

# Primjena spregnutih konstrukcijskih elemenata u višekatnim garažama

---

Hršak, Jana

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:068345>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**

*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Jana Hršak

**PRIMJENA SPREGNUTIH KONSTRUKCIJSKIH  
ELEMENTA U VIŠEKATNIM GARAŽAMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.



Sveučilište u Zagrebu  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Jana Hršak

# **PRIMJENA SPREGNUTIH KONSTRUKCIJSKIH ELEMENTA U VIŠEKATNIM GARAŽAMA**

DIPLOMSKI RAD

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

Zagreb, 2023.



## TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **Jana Hršak**

JMBAG: **0082058475**

Diplomski rad iz predmeta: **Spregnute konstrukcije**

Naslov teme  
diplomskog rada:

HR	<b>Primjena spregnutih konstrukcijskih elemenata u višekatnim garažama</b>
ENG	<b>The application of steel-concrete composite elements in multi-storey car parks</b>

Opis teme diplomskog rada:

Diplomski rad treba sadržavati sljedeće: 1. Dispozicijsko rješenje. 2. Statička analiza i dimenzioniranje: analiza opterećenja, modeliranje konstrukcije, procjena momenata savijanja i unutarnjih sila, otpornost konstrukcijskih elemenata, procjena deformabilnosti konstrukcije. 3. Seizmička analiza i dimenzioniranje: analiza opterećenja, modeliranje konstrukcije, procjena momenata savijanja i unutarnjih sila, otpornost konstrukcijskih elemenata, procjena deformabilnosti konstrukcije. 4. Procjena pouzdanosti konstrukcijskih detalja. 5. Izvedbene nacрте i detalje glavne nosive čelične konstrukcije. Zadano je: Tlocrtna dimenzije konstrukcije su 31,0 m x 72,5 m. Konstrukciju treba izvesti s četiri naizmjenične platforme vodeći računa da slobodna visina kata ne smije biti manja od 2,1 m. Djelovanja na konstrukciju su: stalno: vlastita težina čelične konstrukcije, međukatna konstrukcija i sekundarni nosači, glazura, pregradni zidovi, fasada, dodatno stalno opterećenje, korisno opterećenje, vjetar, seizmičko opterećenje. Predvidjeti kvalitetu čelika S355 za glavne konstrukcijske elemente. Spojeve izvesti ili u zavarenoj izvedbi ili s vijcima. Analiza i dimenzioniranje provode se prema Eurocode. Temelji nisu predmet ovog diplomskog rada

Datum: **17. 4. 2023.**

Komentor:   
(Ime i prezime komentora)

Mentor: **doc. dr. sc. Ivan Lukačević**  
(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)



---

## SAŽETAK

### **PRIMJENA SPREGNUTIH KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA U VIŠEKATNIM GARAŽAMA**

U radu se obrađuje primjena spregnutih konstrukcijskih elemenata u konstrukcijama višekatnih garaža. Budući da spregnuti konstrukcijski elementi ostvaraju veću otpornost i krutost pa samim time i veće raspone predstavljaju izvrsno rješenje za konstrukcije garaža. Rad se sastoji od teorijskog i praktičnog dijela. Prvi dio obrađuju vrste višekatnih garaža, osobitosti i položaj rampi te parkirnih mjesta, konstrukcijske elemente u višekatnim garažama te ekonomičnost konstrukcije. U drugom dijelu pojašnjavaju se osnovni kriteriji proračuna te provodi statički proračun na garaži koja se sastoji od 4 međуетаže oslonjene na čelične stupove. Proračun konstrukcije na krajnje granično stanje i granično stanje uporabivosti provodi se na numeričkom modelu garaže napravljenom u računalnom programu SCIA Engineer 21.1. Zatim su navedene vrste i karakteristike spregnutih stupova te objašnjen postupak njihovog proračuna. Kako bi se istražio utjecaj tipa stupa na konstrukciju garaže napravljena je usporedba različitih stupova. Korišteni su čelični HE 320 B stupovi, te spregnuti HE 320 B stupovi potpuno i djelomično ubetoniranih presjeka. Navedeni spregnuti stupovi dimenzionirani su na mjerodavnu kombinaciju iz statičke analize prema HRN EN 1994. Na posljétku, dimenzionirani su prikljućci, a priloženi su dispozicijsko rješenje, pregledni nacrti i nacrti detalja.

### **THE APPLICATION OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE ELEMENTS IN MULTI-STOREY CAR PARKS**

In this master thesis, the application of steel-concrete composite elements in multi-storey car parks is covered. Due to the higher resistance and stiffness, composite elements can reach larger spans and therefore are a great solution for mentioned structures. The thesis consists of two parts, theoretical and practical. In the first part different types of multi-story car parks are described as well as the characteristics and position of ramps and parking spaces, the types and construction methods of structural members and finally the cost-efficiency. In the second part, the basic design criteria are explained and the structural analysis is carried out for a multi-storey car park consisting of 4 floors supported by steel columns. The static analysis of the ultimate and serviceability limit states is applied to a numerical model made in SCIA Engineer 21.1. Furthermore, different types and characteristics of steel-concrete composite columns are specified and the analysis is described. To investigate the influence of column type to car park structure comparison between different types of columns is conducted. Steel columns with HE320B sections, concrete encased HE320B sections and partially encased HE320B sections were used. Columns with composite sections are analyzed according to HRN EN 1994. Thesis also includes connection design as well as disposition drawing, overview plans and detailing drawings.

## KLJUČNE RIJEČI

**Ključne riječi:** višekatna garaža, spregnute konstrukcije, statička analiza, spregnuti stupovi

**Key words:** multi-storey car parks, steel-concrete composite structures, static analysis, composite columns

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	4
<b>KLJUČNE RIJEČI</b> .....	5
<b>SADRŽAJ</b> .....	6
<b>1. UVOD</b> .....	11
<b>2. PROJEKTIRANJE VIŠEKATNIH GARAŽA</b> .....	12
2.1. Vrste višekatnih garaža .....	12
2.2. Rampe i parkirna mjesta .....	12
2.3. Konstrukcijski elementi .....	16
2.4. Požar i korozija .....	19
2.5. Cijena koštanja konstrukcije i ekonomičnost .....	20
<b>3. TEMELJNA NAČELA PRORAČUNA</b> .....	21
3.1. Načela proračuna graničnih stanja .....	21
3.1.1. Proračunske situacije .....	21
3.1.2. Granična stanja .....	21
3.1.3. Kombinacije djelovanja i koeficijent kombinacije .....	22
3.2. Projektni kriteriji u potresnim područjima .....	23
3.2.1. Kombinacije pri potresnoj proračunskoj situaciji .....	23
3.2.1.1. Kombinacije potresnog djelovanja sa drugim djelovanjima .....	23
3.2.1.2. Kombinacije učinaka komponenata potresnog djelovanja .....	24
3.2.2. Temeljni zahtjevi .....	24
<b>4. STATIČKI PRORAČUN</b> .....	26
4.1. Analiza opterećenja .....	26
4.1.1. Stalno opterećenje .....	26
4.1.2. Uporabno opterećenje .....	26
4.1.3. Snijeg .....	27
4.1.4. Vjetar .....	29
4.1.4.1. Vršni tlak uslijed brzine vjetra .....	30
4.1.4.2. Sile vjetra .....	34
4.1.4.3. Konstrukcijski faktor .....	35

---

4.1.4.4.	Konstruktivski elementi pravokutnog profila .....	35
4.1.4.5.	Djelovanja vjetra.....	38
4.1.5.	Potres .....	47
4.1.5.1.	Proračunsko ubrzanje tla .....	47
4.1.5.2.	Tipovi tla.....	48
4.1.5.3.	Klasa važnosti građevine .....	49
4.1.5.4.	Faktor ponašanja.....	49
<b>5.</b>	<b>PRELIMINARNO DIMENZIONIRANJE .....</b>	<b>51</b>
5.1.	Preliminarno dimenzioniranje poprečnog nosača .....	51
5.1.1.	Ulazni podaci.....	51
5.1.2.	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	54
5.1.3.	Otpornost poprečnog presjeka.....	54
5.1.4.	Otpornost elementa .....	56
5.1.5.	Kontrola progiba (GSU).....	57
5.2.	Preliminarno dimenzioniranje sekundarnog nosača .....	58
5.2.1.	Ulazni podaci.....	58
5.2.2.	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	61
5.2.3.	Otpornost poprečnog presjeka.....	61
5.2.4.	Kontrola progiba (GSU).....	64
5.3.	Preliminarno dimenzioniranje uzdužnog nosača .....	65
5.3.1.	Ulazni podaci.....	65
5.3.2.	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	67
5.3.3.	Otpornost poprečnog presjeka.....	68
5.3.4.	Kontrola progiba (GSU).....	69
5.4.	Preliminarno dimenzioniranje stupa .....	70
5.4.1.	Ulazni podaci.....	70
5.4.2.	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	71
5.4.3.	Otpornost poprečnog presjeka.....	72
5.4.4.	Otpornost elementa .....	72
5.5.	Preliminarno dimenzioniranje vertikalnog uzdužnog sprega .....	74
<b>6.</b>	<b>NUMERIČKI MODEL .....</b>	<b>75</b>

---

6.1.	Zadavanje opterećenja .....	75
6.2.	Imperfekcije (nesavršenosti) .....	75
6.2.1.	Imperfekcije od stalnog opterećenja .....	78
6.2.2.	Imperfekcije od uporabnog opterećenja .....	79
6.2.3.	Imperfekcije od opterećenja snijegom .....	79
6.3.	Klasifikacija okvira .....	80
6.4.	Dimenzioniranje .....	82
6.4.1.	Dimenzioniranje poprečnog nosača .....	84
6.4.1.1.	Ulazni podaci .....	84
6.4.1.2.	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	86
6.4.1.3.	Otpornost poprečnog presjeka .....	86
6.4.1.4.	Otpornost elementa .....	88
6.4.1.5.	Kontrola progiba (GSU) .....	89
6.4.2.	Dimenzioniranje sekundarnog nosača .....	90
6.4.2.1.	Ulazni podaci .....	90
6.4.2.2.	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	92
6.4.2.3.	Otpornost poprečnog presjeka .....	92
6.4.2.4.	Kontrola progiba (GSU) .....	95
6.4.3.	Dimenzioniranje uzdužnog nosača .....	97
6.4.3.1.	Ulazni podaci .....	97
6.4.3.2.	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	99
6.4.3.3.	Otpornost poprečnog presjeka .....	100
6.4.3.4.	Kontrola progiba (GSU) .....	101
6.4.4.	Dimenzioniranje stupa .....	102
6.4.4.1.	Ulazni podaci .....	102
6.4.4.2.	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	104
6.4.4.3.	Otpornost poprečnog presjeka .....	104
6.4.4.4.	Otpornost elementa .....	107
6.4.4.5.	Provjera graničnog stanja uporabivosti (GSU) .....	114
6.4.5.	Dimenzioniranje vertikalnog uzdužnog sprega .....	115
6.4.5.1.	Ulazni podaci .....	115

---

6.4.5.2.	Otpornost poprečnog presjeka .....	116
6.4.5.3.	Otpornost elementa.....	117
6.4.6.	Granično stanje uporabljivosti (GSU).....	118
6.4.6.1.	Kontrola pomaka za X smjer .....	118
6.4.6.2.	Kontrola pomaka za Y smjer .....	119
<b>7.</b>	<b>PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA DJELOVANJE POTRESA .....</b>	<b>120</b>
7.1.	Seizmička analiza.....	120
7.2.	Linearna dinamička metoda spektra odziva.....	120
7.2.1.	Općenito .....	120
7.2.2.	Potresno djelovanje .....	123
7.3.	Dinamički odgovor konstrukcije.....	124
7.4.	Unutarnje sile u elementima za djelovanje potresa.....	126
7.4.1.	Glavni poprečni nosač.....	126
7.4.2.	Sekundarni poprečni nosač.....	126
7.4.3.	Uzdužni nosač .....	127
7.4.5.	Stup.....	127
7.4.6.	Vertikalni uzdužni spreg .....	128
7.5.	Zaključak seizmičke analize .....	128
<b>8.</b>	<b>SPREGNUTI STUPOVI .....</b>	<b>129</b>
8.1.	Općenito.....	129
8.2.	Podjela spregnutih stupova .....	129
8.3.	Otpornost na lokalno izbočivanje .....	131
8.4.	Otpornost poprečnog presjeka spregnutih stupova .....	131
8.5.	Otpornost spregnutih stupova na izvijanje.....	133
8.6.	Otpornost spregnutih stupova na interakciju savijanja i tlačne sile .....	137
<b>9.</b>	<b>DIMENZIONIRANJE SPREGNUTIH STUPOVA .....</b>	<b>139</b>
9.1.	Dimenzioniranje spregnutog stupa djelomično ubetoniranog presjeka HE 320 B .....	139
9.1.1.	Ulazni podaci.....	140
9.1.2.	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	141
9.1.3.	Otpornost poprečnog presjeka.....	141
9.1.5.	Otpornost elementa .....	145

---

9.2.	Dimenzioniranje spregnutog stupa u potpunosti ubetoniranog presjeka HE 320 B .....	150
9.1.5.	Ulazni podaci.....	150
9.1.6.	Kontrola dimenzija pokrivnog sloja betona .....	152
9.2.3.	Otpornost poprečnog presjeka .....	152
9.1.5.	Otpornost elementa .....	156
9.2.	Rekapitulacija rezultata.....	160
9.3.	Zaključak.....	160
9.5.	Dimenzioniranje spregnutog stupa .....	161
9.5.1.	Ulazni podaci.....	161
9.5.2.	Kontrola dimenzija pokrivnog sloja betona .....	163
9.5.3.	Otpornost poprečnog presjeka.....	163
9.5.4.	Otpornost elementa .....	167
<b>10.</b>	<b>DIMENZIONIRANJE PRIKLJUČAKA .....</b>	<b>171</b>
10.1.	Priključak stope stupa.....	171
10.2.	Priključak sekundarnog nosača na uzdužni nosač.....	180
10.3.	Priključak dijagonala VUS-a na stup .....	188
10.4.	Priključak dijagonala VUS-a na stopu stupa.....	202
10.5.	Priključak dijagonala VUS-a.....	211
10.6.	Priključak poprečnog i uzdužnog nosača na stup.....	218
<b>11.</b>	<b>ISKAZ MATERIJALA .....</b>	<b>229</b>
<b>12.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>231</b>
<b>13.</b>	<b>POPIS LITERATURE .....</b>	<b>232</b>
<b>14.</b>	<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>233</b>
<b>15.</b>	<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>234</b>
<b>16.</b>	<b>PRILOG.....</b>	<b>237</b>
<b>17.</b>	<b>POPIS NACRTA.....</b>	<b>241</b>

## 1. UVOD

Povećanje broja automobila u gradovima rezultiralo je potrebom za više parkirnih mjesta. Rješenje za to leži u gradskim višekatnim garažama. Višekatna parking garaža je funkcionalna građevina koja se sastoji od nekoliko katova pridržanih stupovima kako bi se omogućila velika površina slobodnog prostora. Kod gradnje višekatnih garaža veoma je važna ekonomičnost. Istraživanja pokazuju da su čelične konstrukcije ekonomičnije. Najviše zbog mogućnosti prefabrikacije koja omogućuje kratko vrijeme gradnje, a samim time i brzo vraćanje uloženog kapitala. Čelične konstrukcije su fleksibilne, što znači da se lako montiraju i demontiraju te prilagode novoj funkciji. Prednosti čeličnih konstrukcija su i manja vlastita težina konstrukcije, neosjetljivost na promjenu, elastično ponašanje te jednostavno zglobno oslanjanje. Osim toga, reduciraju cijenu koštanja konstrukcije te optimiziraju prostor potreban za parkiralište. U posljednjih nekoliko desetljeća sve se više koriste spregnute konstrukcije. Sprezanje je konstruktivno i funkcionalno povezivanje dva ili više materijala različitih karakteristika u jedinstven spregnuti presjek. Dakle, to je prisiljavanje različitih materijala na zajedničko djelovanje. Osnovna prednost spregnutog nosača je povećanje krutosti na savijanje. Porastom momenta površine 2.stupnja znatno se smanjuju progibi nosača, dok se u nešto manjoj mjeri povećava moment otpora. Također, zbog smanjenja ukupnog opterećenja stvorena je mogućnost primjene za veće raspone.

S obzirom da spregnuti nosači omogućavaju postizanje većih raspona, u sklopu ovog rada obradit će se primjena spregnutih konstruktivnih elemenata u višekatnim garažama. Konstrukcija koja je predmet ovog rada je spregnuta konstrukcija čelik-beton s četiri naizmjenične platforme. Tlocrtna dimenzije konstrukcije su 31,0 x 72,5 m. Visina konstrukcije je 10,15 m, a sastoji se od 4 međuetage visine 2,9 m. Konstrukcija se sastoji od čeličnih i spregnutih betonsko-čeličnih nosača te čeličnih stupova. Najprije je bilo potrebno napraviti analizu opterećenja na konstrukciju. Vrijednosti osnovnih djelovanja kao što su stalno opterećenje, uporabno, snijeg i vjetar određene su prema normi HRN EN 1991. Prije izrade 3D modela, provedeno je preliminarno dimenzioniranje s ciljem određivanja okvirnih dimenzija elemenata radi lakše izrade 3D modela. Na 3D modelu koji je izrađen u računalnom programu SCIA Engineer 21.1 provedena je statička i seizmička analiza. Rezultati su pokazali da seizmička analiza nije mjerodavna, stoga su konstrukcijski elementi dimenzionirani na osnovu djelovanja iz statičke analize. S obzirom da smo htjeli odrediti utjecaj spregnutih stupova na konstrukciju, bilo je potrebno napraviti dodatni model u kojem su poprečni presjeci čeličnih stupova zamijenjeni spregnutim poprečnim presjekom te sukladno tome i dimenzionirani. Posljednji korak bilo je dimenzioniranje priključaka konstrukcijskih elemenata u računalnom paketu IDEA StatiCa 23.0 te izrada radioničkih nacrti.



## 2. PROJEKTIRANJE VIŠEKATNIH GARAŽA

### 2.1. Vrste višekatnih garaža

Višekatne garaže mogu biti podzemne ili nadzemne. Podzemne garaže moraju zadovoljiti određene ekološke zahtjeve jer zahtijevaju umjetnu ventilaciju, dok nadzemne smanjuju cijenu koštanja konstrukcije te imaju prirodnu ventilaciju. Nadzemne garaže mogu biti samostojeće ili u sklopu već postojeće građevine. Prednost samostojeće nadzemne garaže je u tome što ju nije potrebno mnogo zaštititi od vanjskih utjecaja, a čak je moguće i posljednji kat ostaviti nenatkriven. Time se postiže veći broj parkirnih mjesta.[1]

Prije izrade projekta garaže potrebno je napraviti optimalizaciju cijene korištenja parkirališnog mjesta, ekonomsku isplativost kroz životni vijek građevine te provjeriti uklapa li se projekt u gradsko područje ili razvojni plan grada. Iako je najvažnije pronaći optimalno rješenje za vozača, građevina se estetski mora uklopiti u područje u kojem se gradi što može biti izazovno.[2]

### 2.2. Rampe i parkirna mjesta

Rampe mogu biti locirane unutar ili izvan zgrade te mogu biti zakrivljenog ili ravnog oblika. Zakrivljene rampe omogućuju brži promet od ravnih. Nagib rampe najviše može iznositi 15%, no preporuča se manje od 12%. Manji nagib rampe rezultira većom duljinom rampi što naposljetku povećava površinu garaže, no omogućuje veći komfor vozačima pri korištenju. Također, potrebno je osigurati preglednost i potrebnu visinu za vozilo. [2]

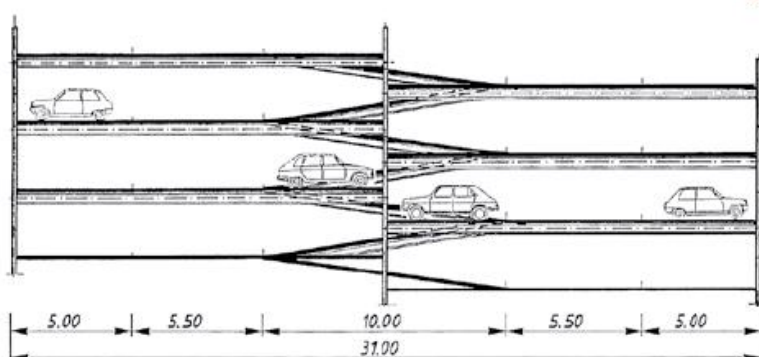


*Slika 1. Garaža s vanjskom rampom zakrivljenog oblika [1]*



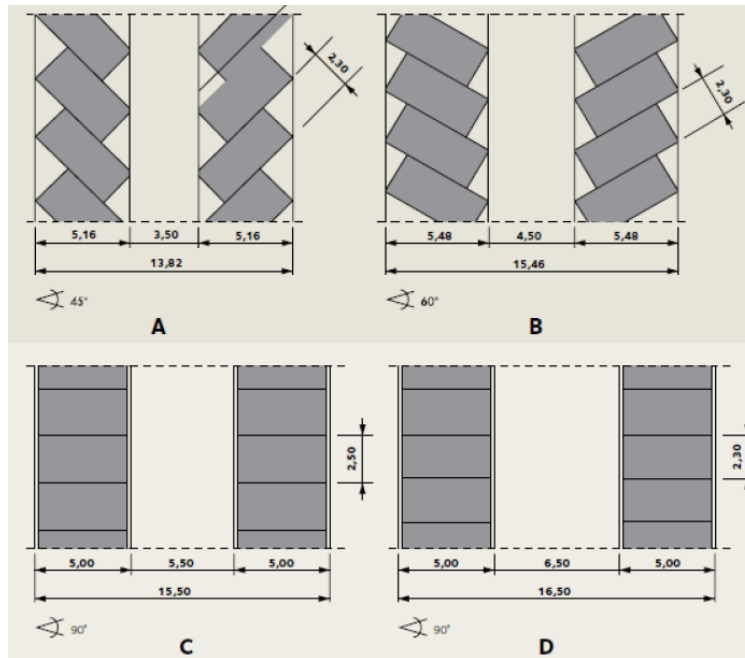
*Slika 2. Garaža s unutarnjom rampom ravnog oblika [1]*

Pristupne trake se moraju pružati do parkirnih mjesta, a udaljenost do izlaza treba biti što je kraća moguća. Jedan od načina kojim se može smanjiti dužina rampi je Humy sustav kod kojeg je svaka etaža pomaknuta za polovicu visine od prethodne.



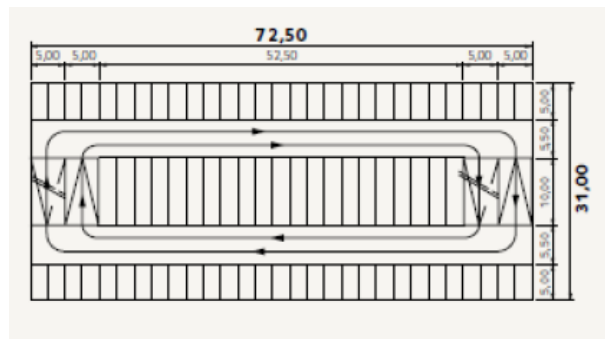
*Slika 3. Prikaz Humy sustava [2]*

Parkirna mjesta mogu biti okomita na pristupnu traku ili pod kutom od  $45^\circ$ . Istraživanja pokazuju da parkirna mjesta pod kutom od  $45^\circ$  reduciraju širinu zgrade do 14 m. [2]

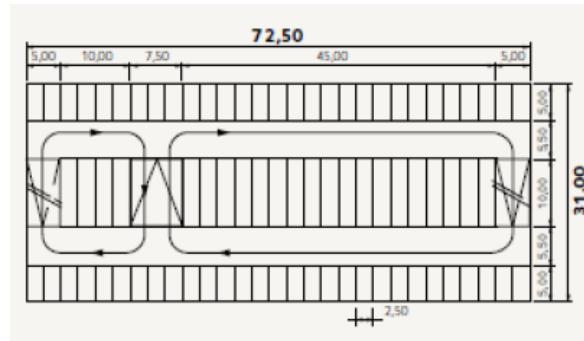


**Slika 4.** Parkirna mjesta pod kutom od  $45^\circ$  (A i B) te okomita parkirna mjesta (C i D) [2]

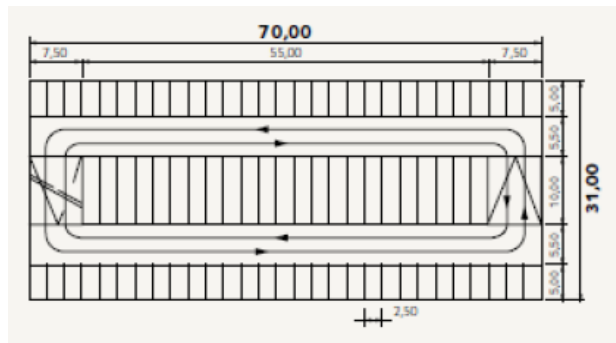
Zadatak projektanta je prometovanje u garaži svesti na minimum na način da se smanji rad vozača pri manevriranju vozilom, osigura preglednost i jednostavnost ulaza i izlaza, izbjegne konfuzija kamo treba ići. Prometna rješenja i smještaj rampi prikazana su na slici, a ona su jednosmjerno kruženje s rampama na krajevima, odvojeno kruženje, dvosmjerno kruženje s dvostrukim rampama, mješovito kruženje te vanjske spiralne rampe za ulaz i izlaz. [3]



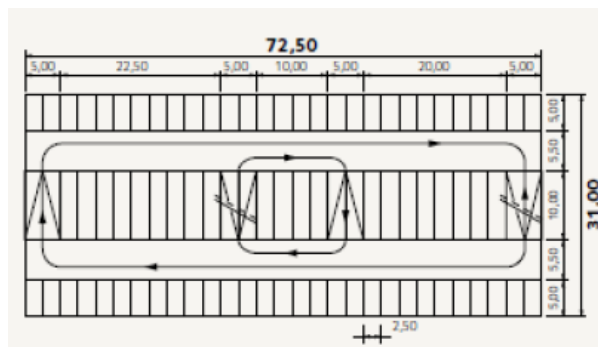
**Slika 5.** Jedsmsmjerno kruženje s rampama na krajevima [3]



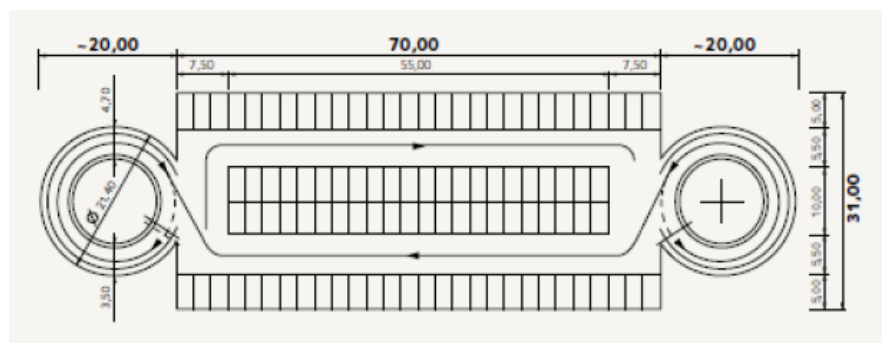
*Slika 6. Odvojeno kruženje[3]*



*Slika 7. Dvosmjerno kruženje s dvostrukim rampama[3]*



*Slika 8. Mješovito kruženje[3]*

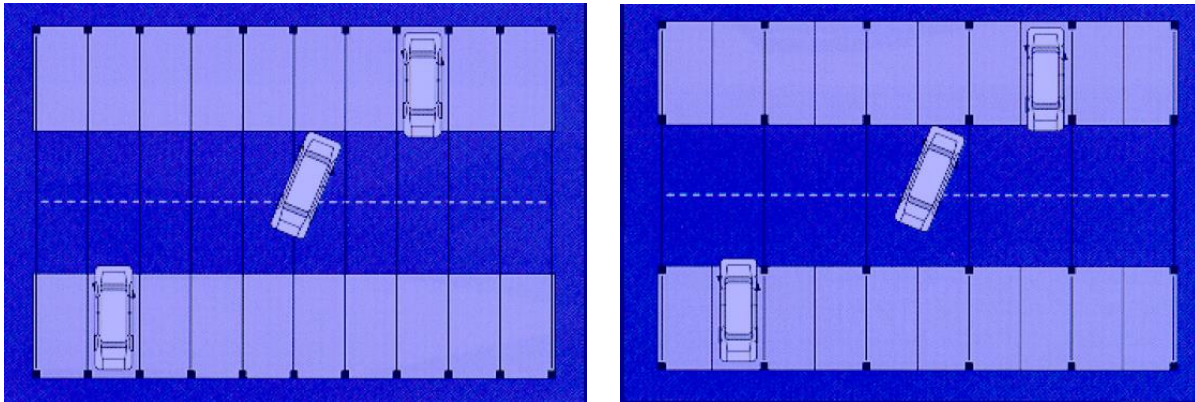


*Slika 9. Vanjske spiralne rampe za ulaz i izlaz[3]*

### 2.3. Konstruktivski elementi

Čelična nosiva konstrukcija se sastoji od vertikalnih stupova i horizontalnih nosača najčešće povezanih vijčanim spojevima. Horizontalne sile od vjetera i kočenja automobila prenose se horizontalno preko stropne ploče do vertikalne stabilizacije ili posmičnih zidova.

U višekatnim garažama vanjski stupovi su pozicionirani na rasponima koji odgovaraju širini jednog ili više parkirnih mjesta (2,30 ili 2,50 m). Gdje je raspon stupova veći od 5 m potrebno je postaviti sekundarne nosače. Idealno je da raspon stupova prati glavne nosače bez postavljanja sekundarnih stupova čime se optimizira težina konstrukcije. Na slici 10 (lijevo) prikazan je raspored stupova koji ne ometa promet vozilima, dok je na slici 10 (desno) prikazan alternativni raspored koji ometa promet vozilima. U podzemnim garažama raspored stupova ovisi o tlocrtu građevine koja se nalazi iznad pa je bitno minimizirati poprečne presjeke stupova koristeći vruće valjanje profile ili spregnute stupove. Preporučeno je koristiti čelik kvalitete S355 kako bi se smanjila težina i reducirala veličina stupova. [2]



*Slika 10. Raspored stupova koji ne ometa promet vozila(lijevo) i raspored stupova koji ometa promet vozila(desno) [3]*

Izbor nosača ovisi o rasponu, tipu betonske ploče i dopuštenoj konstruktivnoj visini. Mogu se koristiti različite vrste betonskih ploča, a to su monolitna ploča koja se izvodi na mjestu, spregnuta ploča ili predgotovljena ploča. Betonske ploče koje se postavljaju na mjestu mogu biti izvedene uz pomoć privremene ili stalne oplata napravljene od predgotovljenih betonskih elemenata ili metalne ploče.

Preporuča se spregnuto djelovanje između betonske ploče i čeličnih greda pomoću metalnih moždanika koji su zavareni na gornju pojasnicu čeličnog poprečnog presjeka (slika 11). Spregnutim djelovanjem može se uštedjeti 20% trošenja čelika ili se konstruktivna visina može reducirati.

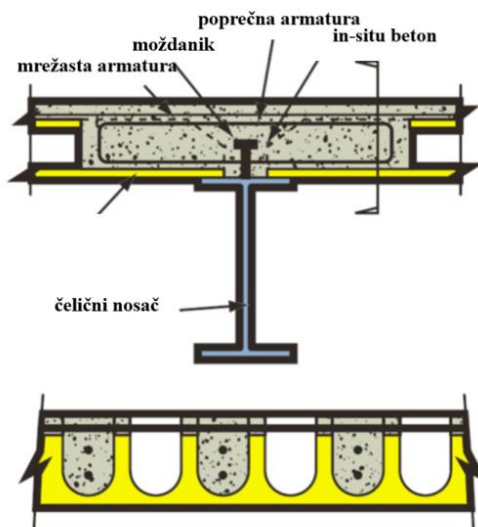
Metalne ploče u kombinaciji sa in-situ betonom ne zahtijevaju oplatu zbog čega se smanjuje vrijeme izvedbe konstrukcije. [2]



*Slika 11. Moždanici zavareni za gornju pojasnicu čeličnog poprečnog presjeka[2]*

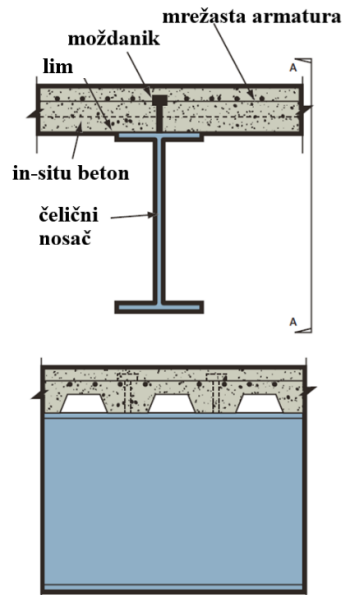
Prefabricirani betonski elementi debljine su 5 do 8 cm i mogu služiti kao donji sloj armature betonske ploče. Na njih se izljeva beton i postavlja armatura u gornji pojas. Vrijeme izvedbe se može još više smanjiti korištenjem predgotovljenih betonskih ploča. One se proizvode pod strogim uvjetima u tvornici i postavljaju na gradilištu koristeći iste strojeve kao i za montažu čelične konstrukcije. Povezivanje elemenata može se ostvariti postavljanjem vijaka na gornju pojasnicu čeličnog nosača te takva metoda zahtjeva veliku preciznost. [2]

Moguća rješenja međukatne konstrukcije su spregnuti nosač s PCC cjevasto nazubljenim montažnim pločama, spregnuti nosač s monolitnom betonskom pločom u trapeznom limu, spregnuti nosač s prefabriciranim betonskim pločama zalivenim svježim betonom, sustav Montex sa prefabriciranim betonskim pločama, sustav Hoesch Aditiv. Spregnuti nosač s PCC cjevasto nazubljenim montažnim pločama omogućuje veliki razmak nosača zbog velike nosivosti montažnih elemenata te bržu gradnju. Kod spregnutih nosača s monolitnom betonskom pločom trapezni lim služi kao izgubljena oplata što također ubrzava izgradnju. [3]

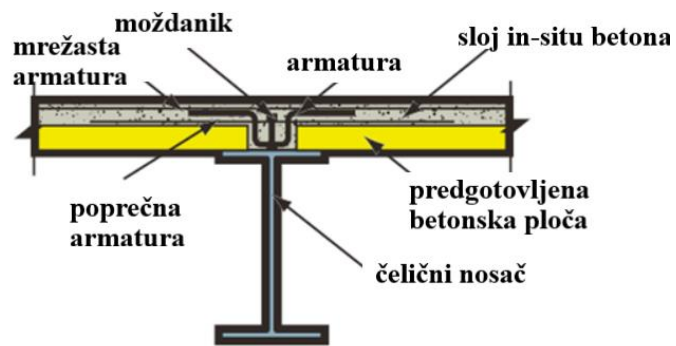


*Slika 12. Spregnuti nosač s PCC cjevasto nazubljenim montažnim pločama[3]*

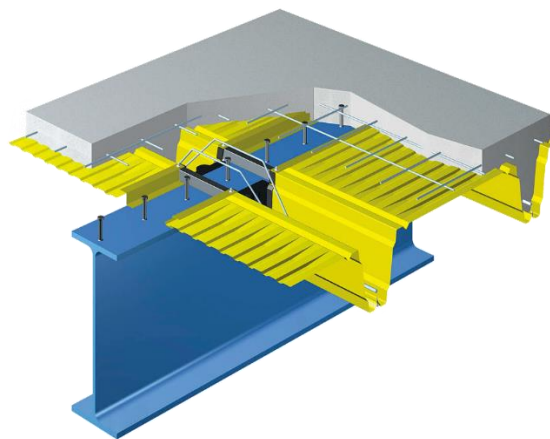




*Slika 13. Spregnuti nosač s monolitnom betonskom pločom u trapeznom limu[3]*



*Slika 14. Spregnuti nosač s prefabriciranim betonskim pločama zalivenim svježim betonom[3]*



*Slika 15. Sustav Hoesch Aditiv[3]*

Za nosače se najčešće koristi čelik kvalitete S355 no dodatna ušteda materijala i cijene može se postići korištenjem laganijih IPE profila kvalitete S460. [2]



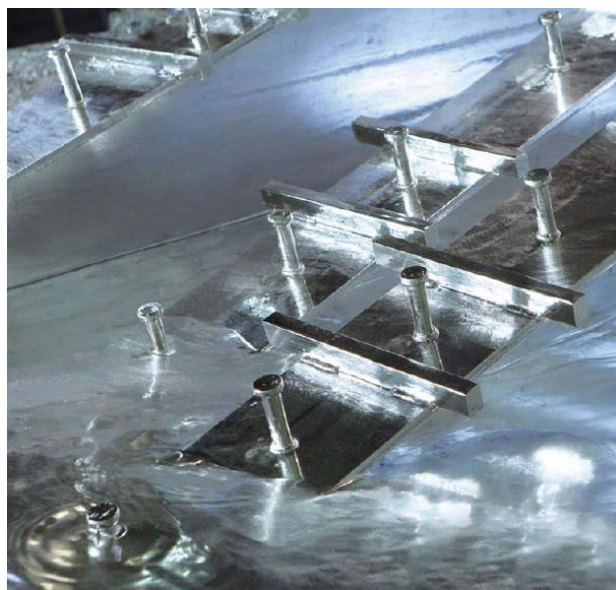
*Slika 16. Vijčani spoj grede i stupa[2]*

#### 2.4. Požar i korozija

Kako bi troškovi za održavanje bili što manji, konstrukciju je potrebno zaštititi od korozije. Najčešća metoda zaštite od korozije je galvanizacija. Čelični elementi se uranjaju u kupku napravljenu od cinka pri temperaturi od 450°C. Elementi se ostavljaju u kupki 5-10 min, a u tom procesu se uklanja sva hrđa s površine pri čemu nastaje tanki sloj cinka koji štiti od korozije.

