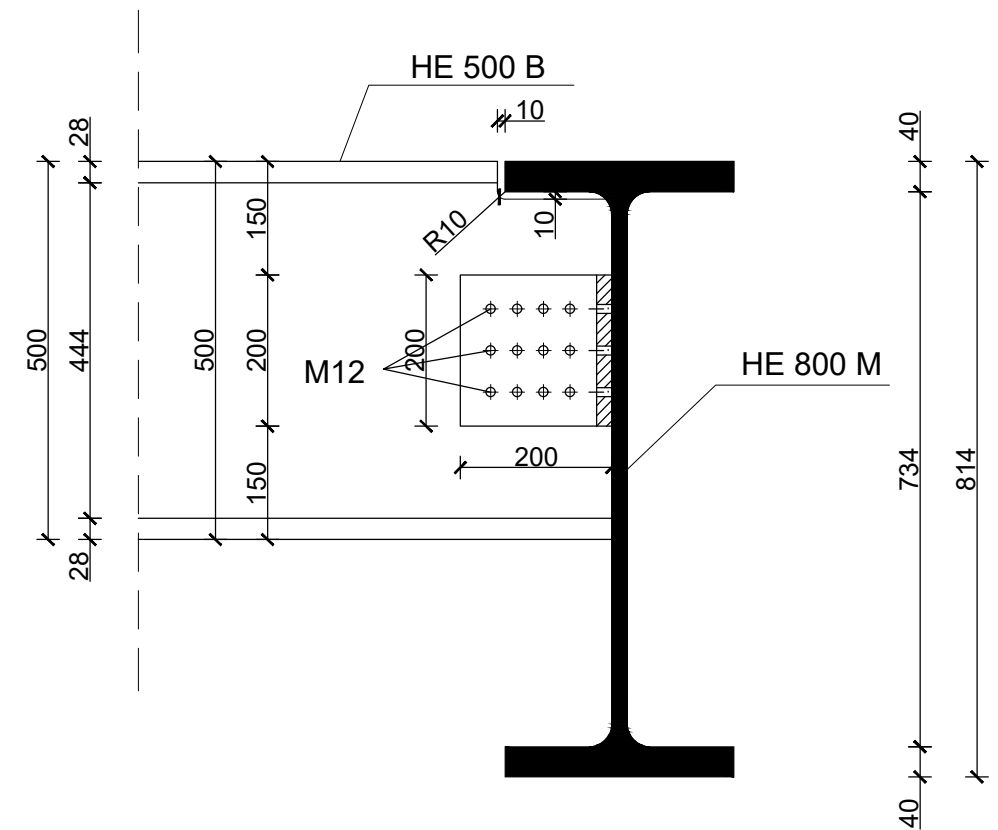
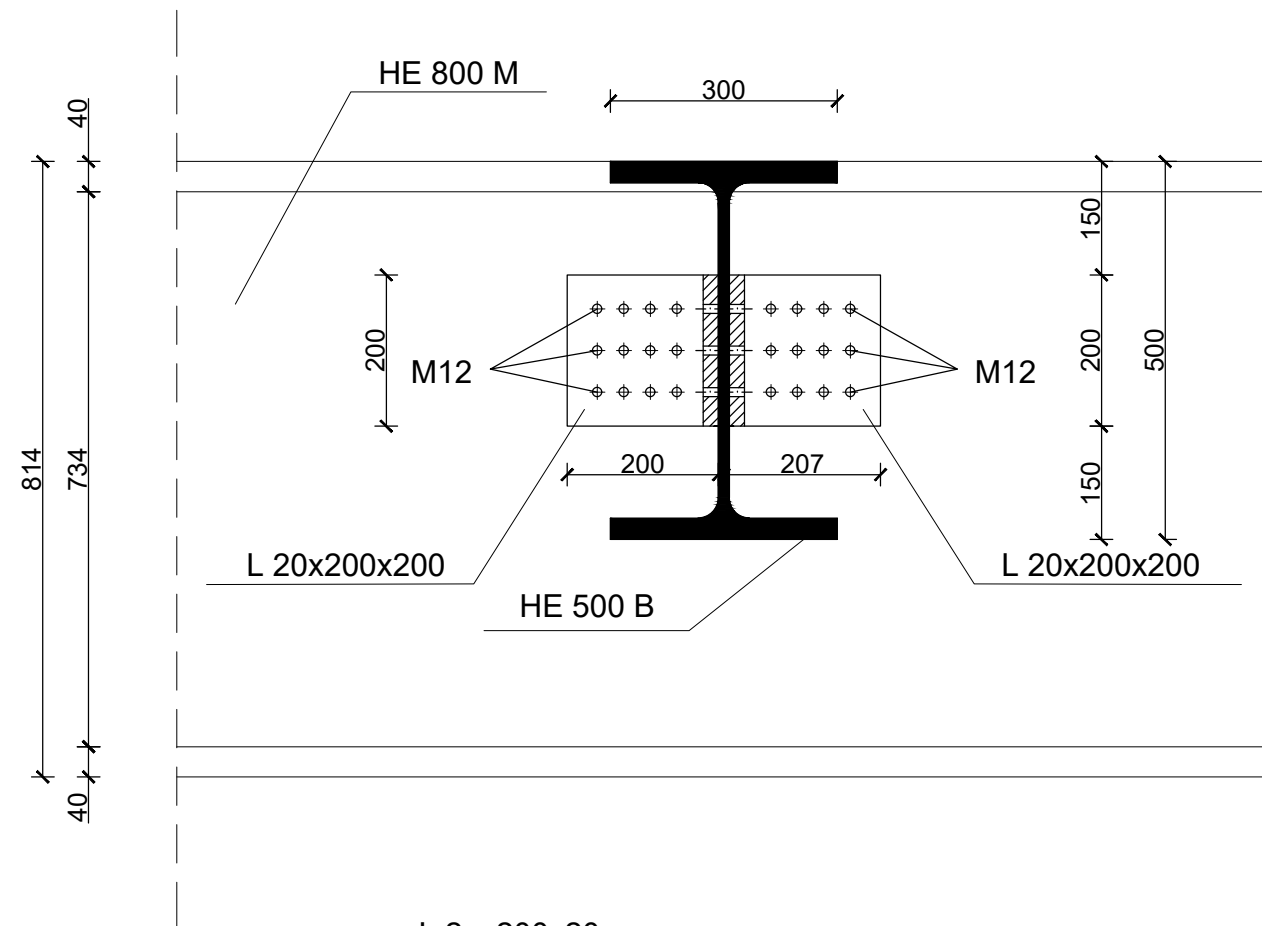
# PRIKLJUČAK DIJAGONALA NA GLAVNI NOSAČ POPREČNI PRESJEK MJ 1:10



	Diplomski rad	
	Sadržaj nacrti: Priklučak dijagonala na glavni nosač - poprečni presjek	
	Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
Studentica: Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:10	

# PRIKLJUČAK SEKUNDARNOG NOSAČA NA GLAVNI NOSAČ

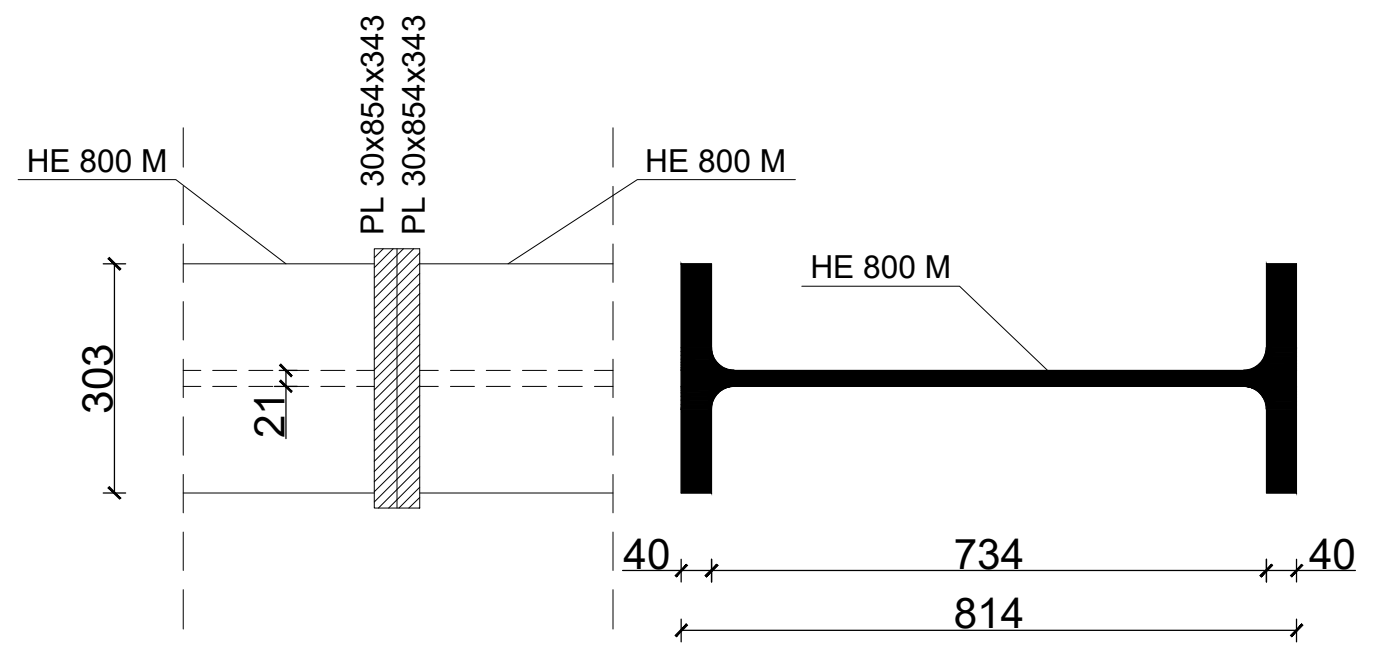
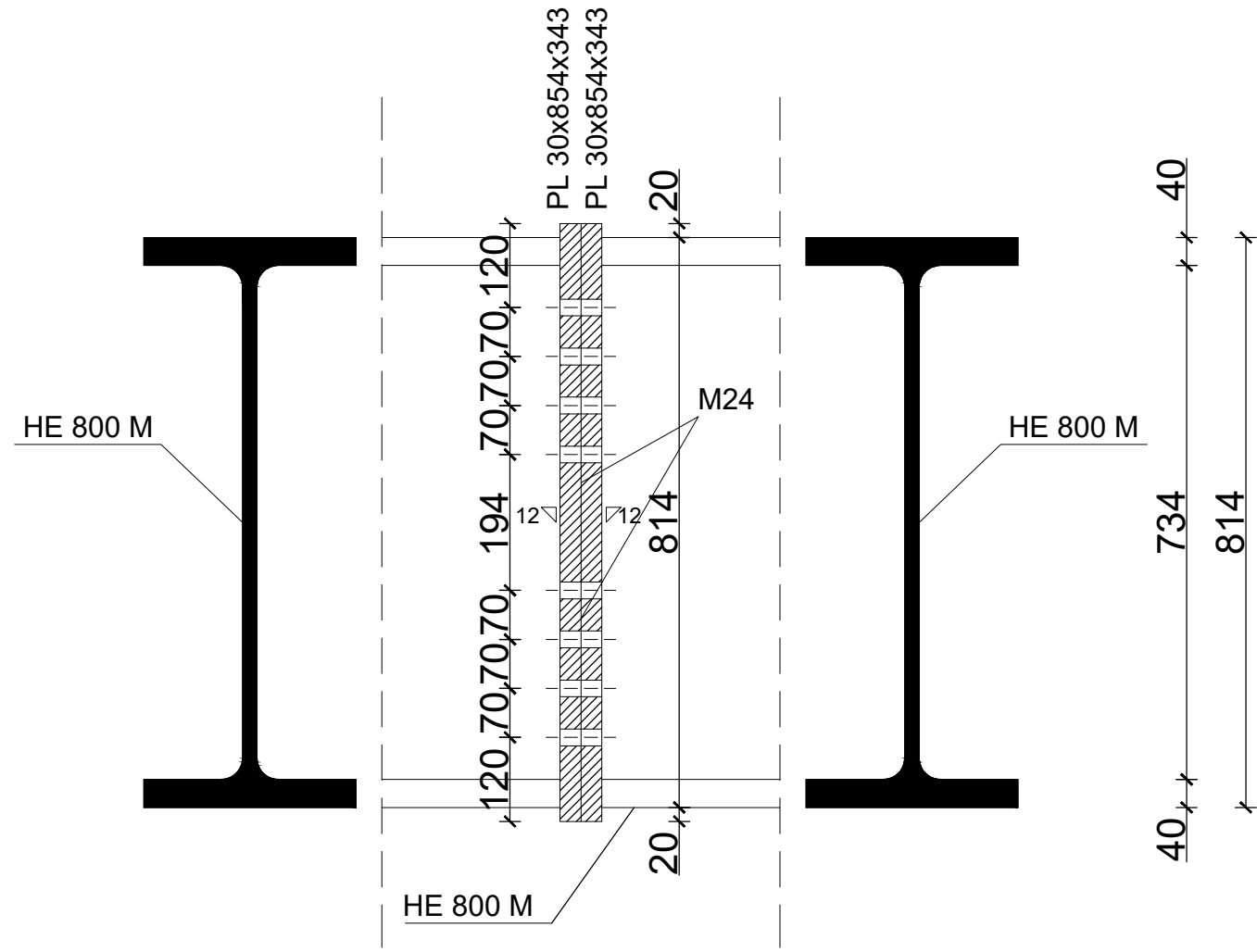