Također, sve se više razvijaju boje koje štite od korozije, a istraživanja pokazuju da zaštitne boje povećavaju trajnost konstrukcije 10 do 20 godina.

Prema regulativi većine europskih zemalja ne postoje nikakvi zahtjevi za požar kod otvorenih višekatnih garaža, dok kod zatvorenih postoje stroži zahtjevi za požar. [2]



*Slika 17. Uranjanje čeličnog elementa u kupku od cinka[3]*



## **2.5. Cijena koštanja konstrukcije i ekonomičnost**

Prosječna cijena koštanja višekatnih garaža iznosi 5000 eura po parkirnom mjestu i uključuje nosivu okvirnu konstrukciju, podnu konstrukciju, temeljenje, graničnike i fasadnu oblogu. S obzirom da je vrijeme izrade i montaže čelične konstrukcije kratko, moguć je raniji početak korištenja te u konačnici raniji povrat uložених sredstava. Također, eliminiraju se troškovi vezani uz protupožarnu otpornost, a postoji mogućnost nadogradnje, reciklaže i demontaže. [2]

### 3. TEMELJNA NAČELA PRORAČUNA

#### 3.1. Načela proračuna graničnih stanja

##### 3.1.1. Proračunske situacije

Proračunska situacija je skup fizikalnih uvjeta koji predstavljaju stvarne uvjete nastale tijekom određenog vremenskog razdoblja, a za koje se proračunom pokazuje da odgovarajuća granična stanja neće biti premašena. Odgovarajuće proračunske situacije se odabiru ovisno o okolnostima pod kojima se zahtjeva ispunjenje funkcije određene konstrukcije. Proračunske situacije dijelimo na stalne, prolazne, izvanredne i potresne. Stalna proračunska situacija je relevantna kroz razdoblje koje je istog trajanja kao i projektirani vijek trajanja konstrukcije i odnosi se na uvjete uobičajene upotrebe. Prolazna proračunska situacija je relevantna kroz razdoblje mnogo kraće od projektiranog vijeka trajanja konstrukcije, a ima veliku vjerojatnost događanja i odnosi se na privremene uvjete koji se primjenjuju na konstrukciju. Izvanredna proračunska situacija podrazumijeva izvanredne uvjete kao što su požar, eksplozija, udar, dok potresna proračunska situacija uključuje izvanredne uvjete kada je konstrukcija izložena potresu. [4]

##### 3.1.2. Granična stanja

Granična stanja su stanja izvan kojih konstrukcija više ne zadovoljava projektom predviđene zahtjeve. Razlikuju se:

- granična stanja nosivosti – GSN (eng. ULS)
- granična stanja uporabljivosti – GSU (eng. SLS)

Granična stanja nosivosti su stanja koja mogu izazvati rušenje konstrukcije ili ju dovode u stanje mehanizma. To se odnosi na gubitak ravnoteže konstrukcije ili njezina elementa promatranih kao kruto tijelo, unutarne otkazivanje nosivosti ili prekomjerne deformacije konstrukcije, otkazivanje nosivosti ili prekomjerna deformacija tla te otkazivanje konstrukcije ili konstrukcijskih elemenata zbog umaranja.

Pri provjeri graničnog stanja nosivosti potrebno je zadovoljiti uvjet:

$$E_d \leq R_d \quad (3.1)$$

Gdje je:

$E_d$  – proračunska vrijednost učinka djelovanja

$R_d$  – proračunska vrijednost odgovarajuće otpornosti

Vrijednost  $E_d$  određuje se prema sljedećem izrazu:

$$E_d = \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

Granična stanja uporabivosti su stanja koja se odnose na normalnu upotrebu konstrukcije, udobnost ljudi te izgled građevine, a kriteriji koje je potrebno ograničiti su naprezanje, širina pukotina, progibi te vibracije.

Pri provjeri graničnog stanja uporabivosti potrebno je zadovoljiti uvjet:

$$E_d \leq C_d \quad (3.2)$$

Gdje je:

$E_d$  – proračunska vrijednost učinka djelovanja određenih u kriteriju uporabivosti

$C_d$  – granična vrijednost odgovarajuće vrijednosti uporabivosti [4]

### 3.1.3. Kombinacije djelovanja i koeficijent kombinacije

Kombinacije djelovanja koje se uzimaju u obzir trebaju ispunjavati zahtjeve uporabivosti i izvedbe, a dijele se na:

- karakteristične kombinacije – koriste se kod nepovratnih graničnih stanja

$$E_d = \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

- česte kombinacije – koriste se kod povratnih graničnih stanja

$$E_d = \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

- nazovistalne kombinacije – koriste se za dugotrajne efekte djelovanja

$$E_d = \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

Kada kombinacija opterećenja uključuje više od jednog promjenjivog djelovanja (npr. korisno opterećenje i vjetar) parcijalni koeficijenti sigurnosti vezani uz komponente promjenjivog djelovanja mijenjaju se i svako promjenjivo djelovanje osim onog najdominantnijeg, množi se sa

koeficijentom kombinacije  $\psi$ . Vrijednost koeficijenata kombinacije ovisi o prilikama, vrsti opterećenja, i korištenju zgrade ili općenito konstrukcije.[4]

**Tablica 1.** Preporučene vrijednosti faktora  $\psi$  iz norme HRN EN 1990:2011, tablica A1.1[4]

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.			

## 3.2. Projektni kriteriji u potresnim područjima

### 3.2.1. Kombinacije pri potresnoj proračunskoj situaciji

#### 3.2.1.1. Kombinacije potresnog djelovanja sa drugim djelovanjima

Proračunska vrijednost učinaka djelovanja  $E_d$  u potresnoj proračunskoj situaciji mora se odrediti u skladu s normom EN 1990. Inercijski učinci proračunskog potresnog djelovanja određuju se prema izrazu:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3.3)$$

U izrazu  $\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i}$ , a oznake su:

$\psi_{E,i}$  – koeficijent kombinacije za promjenjivo djelovanje

$\varphi, \psi_{2,i}$  – koeficijenti propisani tablicom [8]

**Tablica 2. Vrijednosti faktora  $\varphi$  iz norme HRN EN 1998-1:2011, tablica 4.2[8]**

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.		

### 3.2.1.2. Kombinacije učinaka komponenata potresnog djelovanja

Najčešće se uzima da horizontalne komponente potresnog djelovanja djeluju zajedno[8].

$$A_{Ed} = E_{Edx} + 0,30 \cdot E_{Edy} + 0,30 \cdot E_{Edz} \quad (3.4)$$

$$A_{Ed} = 0,30 \cdot E_{Edx} + E_{Edy} + 0,30 \cdot E_{Edz} \quad (3.5)$$

$$A_{Ed} = 0,30 \cdot E_{Edx} + 0,30 \cdot E_{Edy} + E_{Edz} \quad (3.6)$$

Gdje je:

$A_{Ed}$  - proračunski učinak unutarnjih sila seizmičke komponente u potresnoj proračunskoj kombinaciji,

$E_{Edx}$  - proračunski učinak unutarnjih sila seizmičke komponente u potresnoj proračunskoj kombinaciji za smjer x,

$E_{Edy}$  - proračunski učinak unutarnjih sila seizmičke komponente u potresnoj proračunskoj kombinaciji za smjer y,

$E_{Edz}$  - proračunski učinak unutarnjih sila seizmičke komponente u potresnoj proračunskoj kombinaciji za smjer z.

### 3.2.2. Temeljni zahtjevi

Konstrukcije u seizmičkim područjima trebaju biti projektirane na način da zadovolje 2 temeljna zahtjeva :

- Zahtjev da ne smije doći do rušenja (eng. No-Collapse Requirement)
- Zahtjev ograničenja oštećenja (eng. Damage Limitation Requirement)

Zahtjev da ne smije doći do rušenja odnosi se na to da konstrukcija mora izdržati potresna djelovanja bez lokalnih i globalnih urušavanja, a da pritom zadrži integritet i dovoljan kapacitet nosivost. Konstrukcije moraju biti projektirane i izvedene na način da izdrže najjači referentni potres za područje u kojem se nalaze bez da dođe do kolapsa. Referentni povratni period iznosi 475 godina, odnosno vjerojatnost prekoračenja je 10 % u 50 godina.[8]

Zahtjev da ne smije doći do rušenja pod potresnim djelovanjem zadovoljava se ispunjenjem sljedećih kriterija[8]:

- otpornosti
- lokalne i globalne duktilnosti
- ravnoteže
- otpornosti stropnih dijafragmi
- otpornosti temelja
- seizmičke otpornost spojeva

Zahtjev ograničenja oštećenja odnosi se na to da konstrukcija izdržava potres manjeg intenziteta koji će se vjerojatnije dogoditi u odnosu na projektna potresna djelovanja. Dakle, konstrukcije moraju biti projektirane i izvedene tako da izdrže referentni potres na granici oštećenja koji ima veću vjerojatnost pojave od projektiranog potresa. Referentni povratni period iznosi 95 godina, odnosno vjerojatnost prekoračenja je 10% u 10 godina.[8]

## 4. STATIČKI PRORAČUN

### 4.1. Analiza opterećenja

#### 4.1.1. Stalno opterećenje

Vlastita težina čeličnih elemenata konstrukcije kao i težina betonske ploče uzima se automatski pomoću računalnog programa SCIA Engineer 21.1.

Lijevani asfalt Asphalttech (prvi sloj debljine 30 mm).....	= 0,064 kN/m <sup>2</sup>
Lijevani asfalt Asphalttech (drugi sloj debljine 10 mm).....	= 0,021 kN/m <sup>2</sup>
Fiberglass sloj debljine 1mm.....	zanemarivo
Hoesch Additiv (debljina lima 1,25 mm; ) .....	= 0,160 kN/m <sup>2</sup>
Instalacije.....	= 0,30 kN/m <sup>2</sup>

$$g_k = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.1.2. Uporabno opterećenje

Prema normi HRN EN 1991-1-1 (tablica 6.8 - Uporabna opterećenja garaža i prostora za promet vozila) karakteristično uporabno opterećenje u javnim garažama uzima se s vrijednošću od 2,5 kN/m<sup>2</sup> . [5]

**Tablica 3.** Uporabna opterećenja garaža i prostora za promet vozila iz norme HRN EN 1991-1-1, tablica 6.8[5]

Kategorija prometnog prostora	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k^a$ [kN]
Kategorija F bruto težina vozila ≤ 30 kN	2,5	20
Kategorija G 30 kN < bruto težina vozila ≤ 160 kN	5,0	90
<sup>a</sup> $Q_k$ predstavlja opterećenje osovine (opterećenje pojedinog kotača je $Q_k/2$ )		

Krov je također dostupan za korištenje i namijenjen za parkiranje automobila te karakteristično opterećenje na krovu također iznosi 2,5 kN/m<sup>2</sup>.

### 4.1.3. Snijeg

Opterećenje snijegom određuje se prema normi EN 1991-1-3 te prema hrvatskom nacionalnom dodatku HRN EN 1991-1-1-:2012/NS.

Opterećenje snijegom dobiva se prema izrazu:

$$S = S_k \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \quad (4.1)$$

Gdje je:

$S_k$  – karakteristično opterećenje snijegom na tlu koje ovisi o nadmorskoj visini i zemljopisnoj lokaciji [ $kN/m^2$ ]

$\mu_i$  – koeficijent oblika opterećenja snijegom na krovu; za ravni krov iznosi  $\mu_i = 0,8$

$C_e$  – koeficijent izloženosti kojim se u obzir uzimaju teži uvjeti puhanja vjetra; iznosi  $C_e = 1,00$

$C_t$  – toplinski koeficijent kojim se u obzir uzima termička izolacija krova, iznosi  $C_t = 1,00[5]$





**Slika 18.** Karta karakterističnog opterećenja snijegom za Republiku Hrvatsku [5]

Hrvatska je podijeljena na 4 zone snijega, što je prikazano na slici 18. Prema karti, građevina je svrstana u 3. područje (Kontinentalna Hrvatska), a nalazi se na nadmorskoj visini od 150 metara.

**Tablica 4.** Karakteristično opterećenje snijegom na tlu (HRN EN 1991-1-3)[5]

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		

Iz tablice 4. je očitana vrijednost karakterističnog opterećenja snijegom te iznosi  $S_k = 1,25 \text{ kN/m}^2$ .

Prema tome, opterećenje snijegom iznosi:

$$S = 1,25 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

#### 4.1.4. Vjetar

Vjetar je promjenjivo slobodno djelovanje. Djelovanje vjetra na građevinu ovisi o brzini vjetra i obliku samih građevina. Očituje se promjenom tlaka u odnosu na normalni atmosferski tlak, a djeluje na vanjske površine zatvorene konstrukcije te na unutarnje površine otvorene konstrukcije. Prilikom djelovanja na površinu djeluju tlakovi čija je posljedica sila koja djeluje okomito na površinu konstrukcije. Opterećenje vjetrom određuje se prema normi EN 1991-1-4 te prema hrvatskom nacionalnom dodatku HRN EN 1991-1-4:2012/NA.[5]

S obzirom da se u radu obrađuje otvorena konstrukcija koja nema zidove, vjetar će se nanositi kao linearno opterećenje na elemente.

#### 4.1.4.1. Vršni tlak uslijed brzine vjetra

Osnovna brzina vjetra:

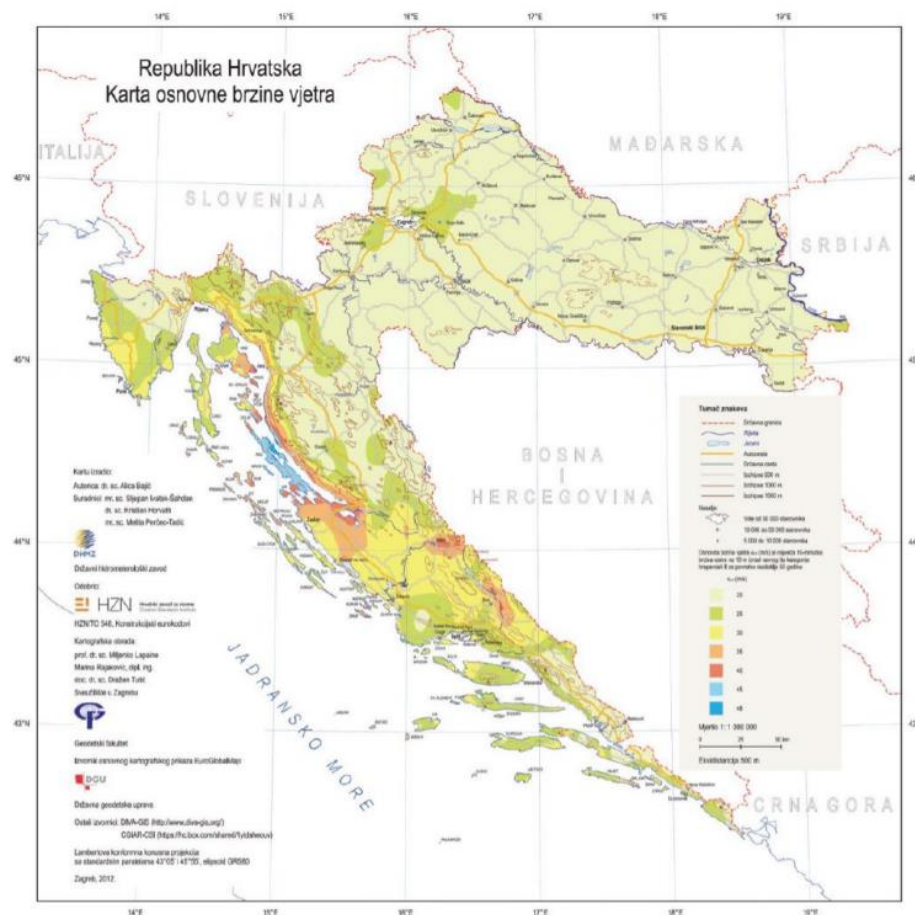
$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} \quad (4.2)$$

gdje je:

$C_{dir}$  – koeficijent smjera vjetra,  $C_{dir} = 1,0$

$C_{season}$  – koeficijent godišnjeg doba,  $C_{season} = 1,0$

$V_{b,0}$  – temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra, najveća 10 – minutna brzina vjetra na 10,0 m iznad ravnoga tla kategorije hrapavosti II za povratno razdoblje od 50 godina, a određuje se iz karte vjetrova prikazane na slici 19. [5]



Slika 19. Karta osnovne brzine vjetra za Republiku Hrvatsku [5]

Očitana vrijednost iz karte iznosi  $V_{b,0} = 20 \text{ m/s}$ . Prema izrazu osnovna brzina vjetra iznosi:

$$V_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20,0 = 20 \text{ m/s}$$

Tlak pri osnovnoj brzini vjetra određuje se iz izraza:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (4.3)$$

Gdje je  $\rho$  gustoća zraka i iznosi  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$  [5].

Uvrštavajući gustoću u izraz (4.3), dobijemo osnovni tlak uslijed brzine koji iznosi:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 250 \text{ N/m}^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

Vršni tlak uslijed brzine vjetra:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4.4)$$

U izrazu (4.4) je:

$I_v(z)$  – intenzitet turbulencije vjetra,

$v_m(z)$  – srednja brzina vjetra na visini  $z$  iznad terena,

$c_e(z)$  – koeficijent izloženosti koji uzima u obzir neravnost terena, topografiju i visinu iznad tla. [5]

Srednja brzina vjetra na visini  $z$  iznad terena određuje se iz izraza:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad (4.5)$$

U izrazu (4.5) je:

$c_r(z)$  – faktor hrapavosti,

$c_0(z)$  – faktor orografije, koji je prema Nacionalnom dodatku 1,0 ukoliko se konstrukcija ne nalazi na brežuljku. [5]

Tlocrtne dimenzije građevine su 31,0 m x 72,5 m, a visina građevine je 10,15 m. Gradnja građevine predviđena je na zemljištu kategorije IV. U tu kategoriju zemljišta spadaju područja sa najmanje 15% površine prekrivene zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m (tablica 5.4).

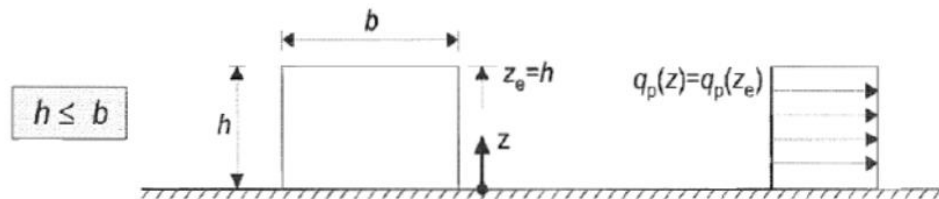
**Tablica 5.** Kategorije terena i parametri terena iz norme HRN EN 1991-1-4:2012, tablica 4.1[5]

Kategorija terena	Karakteristike terena	$z_0$ (m)	$z_{min}$ (m)
0	- more i površine obale	0,003	1,0
I	- jezera - nema zapreka	0,01	1,0
II	- slaba vegetacija - pojedine zapreke s razmakom najmanje 20x visine zapreke	0,05	2,0
III	- normalna vegetacija, šume i predgrađa	0,3	5,0
IV	- najmanje 15% površine pokriveno je zgradama prosječne visine 15 m	1,0	10,0

$$h = 10,15 \text{ m}$$

$$b = 72,5 \text{ m}$$

$$h < b \rightarrow z_e = h = 10,15 \text{ m}$$



**Slika 20.** Referentna visina  $z_e$  i raspodjela vršnog tlaka po visini konstrukcije kada je  $h \leq b$  [5]

Faktor hrapavosti iznosi:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \rightarrow \text{za } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4.6)$$

U izrazu je:

$z_{min}, z_0$  – vrijednosti koje ovise o kategoriji terena (tablica 5.),

$z$  – referentna visina,

$k_r$  – faktor terena,

$z_{max}$  – uzima se sa vrijednošću 200 m.[5]

Vrijednosti za IV kategoriju terena iznosi:

$$z_{min} = 10,0 \text{ m}; z_0 = 1,0 \text{ m}$$

Faktor terena iznosi:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{1,0}{0,05}\right)^{0,07} = 0,234$$

Uvjet  $z_{min} = 10,0 \text{ m} \leq z = z_e = 10,15 \text{ m} \leq 200 \text{ m}$  je zadovoljen pa prema izrazu (4.6) vrijedi:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,234 \cdot \ln\left(\frac{10,15}{1,0}\right) = 0,542$$

Prema izrazu (4.5) srednja brzina vjetra iznosi:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b = 0,542 \cdot 1,0 \cdot 20,0 = 10,85 \text{ m/s}$$

Budući da vrijedi  $z_{min} = 10,0 \text{ m} \leq z = z_e = 10,15 \text{ m} \leq 200 \text{ m} \leq$  intenzitet turbulencije računa se prema:

$$I_v(z) = \frac{k_1}{\left[c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right]} \quad (4.7)$$

U izrazu je:

$$k_1 = 1,0 - \text{faktor turbulencije čija je preporučena vrijednost 1,0. [5]}$$

Prema izrazu (4.7) slijedi:

$$I_v(z) = \frac{k_1}{\left[c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right]} = \frac{1,0}{\left[1,0 \cdot \ln\left(\frac{10,15}{1,0}\right)\right]} = 0,432$$

Prema izrazu (4.4) vršni tlak uslijed brzine vjetra iznosi:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,432] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 10,85^2 = 296,07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ &= 0,296 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

#### 4.1.4.2. Sile vjetra

Sile vjetra na cijelu konstrukciju ili dio konstrukcije treba odrediti:

- proračunom sila upotrebljavajući koeficijente sila ili
- proračunom sila iz površinskih tlakova

Sile vjetra  $F_w$  koja djeluje na konstrukciju ili dio konstrukcije smije se izravno odrediti upotrebljavajući izraz:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.8)$$

Ili vektorskim zbrajanjem po pojedinim konstrukcijskim elementima upotrebljavajući izraz:

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementi}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4.9)$$

Gdje je:

$c_s c_d$  – konstrukcijski faktor

$c_f$  – koeficijent sile za konstrukciju ili konstrukcijski element

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

$A_{ref}$  – referentna ploština konstrukcije ili konstrukcijskog elementa[5]

Sila vjetra  $F_w$ , koja djeluje na konstrukciju ili konstrukcijski element smije se odrediti vektorskim zbrajanjem sila  $F_{w,e}$ ,  $F_{w,i}$  i  $F_{tr}$  proračunanim iz unutarnjih i vanjskih tlakova te sila trenja koje nastaju trenjem vjetra paralelno s vanjskom površinom.

Vanjske sile:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum_{\text{površine}} w_e \cdot A_{ref} \quad (4.10)$$

Unutarnje sile:

$$F_{w,i} = \sum_{\text{površine}} w_i \cdot A_{ref} \quad (4.11)$$

Sile trenja određuju se iz izraza:

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad (4.12)$$

Gdje je:

$c_s c_d$  – konstrukcijski faktor

$w_e$  – vanjski tlak na pojedinu površinu na visini  $z_e$ ,

$w_i$  – unutarnji tlak na pojedinu površinu na visini  $z_i$ ,

$A_{ref}$  – referentna ploština pojedine površine

$c_{fr}$  – koeficijent trenja

$A_{fr}$  – ploština vanjske površine paralelne s vjetrom.[5]

#### 4.1.4.3. Konstrukcijski faktor

Prema normi HRN EN 1991-1-4-2012, za zgrade niže od 15 m, vrijednost konstrukcijskog faktora  $c_s c_d$  smije se uzeti da je 1,0. [5]

#### 4.1.4.4. Konstrukcijski elementi pravokutnog profila

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

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda \quad (4.13)$$

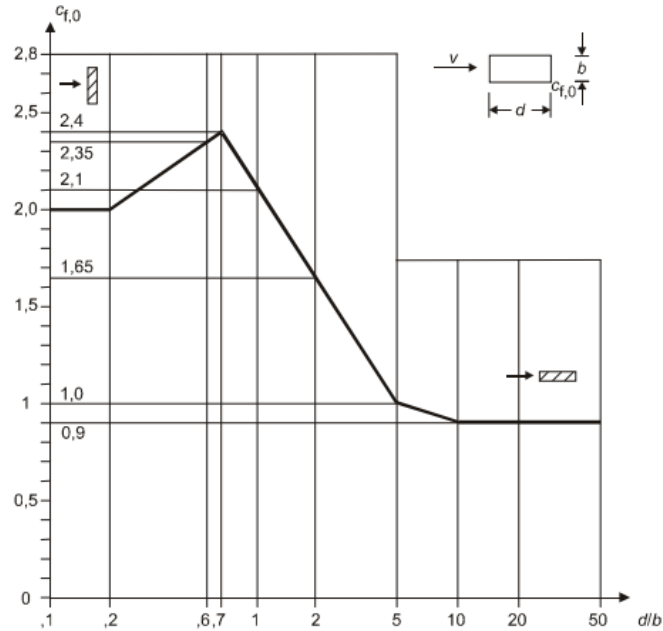
gdje je:

$c_{f,0}$  – koeficijent sile za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja, kao što je prikazano na slici 21.

$\Psi_r$  – faktor smanjenja za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima.  $\Psi_r$  ovisi o Reynoldsovu broju, a za pravokutne profile bez zaobljenih rubova iznosi 1,0.

$\Psi_\lambda$  – faktor učinka kraja za elemente s tokom preko slobodnog kraja[5]





**Slika 21.** Koeficijenti sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja [5]

Referentnu ploštinu  $A_{ref}$  treba odrediti iz izraza:

$$A_{ref} = l \cdot b$$

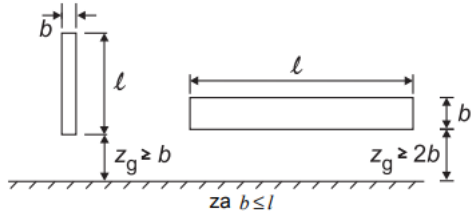
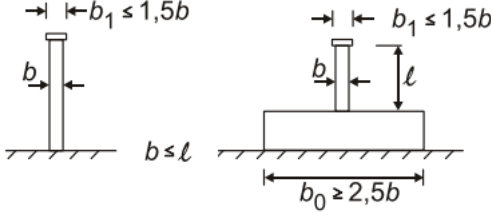
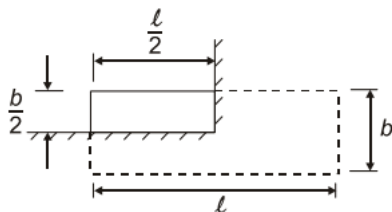
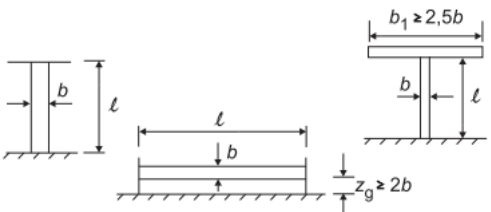
gdje je:

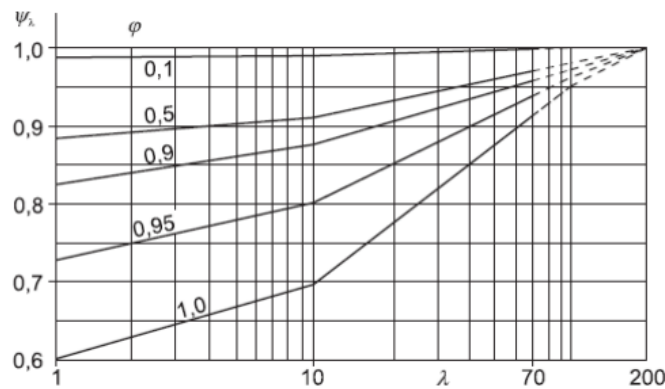
(4.14)

$l$  – duljina razmatranog konstrukcijskog elementa[5]

Faktor učinka kraja  $\Psi_\lambda$ , gdje je to važno, treba odrediti pomoću slike 22 kao funkciju vitkosti  $\lambda$ . Proračunsku vitkost  $\lambda$  treba odrediti iz tablice 6. u ovisnosti o dimenzijama konstrukcije i njezinom položaju.[5]

**Tablica 6.** Preporučene vrijednosti  $\lambda$  za valjke, poligonalne profile, pravokutne profile, konstrukcijske profile oštih bridova i rešetkaste konstrukcije iz HR EN 1991-1-4, tablica 7.16(N)[5]

Br.	Položaj konstrukcije, vjetar okomito na ravninu stranice	Proračunska vitkost $\lambda$
1		
2		Za poligonalne, pravokutne i profile oštih rubova te za rešetkaste konstrukcije: za $l \geq 50$ m, $\lambda = 1,4$ , $l/b$ ili $\lambda = 70$ , odabire se manja vrijednost za $l < 15$ m, $\lambda = 2$ , $l/b$ ili $\lambda = 70$ , odabire se manja vrijednost. Za kružne valjke: za $l \geq 50$ m, $\lambda = 0,7$ , $l/b$ ili $\lambda = 70$ , odabire se manja vrijednost za $l < 15$ m, $\lambda = l/b$ ili $\lambda = 70$ , odabire se manja vrijednost. Za međuvrijednosti $l$ smije se upotrebljavati linearna interpolacija.
3		
4		za $l \geq 50$ m, $\lambda = 0,7$ , $l/b$ ili $\lambda = 70$ , odabire se veća vrijednost za $l < 15$ m, $\lambda = l/b$ ili $\lambda = 70$ , odabire se veća vrijednost Za međuvrijednosti $l$ smije se upotrebljavati linearna interpolacija.



**Slika 22.** Orijentacijske vrijednosti faktora učinka kraja  $\Psi_\lambda$  kao funkcije omjera punoće  $\varphi$  i vitkosti  $\lambda$

Omjer punoće  $\varphi$  dan je u izrazu:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (4.15)$$

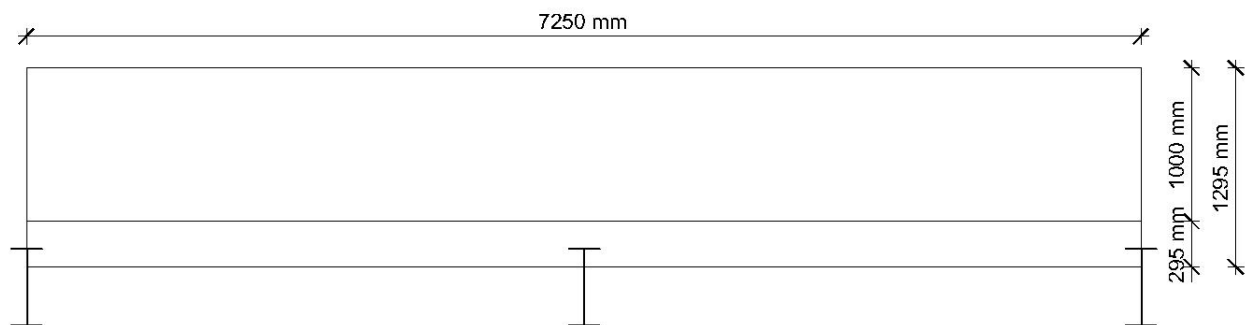
gdje je:

$A$  – zbroj projiciranih ploština elemenata

$A_c$  – ukupna omeđena ploština  $A_c = l \cdot b$ [5]

#### 4.1.4.5. Djelovanja vjetra

**Opterećenje na međukatnu konstrukciju kad vjetar puše okomito na uzdužnu stranu građevine:**



**Slika 23.** Dimenzije međukatne konstrukcije u uzdužnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar

Sila vjetra koja djeluje na konstrukcijski element određuje se iz izraza (4.8):

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

Prethodno je navedeno da je konstrukcijski koeficijent  $c_s c_d = 1,0$ . Koeficijent sile  $c_f$  određuje se iz izraza (4.13):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

$$b = 1,295 \text{ m}, d = 15,5 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{b} = \frac{15,5}{1,295} = 11,97$$

Koeficijent sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja prema slici 21. iznosi 0,9.

Faktor smanjena za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima jednak je 1,0.

Prema tablici 6, vitkost je jednaka  $\lambda = \min\left(2 \cdot \frac{l}{b}; 70\right) = \min\left(2 \cdot \frac{7,250}{1,295}; 70\right) = \min(11,20; 70) \rightarrow \lambda = 11,20$

Nadalje, iz slike 22 je očitana vrijednost faktora učinka kraja  $\Psi_\lambda$  kao funkcija omjera punoće  $\varphi$  i vitkosti  $\lambda$ . Omjer punoće iznosi  $\varphi = 1,0$ . Stoga je vrijednost faktora  $\Psi_\lambda$  jednaka 0,70.

Koeficijent sile  $c_f$  tada iznosi:  $c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,70 = 0,63$ .

S obzirom da je duljina razmatranog konstrukcijskog elementa  $l = 3,625 \text{ m}$ , referentna površina jednaka je:

$$A_{ref} = l \cdot b = 7,250 \cdot 1,295 = 9,39 \text{ m}^2.$$

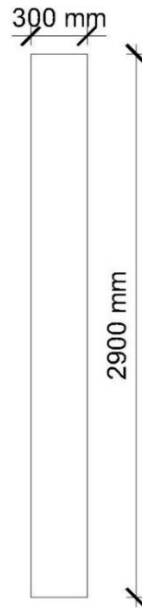
Prethodno je izračunata vrijednost vršnog tlaka koja iznosi:

$$q_p(z) = 0,296 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $F_w$  jednaka je:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 0,63 \cdot 0,296 \cdot 9,39 = 1,751 \text{ kN}$$

Opterećenje na stup duljine 2,9 m kad vjetar puše okomito na uzdužnu stranu građevine:



*Slika 24.* Dimenzije stupa u uzdužnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar

Sila vjetra koja djeluje na konstrukcijski element određuje se iz izraza (4.8):

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

Prethodno je navedeno da je konstrukcijski koeficijent  $c_s c_d = 1,0$ . Koeficijent sile  $c_f$  određuje se iz izraza (4.13):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

$$b = 2,9 \text{ m}, d = 0,32 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{b} = \frac{0,32}{2,9} = 0,11$$

Koeficijent sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja prema slici 21. iznosi 2,0.

Faktor smanjena za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima jednak je 1,0.

Prema tablici 6, vitkost je jednaka  $\lambda = \min\left(2 \cdot \frac{l}{b}; 70\right) = \min\left(2 \cdot \frac{2,9}{0,3}; 70\right) = \min(19,33; 70) \rightarrow \lambda = 19,33$

Nadalje, iz slike 22 je očitana vrijednost faktora učinka kraja  $\Psi_\lambda$  kao funkcija omjera punoće  $\varphi$  i vitkosti  $\lambda$ . Omjer punoće iznosi  $\varphi = 1,0$ . Stoga je vrijednost faktora  $\Psi_\lambda$  jednaka 0,77.

Koeficijent sile  $c_f$  tada iznosi:  $c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 0,77 = 1,54$ .

S obzirom da je duljina razmatranog konstrukcijskog elementa  $l = 2,9 \text{ m}$ , referentna površina jednaka je:

$$A_{ref} = l \cdot b = 2,9 \cdot 0,30 = 0,87 \text{ m}^2.$$

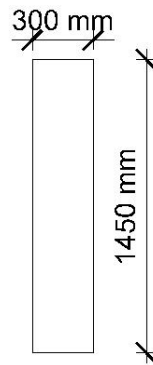
Prethodno je izračunata vrijednost vršnog tlaka koja iznosi:

$$q_p(z) = 0,296 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $F_w$  jednaka je:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 1,54 \cdot 0,296 \cdot 0,87 = 0,397 \text{ kN}$$

**Opterećenje na stup duljine 1,45 m kad vjetar puše okomito na uzdužnu stranu građevine:**



*Slika 25. Dimenzije stupa u uzdužnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar*

Sila vjetra koja djeluje na konstrukcijski element određuje se iz izraza (4.8):

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

Prethodno je navedeno da je konstrukcijski koeficijent  $c_s c_d = 1,0$ . Koeficijent sile  $c_f$  određuje se iz izraza (4.13):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

$$b = 1,45 \text{ m}, d = 0,32 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{b} = \frac{0,32}{1,45} = 0,22$$

Koeficijent sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja prema slici 21. iznosi 2,1.

Faktor smanjena za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima jednak je 1,0.

Prema tablici 6, vitkost je jednaka  $\lambda = \min\left(2 \cdot \frac{l}{b}; 70\right) = \min\left(2 \cdot \frac{1,45}{0,3}; 70\right) = \min(9,67; 70) \rightarrow \lambda = 9,67$

Nadalje, iz slike 22 je očitana vrijednost faktora učinka kraja  $\Psi_\lambda$  kao funkcija omjera punoće  $\varphi$  i vitkosti  $\lambda$ . Omjer punoće iznosi  $\varphi = 1,0$ . Stoga je vrijednost faktora  $\Psi_\lambda$  jednaka 0,69.

Koeficijent sile  $c_f$  tada iznosi:  $c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda = 2,1 \cdot 1,0 \cdot 0,69 = 1,45$ .

S obzirom da je duljina razmatranog konstrukcijskog elementa  $l = 1,45 \text{ m}$ , referentna površina jednaka je:

$$A_{ref} = l \cdot b = 1,45 \cdot 0,30 = 0,44 \text{ m}^2.$$

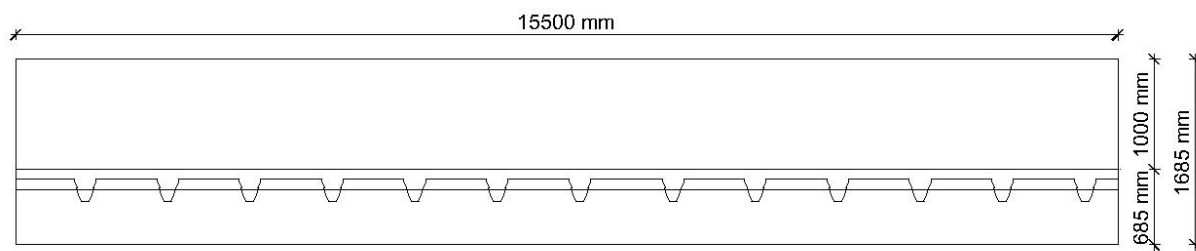
Prethodno je izračunata vrijednost vršnog tlaka koja iznosi:

$$q_p(z) = 0,296 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $F_w$  jednaka je:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 1,45 \cdot 0,296 \cdot 0,44 = 0,189 \text{ kN}$$

**Opterećenje na međukatnu konstrukciju kad vjetar puše okomito na poprečnu stranu građevine:**



*Slika 26. Dimenzije međukatne konstrukcije u poprečnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar*

Sila vjetra koja djeluje na konstrukcijski element određuje se iz izraza (4.8):

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

Prethodno je navedeno da je konstrukcijski koeficijent  $c_s c_d = 1,0$ . Koeficijent sile  $c_f$  određuje se iz izraza (4.13):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

$$b = 1,685 \text{ m}, d = 3,625 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{b} = \frac{3,625}{1,685} = 2,15$$

Koeficijent sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja prema slici 21. iznosi 1,60.

Faktor smanjena za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima jednak je 1,0.

$$\text{Prema tablici 6, vitkost je jednaka } \lambda = \min\left(1,99 \cdot \frac{l}{b}; 70\right) = \min\left(1,99 \cdot \frac{15,5}{1,685}; 70\right) = \min(18,31; 70) \rightarrow \lambda = 18,31$$

Nadalje, iz slike 22 je očitana vrijednost faktora učinka kraja  $\Psi_\lambda$  kao funkcija omjera punoće  $\varphi$  i vitkosti  $\lambda$ . Omjer punoće iznosi  $\varphi = 1,0$ . Stoga je vrijednost faktora  $\Psi_\lambda$  jednaka 0,77.

$$\text{Koeficijent sile } c_f \text{ tada iznosi: } c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda = 1,60 \cdot 1,0 \cdot 0,77 = 1,23.$$

S obzirom da je duljina razmatranog konstrukcijskog elementa  $l = 15,50 \text{ m}$ , referentna površina jednaka je:

$$A_{ref} = l \cdot b = 15,5 \cdot 1,685 = 26,12 \text{ m}^2.$$

Prethodno je izračunata vrijednost vršnog tlaka koja iznosi:

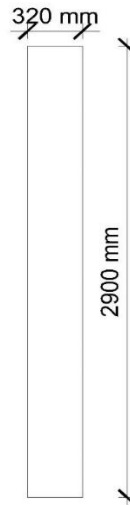
$$q_p(z) = 0,296 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $F_w$  jednaka je:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 1,23 \cdot 0,296 \cdot 26,12 = 9,51 \text{ kN}$$



Opterećenje na stup duljine 2,9 m kad vjetar puše okomito na poprečnu stranu građevine:



*Slika 27.* Dimenzije stupa u poprečnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar

Sila vjetra koja djeluje na konstrukcijski element određuje se iz izraza (4.8):

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

Prethodno je navedeno da je konstrukcijski koeficijent  $c_s c_d = 1,0$ . Koeficijent sile  $c_f$  određuje se iz izraza (4.13):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

$$b = 2,9 \text{ m}, d = 0,30 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{b} = \frac{0,30}{2,9} = 0,10$$

Koeficijent sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja prema slici 21. iznosi 2,0.

Faktor smanjena za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima jednak je 1,0.

Prema tablici 6, vitkost je jednaka  $\lambda = \min\left(2 \cdot \frac{l}{b}; 70\right) = \min\left(2 \cdot \frac{2,9}{0,32}; 70\right) = \min(18,13; 70) \rightarrow \lambda = 18,13$

Nadalje, iz slike 22 je očitana vrijednost faktora učinka kraja  $\Psi_\lambda$  kao funkcija omjera punoće  $\varphi$  i vitkosti  $\lambda$ . Omjer punoće iznosi  $\varphi = 1,0$ . Stoga je vrijednost faktora  $\Psi_\lambda$  jednaka 0,75.

Koeficijent sile  $c_f$  tada iznosi:  $c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 1,50$ .

S obzirom da je duljina razmatranog konstrukcijskog elementa  $l = 2,9 \text{ m}$ , referentna površina jednaka je:

$$A_{ref} = l \cdot b = 2,9 \cdot 0,32 = 0,93 \text{ m}^2.$$

Prethodno je izračunata vrijednost vršnog tlaka koja iznosi:

$$q_p(z) = 0,296 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $F_w$  jednaka je:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 1,50 \cdot 0,296 \cdot 0,93 = 0,413 \text{ kN}$$

**Opterećenje na stup duljine 1,45 m kad vjetar puše okomito na poprečnu stranu građevine:**



*Slika 28. Dimenzije stupa u poprečnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar*

Sila vjetra koja djeluje na konstrukcijski element određuje se iz izraza (4.8):

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

Prethodno je navedeno da je konstrukcijski koeficijent  $c_s c_d = 1,0$ . Koeficijent sile  $c_f$  određuje se iz izraza (4.13):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

$$b = 1,45 \text{ m}, d = 0,30 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{b} = \frac{0,30}{1,45} = 0,21$$

Koeficijent sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja prema slici 21. iznosi 2,0.

Faktor smanjena za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima jednak je 1,0.

$$\text{Prema tablici 6, vitkost je jednaka } \lambda = \min\left(2 \cdot \frac{l}{b}; 70\right) = \min\left(2 \cdot \frac{1,45}{0,32}; 70\right) = \min(9,06; 70) \rightarrow \lambda = 9,06$$

Nadalje, iz slike 22 je očitana vrijednost faktora učinka kraja  $\Psi_\lambda$  kao funkcija omjera punoće  $\varphi$  i vitkosti  $\lambda$ . Omjer punoće iznosi  $\varphi = 1,0$ . Stoga je vrijednost faktora  $\Psi_\lambda$  jednaka 0,68.

Koeficijent sile  $c_f$  tada iznosi:  $c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 0,68 = 1,36$ .

S obzirom da je duljina razmatranog konstrukcijskog elementa  $l = 1,45 \text{ m}$ , referentna površina jednaka je:

$$A_{ref} = l \cdot b = 1,45 \cdot 0,32 = 0,46 \text{ m}^2.$$

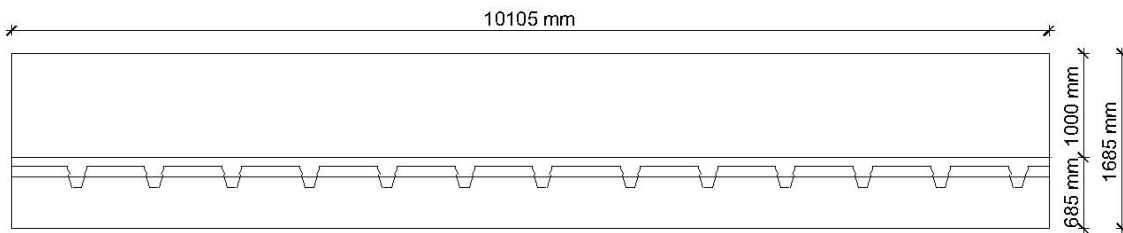
Prethodno je izračunata vrijednost vršnog tlaka koja iznosi:

$$q_p(z) = 0,296 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $F_w$  jednaka je:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 1,36 \cdot 0,296 \cdot 0,46 = 0,185 \text{ kN}$$

**Opterećenje na pristupnu rampu kad vjetar puše okomito na poprečnu stranu građevine:**



*Slika 29. Dimenzije pristupne rampe u poprečnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar*

Sila vjetra koja djeluje na konstrukcijski element određuje se iz izraza (4.8):

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

Prethodno je navedeno da je konstrukcijski koeficijent  $c_s c_d = 1,0$ . Koeficijent sile  $c_f$  određuje se iz izraza (4.13):

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

$$b = 1,685 \text{ m}, d = 10,0 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{b} = \frac{10,0}{1,685} = 5,93$$

Koeficijent sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja prema slici 21. iznosi 0,98.

Faktor smanjena za kvadratne profile sa zaobljenim uglovima jednak je 1,0.

Prema tablici 6, vitkost je jednaka  $\lambda = \min\left(2 \cdot \frac{l}{b}; 70\right) = \min\left(2 \cdot \frac{10,105}{1,685}; 70\right) = \min(11,99; 70) \rightarrow \lambda = 11,99$

Nadalje, iz slike 22 je očitana vrijednost faktora učinka kraja  $\Psi_\lambda$  kao funkcija omjera punoće  $\varphi$  i vitkosti  $\lambda$ . Omjer punoće iznosi  $\varphi = 1,0$ . Stoga je vrijednost faktora  $\Psi_\lambda$  jednaka 0,71.

Koeficijent sile  $c_f$  tada iznosi:  $c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda = 0,98 \cdot 1,0 \cdot 0,71 = 0,70$ .

S obzirom da je duljina razmatranog konstrukcijskog elementa  $l = 10,105 \text{ m}$ , referentna površina jednaka je:

$$A_{ref} = l \cdot b = 10,105 \cdot 1,685 = 17,03 \text{ m}^2.$$

Prethodno je izračunata vrijednost vršnog tlaka koja iznosi:

$$q_p(z) = 0,296 \text{ kN/m}^2$$

Sila vjetra  $F_w$  jednaka je:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 0,70 \cdot 0,296 \cdot 17,03 = 3,53 \text{ kN}$$

#### 4.1.5. Potres

##### 4.1.5.1. Proračunsko ubrzanje tla

Potresna opasnost, tj. seizmički hazard, opisuje se preko parametra  $a_{gR}$ , koji označava poredbeno maksimalno ubrzanje tla razreda A. Vrijednosti  $a_{gR}$  odnose se na odgovarajući poredbeni povratni period seizmičkih djelovanja na konstrukciju  $T_{NCR}$ , za koji je ispunjen uvjet da se konstrukcija ne smije urušiti. Ovom poredbenom povratnom periodu odgovara jedinična vrijednost faktora važnosti građevine  $\gamma_I$ . Za povratne periode različite od poredbenog vrijednosti  $a_g$  projektnog ubrzanja tla razreda A dobiju se iz sljedećeg izraza:

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} \tag{4.16}$$

Gdje je:

$a_g$  - projektno ubrzanje tla razreda A,

$\gamma_I$  - faktor važnosti građevine,

$a_{gR}$  - poredbeno maksimalno ubrzanje tla razreda A. [8]

Potresno djelovanje se određuje preko proračunskog ubrzanja tla  $a_g$ , koje odgovara povratnom periodu potresa od 475 godina. U ovom radu je predviđena poredbena vrijednost maksimalnog ubrzanja tla:  $a_{gR} = 0,067 \cdot g$

#### 4.1.5.2. Tipovi tla

Tlo ima pripadna dinamička svojstva, prvi vlastiti period i prigušenje, kao i konstrukcija. Iz tog razloga tip tla na kojem je izgrađena konstrukcija od velike je važnosti za konstruktivni sustav građevine. U EC 8 definirano je pet tipova tla sa pripadnim svojstvima. Građevina koja je predmet proračuna nalazi se na tipu tla C. [8]

**Tablica 7.** Tipovi temeljnog tla iz norme HRN EN 1998-1:2011, tablica 3.1.[8]

Tip tla	Opis stratigrafskog profila	Parametri		
		$v_{s,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (udara/ 30 cm)	$c_u$ (kPa)
A	Stijena ili slična geološka formacija s najviše 5 m slabog materijala ispod površine.	> 800	-	-
B	Zbijeni pijesak, šljunak ili vrlo čvrsta glina debljine barem 10 m, sa svojstvom postepenog poboljšanja mehaničkih svojstava s dubinom.	360 - 800	> 50	> 250
C	Zbijeni ili srednje gusti pijesak, šljunak ili čvrsta glina debljine nekoliko desetka do nekoliko stotina metara.	180 - 360	15 - 50	70 - 250
D	Slabo do srednje vezana tla (sa ili bez slojeva mekog kohezivnog tla) ili prevladavajuće mekano do kruto kohezivno tlo.	< 180	< 15	< 70
E	Profil tla izgrađen od površinskog sloja s vrijednostima $v_s$ tipa C ili D, debljine 5 do 20 m, ispod kojeg se nalazi material sa $v_s > 800$ m/s.	-	-	-
S <sub>1</sub>	Profil ili sloj debljine barem 10 m, izgrađen od glin/prahova s visokim indeksom plastičnosti ( $PI > 40$ ) i visokim sadržajem vode.	< 100	-	10 - 20
S <sub>2</sub>	Tla podložna likvefrakciji, osjetljive gline ili bilo koji profil tla koji nije naveden u tipovima od A do S <sub>1</sub> .	-	-	-

#### 4.1.5.3. Klasa važnosti građevine

Građevine se svrstavaju u četiri klase važnosti ovisno o posljedicama koje bi rušenje građevine uslijed potresa imalo na ljudske živote i ovisno o ulozi građevine u vremenu nakon potresa. U tablici 8. prikazane su klase važnosti građevine koje ovise o namjeni građevine i kojima su dodijeljeni faktori važnosti. Građevina koja je predmet proračuna namijenjena je za prostor javne garaže, stoga se svrstava u klasu važnosti II, te je pripadajući faktor važnosti građevine  $\gamma_I = 1,0$ . [8]

Prema izrazu (4.16) slijedi:

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 1,0 \cdot 0,067 \cdot g = 0,067 \cdot g$$

**Tablica 8.** Klase važnosti građevine iz norme HRN EN 1998-1:2011, tablica 4.3.[8]

Klasa važnosti	Građevina prema namjeni	Faktor važnosti $\gamma_I$
I	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost (poljoprivredni objekti)	0,8
II	Obične građevine koje ne pripadaju u ostale skuine (hoteli, stambene i poslovne zgrade)	1,0
III	Građevine čija je potresna otpornost važna zbog posljedica vezanih uz rušenje (škole, zgrade s dvoranama za skupove veće od 100 ljudi)	1,2
IV	Građevine čija je cjelovitost za vrijeme potresa od životne važnosti za zaštitu ljudi (bolnice, policijske i vatrogasne postaje, energetska postrojenja)	1,4

#### 4.1.5.4. Faktor ponašanja

Umanjenje ordinata elastičnog spektra i formiranje projektnog spektra se praktično ostvaruje primjenom faktora ponašanja  $q$ . Njim se uzima u obzir sposobnost nelinearnog odgovora nosive konstrukcije odnosno njeno duktilno ponašanje. Vrijednosti faktora ponašanja  $q$  ovise o vrsti građevinskog materijala i nosivog sustava, a nalaze se u odgovarajućim poglavljima EC8. [8]

**Tablica 9.** Granične vrijednosti faktora ponašanja za čelične sustave pravilne po visini iz norme HRN EN 1998-1:2011, tablica 6.2[8]

Tip konstrukcije	Razred duktilnosti	
	DCM	DCH
okvirne konstrukcije	4	$5 \alpha_w / \alpha_1$
okvir s centričnim ukrućenjima		
- dijagonalna ukrućenja	4	4
- ukrućenja u obliku slova V	2	2,5
Okvir s ekscentričnim ukrućenjima	4	$5 \alpha_w / \alpha_1$
Obrnuto njihalo	2	$2 \alpha_w / \alpha_1$
Konstrukcije s betonskim jezgrama ili betonskim zidovima	EC8, poglavlje 5	
Okvir s centričnim ukrućenjem	4	$4 \alpha_w / \alpha_1$
Okvirne konstrukcije s ispunskim zidom		
- nespojeno betonsko ili zidano zide u dodiru s okvirom	2	2
- spojeni armirano betonski ispunski elementi		
- ispunski elementi izolirani od okvira	4	$5 \alpha_w / \alpha_1$

Odabran je srednji razred duktilnosti (DCM) za kojeg su očitane vrijednosti faktora ponašanja za okvire u oba smjera prema tablici 9. Za sustav s centričnim ukrućenjima u obliku slova X, faktor ponašanja iznosi  $q = 4,0$ .

## 5. PRELIMINARNO DIMENZIONIRANJE

### 5.1. Preliminarno dimenzioniranje poprečnog nosača

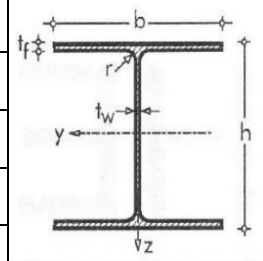
#### 5.1.1. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa materijala:	S355
Granica popuštanja:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna čvrstoća:	$f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$
Modul elastičnosti:	$E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$
Poissonov koeficijent:	$\nu = 0,3$
Modul posmika:	$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna deformacija:	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

- Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEA 450
Težina po m':	$G = 140 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 178,0 \text{ cm}^2$
Visina profila:	$h = 440,0 \text{ mm}$
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 11,5 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 21,0 \text{ mm}$
Radijus zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$
Momenti tromosti:	$I_y = 63700,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 9460,0 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_y = 2900,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 631,0 \text{ cm}^3$
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 3220,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 966,0 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta:	$I_t = 250 \text{ cm}^4$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 4150000 \text{ cm}^6$
Radijusi tromosti:	$i_y = 18,9 \text{ cm}$ , $i_z = 7,29 \text{ cm}$





- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Kombinacije djelovanje

Etaža 4

Granično stanje nosivosti (GSN):

$$E_d = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot (\psi_{0,S} \cdot S)$$

$$E_d = 1,35 \cdot (0,55 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot (2,5 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot (1,0 \cdot 3,625) = 19,00 \text{ kN/m'}$$

$$E_d = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot (\psi_{0,Q} \cdot Q)$$

$$E_d = 1,35 \cdot (0,55 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot (1,0 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot 0,0 \cdot (2,5 \cdot 3,625) = 8,13 \text{ kN/m'}$$

Granično stanje uporabljivosti (GSU):

$$E_d = G + Q + (\psi_{0,S} \cdot S)$$

$$E_d = (0,55 \cdot 3,625) + (2,5 \cdot 3,625) + 0,5 \cdot (1,0 \cdot 3,625) = 12,87 \text{ kN/m'}$$

$$E_d = G + S + (\psi_{0,Q} \cdot Q)$$

$$E_d = (0,55 \cdot 3,625) + (1,0 \cdot 3,625) + 0,0 \cdot (2,5 \cdot 3,625) = 5,62 \text{ kN/m'}$$

Etaža 1-3

Granično stanje nosivosti (GSN):

$$E_d = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$$

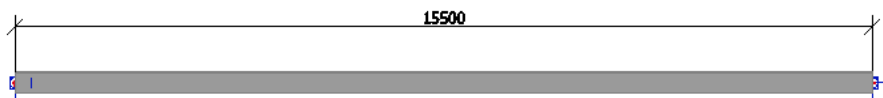
$$E_d = 1,35 \cdot (0,55 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot (2,5 \cdot 3,625) = 16,28 \text{ kN/m'}$$

Granično stanje uporabljivosti (GSU):

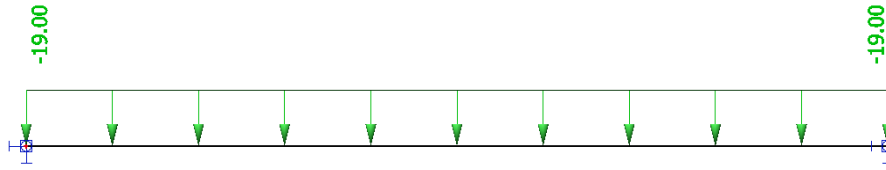
$$E_d = G + Q$$

$$E_d = (0,55 \cdot 3,625) + (2,5 \cdot 3,625) = 11,06 \text{ kN/m'}$$

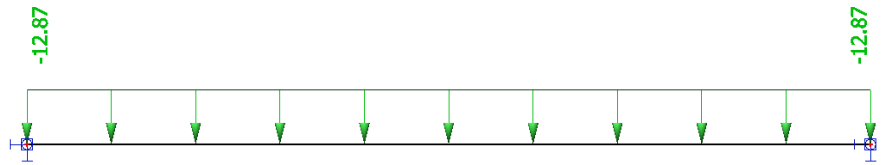
- 2D statički model poprečnog nosača



Slika 30. 2D statički model poprečnog nosača

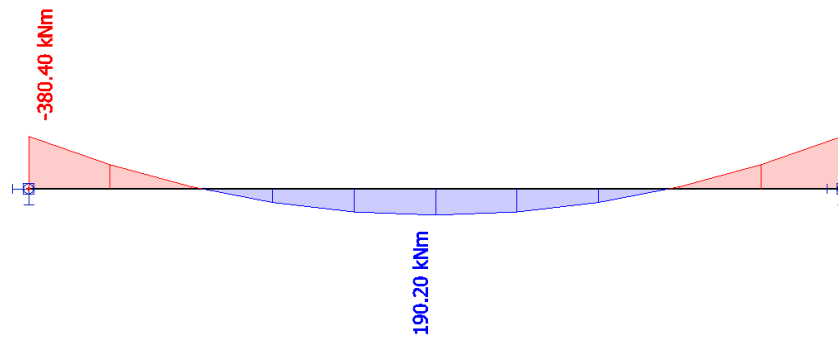


Slika 31. Mjerodavno opterećenje za GSN

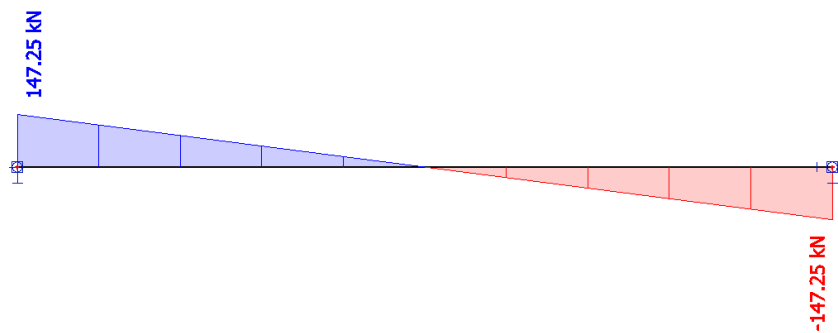


Slika 32. Mjerodavno opterećenje za GSU

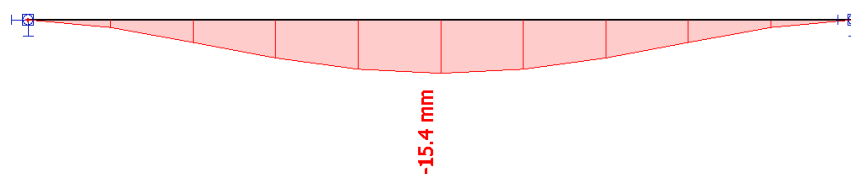
- Učinci djelovanja (unutarnje sile)



Slika 33. Dijagram momenta savijanja  $M_{y,Ed}$



Slika 34. Dijagram poprečnih sila  $V_{z,Ed}$



Slika 35. Progib poprečnog nosača

**5.1.2. Klasifikacija poprečnog presjeka**

Hrbat

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{440 - 2 \cdot 21 - 2 \cdot 27}{11,5} = 29,91$$

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

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 29,91 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

29,91 < 58,32 → Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{300 - 11,5 - 2 \cdot 27}{2}}{21} = 5,58$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 5,58 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

5,58 < 7,29 → Pojasnica je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je klase 1.

**5.1.3. Otpornost poprečnog presjeka**

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3220 \cdot 35,5}{1,0} = 114310 \text{ kNcm} = 1143,10 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{190,20}{1143,10} \leq 1,00$$

0,17 < 1,00 → Uvjet zadovoljen

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera na izbočavanje hrpta na posmik

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 440,0 - 2 \cdot 21,0 = 398,0 \text{ mm}$$

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

$$\frac{398,0}{11,5} < \frac{72 \cdot 0,81}{1,2}$$

$34,61 < 48,6 \rightarrow$  Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 178 - 2 \cdot 30,0 \cdot 2,1 + (1,15 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,1 = 65,76 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 27,9 \cdot 0,9 = 54,92 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 65,76 \text{ cm}^2 \geq 54,92 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{65,76 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,00} = 1347,81 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{147,25}{1347,81} = 0,11 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

- Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i poprečne sile

Uvjet reduciranja otpornosti na savijanje:

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

$$147,25 \text{ kN} < 0,5 \cdot 1347,81 = 673,91 \text{ kN}$$

$$\frac{147,25}{673,91} = 0,22 < 1,0$$

Nije potrebna redukcija otpornosti poprečnog presjeka na savijanje.

$$M_{V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 1143,10 \text{ kNm}$$

**5.1.4. Otpornost elementa**

- Otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje u području negativnih momenata savijanja

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

Razmak točaka bočnog pridržanja:

$$L_{cr,LT} = 3,10 \text{ m}$$

Mjesto unosa sile:

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{44}{2} = 22,0 \text{ cm}$$

Faktor efektivne dužine:

$$k = 1,0; k_w = 1,0$$

Faktori ovisni o uvjetima opterećenja:

$$C_1 = 2,578; C_2 = 1,554$$

$$M_{cr} = 2,578 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9460}{(1,0 \cdot 310)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{4150000}{9460} + \frac{(1,0 \cdot 327)^2 \cdot 8077 \cdot 250}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9460} + (1,554 \cdot 22,0)^2} - 1,554 \cdot 22,0 \right] = 373082,8 \text{ kNcm} = 3730,83 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3220 \cdot 35,5}{373082,8}} = 0,553 \geq \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Za valjani profil i za  $\frac{h}{b} = \frac{440}{300} = 1,47 < 2$  mjerodavna krivulja izvijanja je a. Prema tome, faktor nesavršenosti iznosi  $\alpha_{LT} = 0,21$ .

Faktor redukcije (opći slučaj):

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1,0$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,553 - 0,2) + 0,553^2] = 0,690$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,690 + \sqrt{0,690^2 - 0,553^2}} = 0,907 \leq 1$$

Računska otpornost:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,907 \cdot \frac{3220 \cdot 35,5}{1,1} = 94253,79 \text{ kNcm} = 942,54 \text{ kNm}$$

Uvjet:

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

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd}} = \frac{380,40}{942,54} = 0,40 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

#### 5.1.5. Kontrola progiba (GSU)

U računalnom programu SCIA Engineer 21.1 izrađen je 2D model poprečnoga nosača. Za mjerodavnu kombinaciju iz graničnog stanja uporabljivosti (GSU) dobiven je progib na sredini nosača u iznosu:  $\delta = 15,4 \text{ mm}$ .

Uvjet za GSU:

$$\delta_{dop} = \frac{L}{250} = \frac{15500}{250} = 62 \text{ mm}$$

$$\frac{15,4}{62} = 0,25 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Preliminarni odabir profila: HEA 450

## 5.2. Preliminarno dimenzioniranje sekundarnog nosača

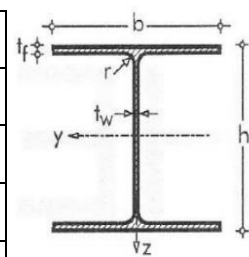
### 5.2.1. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa materijala:	S355
Granica popuštanja:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna čvrstoća:	$f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$
Modul elastičnosti:	$E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$
Poissonov koeficijent:	$\nu = 0,3$
Modul posmika:	$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna deformacija:	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

- Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEA 400
Težina po m':	$G = 125 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 159,0 \text{ cm}^2$
Visina profila:	$h = 390,0 \text{ mm}$
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 11,0 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 19,0 \text{ mm}$
Radijus zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$
Momenti tromosti:	$I_y = 45100,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 8560,0 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_y = 2310,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 571,0 \text{ cm}^3$
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 2560,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 873,0 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta:	$I_t = 193 \text{ cm}^4$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 2940000 \text{ cm}^6$
Radijusi tromosti:	$i_y = 16,8 \text{ cm}$ , $i_z = 7,34 \text{ cm}$



- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Kombinacije djelovanje

Etaža 4

Granično stanje nosivosti (GSN):

$$E_d = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot (\psi_{0,S} \cdot S)$$

$$E_d = 1,35 \cdot (0,55 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot (2,5 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot 0,5 \cdot (1,0 \cdot 3,625) = 19,00 \text{ kN/m'}$$

$$E_d = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot (\psi_{0,Q} \cdot Q)$$

$$E_d = 1,35 \cdot (0,55 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot (1,0 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot 0,0 \cdot (2,5 \cdot 3,625) = 8,13 \text{ kN/m'}$$

Granično stanje uporabljivosti (GSU):

$$E_d = G + Q + (\psi_{0,S} \cdot S)$$

$$E_d = (0,55 \cdot 3,625) + (2,5 \cdot 3,625) + 0,5 \cdot (1,0 \cdot 3,625) = 12,87 \text{ kN/m'}$$

$$E_d = G + S + (\psi_{0,Q} \cdot Q)$$

$$E_d = (0,55 \cdot 3,625) + (1,0 \cdot 3,625) + 0,0 \cdot (2,5 \cdot 3,625) = 5,62 \text{ kN/m'}$$

Etaža 1-3

Granično stanje nosivosti (GSN):

$$E_d = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$$

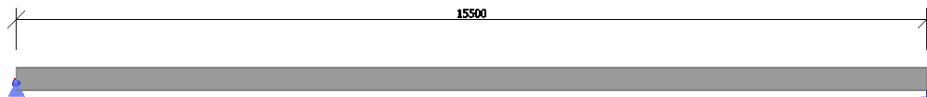
$$E_d = 1,35 \cdot (0,55 \cdot 3,625) + 1,5 \cdot (2,5 \cdot 3,625) = 16,28 \text{ kN/m'}$$

Granično stanje uporabljivosti (GSU):

$$E_d = G + Q$$

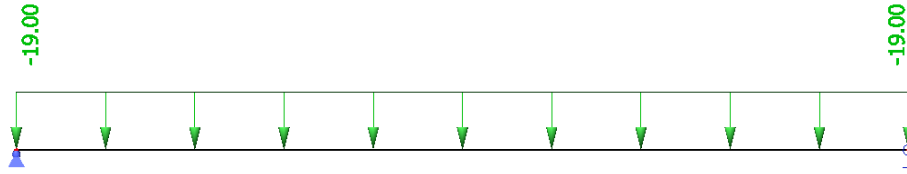
$$E_d = (0,55 \cdot 3,625) + (2,5 \cdot 3,625) = 11,06 \text{ kN/m'}$$

- 2D statički model poprečnog nosača

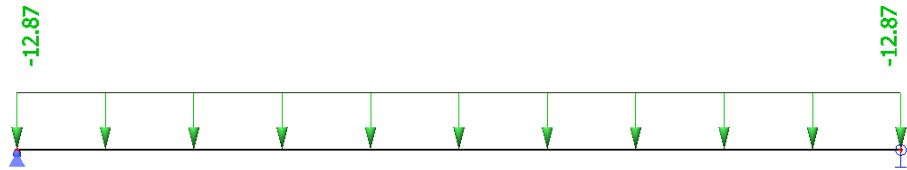


**Slika 36.** 2D statički model poprečnog nosača



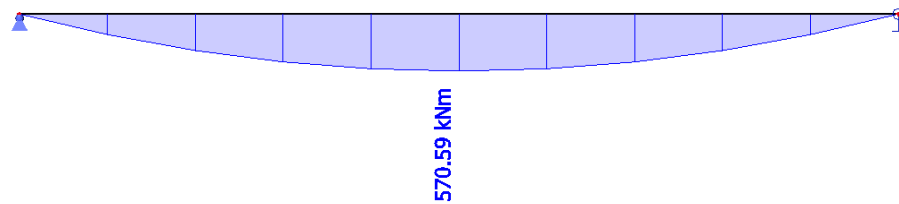


Slika 37. Mjerodavno opterećenje za GSN

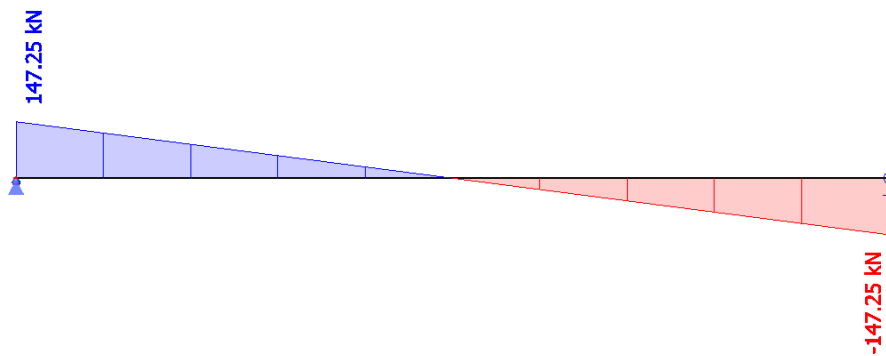


- Učinci djelovanja (unutarnje sile)

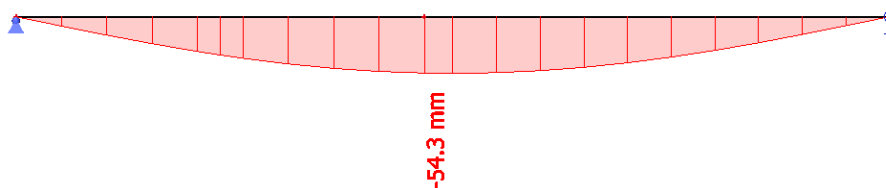
Slika 38. Mjerodavno opterećenje za GSU



Slika 39. Dijagram momenta savijanja  $M_{y,Ed}$



Slika 40. Dijagram poprečnih sila  $V_{z,Ed}$



Slika 41. Progib sekundarnog poprečnog nosača

### 5.2.2. Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{390 - 2 \cdot 19 - 2 \cdot 27}{11} = 27,09$$

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

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 27,09 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

$27,09 < 58,32 \rightarrow$  Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{300 - 11 - 2 \cdot 27}{2}}{19} = 6,18$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 6,18 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

$6,18 < 7,29 \rightarrow$  Pojasnica je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je klase 1.