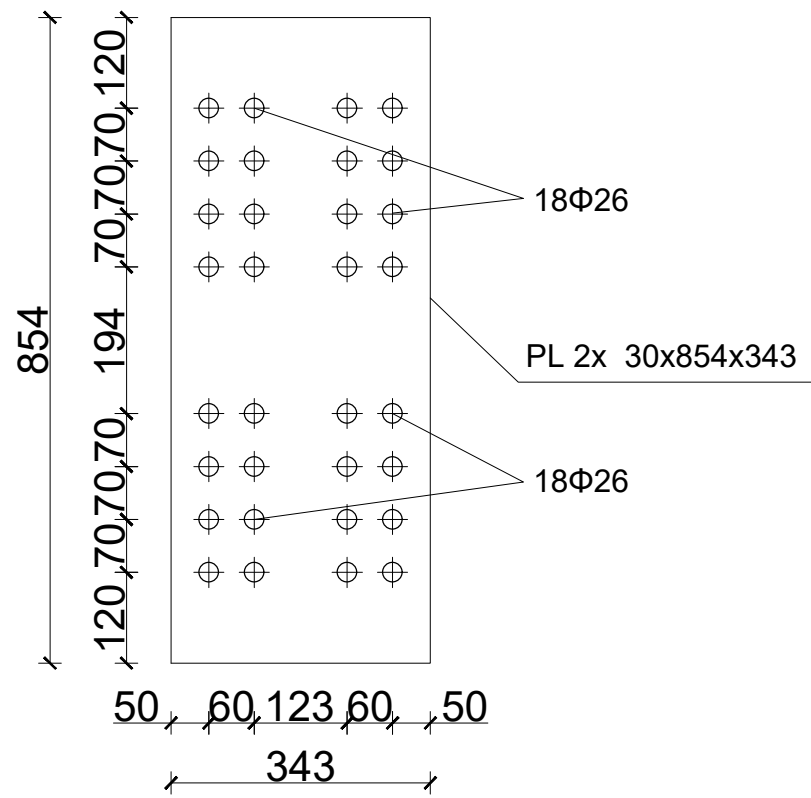
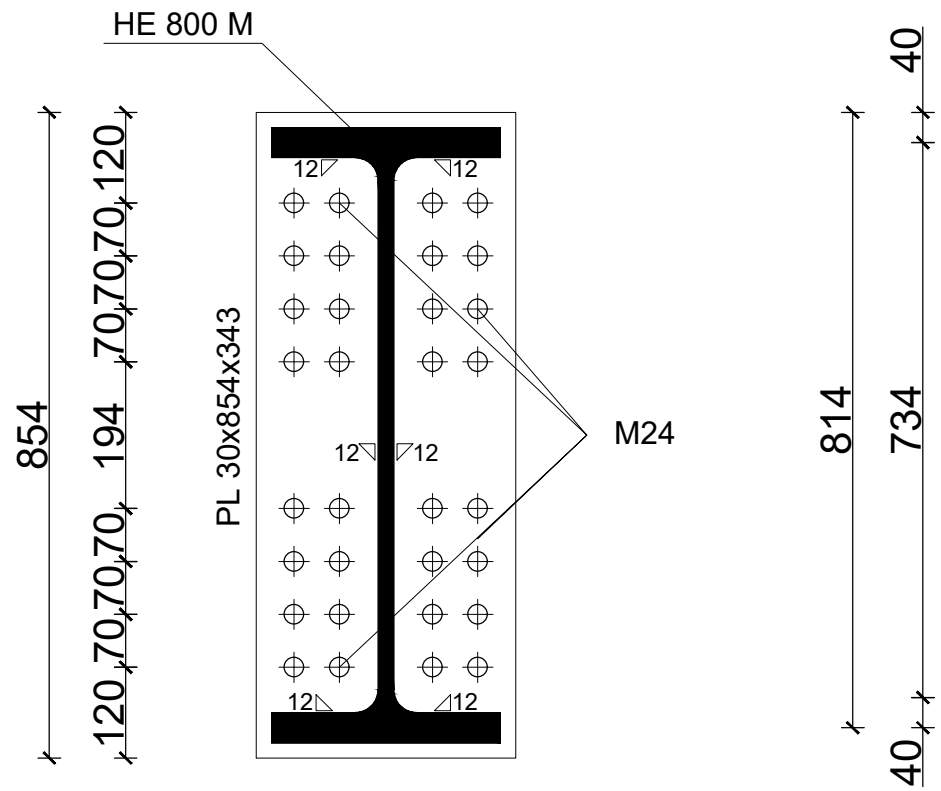
## MJ 1:10



	Diplomski rad	
	Sadržaj nacrti: Priključak sekundarnog nosača na glavni nosač	
	Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