### 5.2.3. Otpornost poprečnog presjeka

Visina betonske ploče za proračunski model:

$$h_c = 12 \text{ cm}, h_p = 5 \text{ cm}$$

Gdje je:

$h_c$  – visina betonske ploče

$h_p$  – visina profiliranog lima

Sudjelujuća širina:

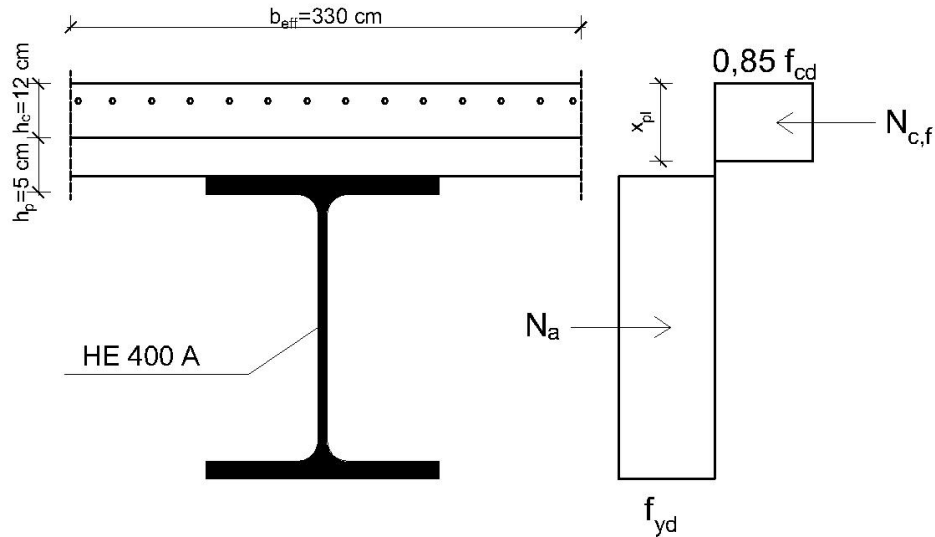
$$L = 15,5 \text{ m}$$

$$L_e = 0,85 \cdot L = 0,85 \cdot 15,5 = 13,175 \text{ m}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \frac{L_e}{8} = \frac{13,175}{8} = 1,65 \text{ m}$$

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} = 1,65 + 1,65 = 3,3 \text{ m}$$

Položaj neutralne osi:



**Slika 42.** Plastična otpornost spregnutog poprečnog presjeka kada neutralna os leži u pojasnici

$$N_{cf} = b_{eff} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 330 \cdot 12 \cdot 0,85 \cdot 2 = 6732 \text{ kN}$$

$$N_a = A_a \cdot f_{yd} = 159 \cdot 35,5 = 5644,5 \text{ kN}$$

$N_{cf} > N_a \rightarrow$  neutralna os se nalazi u betonskoj ploči

Pretpostavljamo da se neutralna os nalazi u betonskoj ploči:

$$x_{pl} = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{159 \cdot 35,5}{330 \cdot 0,85 \cdot 2} = 10,06 \text{ cm} < h_c = 12 \text{ cm}$$

$\rightarrow$  neutralna os se nalazi u betonskoj ploči

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= A_a \cdot f_{yd} (z + h_p + h_c - 0,5x_{pl}) = 159 \cdot 35,5 (19,5 + 5 + 12 - 0,5 \cdot 12) \\ &= 172157,25 \text{ kNcm} = 1721,57 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{570,59}{1721,57} \leq 1,00$$

0,33 < 1,00 → Uvjet zadovoljen

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera na izbočavanje hrpta na posmik

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 390,0 - 2 \cdot 19,0 = 352,0 \text{ mm}$$

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

$$\frac{352,0}{11,0} < \frac{72 \cdot 0,81}{1,2}$$

32 < 48,6 → Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 159 - 2 \cdot 30,0 \cdot 1,9 + (1,1 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,9 = 57,35 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 35,2 \cdot 1,1 = 46,46 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 57,35 \text{ cm}^2 \geq 46,46 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{57,35 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,00} = 1175,44 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{147,25}{1175,44} = 0,13 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

- Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i poprečne sile

Uvjet reduciranja otpornosti na savijanje:

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

$$147,25 \text{ kN} < 0,5 \cdot 1175,44 = 587,72 \text{ kN}$$

$$\frac{147,25}{587,72} = 0,25 < 1,0$$

Nije potrebna redukcija otpornosti poprečnog presjeka na savijanje.

$$M_{V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 1721,57 \text{ kNm}$$

#### 5.2.4. Kontrola progiba (GSU)

U računalnom programu SCIA Engineer 21.1 izrađen je 2D model poprečnoga nosača. Za mjerodavnu kombinaciju iz graničnog stanja uporabljivosti (GSU) dobiven je progib na sredini nosača u iznosu:  $\delta = 54,3\text{mm}$ .

Uvjet za GSU:

$$\delta_{dop} = \frac{L}{250} = \frac{15500}{250} = 62,0 \text{ mm}$$

$$\frac{54,3}{62,0} = 0,88 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Preliminarni odabir profila: HEA 400

### 5.3. Preliminarno dimenzioniranje uzdužnog nosača

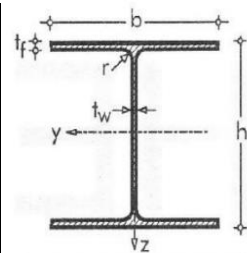
#### 5.3.1. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa materijala:	S355
Granica popuštanja:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna čvrstoća:	$f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$
Modul elastičnosti:	$E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$
Poissonov koeficijent:	$\nu = 0,3$
Modul posmika:	$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna deformacija:	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

- Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEA 360
Težina po m':	$G = 112 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 143,0 \text{ cm}^2$
Visina profila:	$h = 350,0 \text{ mm}$
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 10,0 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 17,5 \text{ mm}$
Radijus zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$
Momenti tromosti:	$I_y = 33100,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 7890,0 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_y = 1890,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 526,0 \text{ cm}^3$
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 2090,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 802,0 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta:	$I_t = 153 \text{ cm}^4$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 2180000 \text{ cm}^6$
Radijusi tromosti:	$i_y = 15,2 \text{ cm}$ , $i_z = 7,43 \text{ cm}$



- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Kombinacije djelovanje

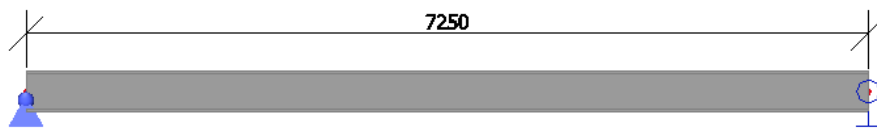
Mjerodavno opterećenje na uzdužni nosač su koncentrirane sile na mjestu poprečnog i sekundarnog nosača.

Granično stanje nosivosti (GSN):

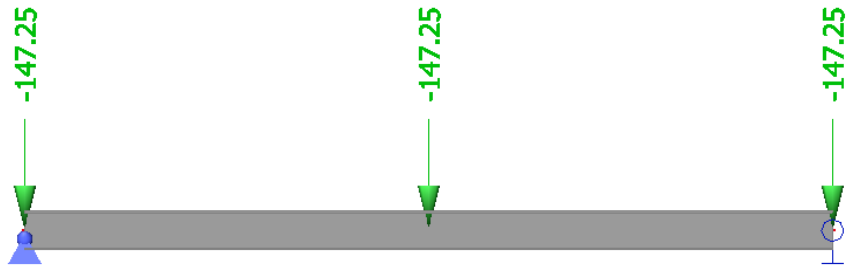
$$P_{Ed, \text{poprečni nosač}} = P_{Ed, \text{uzdužni nosač}} = 147,25 \text{ kN}$$

Granično stanje uporabljivosti (GSU):

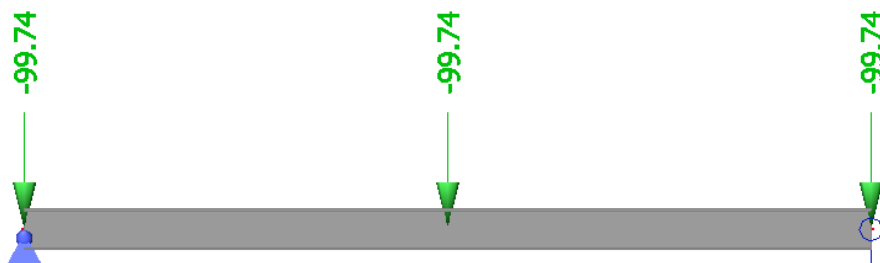
$$P_{Ed, \text{poprečni nosač}} = P_{Ed, \text{uzdužni nosač}} = 99,74 \text{ kN}$$



*Slika 43. 2D statički model poprečnog nosača*

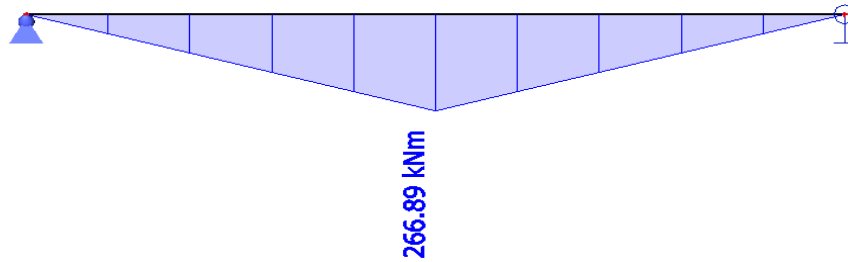


*Slika 44. Mjerodavno opterećenje za GSN*

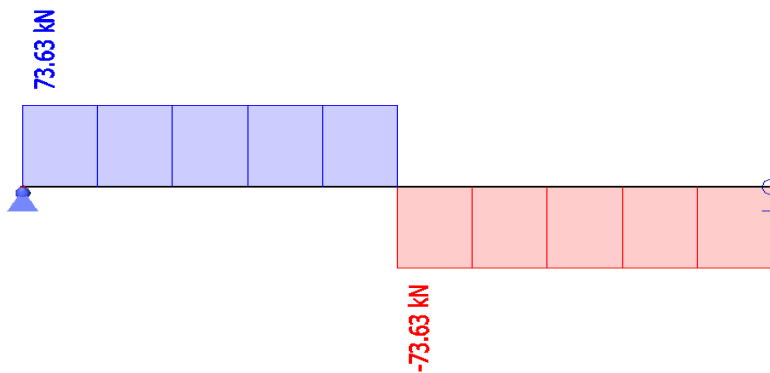


*Slika 45. Mjerodavno opterećenje za GSU*

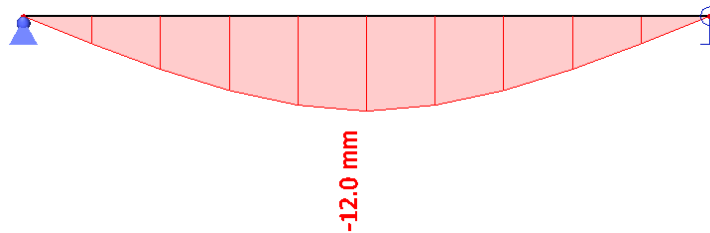
- Učinci djelovanja (unutarnje sile)



Slika 46. Dijagram momenta savijanja  $M_{y,Ed}$



Slika 47. Dijagram poprečnih sila  $V_{z,Ed}$



Slika 48. Progib uzdužnog nosača

### 5.3.2. Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{350 - 2 \cdot 17,5 - 2 \cdot 27}{10} = 26,10$$

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

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 26,10 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$



$26,10 < 58,32 \rightarrow$  Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2}}{t_f} = \frac{\frac{300 - 10 - 2 \cdot 27}{2}}{17,5} = 6,74$$

Uvjet za klasu 1:  $\frac{c}{t} = 6,74 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$

$6,74 < 7,29 \rightarrow$  Pojasnica je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je klase 1.

### 5.3.3. Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2090 \cdot 35,5}{1,0} = 74195,0 \text{ kNcm} = 741,95 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{266,89}{741,95} \leq 1,00$$

$0,36 < 1,00 \rightarrow$  Uvjet zadovoljen

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera na izbočavanje hrpta na posmik

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 350,0 - 2 \cdot 17,5 = 315,0 \text{ mm}$$

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

$$\frac{315,0}{10} < \frac{72 \cdot 0,81}{1,2}$$

$31,5 < 48,6 \rightarrow$  Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 143 - 2 \cdot 30,0 \cdot 1,75 + (1,0 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,75 = 49,2 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 31,5 \cdot 1,0 = 37,80 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 49,2 \text{ cm}^2 \geq 37,80 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{49,2 \cdot (35,5/\sqrt{3})}{1,00} = 1008,4 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{73,63}{1008,4} = 0,07 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

- Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i poprečne sile

Uvjet reduciranja otpornosti na savijanje:

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

$$132,06 \text{ kN} < 0,5 \cdot 1008,4 = 504,2 \text{ kN}$$

$$\frac{73,63}{504,2} = 0,15 < 1,0$$

Nije potrebna redukcija otpornosti poprečnog presjeka na savijanje.

$$M_{V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 741,95 \text{ kNm}$$

#### 5.3.4. Kontrola progiba (GSU)

U računalnom programu SCIA Engineer 21.1 izrađen je 2D model poprečnoga nosača. Za mjerodavnu kombinaciju iz graničnog stanja uporabljivosti (GSU) dobiven je progib na sredini nosača u iznosu:  $\delta = 12 \text{ mm}$ .

Uvjet za GSU:

$$\delta_{dop} = \frac{L}{250} = \frac{7250}{250} = 29 \text{ mm}$$

$$\frac{12}{29,0} = 0,41 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Preliminarni odabir profila: HEA 360

## 5.4. Preliminarno dimenzioniranje stupa

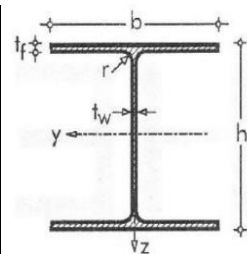
### 5.4.1. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa materijala:	S355
Granica popuštanja:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna čvrstoća:	$f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$
Modul elastičnosti:	$E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$
Poissonov koeficijent:	$\nu = 0,3$
Modul posmika:	$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna deformacija:	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

- Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEB 360	
Težina po m':	$G = 142 \text{ kg/m}'$	
Površina poprečnog presjeka:	$A = 181,0 \text{ cm}^2$	
Visina profila:	$h = 360,0 \text{ mm}$	
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t_w = 12,5 \text{ mm}$	
Debljina pojasnice:	$t_f = 22,5 \text{ mm}$	
Radijus zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$	
Momenti tromosti:	$I_y = 43200,0 \text{ cm}^4, \quad I_z = 10100,0 \text{ cm}^4$	
Momenti otpora:	$W_y = 2400,0 \text{ cm}^3, \quad W_z = 676,0 \text{ cm}^3$	
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 2680,0 \text{ cm}^3, \quad W_{pl,z} = 1030,0 \text{ cm}^3$	
Torzijska konstanta:	$I_t = 298 \text{ cm}^4$	
Konstanta krivljenja:	$I_w = 2880000 \text{ cm}^6$	
Radijusi tromosti:	$i_y = 15,5 \text{ cm}, \quad i_z = 7,49 \text{ cm}$	



- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Kombinacije djelovanje

$$q_{Ed,etaže} = 1,35 \cdot 0,55 + 1,5 \cdot 2,5 = 4,49 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$$

$$q_{Ed,krov1} = 1,35 \cdot 0,55 + 1,5 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,0 = 5,24 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{Mjerodavno}$$

$$q_{Ed,krov2} = 1,35 \cdot 0,55 + 1,5 \cdot 1,0 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,0 = 2,24 \text{ kN/m}^2$$

- Proračunska sila u stupu

$$N_{Ed} = q_{Ed,etaže} \cdot A \cdot n + q_{Ed,krov1} \cdot A = 4,49 \cdot 112,38 \cdot 3 + 5,24 \cdot 112,38 = 2102,63 \text{ kN}$$

#### 5.4.2. Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{360 - 2 \cdot 22,5 - 2 \cdot 27}{12,5} = 20,88$$

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

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 20,88 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

20,88 < 58,32 → Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica

$$\frac{c}{t} = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{t_f} = \frac{300 - 12,5 - 2 \cdot 27}{22,5} = 5,19$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 5,19 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

5,19 < 7,29 → Pojasnica je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je klase 1.

**5.4.3. Otpornost poprečnog presjeka**

- Otpornost poprečnog presjeka u tlaku

$$N_{c,Rd} = N_{pl,y,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{181,0 \cdot 35,50}{1,00} = 6425,5 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{2102,63}{6425,5} < 1,00$$

0,33 < 1,00 → Uvjet zadovoljen.

**5.4.4. Otpornost elementa**

- Otpornost elementa na izvijanje

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Os y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 43200}{290^2} = 106464,98 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{181,0 \cdot 35,50}{106464,98}} = 0,246$$

Os z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10100}{290^2} = 24891,12 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{181,0 \cdot 35,50}{24891,12}} = 0,518$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Mjerodavna krivulja izvijanja (u normi HRN EN 1993-1-1:2014, tablica 6.2) određuje se za valjani profil, za S 355, te  $\frac{h}{b} = \frac{360}{300} = 1,2 \leq 1,2$  i  $t_f = 26 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ . Za pripadajuće krivulje izvijanja očita se faktor imperfekcija (u normi HRN EN 1993-1-1:2014, tablica 6.1).

Os izvijanja y-y → krivulja izvijanja b → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,34$ .

Os izvijanja z-z → krivulja izvijanja c → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,49$ .

Određivanje pomoćne veličine  $\Phi_y$  i  $\Phi_z$ :

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja a i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,34$ .

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,246 - 0,2) + 0,246^2] = 0,538$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja b i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,49$ .

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,518 - 0,2) + 0,518^2] = 0,712$$

Faktori redukcije  $\chi_y$  i  $\chi_z$ :

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,538 + \sqrt{0,538^2 - 0,246^2}} = 0,984$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,712 + \sqrt{0,712^2 - 0,508^2}} = 0,826$$

$$\chi = \chi_{min} = 0,826$$

Računska otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,826 \cdot \frac{181,0 \cdot 35,50}{1,1} = 4824,97 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{2102,63}{4824,97} < 1,00$$

0,44 < 1,00 → Uvjet zadovoljen.

Preliminarni odabir profila: HEB 360

**5.5. Preliminarno dimenzioniranje vertikalnog uzdužnog sprega**

Preliminarni odabir poprečnoga presjeka proveden je na temelju seizmičkog zahtjeva prema kojem svedena vitkost dijagonala ne smije biti veća od 2,0.

	Os y-y	Os z-z
Kritična sila	$N_{cr,y} = 654,10 \text{ kN}$	$N_{cr,z} = 654,10 \text{ kN}$
Svedena vitkost	$\bar{\lambda}_y = 1,073$	$\bar{\lambda}_z = 1,073$

Preliminarni odabir profila: Okrugli cijevni profil 139,7 x 5,0

## 6. NUMERIČKI MODEL

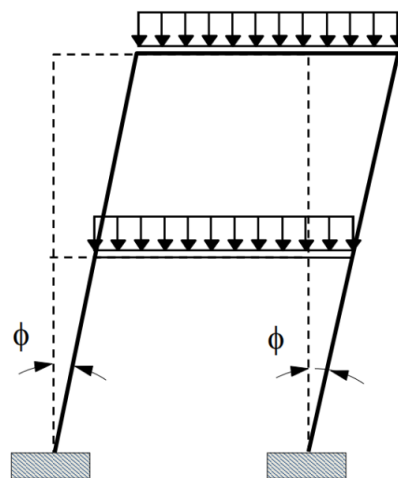
### 6.1. Zadavanje opterećenja

Statički proračun proveden je na 3D modelu konstrukcije izrađenom u programu SCIA Engineer 21.1. Opterećenja izračunata u analizi opterećenja nanosena su na 3D model konstrukcije. Program sam uzima u obzir vlastitu težinu čeličnih elemenata kao i vlastitu težinu betonske ploče. Međukatne konstrukcije modelirane su kao *composite deck*, koje djeluju kao krute dijafragme koje osiguravaju kruto ponašanje horizontalne ravnine u kojoj se nalaze. Sekundarni poprečni nosači (spregnuti nosači) zadani su kao *plate rib*. Opterećenja na međukatne konstrukcije nanosena su preko ploha opterećenja (*load to panel edges and beams*). U modelu je zadan jedan slučaj opterećenja vjetrom kada vjetar puše okomito na širu (uzdužnu) stranu objekta, te drugi slučaj opterećenja vjetrom kada vjetar puše okomito na užu (poprečnu) stranu objekta.

### 6.2. Imperfekcije (nesavršenosti)

Imperfekcije dijelimo na geometrijske imperfekcije kao što su promjenjivost dimenzija, odstupanje od idealno ravnog elementa, promjenjivost rubnih uvjeta ili ekcentricitet priključaka, te na materijalne imperfekcije kao što su promjenjivost svojstva materijala ili rezidualni naponi.

Imperfekcije obuhvaćaju imperfekcije okvira, imperfekcije veznog sustava i imperfekcije konstrukcijskog elementa. Učinci nesavršenosti okvira se uzimaju u obzir u globalnoj analizi, dok se lokalni učinci nesavršenosti oblika luka pokrivaju krivuljama izvijanja. Utjecaji nesavršenosti obuhvaćaju se preko početnog kuta rotacije okvira u odnosu na stopu stupa, a globalni početni kut rotacije odgovara nedostatku vertikalnosti konstrukcije i obuhvaća se preko kuta  $\phi$ . [6]



Slika 49. Početni kut rotacije  $\phi$  [9]



Početni kut rotacije u odnosu na stopu stupova izračunava se prema izrazu:

$$\phi = \alpha_h \cdot \alpha_m \cdot \phi_0 \quad (6.1)$$

Gdje je:

$$\alpha_h - \text{faktor redukcije visine (za stupove), } \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{2,9}} = 1,17, \text{ ali } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$

$h$  – visina stupa,

$$\alpha_m - \text{redukcijski faktor broja stupova u redu, } \alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

$m$  – broj stupova u redu uključujući samo one stupove koji prenose vertikalno opterećenje ne manje od 50% prosječne vrijednosti opterećenja stupa u promatranoj vertikalnoj ravnini.

$$\phi_0 = \frac{1}{200} [6]$$

Relativne početne lokalne imperfekcije za elemente određuju se iz izraza

$$\frac{e_0}{L} \quad (6.2)$$

Gdje je:

$e_0$  –maksimalna amplituda početnog bočnog pomaka, određuje se iz tablice

$L$  –duljina elementa [6]

**Tablica 10.** Faktori imperfekcije  $\alpha$  i ekvivalentne geometrijske imperfekcije  $e_0$  [10]

Linija izvijanja	$a_0$	a	b	c	d
Faktor imperfekcije $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76
Ekvivalentna geometrijska imperfekcija $e_0$ (elastična analiza)	L/350	L/300	L/250	L/200	L/150
Ekvivalentna geometrijska imperfekcija $e_0$ (plastična analiza)	L/300	L/250	L/200	L/150	L/100

Vezni sustav konstrukcije čine vertikalne uzdužne stabilizacije sačinjene od vlačno-tlačnih dijagonala X ispune koje se protežu od prizemlja do krovne etaže. Na vertikalni vez djeluju dvije sile. Prva je horizontalna reakcija na razini svake etaže, druga je posljedica utjecaja imperfekcija.

Početni kut rotacije  $\phi$  u odnosu na stopu stupova u x smjeru prema izrazu (6.1) iznosi:

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

Gdje je:

$\alpha_h$  - faktor redukcije visine (za stupove),

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{2,9}} = 1,17, \text{ ali } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \rightarrow \alpha_h = 1,00$$

h - visina stupa,

$\alpha_m$  - redukcijski faktor broja stupova u redu

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{11}\right)} = 0,739$$

m - broj stupova u redu uključujući samo one stupove koji prenose vertikalno opterećenje ne manje od 50% prosječne vrijednosti opterećenja stupa u promatranoj vertikalnoj ravnini.

$$\phi_0 = \frac{1}{200} [6]$$

Prema tome:

$$\phi = \frac{1}{200} \cdot 1,00 \cdot 0,739 = 0,003695$$

Prema izrazu (6.1) možemo odrediti početni kut rotacije i za y smjer:

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

Gdje je:

$\alpha_h$  - faktor redukcije visine (za stupove),

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{2,9}} = 1,17, \text{ ali } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \rightarrow \alpha_h = 1,00$$

h - visina stupa,

$\alpha_m$  - redukcijski faktor broja stupova u redu

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right)} = 0,816$$

m - broj stupova u redu uključujući samo one stupove koji prenose vertikalno opterećenje ne manje od 50% prosječne vrijednosti opterećenja stupa u promatranoj vertikalnoj ravnini.

$$\phi_0 = \frac{1}{200} [6]$$

Prema tome:

$$\phi = \frac{1}{200} \cdot 1,00 \cdot 0,816 = 0,00408$$

### 6.2.1. Imperfekcije od stalnog opterećenja

Etaža:	$N_{Ed}[kN]$
4	40,57
3	103,32
2	170,69
1	225,25

Ekvivalentna sila za stalno opterećenje u X smjeru:

$$\Delta H_1 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,1} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 225,25 = 9,16 \text{ kN}$$

$$\Delta H_2 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,2} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 170,69 = 6,94 \text{ kN}$$

$$\Delta H_3 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,3} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 103,32 = 4,20 \text{ kN}$$

$$\Delta H_4 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,4} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 40,57 = 1,65 \text{ kN}$$

Ekvivalentna sila za stalno opterećenje u y smjeru:

$$\Delta H_1 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,1} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 225,25 = 2,76 \text{ kN}$$

$$\Delta H_2 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,2} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 170,69 = 2,09 \text{ kN}$$

$$\Delta H_3 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,3} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 103,32 = 1,26 \text{ kN}$$

$$\Delta H_4 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,4} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 40,57 = 0,50 \text{ kN}$$

**6.2.2. Imperfekcije od uporabnog opterećenja**

Poluetaža:	$N_{Ed}[kN]$
4	178,36
3	460,53
2	767,27
1	1021,94

Ekvivalentna sila za stalno opterećenje u X smjeru:

$$\Delta H_1 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,1} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 1021,94 = 41,54 \text{ kN}$$

$$\Delta H_2 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,2} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 767,27 = 31,19 \text{ kN}$$

$$\Delta H_3 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,3} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 460,53 = 18,72 \text{ kN}$$

$$\Delta H_4 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,4} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 178,36 = 7,25 \text{ kN}$$

Ekvivalentna sila za stalno opterećenje u y smjeru:

$$\Delta H_1 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,1} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 1021,94 = 12,51 \text{ kN}$$

$$\Delta H_2 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,2} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 767,27 = 9,39 \text{ kN}$$

$$\Delta H_3 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,3} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 460,53 = 5,64 \text{ kN}$$

$$\Delta H_4 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,4} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 178,36 = 2,18 \text{ kN}$$

**6.2.3. Imperfekcije od opterećenja snijegom**

Poluetaža:	$N_{Ed}[kN]$
4	74,07
3	114,56
2	114,56
1	114,56

Ekvivalentna sila za stalno opterećenje u X smjeru:

$$\Delta H_1 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,1} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 114,56 = 4,66 \text{ kN}$$

$$\Delta H_2 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,2} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 114,56 = 4,66 \text{ kN}$$

$$\Delta H_3 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,3} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 114,56 = 4,66 \text{ kN}$$

$$\Delta H_4 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,4} = 0,003695 \cdot 11 \cdot 74,07 = 3,01 \text{ kN}$$

Ekvivalentna sila za stalno opterećenje u y smjeru:

$$\Delta H_1 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,1} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 114,56 = 1,40 \text{ kN}$$

$$\Delta H_2 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,2} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 114,56 = 1,40 \text{ kN}$$

$$\Delta H_3 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,3} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 114,56 = 1,40 \text{ kN}$$

$$\Delta H_4 = \phi \cdot m \cdot N_{Ed,4} = 0,00408 \cdot 3 \cdot 74,07 = 0,91 \text{ kN}$$

### 6.3. Klasifikacija okvira

Metode za određivanje unutarnjih sila i momenata su analiza prvog reda i analiza drugog reda. Analizom prvog reda unutarnje sile se određuju uz pomoć početne geometrije konstrukcije, dok se u analizi drugog reda u obzir uzima utjecaj deformiranja konstrukcije. Učinke drugog reda u obzir treba uzeti ako oni znatno povećavaju učinke djelovanja ili ako znatno mijenjaju ponašanje konstrukcije. Ukoliko je zadovoljen uvjet učinci deformacija se mogu zanemariti te se primjenjuje analiza prvog reda.[6]

Uvjet glasi:

-za elastični proračun

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad (6.3)$$

-za plastični proračun

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \quad (6.4)$$

Gdje su:

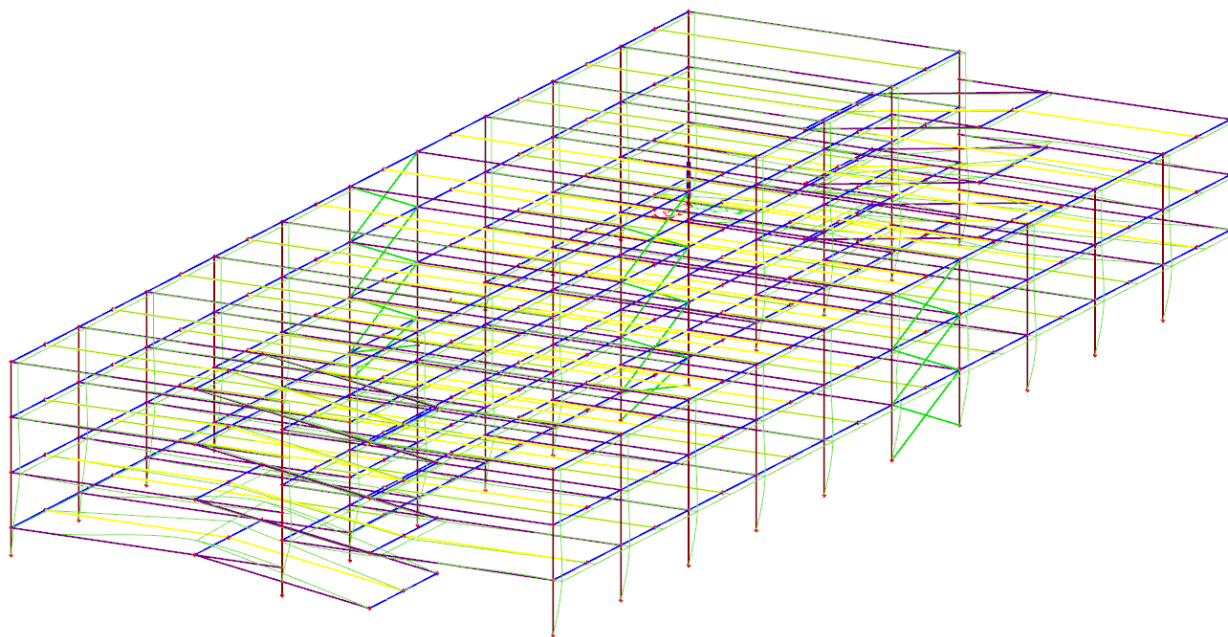
$\alpha_{cr}$  –faktor kojim bi se proračunsko opterećenje moglo povećati tako da uzrokuje opću elastičnu nestabilnost

$F_{cr}$  –elastično kritično opterećenje izvijanja za opći način nestabilnosti utemeljen na početnoj elastičnoj krutosti

$F_{Ed}$  –proračunsko opterećenje konstrukcije [6]

Klasifikacija okvira provedena je prema navedenim kriterijima. U ovom radu  $\alpha_{cr}$  se neće računati ručno, već će se njegove vrijednosti dobiti računalnim programom na izrađenom 3D modelu za prvi globalni mod izvijanja.

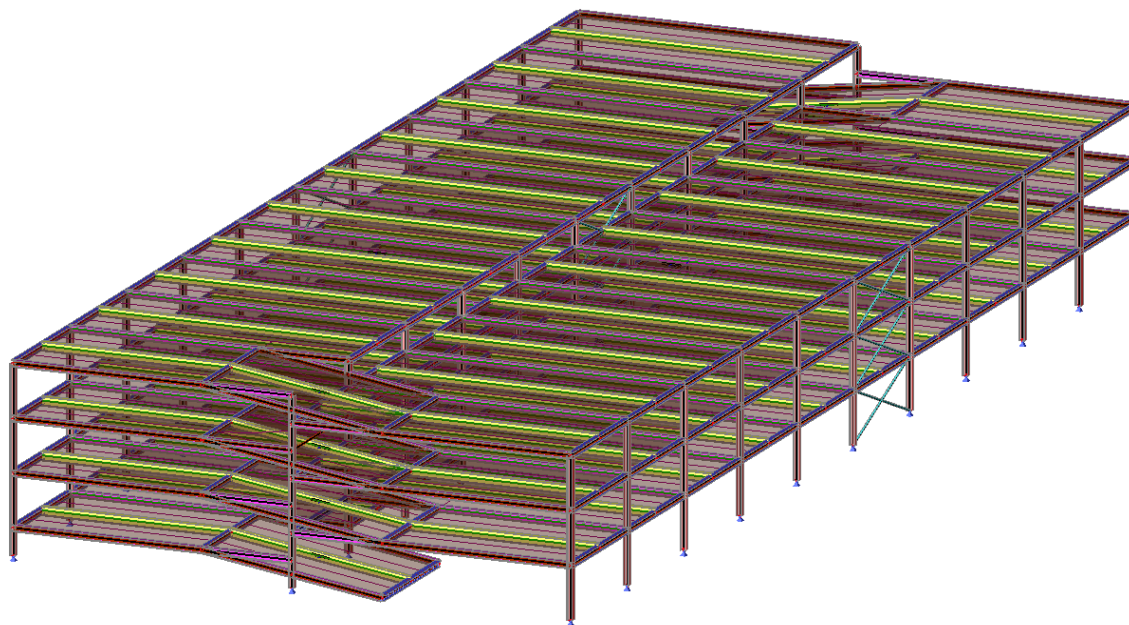
Iz računalnog programa SCIA Engineer 21.1. očitano je da je za sve kombinacije, globalni mod izvijanja,  $\alpha_{cr} > 10$ . Prema tome konstrukcija je nepomična te se primjenjuje analiza prvog reda. Bez obzira na klasifikaciju napravljena je P- $\Delta$  analiza. Za kombinaciju S10 prvi globalni mod izvijanja je Mode 60, a faktor elastičnog kritičnog opterećenja iznosi:  $\alpha_{cr} = 27,22$ .



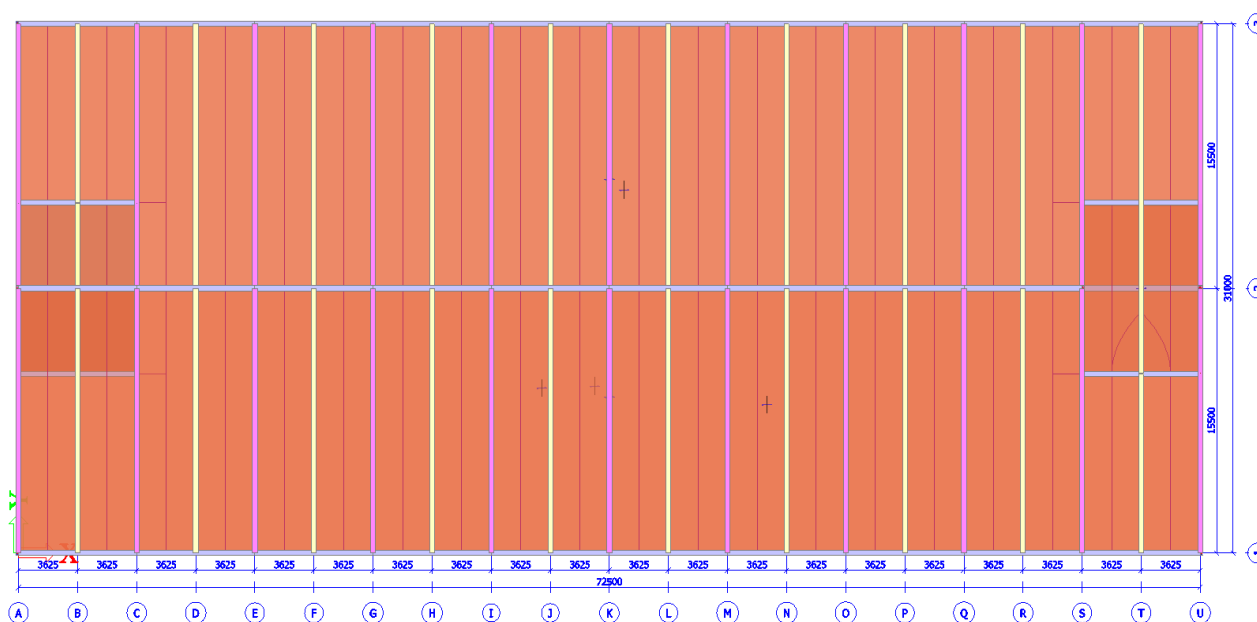
*Slika 50. Globalni mod izvijanja*

## 6.4. Dimenzioniranje

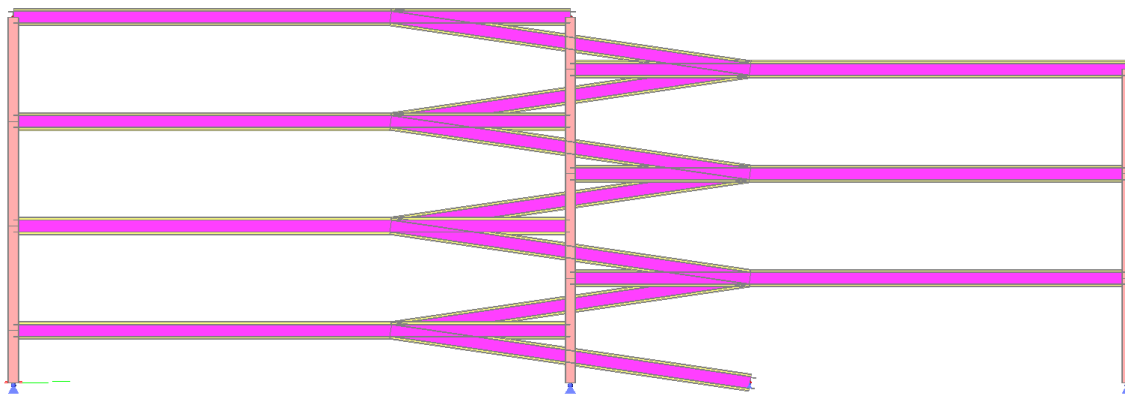
Mjerodavne unutarnje sile za dimenzioniranje konstrukcijskih elemenata očitane su iz 3D modela napravljenog u računalnom programu SCIA Engineer 21.1. Pri dimenzioniranju čeličnih konstrukcijskih elemenata koristit će se norma HRN EN 1993-1-1 za čelične zgrade, a pri dimenzioniranju spregnutih konstrukcijskih elemenata koristit će se norma HRN EN 1994-1-1.



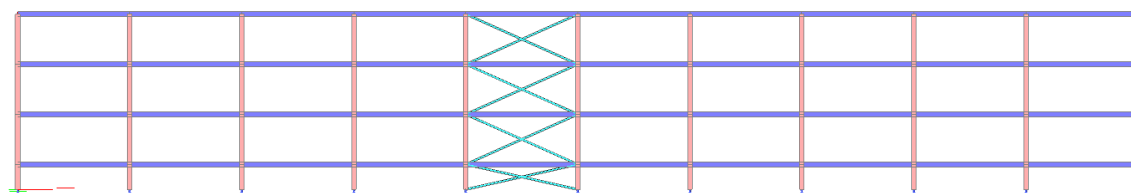
*Slika 51.3D model konstrukcije*



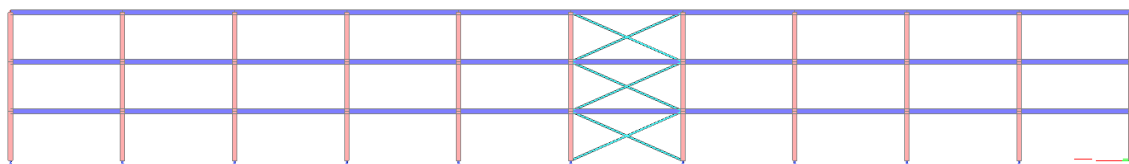
*Slika 52.Tlocrt konstrukcije*



*Slika 53. Poprečni smjer konstrukcije*



*Slika 54. Uzdužni smjer konstrukcije-pogled B-B*

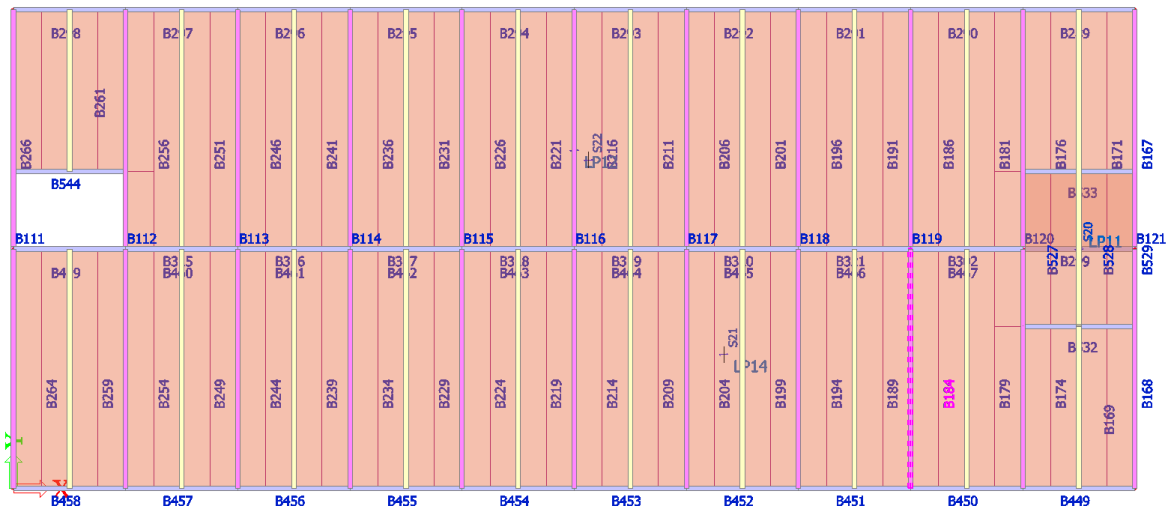


*Slika 55. Uzdužni smjer konstrukcije-pogled C-C*



### 6.4.1. Dimenzioniranje poprečnog nosača

Statički sustav poprečnog nosača je upeta greda. Nosač na kojem će se provjeriti zadovoljava li otpornost na unutarnje sile je nosač B184 za mjerodavnu kombinaciju (COMB10).



Slika 56. Prikaz analiziranog poprečnog nosača(B184)

Mjerodavni element:	
Oznaka:	B184
Profil:	HEA 360
Duljina:	15,5 m
Mjerodavna kombinacija	
Granično stanje nosivosti:	COMB 10
Granično stanje uporabivosti:	COMB 21

#### 6.4.1.1. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa materijala: S355

Granica popuštanja:  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$

Vlačna čvrstoća:  $f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$

Modul elastičnosti:  $E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$

Poissonov koeficijent:  $\nu = 0,3$

Modul posmika:

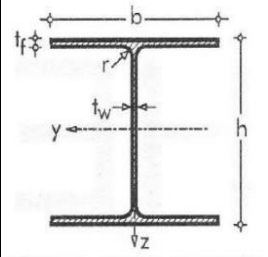
$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Vlačna deformacija:

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

- Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEA 360
Težina po m':	$G = 112 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 143,0 \text{ cm}^2$
Visina profila:	$h = 350,0 \text{ mm}$
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 10,0 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 17,5 \text{ mm}$
Radius zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$
Momenti tromosti:	$I_y = 33100,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 7890,0 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_y = 1890,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 526,0 \text{ cm}^3$
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 2090,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 802,0 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta:	$I_t = 153 \text{ cm}^4$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 2180000 \text{ cm}^6$
Radijusi tromosti:	$i_y = 15,2 \text{ cm}$ , $i_z = 7,43 \text{ cm}$



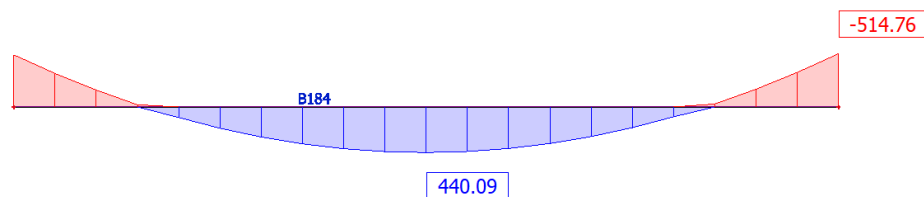
- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

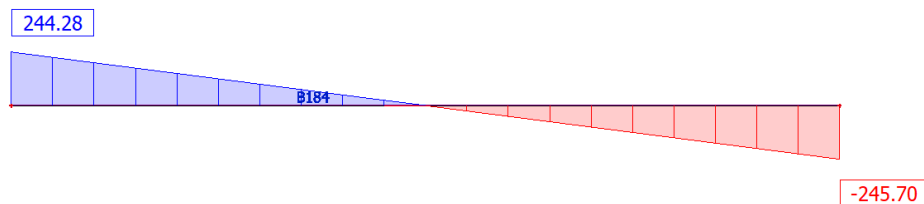
$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Učinci djelovanja (unutarnje sile):



Slika 57. Dijagram momenta savijanja  $M_{y,Ed}$


 Slika 58. Dijagram poprečnih sila  $V_{z,Ed}$ 

### 6.4.1.2. Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{350 - 2 \cdot 17,5 - 2 \cdot 27}{10} = 26,10$$

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

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 26,10 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

$26,10 < 58,32 \rightarrow$  Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica

$$\frac{c}{t} = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{300 - 10 - 2 \cdot 27}{17,5} = 6,74$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 6,74 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

$6,74 < 7,29 \rightarrow$  Pojasnica je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je klase 1.

### 6.4.1.3. Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2090 \cdot 35,5}{1,0} = 74195 \text{ kNcm} = 741,95 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{440,09}{741,95} \leq 1,00$$

0,59 < 1,00 → Uvjet zadovoljen

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera na izbočavanje hrpta na posmik

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 350,0 - 2 \cdot 17,5 = 315,0 \text{ mm}$$

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

$$\frac{315,0}{10,0} < \frac{72 \cdot 0,81}{1,2}$$

31,5 < 48,6 → Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 143 - 2 \cdot 30,0 \cdot 1,75 + (1,0 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,75 = 49,2 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 31,5 \cdot 1,0 = 37,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 49,2 \text{ cm}^2 \geq 37,8 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{49,2 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,00} = 1008,4 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{245,70}{1008,4} = 0,24 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

- Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i poprečne sile

Uvjet reduciranja otpornosti na savijanje:

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

$$245,70 \text{ kN} < 0,5 \cdot 1008,4 = 504,2 \text{ kN}$$

$$\frac{245,70}{504,2} = 0,49 < 1,0$$

Nije potrebna redukcija otpornosti poprečnog presjeka na savijanje.

$$M_{V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 741,95 \text{ kNm}$$

#### 6.4.1.4. Otpornost elementa

- Otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje u području negativnih momenata savijanja

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

Razmak točaka bočnog pridržanja:

$$L_{cr,LT} = 2,325 \text{ m}$$

Mjesto unosa sile:

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ cm}$$

Faktor efektivne dužine:

$$k = 1,0; k_w = 1,0$$

Faktori ovisni o uvjetima opterećenja:

$$C_1 = 2,578; C_2 = 1,554$$

$$M_{cr} = 2,578 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7890}{(1,0 \cdot 232,5)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{2180000}{7890} + \frac{(1,0 \cdot 232,5)^2 \cdot 8077 \cdot 153}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7890} + (1,554 \cdot 17,5)^2} - 1,554 \right] \cdot 17,5 = 412553,44 \text{ kNcm} = 4125,53 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2090 \cdot 35,5}{412553,44}} = 0,424 \geq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

Za valjani profil i za  $\frac{h}{b} = \frac{350}{300} = 1,17 < 2$  mjerodavna krivulja izvijanja je a. Prema tome, faktor nesavršenosti iznosi  $\alpha_{LT} = 0,21$ .

Faktor redukcije (opći slučaj):

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1,0$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,424 - 0,2) + 0,424^2] = 0,613$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,613 + \sqrt{0,613^2 - 0,424^2}} = 0,947 \leq 1$$

Računska otpornost:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,947 \cdot \frac{2090 \cdot 35,5}{1,1} = 63875,15 \text{ kNcm} = 638,75 \text{ kNm}$$

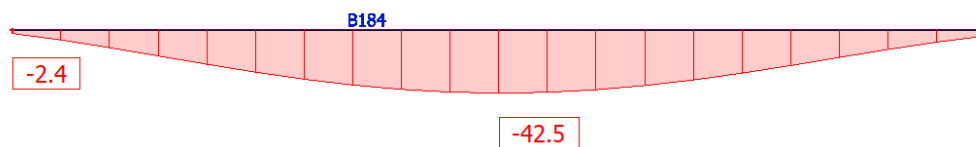
Uvjet:

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

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd}} = \frac{514,76}{638,75} = 0,81 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

#### 6.4.1.5. Kontrola progiba (GSU)

Maksimalni progib na sredini nosača, iščitan iz računalnog programa SCIA Engineer 21.1 na 3D modelu konstrukcije iznosi:  $f = 42,5 - 2,4 = 40,1 \text{ mm}$ .



Slika 59. Progib poprečnog nosača B184

Uvjet za GSU:

$$\delta_{dop} = \frac{L}{250} = \frac{15500}{250} = 62 \text{ mm}$$

$$\frac{40,1}{62} = 0,65 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Odabrani profil poprečnog nosača: HEA 360



Poissonov koeficijent:

$$\nu = 0,3$$

Modul posmika:

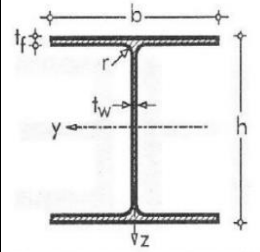
$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Vlačna deformacija:

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

- Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEA 500
Težina po m':	$G = 155 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 198,0 \text{ cm}^2$
Visina profila:	$h = 490,0 \text{ mm}$
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 12,0 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 23,0 \text{ mm}$
Radijus zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$
Momenti tromosti:	$I_y = 87000,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 10400,0 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_y = 3550,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 691,0 \text{ cm}^3$
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 3950,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 1060,0 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta:	$I_t = 318 \text{ cm}^4$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 5640000 \text{ cm}^6$
Radijusi tromosti:	$i_y = 21 \text{ cm}$ , $i_z = 7,24 \text{ cm}$



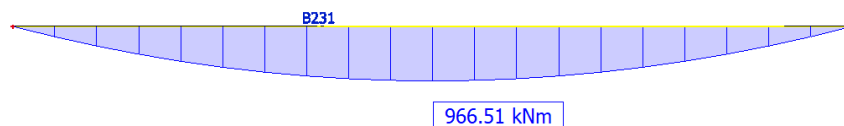
- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

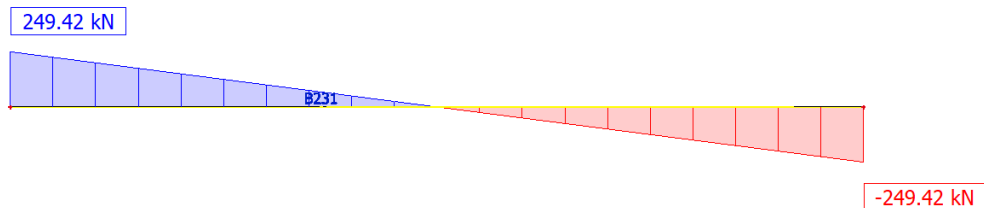
$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Učinci djelovanja (unutarnje sile):



Slika 61. Dijagram momenta savijanja  $M_{y,Ed}$





Slika 62. Dijagram poprečnih sila  $V_{z,Ed}$

#### 6.4.2.2. Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{490 - 2 \cdot 23 - 2 \cdot 27}{12} = 32,5$$

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

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 32,5 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

$32,5 < 58,32 \rightarrow$  Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica

$$\frac{c}{t} = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{300 - 12 - 2 \cdot 27}{23} = 5,09$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 5,09 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

$5,09 < 7,29 \rightarrow$  Pojasnica je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je klase 1.

#### 6.4.2.3. Otpornost poprečnog presjeka

Visina betonske ploče za proračunski model:

$$h_c = 12 \text{ cm}, h_p = 5 \text{ cm}$$

Gdje je:

$h_c$  – visina betonske ploče

$h_p$  – visina profiliranog lima

Sudjelujuća širina:

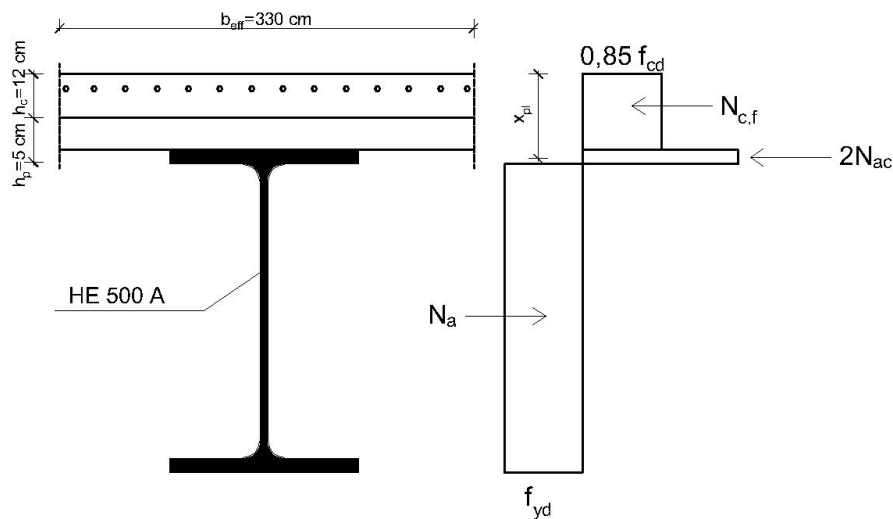
$$L = 15,5 \text{ m}$$

$$L_e = 0,85 \cdot L = 0,85 \cdot 15,5 = 13,175 \text{ m}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \frac{L_e}{8} = \frac{13,175}{8} = 1,65 \text{ m}$$

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} = 1,65 + 1,65 = 3,3 \text{ m}$$

Položaj neutralne osi:



**Slika 63.** Plastična otpornost spregnutog poprečnog presjeka kada neutralna os leži u pojasnici

$$N_{cf} = b_{eff} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 330 \cdot 12 \cdot 0,85 \cdot 2 = 6732 \text{ kN}$$

$$N_a = A_a \cdot f_{yd} = 198 \cdot 35,5 = 7029 \text{ kN}$$

$N_{cf} < N_a \rightarrow$  neutralna os se ne nalazi u betonskoj ploči

Pretpostavljamo da se neutralna os nalazi u gornjoj pojasnici:

$$2 \cdot N_{ac} = 2 \cdot b \cdot t_f \cdot f_{yd} = 2 \cdot 30 \cdot 2,3 \cdot 35,5 = 4899 \text{ kN}$$

$$N_{cf} + 2 \cdot N_{ac} = 6732 + 4899 = 11631 \text{ kN}$$

$N_{cf} + 2 \cdot N_{ac} > N_a \rightarrow$  neutralna os se ne nalazi u gornjoj pojasnici

$$\begin{aligned} x_{pl} &= h_c + h_p + \frac{A_a \cdot f_{yd} - b_{eff} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}}{2 \cdot b \cdot f_{yd}} = 12 + 5 + \frac{198 \cdot 35,5 - 330 \cdot 12 \cdot 0,85 \cdot 2}{2 \cdot 30 \cdot 35,5} \\ &= 17,139 \text{ cm} \end{aligned}$$

→ neutralna os se nalazi u gornjoj pojasnici

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= A_a \cdot f_{yd} \left( z + h_p + \frac{h_c}{2} \right) - b \cdot f_{yd} (x_{pl} + h_p) (x_{pl} - h_c - h_p) \\ &= 198 \cdot 35,5 \left( 24,5 + 5 + \frac{12}{2} \right) - 30 \cdot 35,5 (17,139 + 5) (17,139 - 12 - 5) \\ &= 246252,15 \text{ kNcm} = 2462,52 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{966,51}{2462,52} \leq 1,00$$

0,39 < 1,00 → Uvjet zadovoljen

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera na izbočavanje hrpta na posmik

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 490,0 - 2 \cdot 23,0 = 444,0 \text{ mm}$$

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

$$\frac{444,0}{12,0} < \frac{72 \cdot 0,81}{1,2}$$

37 < 48,6 → Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 198 - 2 \cdot 30,0 \cdot 2,3 + (1,2 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,3 = 75,18 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 44,4 \cdot 1,2 = 63,94 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 75,18 \text{ cm}^2 \geq 63,94 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{75,18 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,00} = 1540,88 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{249,42}{1540,88} = 0,16 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i poprečne sile

Uvjet reduciranja otpornosti na savijanje:

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

$$249,42 \text{ kN} < 0,5 \cdot 1540,88 = 770,44 \text{ kN}$$

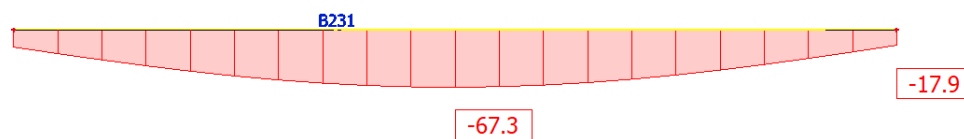
$$\frac{249,42}{770,44} = 0,32 < 1,0$$

Nije potrebna redukcija otpornosti poprečnog presjeka na savijanje.

$$M_{V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 2462,52 \text{ kNm}$$

#### 6.4.2.4. Kontrola progiba (GSU)

Maksimalni progib na sredini nosača, iščitan iz računalnog programa SCIA Engineer 21.1 na 3D modelu konstrukcije za mjerodavnu kombinaciju COMB 21 iznosi:  $f = 67,3 - 17,9 = 49,4 \text{ mm}$ .



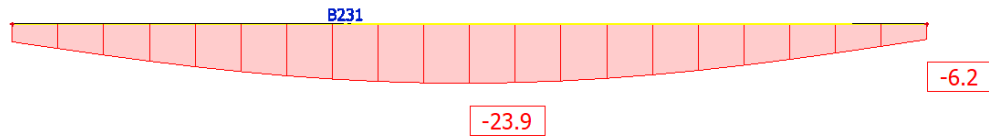
*Slika 64. Progib sekundarnog poprečnog nosača za mjerodavnu kombinaciju COMB 21*

Uvjet za mjerodavnu kombinaciju GSU:

$$\delta_{dop} = \frac{L}{250} = \frac{15500}{250} = 62,0 \text{ mm}$$

$$\frac{49,4}{62,0} = 0,80 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Maksimalni progib na sredini nosača, iščitan iz računalnog programa SCIA Engineer 21.1 na 3D modelu konstrukcije za korisno opterećenje iznosi:  $f = 23,9 - 6,2 = 17,7 \text{ mm}$ .



*Slika 65. Progib sekundarnog poprečnog nosača za korisno opterećenje*

Uvjet za korisno opterećenje:

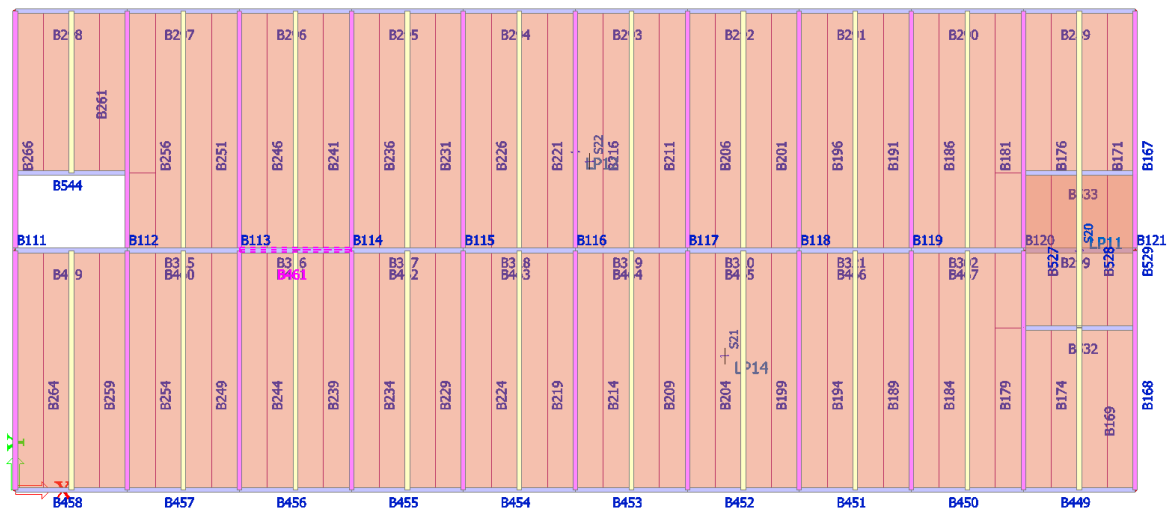
$$\delta_{dop} = \frac{L}{300} = \frac{15500}{300} = 51,67 \text{ mm}$$

$$\frac{17,7}{51,67} = 0,34 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Preliminarni odabir profila: HEA 500

### 6.4.3. Dimenzioniranje uzdužnog nosača

Statički sustav uzdužnog nosača je prosta greda. Nosač na kojem će se provjeriti zadovoljava li otpornost na unutarnje sile je nosač B461 za mjerodavnu kombinaciju (COMB10).



Slika 66. Prikaz analiziranog uzdužnog nosača (B461)

Mjerodavni element:	
Oznaka:	B461
Profil:	HEA 320
Duljina:	7,25 m
Mjerodavna kombinacija	
Granično stanje nosivosti:	COMB 10
Granično stanje uporabivosti:	COMB 21

#### 6.4.3.1. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa materijala: S355

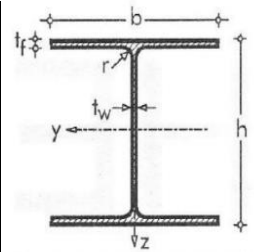
Granica popuštanja:  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$

Vlačna čvrstoća:  $f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$

Modul elastičnosti:	$E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$
Poissonov koeficijent:	$\nu = 0,3$
Modul posmika:	$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna deformacija:	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

- Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEA 320
Težina po m':	$G = 97,6 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 124,0 \text{ cm}^2$
Visina profila:	$h = 310,0 \text{ mm}$
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 9,0 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 15,5 \text{ mm}$
Radijus zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$
Momenti tromosti:	$I_y = 22900,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 6980,0 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_y = 1480,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 466,0 \text{ cm}^3$
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 1630,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 710,0 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta:	$I_t = 112 \text{ cm}^4$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 1510000 \text{ cm}^6$
Radijusi tromosti:	$i_y = 13,6 \text{ cm}$ , $i_z = 7,49 \text{ cm}$



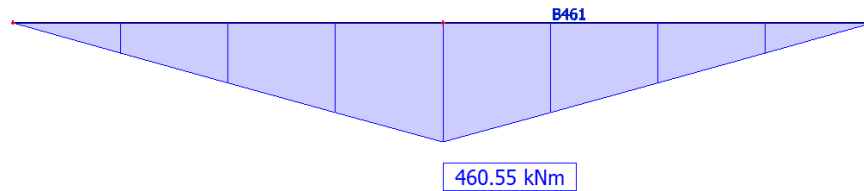
- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

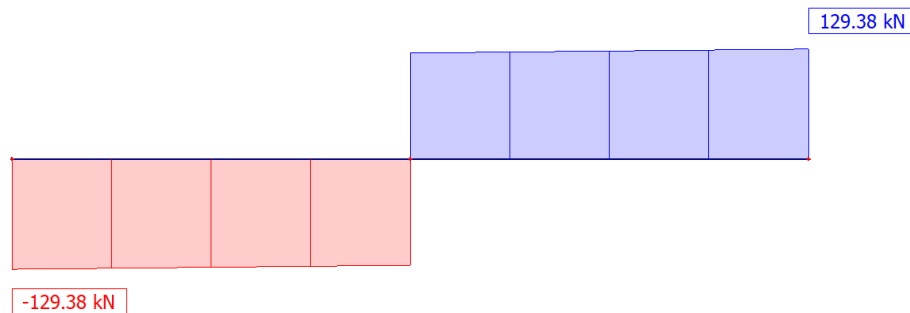
$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Učinci djelovanja (unutarnje sile):



Slika 67. Dijagram momenta savijanja  $M_{y,Ed}$



Slika 68. Dijagram poprečnih sila  $V_{z,Ed}$

#### 6.4.3.2. Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{310 - 2 \cdot 15,5 - 2 \cdot 27}{9} = 25,0$$

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

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 25,0 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

$25,0 < 58,32 \rightarrow$  Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica

$$\frac{c}{t} = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{t_f} = \frac{300 - 9 - 2 \cdot 27}{15,5} = 7,65$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 7,65 > 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$



Uvjet za klasu 2:  $\frac{c}{t} = 7,65 \leq 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,1$

$7,65 < 8,1 \rightarrow$  Pojasnica je svrstana u klasu 2.

Poprečni presjek je klase 2.

### 6.4.3.3. Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1630 \cdot 35,5}{1,0} = 57865 \text{ kNcm} = 578,65 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{460,54}{578,65} \leq 1,00$$

$0,80 < 1,00 \rightarrow$  Uvjet zadovoljen

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera na izbočavanje hrpta na posmik

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 310,0 - 2 \cdot 15,5 = 279,0 \text{ mm}$$

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

$$\frac{279,0}{9} < \frac{72 \cdot 0,81}{1,2}$$

$31,0 < 48,6 \rightarrow$  Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 124 - 2 \cdot 30,0 \cdot 1,55 + (0,9 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,55 = 40,77 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 31,0 \cdot 0,9 = 30,13 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 40,77 \text{ cm}^2 \geq 30,13 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{40,77 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,00} = 835,62 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{129,38}{835,62} = 0,15 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

- Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i poprečne sile

Uvjet reduciranja otpornosti na savijanje:

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

$$129,38 \text{ kN} < 0,5 \cdot 835,62 = 417,81 \text{ kN}$$

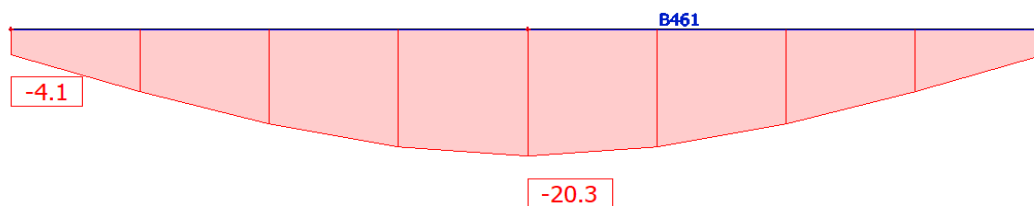
$$\frac{129,38}{417,81} = 0,31 < 1,0$$

Nije potrebna redukcija otpornosti poprečnog presjeka na savijanje.

$$M_{V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 578,65 \text{ kNm}$$

#### 6.4.3.4. Kontrola progiba (GSU)

Maksimalni progib na sredini nosača, isčitan iz računalnog programa SCIA Engineer 21.1 na 3D modelu konstrukcije iznosi:  $f = 20,3 - 4,1 = 16,2 \text{ mm}$ .