	Studentica: Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:10

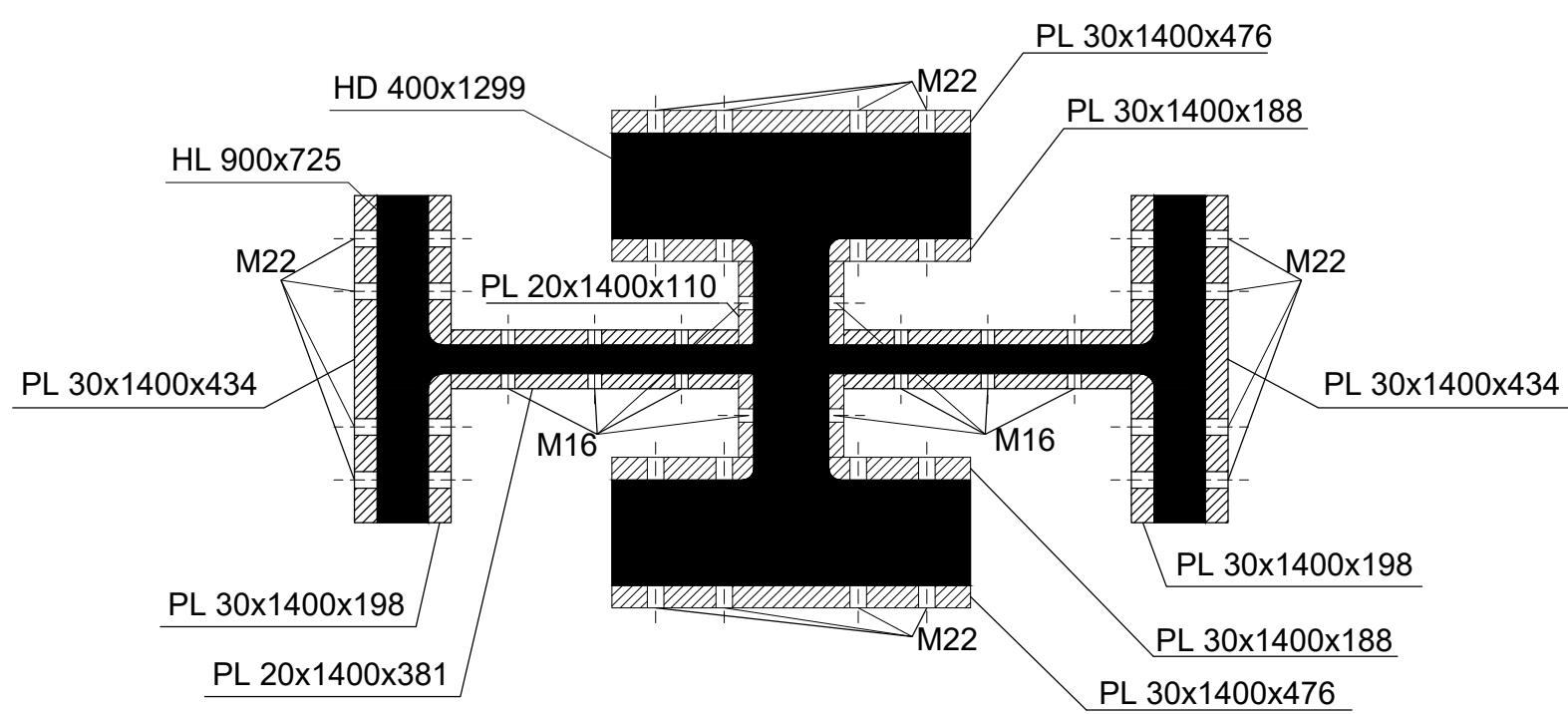
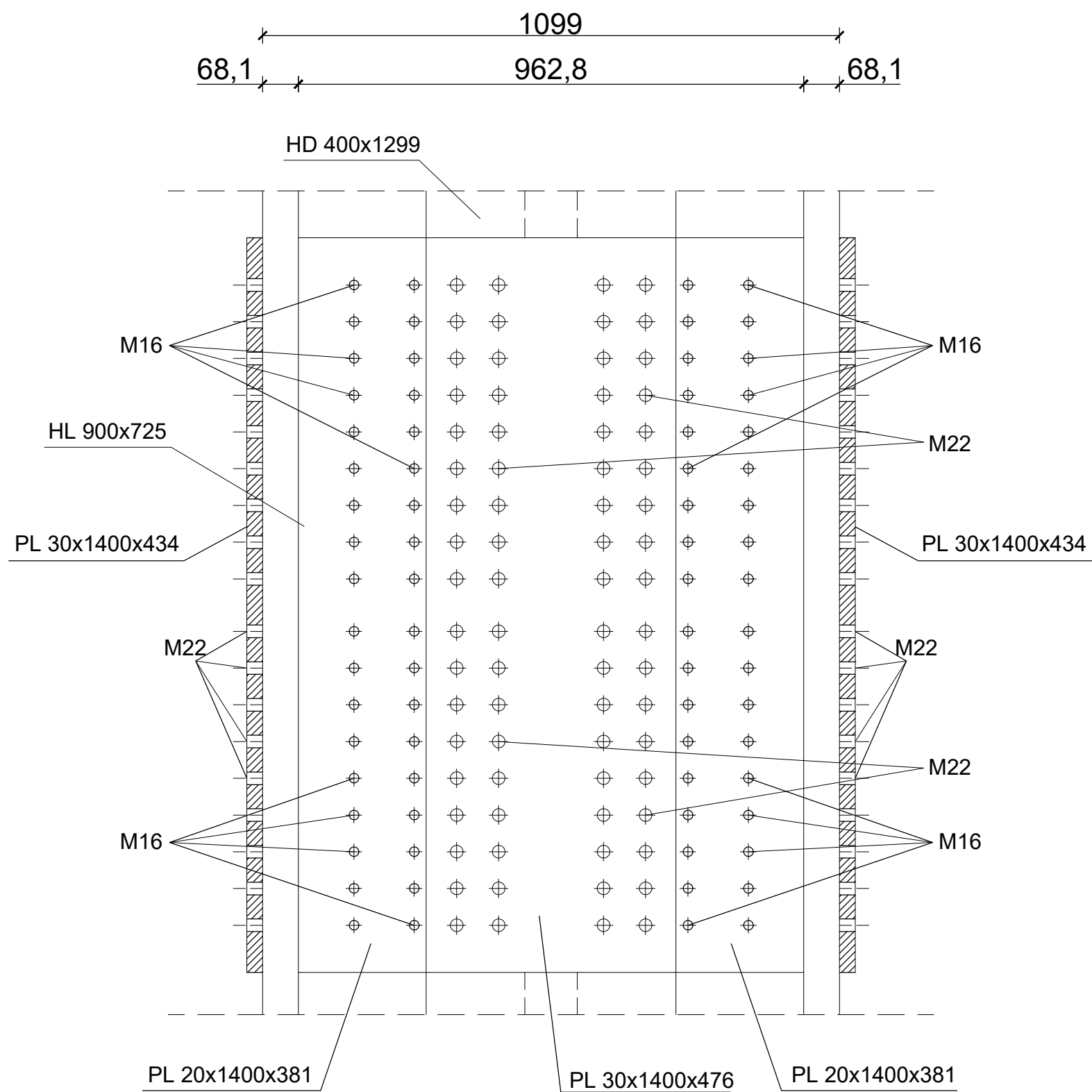


# PRIKLJUČAK NASTAVKA GLAVNOG NOSAČA MJ 1:10



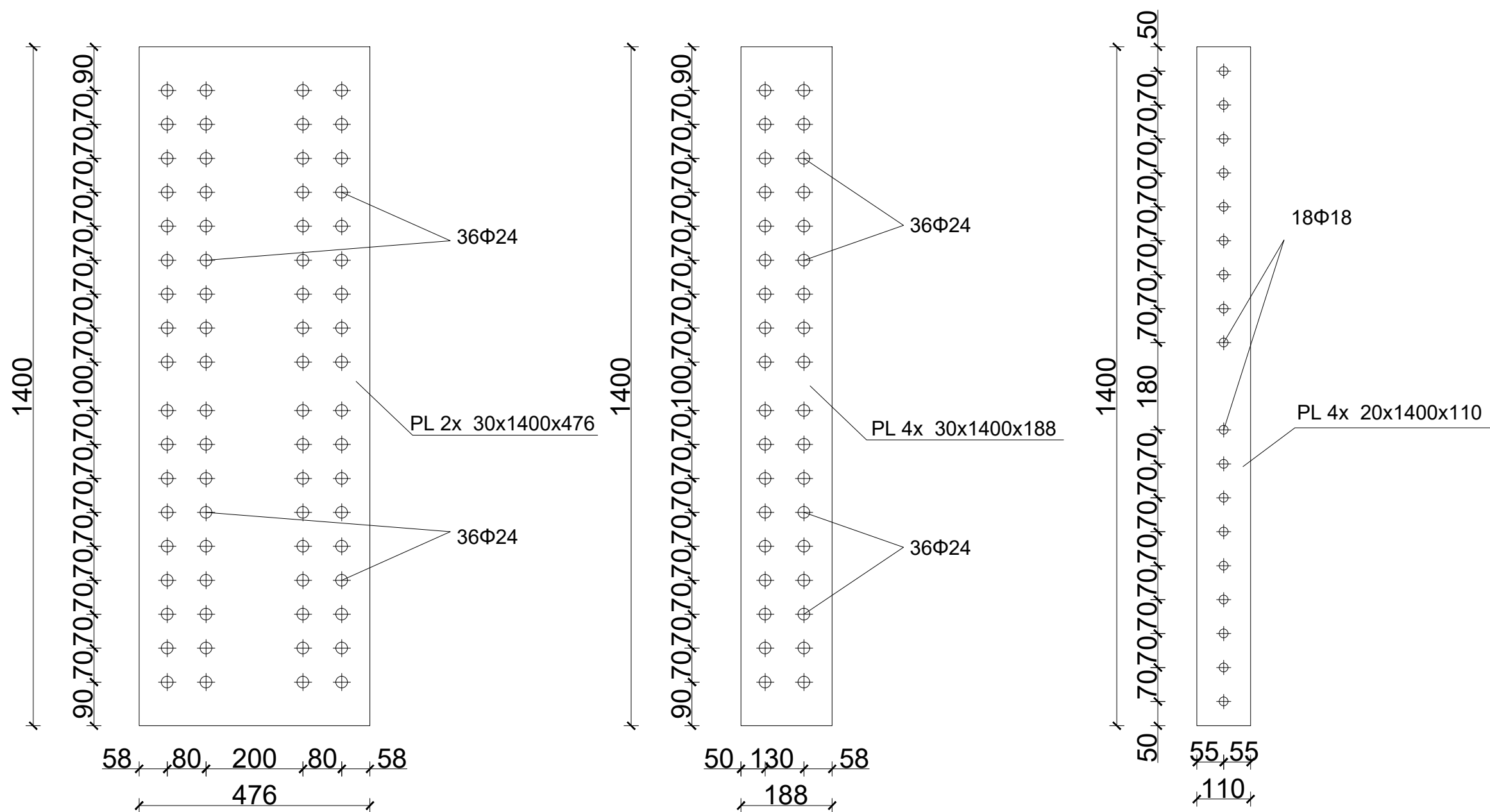
	Diplomski rad	