*Slika 69. Progib uzdužnog nosača*

Uvjet za GSU:

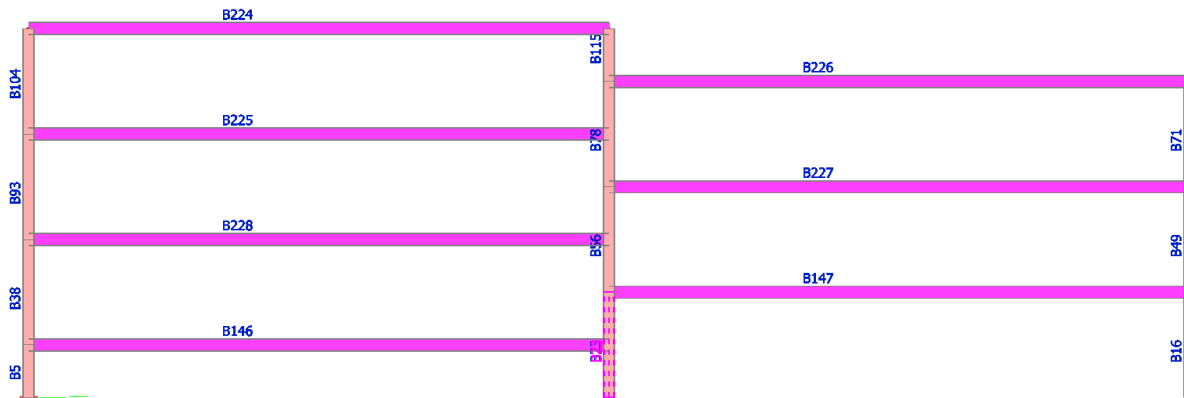
$$\delta_{dop} = \frac{L}{250} = \frac{7250}{250} = 29 \text{ mm}$$

$$\frac{16,2}{29,0} = 0,56 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Odabrani profil uzdužnog nosača: HEA 320

#### 6.4.4. Dimenzioniranje stupa

Stup na kojem će se provjeriti zadovoljava li otpornost na unutarnje sile je nosač B23 za mjerodavnu kombinaciju (COMB12).



Slika 70. Prikaz analiziranog stupa (B23)

Mjerodavni element:	
Oznaka:	B23
Profil:	HEB 320
Duljina:	2,9 m
Mjerodavna kombinacija	
Granično stanje nosivosti:	COMB 12
Granično stanje uporabivosti:	COMB 21

##### 6.4.4.1. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa materijala:

S355

Granica popuštanja:

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$$

Vlačna čvrstoća:

$$f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$$

Modul elastičnosti:

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

Poissonov koeficijent:

$$\nu = 0,3$$

Modul posmika:

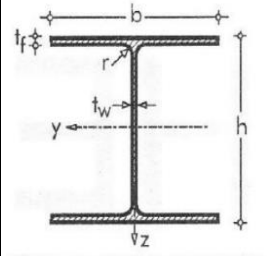
$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Vlačna deformacija:

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

- Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEB 320
Težina po m':	$G = 127 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 161,0 \text{ cm}^2$
Visina profila:	$h = 320,0 \text{ mm}$
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 11,5 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 20,5 \text{ mm}$
Radius zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$
Momenti tromosti:	$I_y = 30800,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 9240,0 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_y = 1930,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 616,0 \text{ cm}^3$
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 2150,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 939,0 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta:	$I_t = 230 \text{ cm}^4$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 2070000 \text{ cm}^6$
Radijusi tromosti:	$i_y = 13,8 \text{ cm}$ , $i_z = 7,57 \text{ cm}$



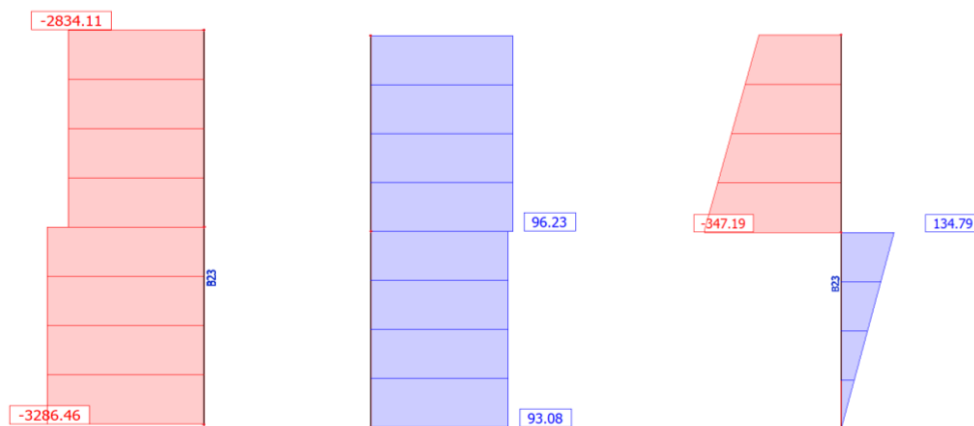
- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Učinci djelovanja (unutarnje sile):



**Slika 71.** Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja

#### 6.4.4.2. Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat

$$\frac{c}{t} = \frac{h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r}{t_w} = \frac{320 - 2 \cdot 20,5 - 2 \cdot 27}{11,5} = 19,57$$

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

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 19,57 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

$19,57 < 58,32 \rightarrow$  Hrbat je svrstan u klasu 1.

Pojasnica

$$\frac{c}{t} = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{t_f} = \frac{300 - 11,5 - 2 \cdot 27}{20,5} = 5,72$$

$$\text{Uvjet za klasu 1: } \frac{c}{t} = 5,72 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

$5,72 < 7,29 \rightarrow$  Pojasnica je svrstana u klasu 1.

Poprečni presjek je klase 1.

#### 6.4.4.3. Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka u tlaku

$$N_{c,Rd} = N_{pl,y,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{161,0 \cdot 35,50}{1,00} = 5715,5 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{3286,46}{5715,5} < 1,00$$

$0,58 < 1,00 \rightarrow$  Uvjet zadovoljen.

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2150 \cdot 35,5}{1,0} = 76325 \text{ kNcm} = 763,25 \text{ kNm}$$

Uvjet:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{347,19}{763,25} \leq 1,00$$

$0,45 < 1,00 \rightarrow$  Uvjet zadovoljen

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera na izbočavanje hrpta na posmik

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 30420,0 - 2 \cdot 20,5 = 279,0 \text{ mm}$$

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

$$\frac{279}{11,5} < \frac{72 \cdot 0,81}{1,2}$$

$24,26 < 48,6 \rightarrow$  Nije potrebna provjera izbočavanja hrpta na posmik.

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 161 - 2 \cdot 30,0 \cdot 2,05 + (1,15 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,05 = 51,43 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 27,9 \cdot 1,15 = 38,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 51,43 \text{ cm}^2 \geq 38,5 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{51,43 \cdot (35,50 / \sqrt{3})}{1,00} = 1054,11 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{96,23}{1054,11} = 0,09 < 1,00 \rightarrow$$
 Uvjet zadovoljen

- Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja, uzdužne i poprečne sile

Poprečna sila

Uvjet reduciranja otpornosti na savijanje:

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

$$96,23 \text{ kN} < 0,5 \cdot 1054,11 = 527,06 \text{ kN}$$

$$\frac{96,23}{527,06} = 0,18 < 1,0$$

Nije potrebna redukcija otpornosti poprečnog presjeka na savijanje.

$$M_{V,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 763,25 \text{ kNm}$$

Uzdužna sila

Uvjeti nereduciranja otpornosti na savijanje:

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

$$3286,46 \text{ kN} > 0,25 \cdot 5715,5 = 1428,88 \text{ kN} \rightarrow \text{Uvjet nije zadovoljen}$$

$$N_{Ed} < 0,50 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y$$

$$3286,46 \text{ kN} > 0,50 \cdot 27,9 \cdot 1,15 \cdot 35,5 = 569,51 \text{ kN} \rightarrow \text{Uvjet nije zadovoljen}$$

Redukcija otpornosti poprečnog presjeka na savijanje

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

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{3286,46}{5715,5} = 0,575$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} \leq 0,5$$

$$a = \frac{161 - 2 \cdot 30 \cdot 2,05}{161} = 0,236 < 0,5$$

$$M_{N,y,Rd} = 763,25 \cdot \frac{1 - 0,575}{1 - 0,5 \cdot 0,236} = 367,78 \leq 763,25$$

Uvjet:

$$M_{y,Ed} \leq M_{N,y,Rd}$$

$$347,19 \text{ kNm} > 367,78 \text{ kNm} \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

$$\frac{347,19}{367,78} = 0,94 < 1,00$$

#### 6.4.4.4. Otpornost elementa

- Otpornost elementa izloženog djelovanju uzdužne sile i momenta savijanja

Efektivne duljine izvijanja

$$L_{i,y} = 290 \text{ cm}$$

$$L_{i,z} = \frac{L}{2} = \frac{290}{2} = 145 \text{ cm} \quad (\text{nosač se nalazi na pola visine stupa})$$

- Otpornost elementa na izvijanje

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Os y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 30800}{290^2} = 75905,59 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{161,0 \cdot 35,5}{75905,59}} = 0,274$$

Os z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9240}{145^2} = 91086,71 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{161,0 \cdot 35,5}{91086,71}} = 0,250$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Mjerodavna krivulja izvijanja (u normi HRN EN 1993-1-1:2014, tablica 6.2) određuje se za valjani profil, za S 355, te  $\frac{h}{b} = \frac{320}{300} = 1,07 \leq 1,2$  i  $t_f = 20,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$ . Za pripadajuće krivulje izvijanja očita se faktor imperfekcija (u normi HRN EN 1993-1-1:2014, tablica 6.1).



Os izvijanja y-y → krivulja izvijanja b → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,34$ .

Os izvijanja z-z → krivulja izvijanja c → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,49$ .

Određivanje pomoćne veličine  $\Phi_y$  i  $\Phi_z$  :

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja a i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,34$ .

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,274 - 0,2) + 0,274^2] = 0,550$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja b i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,49$ .

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,250 - 0,2) + 0,250^2] = 0,544$$

Faktori redukcije  $\chi_y$  i  $\chi_z$ :

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,550 + \sqrt{0,550^2 - 0,274^2}} = 0,974$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,544 + \sqrt{0,544^2 - 0,250^2}} = 0,974$$

$$\chi = \chi_{min} = 0,974$$

Računska otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,974 \cdot \frac{161,0 \cdot 35,50}{1,1} = 5060,82 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{3286,46}{5060,82} < 1,00$$

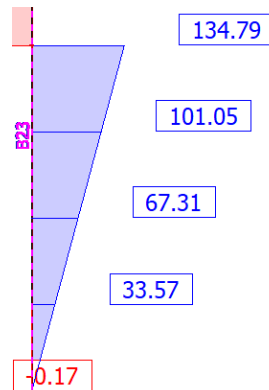
0,65 < 1,00 → Uvjet zadovoljen.

- Otpornost elementa na bočno-torzijsko izvijanje

Elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja:

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

Prvi dio momentnog dijagrama:



Slika 72. Prikaz prvog dijela momentnog dijagrama

Razmak točaka bočnog pridržanja:

$$L_{cr,LT} = 1,45 \text{ m}$$

Mjesto unosa sile:

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{32}{2} = 16,0 \text{ cm}$$

Faktor efektivne dužine:

$$k = 1,0; k_w = 1,0$$

Faktori ovisni o uvjetima opterećenja:

$$C_1 = 1,77; C_2 = 0$$

$$M_{cr} = 1,77 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9240}{(1,0 \cdot 145)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{2070000}{9240} + \frac{(1,0 \cdot 145)^2 \cdot 8077 \cdot 230}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9240}} \right] = 2518173,5 \text{ kNcm}$$

$$= 25181,73 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2150 \cdot 35,5}{2518173,5}} = 0,174 < \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

→ Nema problema bočno – torzijskog izvijanja

$$\chi_{LT} = 1,0$$

Računska otpornost:

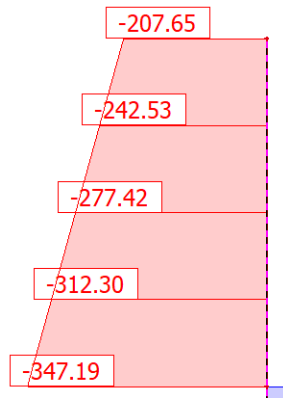
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{2150 \cdot 35,5}{1,1} = 69386,36 \text{ kNcm} = 693,86 \text{ kNm}$$

Uvjet:

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

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd}} = \frac{134,79}{693,86} = 0,20 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Drugi dio momentnog dijagrama:



Slika 73. Prikaz drugog dijela momentnog dijagrama

Razmak točaka bočnog pridržanja:

$$L_{cr,LT} = 1,45 \text{ m}$$

Mjesto unosa sile:

$$z_g = \frac{h}{2} = \frac{32}{2} = 16,0 \text{ cm}$$

Faktor efektivne dužine:

$$k = 1,0; k_w = 1,0$$

Faktori ovisni o uvjetima opterećenja:

$$C_1 = 1,149; C_2 = 0$$

$$M_{cr} = 1,149 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9240}{(1,0 \cdot 145)^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{1,0}{1,0}\right)^2 \cdot \frac{2070000}{9240} + \frac{(1,0 \cdot 145)^2 \cdot 8077 \cdot 230}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9240}} \right] = 1634678,73 \text{ kNcm}$$

$$= 16346,79 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalna vitkost:

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2680 \cdot 35,5}{1634678,73}} = 0,216 < \overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

→ Nema problema bočno – torzijskog izvijanja

$$\chi_{LT} = 1,0$$

Računska otpornost:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{2150 \cdot 35,5}{1,1} = 69386,36 \text{ kNcm} = 693,86 \text{ kNm}$$

Uvjet:

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

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd}} = \frac{347,19}{693,86} = 0,50 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

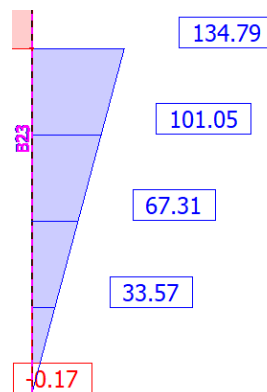
- Otpornost elementa na interakciju momenta savijanja i uzdužne sile (Metoda 2)

Određivanje interakcijskih faktora  $k_{ij}$

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

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

Prvi dio momentnog dijagrama:



Slika 74. Prikaz prvog dijela momentnog dijagrama

$$\psi = \frac{0}{134,79} = 0$$

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

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

$$k_{yy} = 0,8 \left[ 1 + (0,274 - 0,2) \cdot \frac{3286,46}{0,974 \cdot 5715,5/1,1} \right] \leq 0,8 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{3286,46}{0,974 \cdot 5715,5/1,1} \right]$$

$$k_{yy} = 0,838 < 1,216$$

$$k_{yz} = k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,838 = 0,503$$

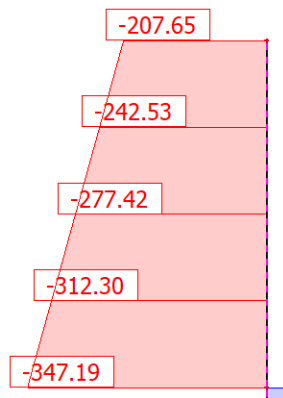
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{yy} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{3286,46}{0,974 \cdot 5715,5/1,1} + \frac{0,838 \cdot 134,79}{1,0 \cdot 763,25 / 1,1} = 0,649 + 0,163 = 0,812 < 1 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

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

$$\frac{3286,46}{0,974 \cdot 5715,5/1,1} + \frac{0,503 \cdot 134,79}{1,0 \cdot 763,25 / 1,1} = 0,649 + 0,098 = 0,747 < 1 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Drugi dio momentnog dijagrama:



Slika 75. Prikaz drugog dijela momentnog dijagrama

$$\psi = \frac{-207,65}{-347,19} = 0,598$$

$$C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,598 = 0,839 > 0,4$$

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

$$k_{yy} = 0,8 \left[ 1 + (0,274 - 0,2) \cdot \frac{3286,46}{0,974 \cdot 5715,5/1,1} \right] \leq 0,8 \left[ 1 + 0,8 \cdot \frac{3286,46}{0,974 \cdot 5715,5/1,1} \right]$$

$$k_{yy} = 0,838 < 1,216$$

$$k_{yz} = k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,838 = 0,503$$

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

$$\frac{3286,46}{0,974 \cdot 5715,5/1,1} + \frac{0,838 \cdot 347,19}{1,0 \cdot 763,25/1,1} = 0,649 + 0,297 = 0,946 < 1 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

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

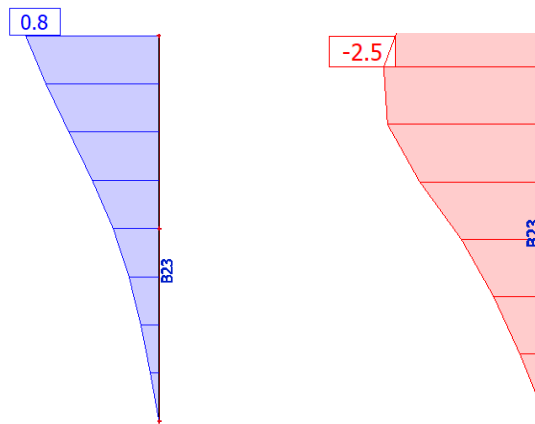
$$\frac{3286,46}{0,974 \cdot 5715,5/1,1} + \frac{0,503 \cdot 347,19}{1,0 \cdot 763,25/1,1} = 0,649 + 0,252 = 0,901 < 1 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

#### 6.4.4.5. Provjera graničnog stanja uporabivosti (GSU)

Na slici 76. prikazani su maksimalni pomaci za smjerove x i y koji glase:

$$u_x = 0,8 \text{ mm}$$

$$u_y = 2,5 \text{ mm}$$



Slika 76. Maksimalni pomaci stupa B23 u x i y smjeru

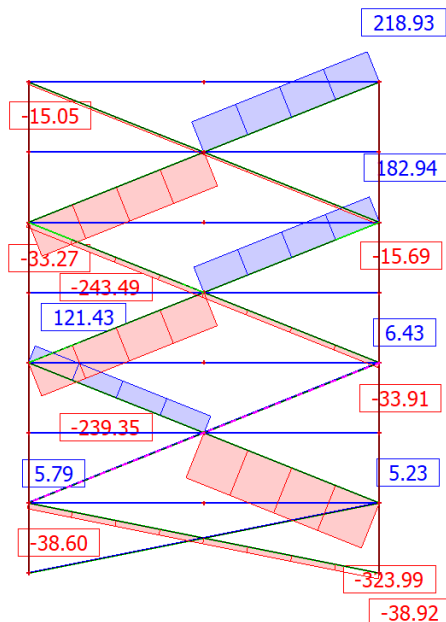
Maksimalni dopušteni pomak iznosi:

$$u_{x,max} = \frac{h}{150} = \frac{2900}{150} = 19,33 \text{ mm}$$

$$\frac{2,5}{19,33} = 0,13 < 1,0 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

Odabrani profil stupa: HEB 320

### 6.4.5. Dimenzioniranje vertikalnog uzdužnog sprega



Slika 77. Dijagram uzdužnih sila vertikalnog uzdužnog sprega

U najopterećenijim elementima dijagonala vertikalnog poprečnog sprega:

Tlačna sila iznosi:  $N_{c,Ed} = 323,99 \text{ kN}$

Vlačna sila iznosi:  $N_{t,Ed} = 218,93 \text{ kN}$

#### 6.4.5.1. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa materijala:

S355

Granica popuštanja:

$$f_y = \frac{355 \text{ N}}{\text{mm}^2} = \frac{35,5 \text{ kN}}{\text{cm}^2}$$

Vlačna čvrstoća:

$$f_u = \frac{490 \text{ N}}{\text{mm}^2} = \frac{49,0 \text{ kN}}{\text{cm}^2}$$

Modul elastičnosti:

$$E = \frac{210000 \text{ N}}{\text{mm}^2} = \frac{21000 \text{ kN}}{\text{cm}^2}$$

Poissonov koeficijent:

$$\nu = 0,3$$

Modul posmika:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = \frac{8077 \text{ kN}}{\text{cm}^2}$$

Vlačna deformacija:

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



- Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

Odabrani profil:	CHS 139,7 x 5
Težina po m':	$G = 16,6 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 21,2 \text{ cm}^2$
Moment inercije:	$I = 481 \text{ cm}^4$
Duljina elementa:	$L = 3904 \text{ mm}$

#### 6.4.5.2. Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost dijagonale vertikalnog uzdužnog sprega u vlaku

$$N_{t,Rd} = N_{pl,y,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21,2 \cdot 35,50}{1,00} = 752,60 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{218,93}{752,60} < 1,00$$

0,29 < 1,00 → Uvjet zadovoljen.

- Otpornost dijagonale vertikalnog uzdužnog sprega u tlaku

$$N_{c,Rd} = N_{pl,y,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21,2 \cdot 35,50}{1,00} = 752,60 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{323,99}{752,60} < 1,00$$

0,43 < 1,00 → Uvjet zadovoljen.

### 6.4.5.3. Otpornost elementa

Otpornost elementa na izvijanje

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{L_{cr}^2}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Os y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 481}{390,4^2} = 654,10 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{21,2 \cdot 35,50}{654,10}} = 1,073$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Mjerodavna krivulja izvijanja (u normi HRN EN 1993-1-1:2014, tablica 6.2) određuje se za vruće valjani cijevni profil te za S 355. Za pripadajuće krivulje izvijanja očita se faktor imperfekcija (u normi HRN EN 1993-1-1:2014, tablica 6.1).

Krivulja izvijanja a → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,21$ .

Određivanje pomoćne veličine  $\Phi_y$  i  $\Phi_z$ :

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja a i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,34$ .

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,073 - 0,2) + 1,073^2] = 1,167$$

Faktori redukcije  $\chi_y$ :

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,167 + \sqrt{1,167^2 - 1,073^2}} = 0,615$$

Računska otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,615 \cdot \frac{21,2 \cdot 35,50}{1,1} = 420,77 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{323,99}{420,77} < 1,00$$

0,77 < 1,00 → Uvjet zadovoljen.

#### 6.4.6. Granično stanje uporabljivosti (GSU)

Maksimalni dopušteni međukatni pomak konstrukcije iznosi:

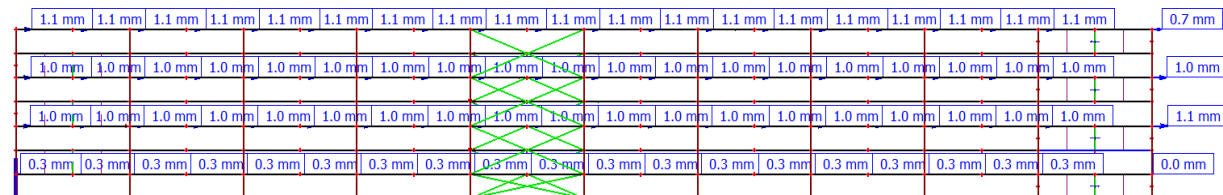
$$drU_{max} = \frac{h}{300} = \frac{2900}{300} = 9,67 \text{ mm}$$

Maksimalni dopušteni ukupni pomak na vrhu konstrukcije iznosi:

$$U_{max} = \frac{h}{500} = \frac{10150}{500} = 20,3 \text{ mm}$$

##### 6.4.6.1. Kontrola pomaka za X smjer

Maksimalni međukatni pomaci konstrukcije iščitani su iz računalnog programa SCIA Engineer 21.1 na 3D modelu konstrukcije za mjerodavnu kombinaciju opterećenja COMB 10 (slika 78.).



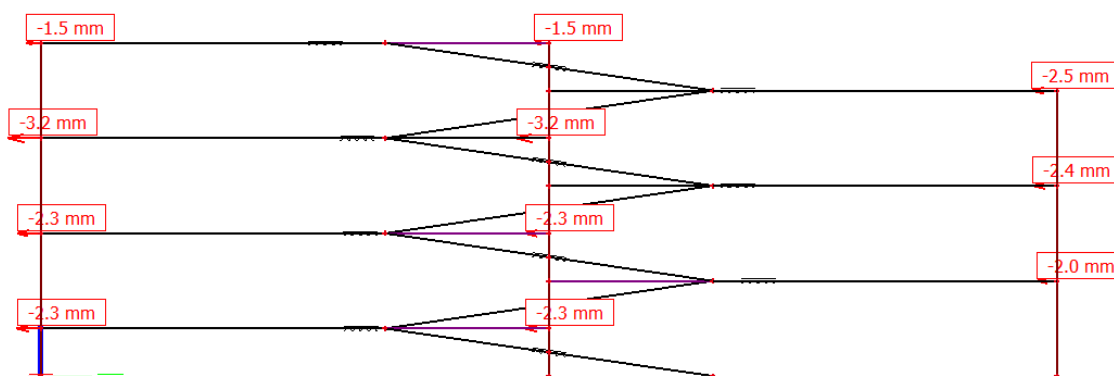
Slika 78. Prikaz pomaka konstrukcije u x smjeru

RAZINA [m]	U_x [mm]	drU_x [mm]
+1,45	0,3	0,3
+4,35	1,0	0,7
+7,25	1,0	0,0
+10,15	1,1	0,1

Međukatni pomak u smjeru X je na svakom katu manji od maksimalnog dopuštenog. Ukupni pomak na vrhu konstrukcije u smjeru X manji je od maksimalnog dopuštenog.

#### 6.4.6.2. Kontrola pomaka za Y smjer

Maksimalni međukatni pomaci konstrukcije iščitani su iz računalnog programa SCIA Engineer 21.1 na 3D modelu konstrukcije za mjerodavnu kombinaciju opterećenja COMB10 (slika 79.).



Slika 79. Prikaz pomaka konstrukcije u y smjeru

RAZINA [m]	U_x [mm]	drU_x [mm]
+1,45	2,3	2,3
+4,35	2,3	0,0
+7,25	3,2	0,9
+10,15	1,5	1,7

Međukatni pomak u smjeru X je na svakom katu manji od maksimalnog dopuštenog.

Ukupni pomak na vrhu konstrukcije u smjeru X manji je od maksimalnog dopuštenog.

## 7. PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA DJELOVANJE POTRESA

### 7.1. Seizmička analiza

Za dimenzioniranje elemenata na djelovanje potresa koristi se norma HRN EN 1998.

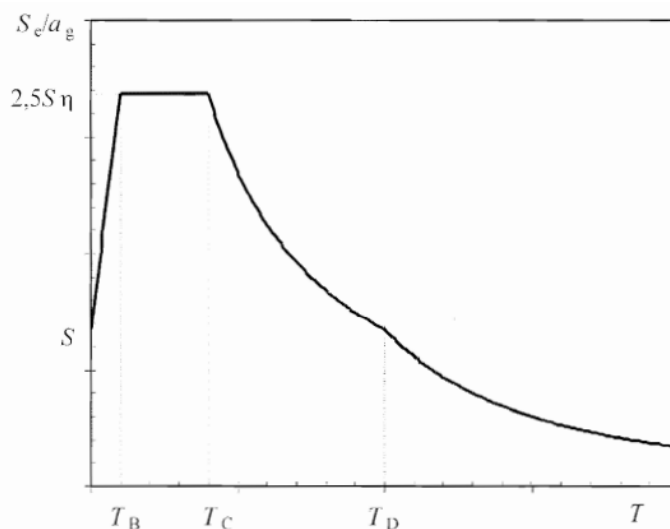
Seizmičko opterećenje može se obuhvatiti statičkim i dinamičkim metodama. Linearna statička metoda je metoda proračuna bočnih sila (eng. lateral force method), dok je nelinearna statička metoda postupnog guranja (eng. pushover analysis). Linearna dinamička metoda je modalna analiza spektrima odziva (eng. response spectrum analysis), a nelinearna dinamička metoda je analiza vremenskog zapisa (eng. time history analysis).

U ovom radu razmatra se linearna dinamička metoda spektra odziva tj. modalna analiza (eng. response spectrum analysis).[8]

### 7.2. Linearna dinamička metoda spektra odziva

#### 7.2.1. Općenito

Elastičnim spektrom ubrzanja odziva temeljnog tla kojeg nazivamo elastični spektar odziva predstavljeno je gibanje uslijed potresa u danoj točki na površini. Spektri odziva pomažu u dobivanju vršnih vrijednosti odziva konstrukcija u linearnom području koji se mogu iskoristiti za dobivanje potresnih sila te se na taj način olakšava potresno oblikovanje konstrukcije.[8]

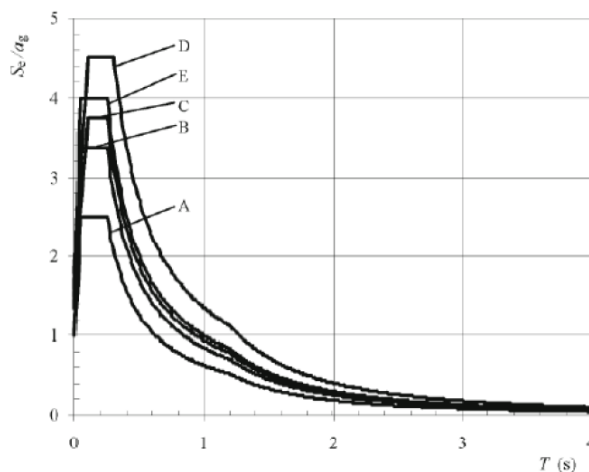


*Slika 80. Elastični spektar odziva [8]*

Tri komponente djelovanja potresa koje se razmatraju su: dvije horizontalne, međusobno okomite komponente i jedna vertikalna komponenta, no u praksi se vrlo rijetko koristi vertikalna komponenta ubrzanja uslijed potresa. Oblik elastičnog spektra odziva definira se uz pomoć veličina perioda osciliranja  $T_B$ ,  $T_C$  i  $T_D$ , kao i parametra tla  $S$  ovisno o tipu tla. Ukoliko nema rezultata detaljnijih geoloških (geomehaničkih) istraživanja, preporučuje se upotreba dvije vrste spektara odziva: Tip 1 i Tip 2. Ukoliko na promatranom području vjerojatna očekivana magnituda potresa prelazi 5,5, preporučuje se upotreba spektara Tipa 1 (slika 81), u suprotnom se preporučuje upotreba spektara Tipa 2 (slika 82).[8]

**Tablica 11.** Parametri temeljnog tla za horizontalni tip spektra 1[8]

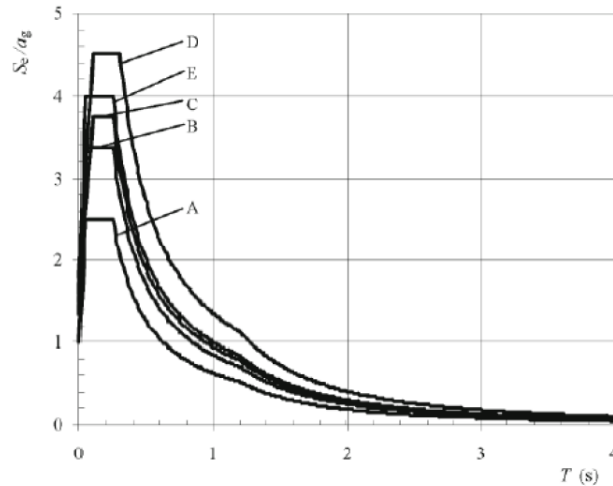
<i>Kat. tla</i>	<i>S</i>	<i>T<sub>B</sub> [s]</i>	<i>T<sub>C</sub> [s]</i>	<i>T<sub>D</sub> [s]</i>
A	1.0	0.15	0.4	2.0
B	1.2	0.15	0.5	2.0
C	1.15	0.20	0.6	2.0
D	1.35	0.20	0.8	2.0
E	1.4	0.15	0.5	2.0



**Slika 81.** Elastični spektar tipa 1[8]

**Tablica 12.** Parametri temeljnog tla za horizontalni tip spektra 2[8]

<i>Kat. tla</i>	<i>S</i>	<i>T<sub>B</sub> [s]</i>	<i>T<sub>C</sub> [s]</i>	<i>T<sub>D</sub> [s]</i>
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



*Slika 82. Elastični spektar tipa 2 [8]*

Za horizontalnu komponentu potresnog djelovanja proračunski spektar  $S_d(T)$  je definiran:

$$0 \leq T \leq T_B: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (7.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (7.2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \left\{ \begin{array}{l} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{array} \right\} \quad (7.3)$$

$$T_D \leq T: S_d(T) \left\{ \begin{array}{l} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{array} \right\} \quad (7.4)$$

Gdje je:

$S_d(T)$  – projektni spektar,

$T$  – period titranja SDOF,

$a_g$  – projektno ubrzanje tla:  $a_g = \gamma_i \cdot a_{gR}$

$\gamma_i$  – faktor važnosti građevine,

$a_{gR}$  – vršna akceleracija tla,

$T_B, T_C, T_D$  – točke (vrijednosti perioda) koje definiraju pojedini dio spektra odziva,

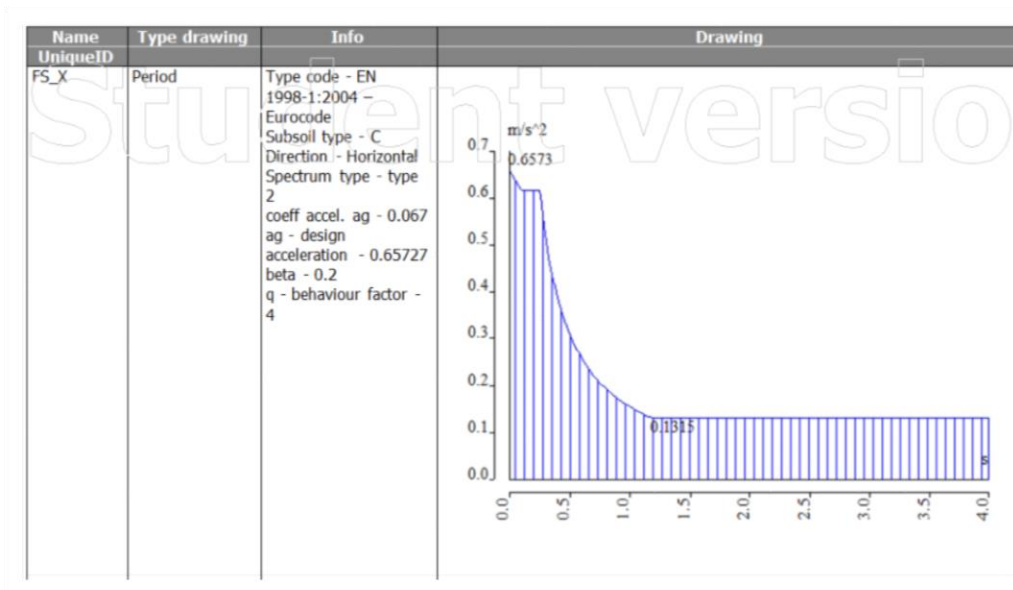
S – parametar tla,

$q$  – faktor ponašanja, ovisan o materijalu, vrsti konstrukcije i razredu duktilnosti,

$\beta$  – donja vrijednost faktora horizontalnog spektra odziva. [8]

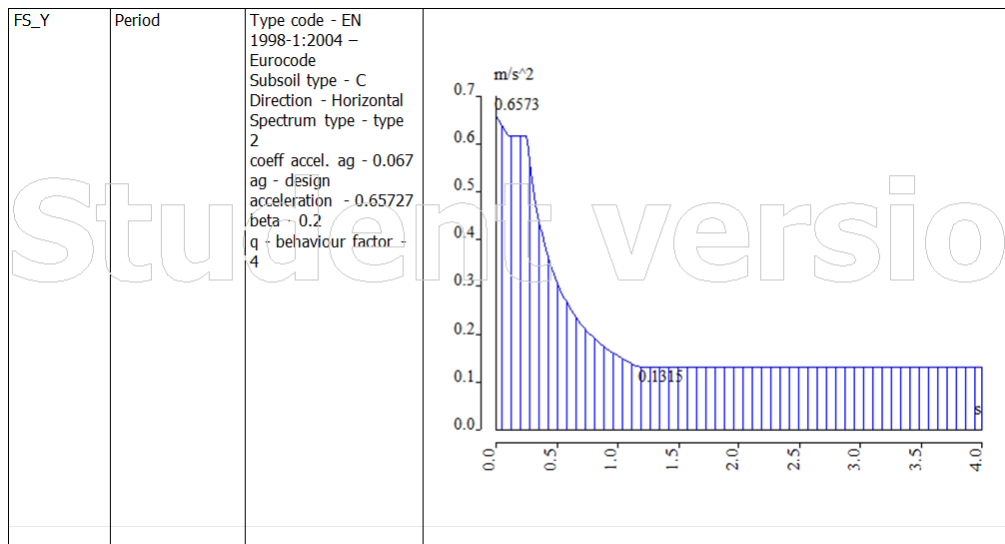
### 7.2.2. Potresno djelovanje

U seizmičkoj analizi za predmetnu građevinu korištena su dva horizontalna proračunska spektra odziva u X i Y smjeru za vršnu akceleraciju tla prema lokaciji i tip tla C. Sposobnost disipacije energije kroz duktilno ponašanje konstrukcije uzima se pojednostavljeno u elastičnoj analizi, gdje se elastični spektar odziva umanjuje faktorom ponašanja  $q$  i dobiva se projektni spektar odziva. Odabran je srednji razred duktilnosti (DCM) za kojeg će biti očitane vrijednosti faktora ponašanja za okvire u oba smjera. S obzirom da se u X smjeru konstrukcije sustav sastoji od X vezova, a u Y smjeru je kruti okvir, faktor ponašanja za oba smjera iznosi  $q = 4,0$ . [8]



Slika 83. Horizontalni proračunski spektar odziva za x smjer





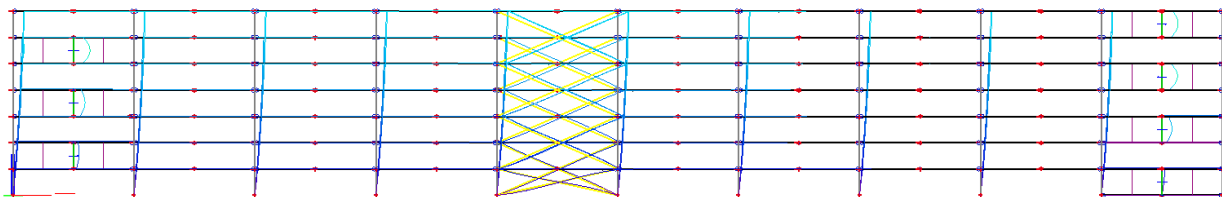
Slika 84. Horizontalni proračunski spektar odziva za y smjer

### 7.3. Dinamički odgovor konstrukcije

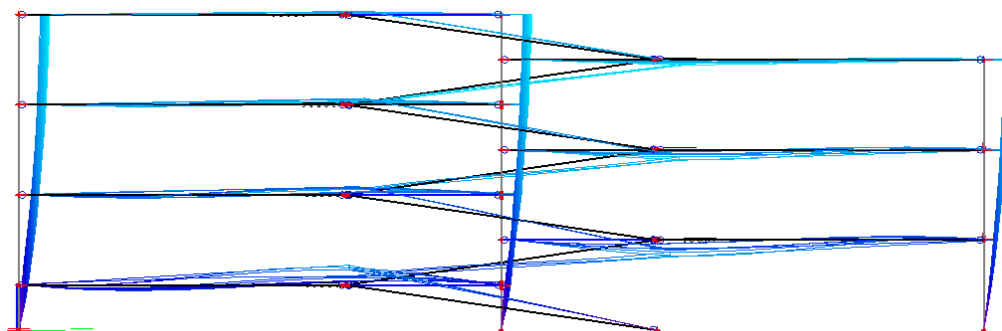
Dinamički odgovor konstrukcije na provedenu modalnu analizu prikazan je u tablici 13. Modalna analiza provedena je u računalnom programu SCIA Engineer 21.1. U obzir je uzeto prvih 20 vlastitih modova osciliranja, te je zadovoljen uvjet da udio mase uzet u proračunu mora biti veći od 90% ukupne mase konstrukcije. Za X smjer udio mase je 93 % , dok je za Y smjer udio mase 91 %. Prva tri moda osciliranja prikazana su na slikama 85,86 i 87.

Tablica 13. Rezultati modalne analize

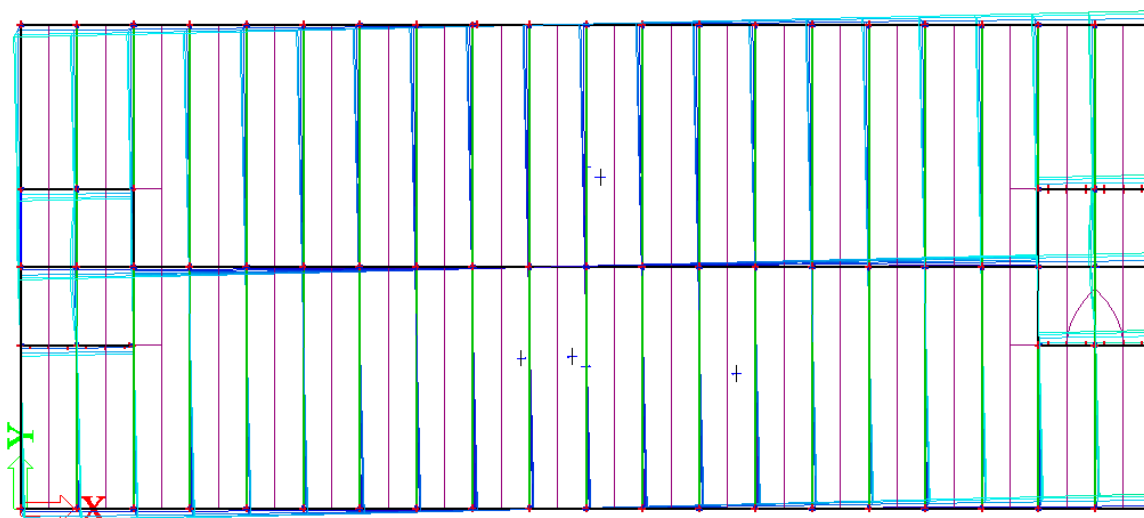
Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	$W_{xi}/W_{xtot}$	$W_{yi}/W_{ytot}$	$W_{zi}/W_{ztot}$	$W_{xi R}/W_{xtot R}$	$W_{yi R}/W_{ytot R}$	$W_{zi R}/W_{ztot R}$
1	6.21421	1.01	0.99	0.8473	0.0024	0.0000	0.0000	0.0023	0.0112
2	6.65596	0.94	1.06	0.0036	0.8426	0.0000	0.0157	0.0003	0.0129
3	8.1621	0.77	1.30	0.0113	0.0082	0.0008	0.0008	0.0006	0.7903
4	12.685	0.50	2.02	0.0069	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000
5	14.5056	0.43	2.31	0.0134	0.0000	0.0000	0.0000	0.0029	0.0001
6	16.1982	0.39	2.58	0.0023	0.0002	0.0469	0.0098	0.0796	0.0002
7	16.3534	0.38	2.60	0.0327	0.0000	0.0020	0.0003	0.0065	0.0002
8	16.651	0.38	2.65	0.0023	0.0002	0.0016	0.0000	0.0206	0.0001
9	16.7887	0.37	2.67	0.0041	0.0001	0.0026	0.0012	0.0639	0.0006
10	17.1027	0.37	2.72	0.0000	0.0006	0.0286	0.0015	0.1887	0.0000
11	17.4283	0.36	2.77	0.0001	0.0000	0.1457	0.0235	0.0476	0.0002
12	17.455	0.36	2.78	0.0005	0.0000	0.0767	0.0144	0.0215	0.0004
13	17.5593	0.36	2.79	0.0000	0.0008	0.0307	0.0065	0.0548	0.0005
14	17.9919	0.35	2.86	0.0000	0.0000	0.0523	0.0293	0.0172	0.0000
15	18.5167	0.34	2.95	0.0001	0.0005	0.1193	0.0133	0.0902	0.0002
16	21.0572	0.30	3.35	0.0001	0.0467	0.0005	0.1172	0.0002	0.0111
17	21.6504	0.29	3.45	0.0060	0.0039	0.0023	0.0057	0.0086	0.0140
18	23.519	0.27	3.74	0.0001	0.0001	0.0009	0.0081	0.0004	0.0001
19	24.7666	0.25	3.94	0.0010	0.0031	0.0006	0.0535	0.0013	0.0019
20	28.0963	0.22	4.47	0.0001	0.0007	0.0001	0.0000	0.0002	0.0121
				0.9319	0.9102	0.5115	0.3008	0.6079	0.8562



*Slika 85. Prvi mod osciliranja-translacija u x smjeru*



*Slika 86. Drugi mod osciliranja-translacija u y smjeru*

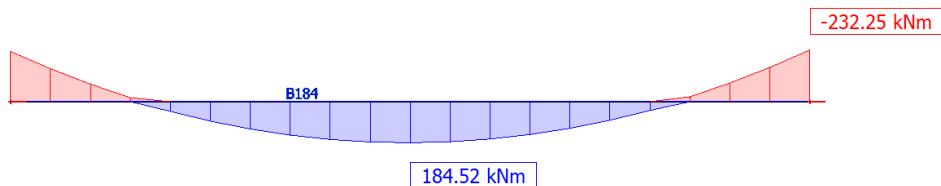


*Slika 87. Treći mod osciliranja -torzija*

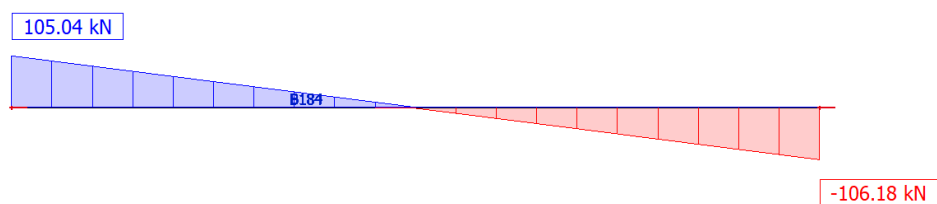
## 7.4. Unutarnje sile u elementima za djelovanje potresa

### 7.4.1. Glavni poprečni nosač

Mjerodavna kombinacija je: COMB28



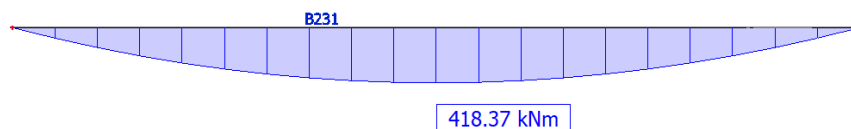
*Slika 88. Dijagram momenata savijanja poprečnog nosača*



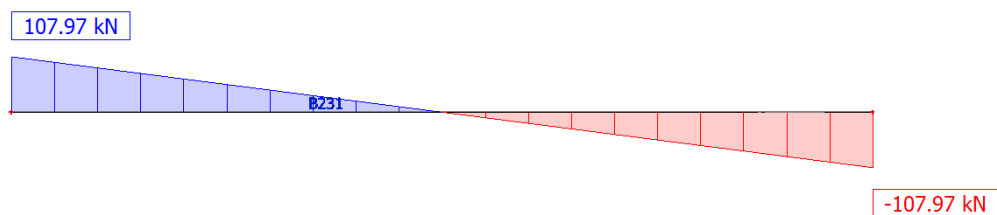
*Slika 89. Dijagram poprečnih sila poprečnog nosača*

### 7.4.2. Sekundarni poprečni nosač

Mjerodavna kombinacija je: COMB28



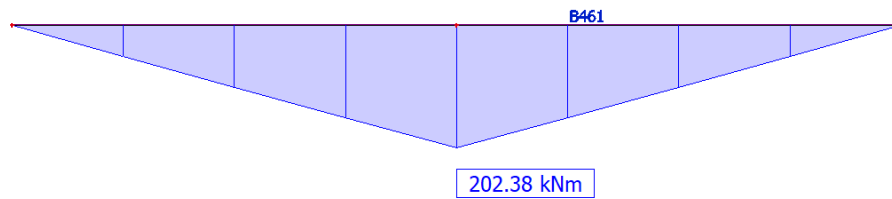
*Slika 90. Dijagram momenata savijanja sekundarnog poprečnog nosača*



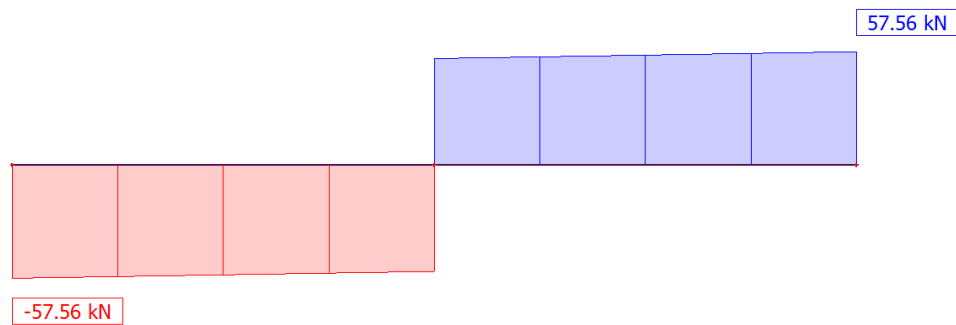
*Slika 91. Dijagram poprečnih sila sekundarnog poprečnog nosača*

### 7.4.3. Uzdužni nosač

Mjerodavna kombinacija je: COMB28



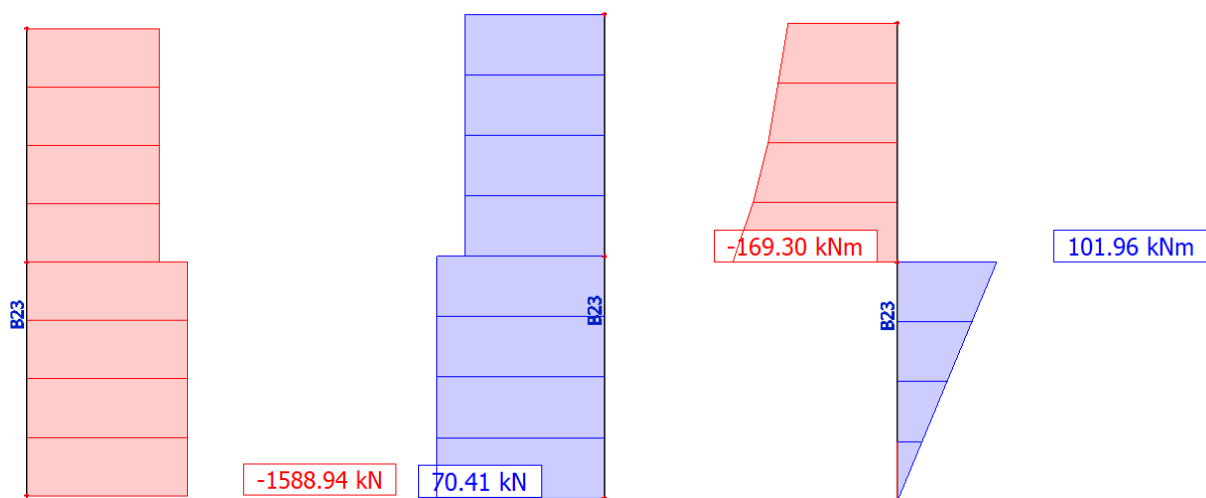
Slika 92. Dijagram momenata savijanja uzdužnog nosača



Slika 93. Dijagram poprečnih sila uzdužnog nosača

### 7.4.5. Stup

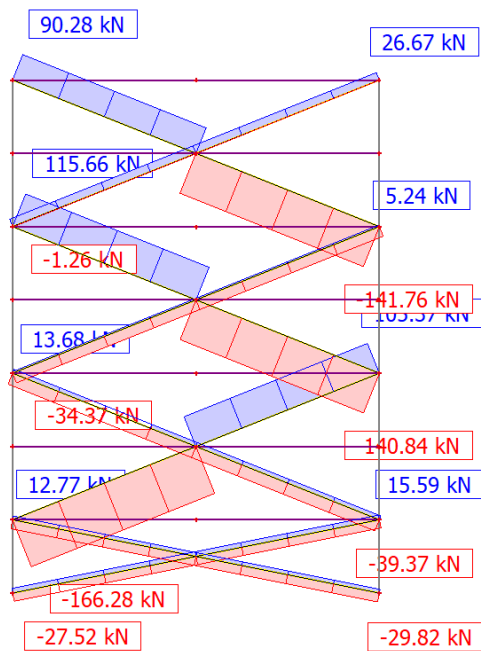
Mjerodavna kombinacija je: COMB28



Slika 94. Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja

### 7.4.6. Vertikalni uzdužni spreg

Mjerodavna kombinacija je: COMB28



*Slika 95. Dijagram uzdužnih sila vertikalnog uzdužnog sprega*

### 7.5. Zaključak seizmičke analize

Unutarnje sile svih konstrukcijskih elemenata nakon provedene seizmičke analize manje su od onih dobivenih u statičkom proračunu. Stoga su svi konstrukcijski elementi i priključci dimenzionirani prema provedenome statičkome proračunu.

## 8. SPREGNUTI STUPOVI

### 8.1. Općenito

Spregnuti stupovi su konstruktivni elementi nastali različitim kombinacijama konstrukcijskog čelika i betona s ciljem iskorištenja najboljih karakteristika oba materijala. Zajedničkim djelovanjem čelika i betona dobiva se element veće krutosti, veće duktilnosti i naposljetku ekonomski isplativiji. Spregnuti stupovi se sve više koriste u visokogradnji zbog toga što povećavaju ukupnu krutost i stabilnost konstrukcije. Opterećeni su tlačnim silama uz koje mogu djelovati i momenti savijanja. [11]

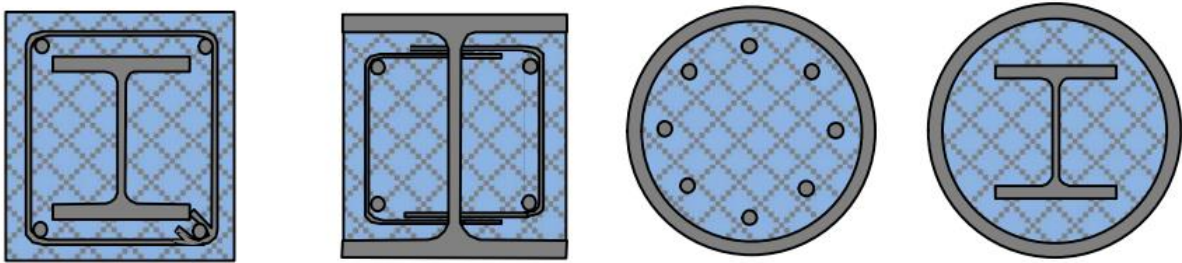
Osim prethodno navedenih, još neke prednosti spregnutih stupova su velika fleksibilnost primjene, kratko vrijeme izvedbe, izvanredna nosivost i dojmljiv estetski izgled. Sve do 50-ih godina 20. stoljeća uloga betona u čelično-betonskim stupovima bila je vatrozaštita. Čelični su se stupovi oblagali betonom kako bi se čelik zaštitio od vatre, ali se beton nije uzimao u proračun nosivosti i stabilnosti elemenata konstrukcije. O. Faber je prvi uključio beton u ispitivanje nosivosti i time su nastale nove metode proračuna koje se istražuju još i danas. [11]

Postoje dvije metode proračuna spregnutih stupova: opća i pojednostavljena metoda. Opća metoda je postupak koji se može koristiti za proizvoljni poprečni presjek, za promjenjiv poprečni presjek i u slučaju promjenjive uzdužne sile. Postupak je vrlo složen i koristi se samo za kompjuterske analize. Pojednostavljena metoda je postupak koji se može koristiti za dvoosno simetričan poprečni presjek, za nepromjenjiv poprečni presjek te u slučaju nepromjenjive uzdužne sile. Postupak je pogodan za svakodnevnu inženjersku praksu.[12]

### 8.2. Podjela spregnutih stupova

Prema konstrukcijskom oblikovanju, spregnuti se stupovi mogu podijeliti na više tipova:

- stupovi s poprečnim presjecima kod kojih su čelični profili u potpunosti obloženi betonom
  - stupovi s poprečnim presjecima kod kojih su čelični profili djelomično obloženi betonom
  - stupovi s poprečnim presjecima kod kojih je čelični profil ispunjen betonom
  - stupovi s poprečnim presjecima kod kojih je čelični profil ispunjen betonom sa čeličnom jezgrom
- [12]



Slika 96. Različiti poprečni presjeci spregnutih stupova[12]

Stup se smatra spregnutim, ako zadovoljava uvjet kojim se dokazuje da je doprinos čelika u ostvarivanju plastične otpornosti presjeka  $N_{pl,Rd}$  dostatan.

Uvjet glasi:

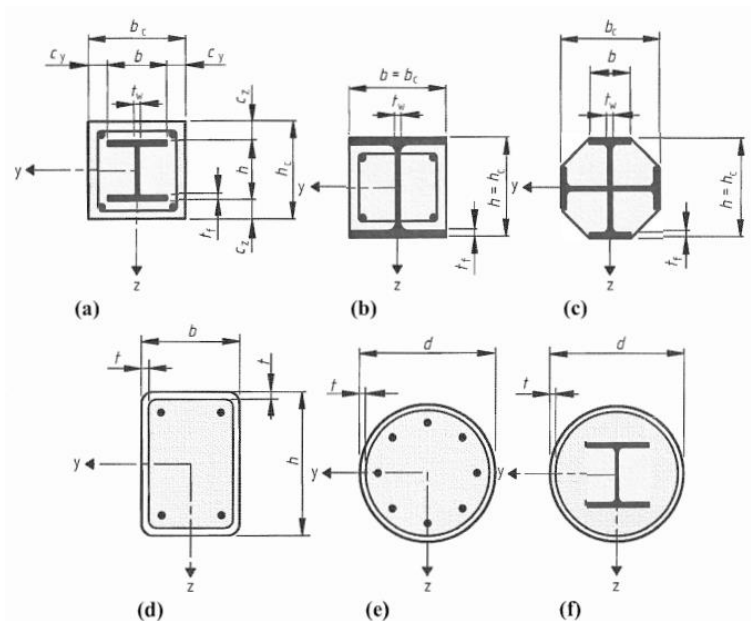
$$0,2 < \delta < 0,9 \quad (8.1)$$

Gdje je  $\delta$  parametar poprečnog presjeka koji se određuje iz izraza:

$$\delta = \frac{N_{pl,a,Rd}}{N_{pl,Rd}} \quad (8.2)$$

U izrazu oznaka  $N_{pl,a,Rd} = A_a \cdot f_{yd}$ , gdje je  $A_a$  površina poprečnog presjeka čelika, a  $f_{yd}$  je proračunska granica popuštanja čelika.

$N_{pl,Rd}$  je plastična otpornost poprečnog presjeka spregnutog stupa [7]



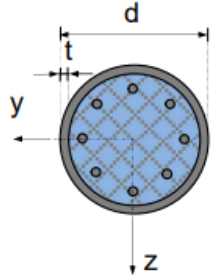
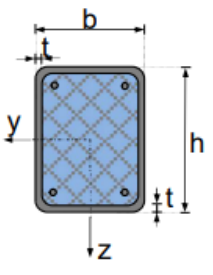
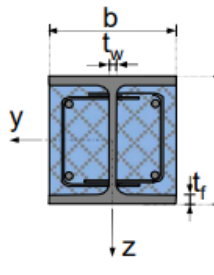
Slika 97. Tipični poprečni presjeci čeličnih stupova i oznake dimenzija [7]

### 8.3. Otpornost na lokalno izbočavanje

Beton smanjuje opasnost od nastanka pojave lokalnog izbočavanja dijelova čeličnog poprečnog presjeka stoga se ono može zanemariti kod potpuno ubetoniranih presjeka ako su osigurane dovoljne veličine zaštitnih slojeva  $c_y$  i  $c_z$ . Pretanak zaštitni sloj može dovesti do otpadanja, dok predebeo zaštitni sloj može dovesti do otpucavanja. Stoga treba voditi računa da debljina zaštitnog sloja bude između minimalne i maksimalne vrijednosti.

Kod djelomično obloženih presjeka, betonska obloga također ima svoju funkciju. Ona sprječava lokalnu nestabilnost hrpta i rotaciju pojasnice na mjestu spajanja s hrptom. Kod ostalih vrsta spregnutog presjeka učinak lokalnog izbočavanja može se zanemariti ako nisu prekoračene najveće vrijednosti iz tablice 14. [7]

*Tablica 14. Maksimalne vrijednosti  $d/t$ ,  $h/t$  i  $b/t_f$  [12]*

Kružni šuplji čelični presjek	Pravokutni šuplji čelični presjek	Djelomično obloženi I presjek
		
$\max (d / t) = 90 \frac{235}{f_y}$	$\max (h / t) = 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	$\max (b / t_f) = 44 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ] - granica popuštanja konstrukcijskog čelika		

### 8.4. Otpornost poprečnog presjeka spregnutih stupova

Potrebno je provjeriti nosivost poprečnog presjeka s obzirom na tlačnu silu, moment savijanja, kombinaciju tlačne sile i momenta savijanja te na poprečnu silu.

Otpornost spregnutog poprečnog presjeka na tlačnu silu sastoji se od zbroja otpornosti na tlačnu silu svih komponenti spregnutog poprečnog presjeka: čeličnog nosača, betona i armature.[7]

Otpornost se određuje iz izraza:

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot \alpha \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{sd} \quad (8.3)$$



Gdje su:

$A_a$  – ploština čeličnog nosača

$f_{yd}$  – proračunska granica popuštanja konstrukcijskog čelika

$A_c$  – ploština betonskog dijela poprečnog presjeka

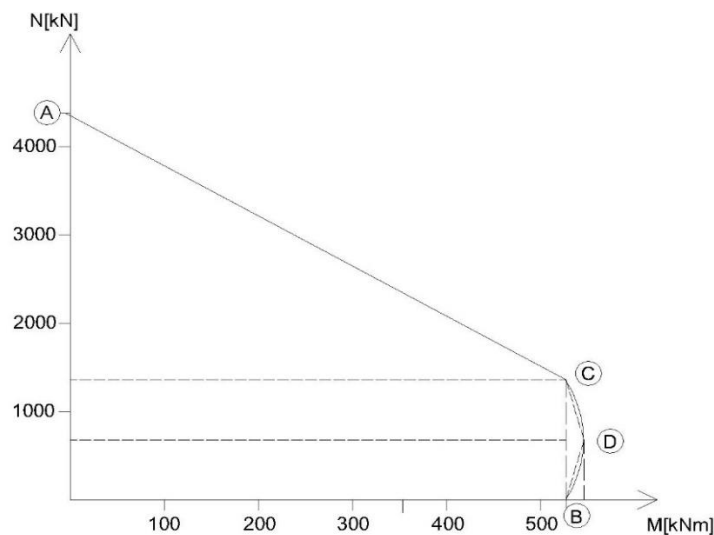
$f_{cd}$  – proračunska tlačna čvrstoća betona

$A_s$  – ploština armature

$f_{sd}$  – proračunska granica popuštanja armature

$\alpha$  – parametar koji ovisi o vrsti poprečnog presjeka, za nosača obloženih betonom iznosi 0,85, dok kod nosača ispunjenih betonom iznosi 1,0. [7]

Veličina uzdužne sile koja djeluje na poprečni presjek direktno određuje vrijednost otpornosti poprečnog presjeka na moment savijanja. Zbog toga je potrebno odrediti interakcijsku krivulju pri zajedničkom djelovanju uzdužne tlačne sile i momenta savijanja. Interakcijska krivulja prikazana je na slici 98, a određuje se pomoću četiri točke. [7]



**Slika 98.** Interakcijska krivulja

Točka A predstavlja otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu,  $N_{pl,Rd}$ .

Točka B predstavlja otpornost poprečnog presjeka na jednoosno savijanje,  $M_{pl,Rd}$ .

Točka C predstavlja otpornost poprečnog presjeka na jednoosno savijanje uz uzdužnu silu koja je jednaka proračunskoj vrijednosti otpornosti betonskog dijela poprečnog presjeka,  $N_{pm,Rd}$ .

Točka D predstavlja najveću otpornost na moment savijanja te se ta otpornost ostvaruje uz uzdužnu tlačnu silu koja je jednaka polovini proračunske otpornosti betonskog dijela poprečnog presjeka. [7]

S obzirom da se pretpostavlja da poprečnu silu preuzima čelični dio poprečnog presjeka, ako je vrijednost proračunske poprečne sile manja od polovice plastične otpornosti na poprečnu silu, nije potrebno smanjiti otpornost poprečnog presjeka na savijanje. Ukoliko je vrijednost poprečne sile veća od polovice otpornosti na poprečnu silu, potrebno je reducirati proračunsku granicu popuštanja za posmičnu površinu na način da se ona množi s faktorom smanjenja  $\rho_w = 1 - \rho$ .

Faktor  $\rho$  određuje se iz:

$$\rho = \left( \frac{2 \cdot V_{a,Ed}}{V_{pl,a,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (8.4)$$

gdje je  $V_{pl,a,Rd}$  plastična proračunska otpornost čeličnog nosača na poprečnu silu. [7]

### 8.5. Otpornost spregnutih stupova na izvijanje

Elastična kritična sila izvijanja  $N_{cr}$  određuje se primjenom izraza (8.5), a pripadna bezdimenzijska vitkost izrazom (8.6).

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff}}{L_{cr}^2} \quad (8.5)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}} \quad (8.6)$$

gdje su:

$(EI)_{eff}$  karakteristična vrijednost proračunske krutosti

$L_{cr}$  duljina izvijanja stupa [7]

$N_{pl,Rk}$  je karakteristična vrijednost plastične otpornosti na uzdužnu tlačnu silu koja se određuje iz izraza [7] :

$$N_{pl,Rk} = A_a \cdot f_{yk} + A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck} \quad (8.7)$$

Karakteristična vrijednost proračunske krutosti određuje se iz izraza:

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + K_e \cdot E_{c,m} \cdot I_c + E_s \cdot I_s \quad (8.8)$$

Gdje su:

$E_a$  – modul elastičnosti konstrukcijskog čelika

$I_a$  – moment tromosti čelika

$K_e$  – faktor korekcije za pojavu pukotina u betona ( $K_e = 0,6$ )

$E_{c,m}$  – sekantni modul elastičnosti betona

$I_c$  – moment tromosti neraspucalog betona

$E_s$  – modul elastičnosti armature

$I_s$  – moment tromosti čelika [7]

Ako se u obzir uzimaju učinci skupljanja i puzanja betona, vrijednost modula elastičnosti  $E_{cm}$  mora se smanjiti na vrijednost  $E_{c,eff}$  prema izrazu:

$$E_{c,eff} = E_{cm} \cdot \frac{1}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \varphi(t)} \quad (8.9)$$

Gdje je:

$N_{G,Ed}$  – proračunska vrijednost dijela tlačne sile zbog stalnog opterećenja

$N_{Ed}$  – ukupna proračunska vrijednost tlačne sile [7]

Faktor redukcije otpornosti na izvijanje određuje se iz izraza:

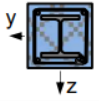
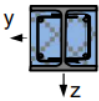
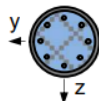
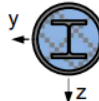
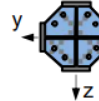
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (8.10)$$

Uz pomoć veličine :

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \quad (8.11)$$

U izrazu  $\alpha$  označava faktor imperfekcije koji se određuje na temelju linija izvijanja iz tablice 15.

Tablica 15. Krivulje izvijanja i imperfekcije elemenata spregnutih stupova [12]

Poprečni presjek	Ograničenja	Os izvijanja	Krivulja izvijanja	Imperfekcija elementa
<b>Profil obložen betonom</b> 		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
<b>Profil djelomično obložen betonom</b> 		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
<b>Kružni i pravokutni šuplji čelični presjek</b> 	$\rho_s \leq 3\%$	bilo koja	a	L/300
	$3\% < \rho_s \leq 6\%$		b	L/200
<b>Kružni šuplji čelični presjek s dodatnim I profilom</b> 		y-y	b	L/200
		z-z	b	
<b>Presjek djelomično obložen betonom s križnim I presjekom</b> 		bilo koja	b	L/200

Pri provjeri otpornosti elementa na interakciju momenta savijanja i uzdužne sile potrebno je odrediti vrijednost faktora  $\alpha_{cr}$  koji predstavlja omjer elastičnog kritičnog opterećenja izvijanja i proračunskog vertikalnog opterećenja koja djeluje na konstrukciju. Ako je  $\alpha_{cr} > 10$  primjenjuje se teorija prvog reda, a ako je  $\alpha_{cr} < 10$  potrebno je primijeniti teoriju drugog reda. Ukoliko je mjerodavna teorija drugog reda, proračunska vrijednost krutosti na savijanje određuje se iz izraza [7]:

$$(EI)_{eff,II} = K_0(E_a \cdot I_a + K_{e,II} \cdot E_{c,m} \cdot I_c + E_s \cdot I_s) \quad (8.12)$$

Oznake u izrazu su sljedeće:

$E_{c,m}$  – sekantni modul elastičnosti betona

$K_{e,II}$  – faktor korekcije (uzima se 0,5)

$K_0$  – faktor dobiven kalibracijom (uzima se 0,9)

$(EI)_{eff,II}$  – proračunska krutost na savijanje koja se primjenjuje za proračun unutarnjih sila kod proračuna prema teoriji 2. reda. [7]

Učinak teorije 2. reda može se približno uzeti u obzir faktorom  $k$  prema izrazu:

$$M_{Ed,II} = k \cdot M_{Ed,I} \quad (8.13)$$

Gdje su:

$M_{Ed,II}$  – moment savijanja prema teoriji drugog reda

$M_{Ed,I}$  – moment savijanja prema teoriji prvog reda

$k$  – faktor kojim uzimamo u obzir učinke teorije drugog reda [7]

Faktor  $k$  određuje se iz izraza:

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}} \geq 1,0 \quad (8.14)$$

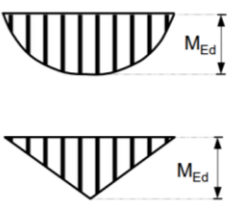
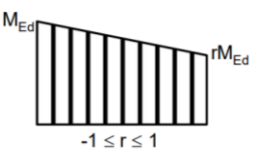
U izrazu oznake su sljedeće:

$\beta$  – faktor istovrijednog momenta prema tablici 16

$N_{cr,eff}$  – kritična tlačna sila, oko mjerodavne osi, dobivena s krutošću na savijanje

$(EI)_{eff,II}$  [7]

**Tablica 16.** Vrijednosti faktora ekvivalentnog momenta  $\beta$  [12]

Raspodjela momenta	Faktor ekvivalentnog momenta $\beta$	Komentar
	Moment savijanja prvog reda uslijed imperfekcije elementa ili bočnog (lateralnog) opterećenja:  $\beta = 1,0$	$M_{Ed}$ je najveći moment savijanja unutar dužine stupa ne uzimajući u obzir učinke drugog reda.
	Momenti na krajevima elementa:  $\beta = 0,66 + 0,44 \cdot r$  ali $\beta \geq 0,44$	$M_{Ed}$ i $rM_{Ed}$ su momenti na krajevima elementa iz globalne analize prvog ili drugog reda.