	Sadržaj nacрта: Priključak nastavka glavnog nosača	
	Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
Studentica: Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:10	

# PRIKLJUČAK NASTAVKA STUPA MJ 1:10



	Diplomski rad	
	Sadržaj nacrt: Priključak nastavka stupa	
	Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
Studentica: Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:10	

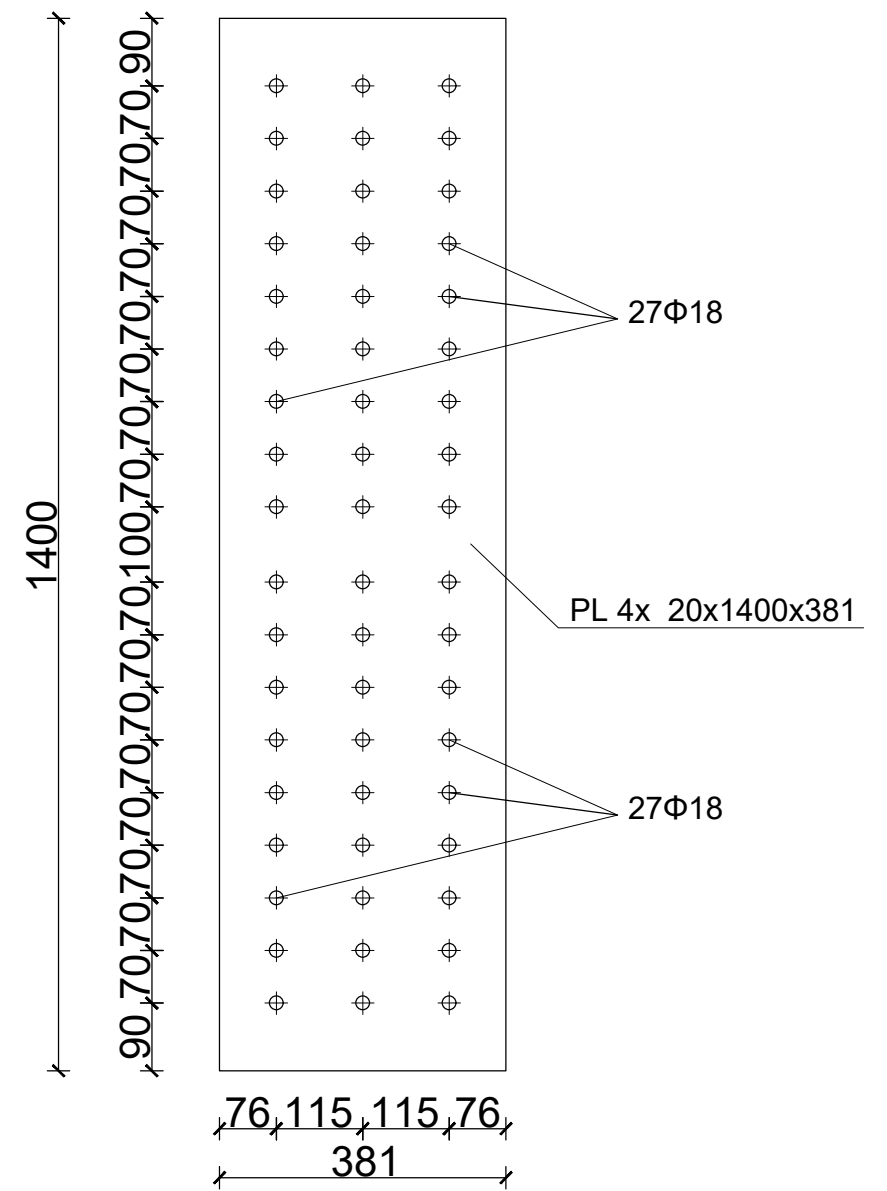
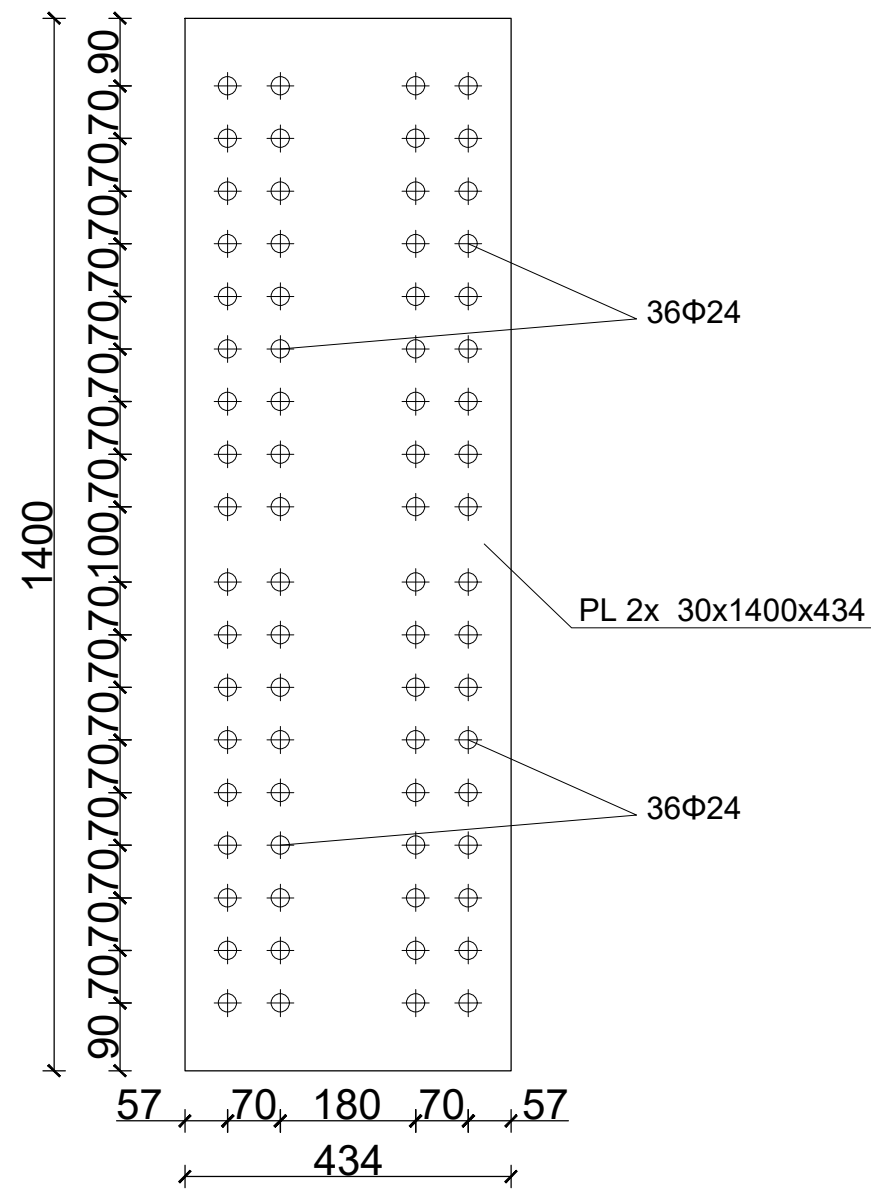
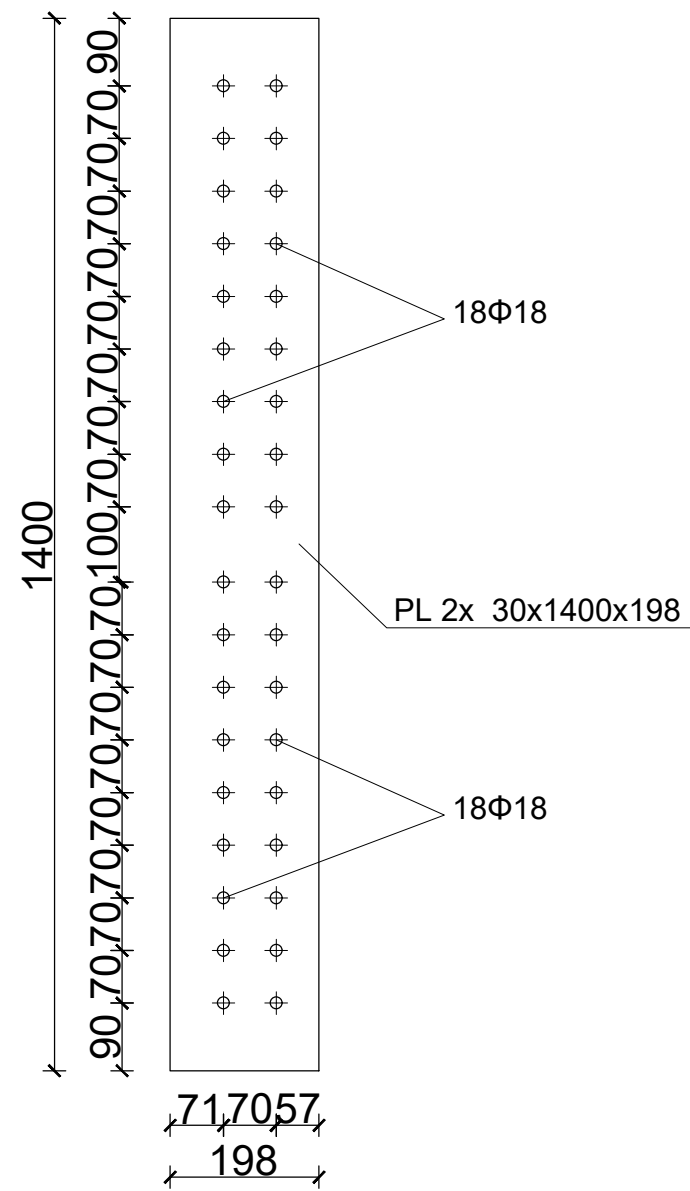
# PRIKLJUČAK NASTAVKA STUPA MJ 1:10 ČELIČNI LIMOVI



	Diplomski rad	
	Sadržaj nacrt:	Priključak nastavka stupa - čelični limovi
	Mentor:	izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević
	Studentica:	Anamaria Smolić
	Mjerilo:	1:10

# PRIKLJUČAK NASTAVKA STUPA MJ 1:10

## ČELIČNI LIMOVI



	Diplomski rad	
	Sadržaj nacrt: Priključak nastavka stupa - čelični limovi	
	Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Lukačević	
	Studentica: Anamaria Smolić	Mjerilo: 1:10