Dokaz nosivosti spregnutog stupa na izvijanje svodi se na zadovoljenje uvjeta da proračunska vrijednost uzdužne sile  $N_{Ed}$  bude manja ili jednaka smanjenoj plastičnoj otpornosti presjeka u skladu s izrazom [7]:

$$N_{Ed} \leq \chi \cdot N_{pl,Rd} \leq 1,0 \quad (8.15)$$

### 8.6. Otpornost spregnutih stupova na interakciju savijanja i tlačne sile

Kod proračuna otpornosti spregnutih stupova na interakciju savijanja i tlačne sile, potrebno je izračunati najveći moment savijanja u polovici dužine elementa  $M_{Ed,max,L/2}$ , uzimajući u obzir povećanje momenta zbog učinaka teorije 2. reda. Ako postoje samo momenti savijanja na krajevima elementa za navedeni postupak vrijedi izraz :

$$M_{Ed,max,L/2} = k_1 \cdot M_{Ed,\frac{L}{2}} + k_2 \cdot N_{Ed} \cdot e_0 \geq M_{max,Ed,I} \quad (8.16)$$

Oznake su sljedeće:

$M_{Ed,max,L/2}$  – najveći proračunski moment savijanja u polovici duljine tlačnog elementa po teoriji 2. reda

$M_{Ed,\frac{L}{2}}$  – proračunski moment savijanja u polovini duljine tlačnog elementa dobiven prema teoriji 1. reda

$N_{Ed}$  – proračunska uzdužna tlačna sila

$e_0$  – istovrijedna geometrijska nesavršenost prema tablici 15

$k_1$  – faktor povećanja momenta za osnovni momentni dijagram prema izrazu (8.14) i tablici 16.

$k_2$  – faktor povećanja momenta za momentni dijagram od istovrijedne geometrijske nesavršenosti prema izrazu (8.14) i tablici 16.

$M_{max,Ed,I}$  – najveći proračunski moment savijanja na krajevima promatranog tlačnog elementa [7]

Potrebno je dokazati nejednadžbu:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,N,Rd}} = \frac{M_{Ed}}{\mu_d \cdot M_{pl,Rd}} \leq \alpha_m \quad (8.17)$$

Gdje su:

$M_{Ed}$  – najveći moment koji se pojavljuje duž osi stupa

$M_{pl,N,Rd}$  – plastična otpornost na savijanje, uzimajući u obzir uzdužnu silu  $N_{Ed}$

$M_{pl,Rd}$  – plastična otpornost na savijanje

$\mu_d$  – faktor za proračun elementa opterećenog uzdužnom tlačnom silom i jednoosnim savijanjem

$\alpha_m$  – faktor koji uzima u obzir činjenicu da moment potpune plastičnosti  $M_{pl,Rd}$  ne može biti dosegnut radi ograničenja deformacije betona, za klase čelika S235, S275 i S355 iznosi 0,9, dok za klase S420 i S460 iznosi 0,8. [7]

## 9. DIMENZIONIRANJE SPREGNUTIH STUPOVA

S obzirom da je krutost spregnutog poprečnog presjeka veća u odnosu na čelični, u sklopu ovog rada željeli smo ispitati postoji li mogućnost da se čelični poprečni presjek stupova reducira uvodeći spregnuti presjek. Stoga je napravljen dodatni 3D model u računalnom programu SCIA Engineer 21.1 u kojem su čelični stupovi presjeka HE 320 B zamijenjeni spregnutim presjekom. Na temelju rezultata statičke analize provedene na novom modelu dimenzionirani su spregnuti stupovi prema HRN EN 1994. Najprije su dimenzionirani spregnuti stupovi djelomično ubetoniranog poprečnog presjeka HE 320 B, a nakon toga i spregnuti stupovi u potpunosti ubetoniranog poprečnog presjeka HE 320 B sa debljinom pokravnog sloja  $c_y = c_z = 50 \text{ mm}$ . Uspoređujući otpornosti poprečnog presjeka i otpornosti elemenata dobivene za čelični i za spregnute poprečne presjeke zaključeno je da su otpornosti podosta veće kod spregnutih presjeka te da se čelični dio presjeka može reducirati. Zbog toga je napravljen još jedan model sa spregnutim stupovima čiji se u potpunosti ubetoniran poprečni presjek sastoji od čeličnog profila HE 280 B i pokravnog sloja betona  $c_y = c_z = 60 \text{ mm}$  koji zadovoljava sve uvjete otpornosti.

### 9.1. Dimenzioniranje spregnutog stupa djelomično ubetoniranog presjeka HE 320 B

Stup na kojem će se provjeriti zadovoljava li otpornost na unutarnje sile je nosač B23 za mjerodavnu kombinaciju (COMB12).

Mjerodavni element:	
Oznaka:	<i>B23</i>
Profil:	Djelomično ubetoniran <i>HEB 320</i>
Duljina:	2,9 m
Mjerodavna kombinacija	
Granično stanje nosivosti:	<i>COMB 12</i>
Granično stanje uporabivosti:	COMB 21



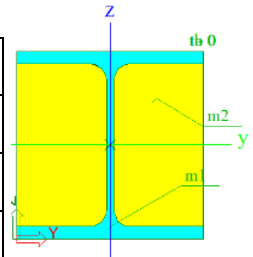
**9.1.1. Ulazni podaci**

## • Materijal

Klasa čelika:	S355
Klasa betona:	C30/37
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna čvrstoća čelika:	$f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$
Modul elastičnosti čelika:	$E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$
Poissonov koeficijent:	$\nu = 0,3$
Modul posmika:	$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$
Vlačna deformacija:	$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$
Tlačna čvrstoća betona:	$f_{cd} = 20,0 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$
Modul elastičnosti betona:	$E_{cm} = 33000 \text{ N/mm}^2 = 3000 \text{ kN/cm}^2$

## • Geometrijske karakteristike čeličnog poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEB 320
Težina po m':	$G = 127 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 161,0 \text{ cm}^2$
Visina profila:	$h = 320,0 \text{ mm}$
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 11,5 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 20,5 \text{ mm}$
Radijus zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$
Momenti tromosti:	$I_y = 30800,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 9240,0 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_y = 1930,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 616,0 \text{ cm}^3$
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 2150,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 939,0 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta:	$I_t = 230 \text{ cm}^4$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 2070000 \text{ cm}^6$
Radijusi tromosti:	$i_y = 13,8 \text{ cm}$ , $i_z = 7,57 \text{ cm}$



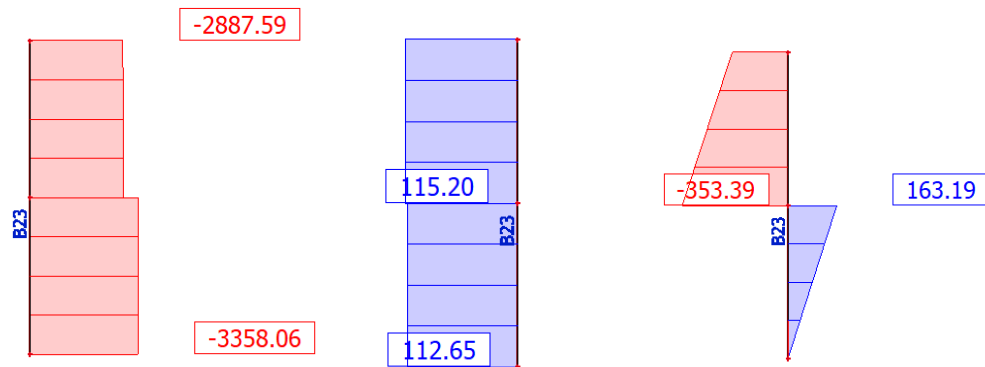
- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Učinci djelovanja (unutarnje sile):



Slika 99. Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja

### 9.1.2. Klasifikacija poprečnog presjeka

$$\max\left(\frac{b}{t_f}\right) = 44 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\frac{b}{t_f} = \frac{300}{20,5} = 14,63 < 44 \sqrt{\frac{235}{355}} = 35,80$$

### 9.1.3. Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$A_a = 161,0 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{uk} - A_a = (30 \cdot 32) - 161,0 = 799 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = 161,0 \cdot 32,3 + 799 \cdot 0,85 \cdot 2,0 = 6558,6 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{3358,06}{6558,6} < 1,00$$

0,51 < 1,00 → Uvjet zadovoljen.

- Kontrola udjela čelika u spregnutom stupu

Uvjet prema (8.1) glasi:

$$0,2 < \delta < 0,9$$

$$\delta = \frac{N_{pl,a,Rd}}{N_{pl,Rd}}$$

$$N_{pl,a,Rd} = A_a \cdot f_{yd} = 161,0 \cdot 32,3 = 5200,3 \text{ kN}$$

Stoga je:

$$\delta = \frac{N_{pl,a,Rd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{5200,3}{6558,6} = 0,79$$

0,2 <  $\delta = 0,79$  < 0,9 → Uvjet zadovoljen.

- Konstrukcijsko ograničenje za bočno torzijsko izvijanje

Uvjet:

$$0,2 \leq \frac{h_c}{b_c} \leq 5,0$$

$$\frac{h_c}{b_c} = \frac{320}{300} = 1,07$$

0,2 ≤ 1,07 ≤ 5,0 → Uvjet zadovoljen.

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 161 - 2 \cdot 30,0 \cdot 2,05 + (1,15 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,05 = 51,43 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 27,9 \cdot 1,15 = 38,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 51,43 \text{ cm}^2 \geq 38,5 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{51,43 \cdot (35,50/\sqrt{3})}{1,00} = 1054,11 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{115,20}{1054,11} = 0,11 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

$115,20 \text{ kN} < 0,5 \cdot 1054,11 = 527,06 \text{ kN} \rightarrow$  nema redukcije granice popuštanja čelika

- Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i uzdužne sile

Formiranje interakcijskog dijagrama za os y

$$N_{pm,Rd} = A_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 799 \cdot 0,85 \cdot 2,0 = 1358,3 \text{ kN}$$

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd}}{2 \cdot b_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} + 2 \cdot t_w \cdot (2 \cdot f_{yd} - 0,85 \cdot f_{cd})} = h_n$$

$$= \frac{1358,3}{2 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 2,0 + 2 \cdot 1,15 \cdot (2 \cdot 32,3 - 0,85 \cdot 2,0)} = 5,51 \text{ cm}$$

Uvjet:

$$h_n = 5,51 \text{ cm} \leq \frac{h}{2} - t_f = \frac{32}{2} - 2,05 = 13,95 \text{ cm} \rightarrow \text{neutralna os se nalazi u hrptu}$$

$$W_{pa} = W_{pl,y} = 2150,0 \text{ cm}^3,$$

$$W_{pc} = \frac{b_c \cdot h_c^2}{4} - W_{pa} = \frac{30 \cdot 32^2}{4} - 2150,0 = 5530 \text{ cm}^3$$

$$W_{pa,n} = t_w \cdot h_n^2 = 1,15 \cdot 5,51^2 = 34,91 \text{ cm}^3$$

$$W_{pc,n} = b_c \cdot h_n^2 - W_{pa,n} = 30 \cdot 5,51^2 - 34,91 = 910,80 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = M_{max,Rd} - M_{n,Rd}$$

$$M_{max,Rd} = W_{pa} \cdot f_{yd} + 0,5 \cdot W_{pc} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 2150 \cdot 32,3 + 0,5 \cdot 5530 \cdot 0,85 \cdot 2,0$$

$$= 74145 \text{ kNcm} = 741,45 \text{ kNm}$$

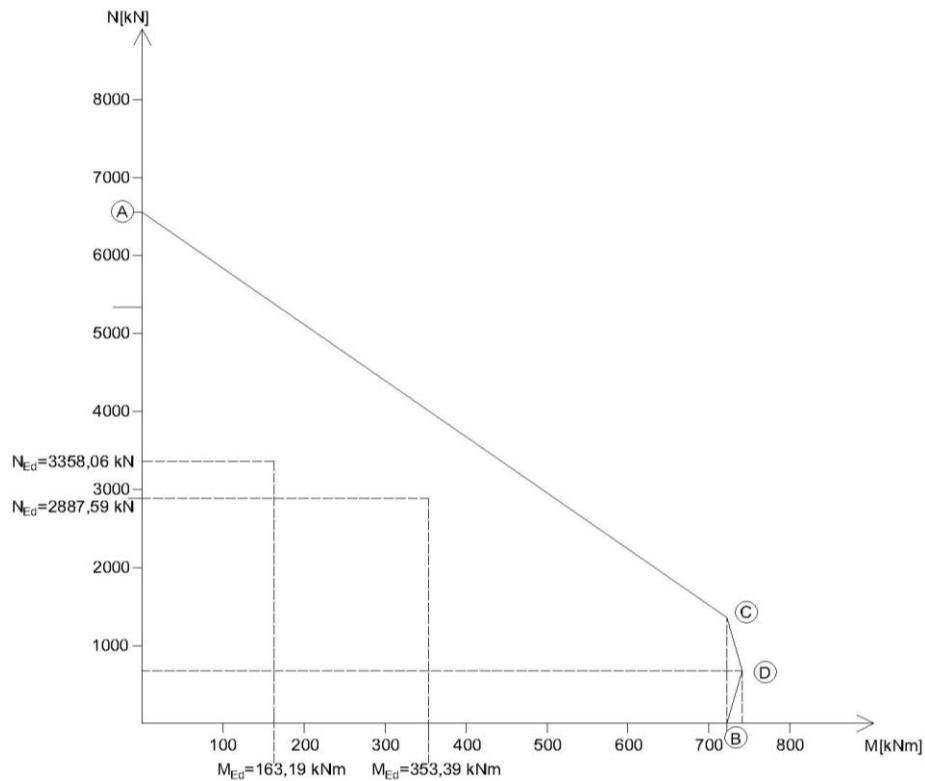
$$M_{n,Rd} = W_{pa,n} \cdot f_{yd} + 0,5 \cdot W_{pc,n} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 34,91 \cdot 32,3 + 0,5 \cdot 910,80 \cdot 0,85 \cdot 2,0$$

$$= 1902 \text{ kNcm} = 19,02 \text{ kNm}$$

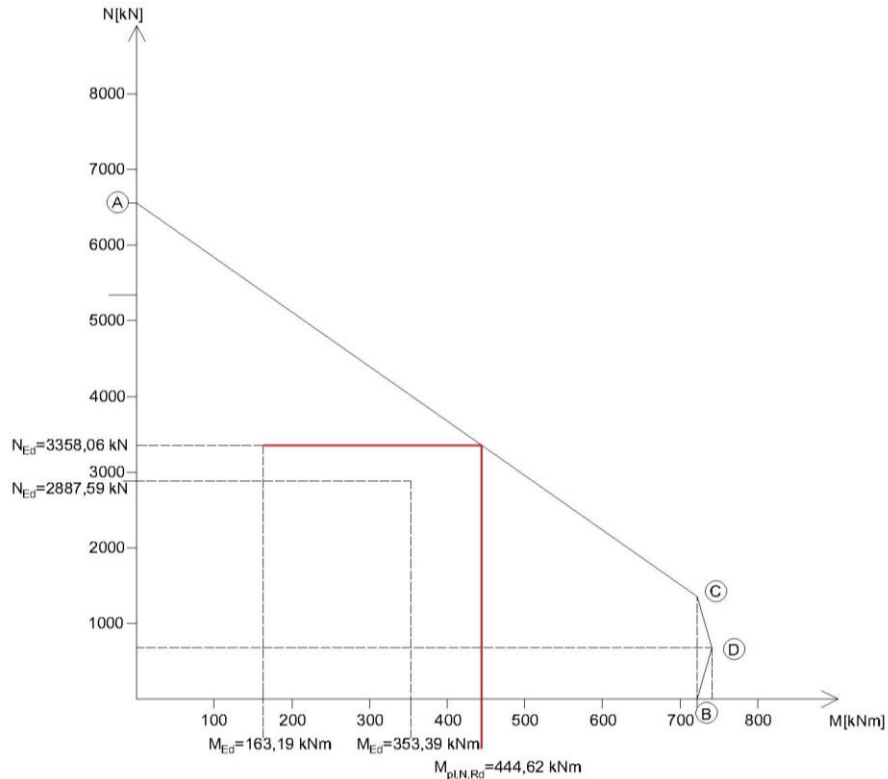
$$M_{pl,Rd} = 741,45 - 19,02 = 722,43 \text{ kNm}$$

Interakcijska krivulja

TOČKA A	$N = N_{pl,Rd} = 6558,6 \text{ kN}$
	$M = 0$
TOČKA B	$N = 0$
	$M = M_{pl,Rd} = 722,43 \text{ kNm}$
TOČKA C	$N = N_{pm,Rd} = 1358,3 \text{ kN}$
	$M = M_{pl,Rd} = 722,43 \text{ kNm}$
TOČKA D	$N = 0,5 \cdot N_{pm,Rd} = 679,15 \text{ kN}$
	$M = M_{max,Rd} = 741,45 \text{ kNm}$



Slika 100. Interakcijska krivulja



Slika 101. Očitavanje vrijednosti  $M_{pl,N,Rd}$  na interakcijskoj krivulji

### 9.1.5. Otpornost elementa

Efektivna krutost na savijanje  $(EI)_{eff}$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + K_e \cdot E_{c,eff} \cdot I_c$$

Puzanje betona

$$h_o = \frac{2 \cdot A_c}{u}$$

$$A_c = 799 \text{ cm}^2$$

$$u = 2 \cdot (b_c + h_c) = 2 \cdot (30 + 32) = 124 \text{ cm}$$

$$h_o = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 799}{124} = 12,89 \text{ cm}$$

Iz dijagrama je očitana vrijednost koeficijenta puzanja  $\varphi(t)$  koja iznosi 2,6.

Efektivni modul elastičnosti betona

$$E_{c,eff} = E_{cm} \cdot \frac{1}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \varphi(t)} = 3300 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1334,15}{3358,06} \cdot 2,6} = 1623,24 \text{ kNcm}^2$$

Efektivna krutost na savijanje oko osi y-y

$$I_{a,y} = 30800 \text{ cm}^4$$

$$I_{c,y} = \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} - I_{a,y} = \frac{30 \cdot 32^3}{12} - 30800 = 51120 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff,y} = 21000 \cdot 30800 + 0,6 \cdot 1623,24 \cdot 51120 = 6,97 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2$$

Efektivna krutost na savijanje oko osi z-z

$$I_{a,z} = 9240 \text{ cm}^4$$

$$I_{c,z} = \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} - I_{a,z} = \frac{30 \cdot 32^3}{12} - 9240 = 72680 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff,z} = 21000 \cdot 9240 + 0,6 \cdot 1623,24 \cdot 72680 = 2,65 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2$$

- Otpornost elementa na izvijanje

$$L_{cr,y} = 290 \text{ cm}$$

$$L_{cr,z} = \frac{L}{2} = \frac{290}{2} = 145 \text{ cm}$$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff}}{L_{cr}^2}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}$$

$$N_{pl,Rk} = A_a \cdot f_{yk} + A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck} = 161 \cdot 35,5 + 799 \cdot 0,85 \cdot 3,0 = 7752,95 \text{ kN}$$

Os y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff,y}}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 6,97 \cdot 10^8}{290^2} = 81796,84 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7752,95}{81796,84}} = 0,308$$

Os z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff,z}}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,65 \cdot 10^8}{145^2} = 124396,92 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{7752,95}{124396,92}} = 0,250 < 2,0$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Mjerodavna krivulja izvijanja određuje se za profil djelomično obložen betonom.

Za pripadajuće krivulje izvijanja očita se faktor imperfekcija (u normi HRN EN 1993-1-1:2014, tablica 6.1).

Os izvijanja y-y → krivulja izvijanja b → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,34$ .

Os izvijanja z-z → krivulja izvijanja c → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,49$ .

Određivanje pomoćne veličine  $\Phi_y$  i  $\Phi_z$  :

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja a i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,34$ .

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,308 - 0,2) + 0,308^2] = 0,566$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja b i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,49$ .

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,250 - 0,2) + 0,250^2] = 0,540$$

Faktori redukcije  $\chi_y$  i  $\chi_z$ :

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,566 + \sqrt{0,566^2 - 0,308^2}} = 0,961$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,540 + \sqrt{0,540^2 - 0,250^2}} = 0,982$$

$$\chi = \chi_{min} = 0,961$$

Računska otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot N_{pl,Rd} = 0,961 \cdot 6558,6 = 6302,81 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} < 1,00$$



$$\frac{3358,06}{6302,81} < 1,00$$

0,53 < 1,00 → Uvjet zadovoljen.

- Otpornost elementa na interakciju uzdužne sile i momenta savijanja

Uzimanje u obzir imperfekcije elementa prema tablici 15.:

$$e_0 = \frac{l}{200} = \frac{290}{200} = 1,45 \text{ cm}$$

$$\Delta M = N_{Ed} \cdot e_0 = 3358,06 \cdot 1,45 = 4869,19 \text{ kNcm} = 48,69 \text{ kNm}$$

Mjerodavna je elastična analiza 2.reda.

$$(EI)_{eff,II} = 0,9 \cdot (E_a \cdot I_a + 0,5 \cdot E_{c,eff} \cdot I_c)$$

U smjeru osi y-y

$$(EI)_{eff,y,II} = 0,9 \cdot (21000 \cdot 30800 + 0,5 \cdot 1623,24 \cdot 51120) = 6,19 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 6,19 \cdot 10^8}{290^2} = 72643,10 \text{ kN}$$

Koeficijenti  $k_1$  i  $k_2$  određuje se prema izrazu (8.14):

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}}$$

Iz tablice 16. očitamo vrijednost faktora  $\beta$  ovisno o raspodjeli momenta.

$$M_{Ed} = 353,39 \text{ kNm}$$

$$rM_{Ed} = 188,91 \text{ kNm}$$

Stoga slijedi da je  $r = 0,535$ . Za koeficijent  $k_1$  faktor  $\beta$  jednak je:

$$\beta = 0,66 + 0,44 \cdot r = 0,66 + 0,44 \cdot 0,535 = 0,895$$

$$k_1 = \frac{0,895}{1 - \frac{3358,06}{72643,10}} = 0,938$$

$$\Delta M_{y,Ed,I} = 48,69 \text{ kNm}$$

Za koeficijent  $k_2$  faktor  $\beta$  jednak je:  $\beta = 1,0$ .

$$k_2 = \frac{1,0}{1 - \frac{3358,06}{72643,10}} = 1,048$$

Moment prema teoriji drugog reda određuje se iz izraza (8.16):

$$M_{y,Ed,II} = k_1 \cdot M_{y,Ed,I} + k_2 \cdot \Delta M_{y,Ed,I} > M_{max,Ed,I}$$

$$M_{y,Ed,II} = 0,938 \cdot 353,39 + 1,048 \cdot 48,69 = 382,51 \text{ kNm} > M_{max,Ed,I} = 353,39 \text{ kNm}$$

Za klasu čelika S355 faktor  $\alpha_M$  iznosi:

$$\alpha_M = 0,9$$

Uvjet:

$$\frac{M_{Ed,II}}{M_{pl,N,Rd}} = \frac{M_{Ed}}{\mu_d \cdot M_{pl,Rd}} = \frac{382,51}{444,62} = 0,86 < 0,9 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen.}$$

## 9.2. Dimenzioniranje spregnutog stupa u potpunosti ubetoniranog presjeka HE 320 B

Stup na kojem će se provjeriti zadovoljava li otpornost na unutarnje sile je nosač B23 za mjerodavnu kombinaciju (COMB12).

Mjerodavni element:	
Oznaka:	B23
Profil:	U potpunosti ubetoniran HEB 320
Duljina:	2,9 m
Mjerodavna kombinacija	
Granično stanje nosivosti:	COMB 12
Granično stanje uporabivosti:	COMB 21

### 9.1.5. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa čelika: S355

Klasa betona: C30/37

Granica popuštanja čelika:  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$

Vlačna čvrstoća čelika:  $f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$

Modul elastičnosti čelika:  $E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$

Poissonov koeficijent:  $\nu = 0,3$

Modul posmika:  $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$

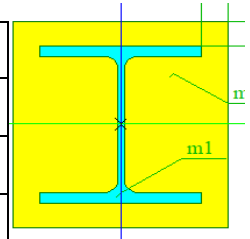
Vlačna deformacija:  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

Tlačna čvrstoća betona:  $f_{cd} = 20,0 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

Modul elastičnosti betona:  $E_{cm} = 33000 \text{ N/mm}^2 = 3000 \text{ kN/cm}^2$

- Geometrijske karakteristike čeličnog poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEB 320	
Težina po m':	$G = 127 \text{ kg/m}'$	
Površina poprečnog presjeka:	$A = 161,0 \text{ cm}^2$	
Visina profila:	$h = 320,0 \text{ mm}$	
Širina profila:	$b = 300,0 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t_w = 11,5 \text{ mm}$	
Debljina pojasnice:	$t_f = 20,5 \text{ mm}$	
Radius zaobljenja:	$r = 27,0 \text{ mm}$	
Momenti tromosti:	$I_y = 30800,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 9240,0 \text{ cm}^4$	
Momenti otpora:	$W_y = 1930,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 616,0 \text{ cm}^3$	
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 2150,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 939,0 \text{ cm}^3$	
Torzijska konstanta:	$I_t = 230 \text{ cm}^4$	
Konstanta krivljenja:	$I_w = 2070000 \text{ cm}^6$	
Radijusi tromosti:	$i_y = 13,8 \text{ cm}$ , $i_z = 7,57 \text{ cm}$	



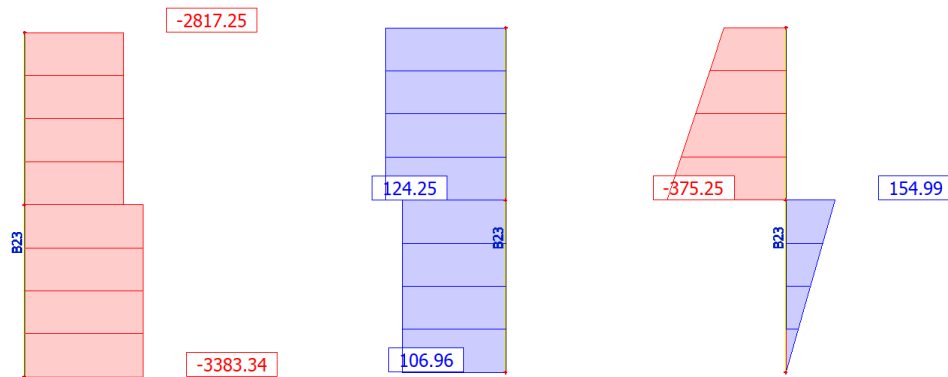
- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Učinci djelovanja (unutarnje sile):



Slika 102. Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja

**9.1.6. Kontrola dimenzija pokrivnog sloja betona**

Uvjeti:

$$c_y \leq 0,4 \cdot b; c_y > 40 \text{ mm}$$

$$c_z \leq 0,3 \cdot h; c_z > \min(40 \text{ mm}; \frac{b}{6} = 50 \text{ mm})$$

$$c_y = c_z = 50 \text{ mm}$$

$$40 \text{ mm} < c_y = 50 \text{ mm} < 0,4 \cdot b = 0,4 \cdot 300 = 120 \text{ mm} \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen.}$$

$$40 \text{ mm} < c_z = 50 \text{ mm} < 0,3 \cdot h = 0,3 \cdot 320 = 96 \text{ mm} \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen.}$$

**9.2.3. Otpornost poprečnog presjeka**

- Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$A_a = 161,0 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{uk} - A_a = (40 \cdot 42) - 161,0 = 1519 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = 161,0 \cdot 32,3 + 1519 \cdot 0,85 \cdot 2,0 = 7782,6 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{3383,34}{7782,6} < 1,00$$

$$0,43 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen.}$$

- Kontrola udjela čelika u spregnutom stupu

Uvjet prema (8.1) glasi:

$$0,2 < \delta < 0,9$$

$$\delta = \frac{N_{pl,a,Rd}}{N_{pl,Rd}}$$

$$N_{pl,a,Rd} = A_a \cdot f_{yd} = 161,0 \cdot 32,3 = 5200,3 \text{ kN}$$

Stoga je:

$$\delta = \frac{N_{pl,a,Rd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{5200,3}{7782,6} = 0,67$$

$0,2 < \delta = 0,67 < 0,9 \rightarrow$  Uvjet zadovoljen.

- Konstruktivsko ograničenje za bočno torzijsko izvijanje

Uvjet:

$$0,2 \leq \frac{h_c}{b_c} \leq 5,0$$

$$\frac{h_c}{b_c} = \frac{420}{400} = 1,05$$

$0,2 \leq 1,05 \leq 5,0 \rightarrow$  Uvjet zadovoljen.

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 161 - 2 \cdot 30,0 \cdot 2,05 + (1,15 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,05 = 51,43 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 27,9 \cdot 1,15 = 38,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 51,43 \text{ cm}^2 \geq 38,5 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{51,43 \cdot (35,50 / \sqrt{3})}{1,00} = 1054,11 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{124,25}{1054,11} = 0,12 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

$124,25 \text{ kN} < 0,5 \cdot 1054,11 = 527,06 \text{ kN} \rightarrow$  nema redukcije granice popuštanja čelika

- Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i uzdužne sile

Formiranje interakcijskog dijagrama za os y

$$N_{pm,Rd} = A_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 1519 \cdot 0,85 \cdot 2,0 = 2582,3 \text{ kN}$$

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd}}{2 \cdot b_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} + 2 \cdot t_w \cdot (2 \cdot f_{yd} - 0,85 \cdot f_{cd})} = h_n$$

$$= \frac{2582,3}{2 \cdot 40 \cdot 0,85 \cdot 2,0 + 2 \cdot 1,15 \cdot (2 \cdot 32,3 - 0,85 \cdot 2,0)} = 9,20 \text{ cm}$$

Uvjet:

$$h_n = 9,20 \text{ cm} \leq \frac{h}{2} - t_f = \frac{32}{2} - 2,05 = 13,95 \text{ cm} \rightarrow \text{neutralna os se nalazi u hrptu}$$

$$W_{pa} = W_{pl,y} = 2150,0 \text{ cm}^3,$$

$$W_{pc} = \frac{b_c \cdot h_c^2}{4} - W_{pa} = \frac{40 \cdot 42^2}{4} - 2150,0 = 15490 \text{ cm}^3$$

$$W_{pa,n} = t_w \cdot h_n^2 = 1,15 \cdot 9,20^2 = 97,34 \text{ cm}^3$$

$$W_{pc,n} = b_c \cdot h_n^2 - W_{pa,n} = 40 \cdot 9,20^2 - 97,34 = 3385,60 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = M_{max,Rd} - M_{n,Rd}$$

$$M_{max,Rd} = W_{pa} \cdot f_{yd} + 0,5 \cdot W_{pc} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 2150 \cdot 32,3 + 0,5 \cdot 15490 \cdot 0,85 \cdot 2,0$$

$$= 82611 \text{ kNcm} = 826,11 \text{ kNm}$$

$$M_{n,Rd} = W_{pa,n} \cdot f_{yd} + 0,5 \cdot W_{pc,n} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 97,34 \cdot 32,3 + 0,5 \cdot 3385,60 \cdot 0,85 \cdot 2,0$$

$$= 6568 \text{ kNcm} = 65,68 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 826,11 - 65,68 = 760,43 \text{ kNm}$$

Interakcijska krivulja

TOČKA A  $N = N_{pl,Rd} = 7782,60 \text{ kN}$

$$M = 0$$

TOČKA B  $N = 0$

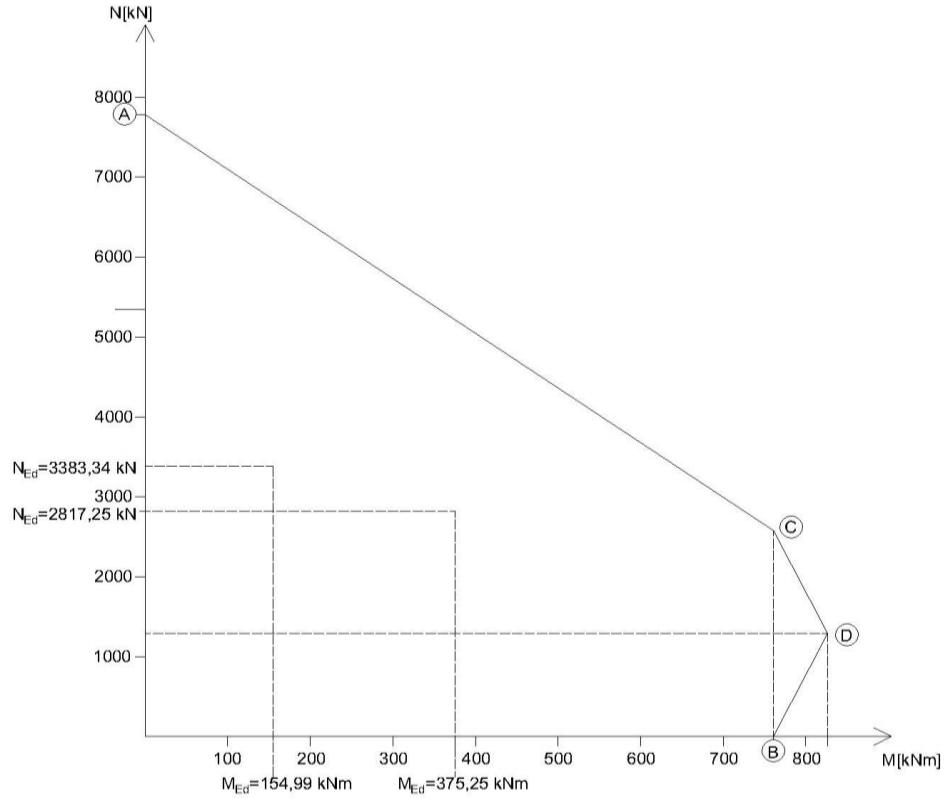
$$M = M_{pl,Rd} = 760,43 \text{ kNm}$$

TOČKA C  $N = N_{pm,Rd} = 2582,30 \text{ kN}$

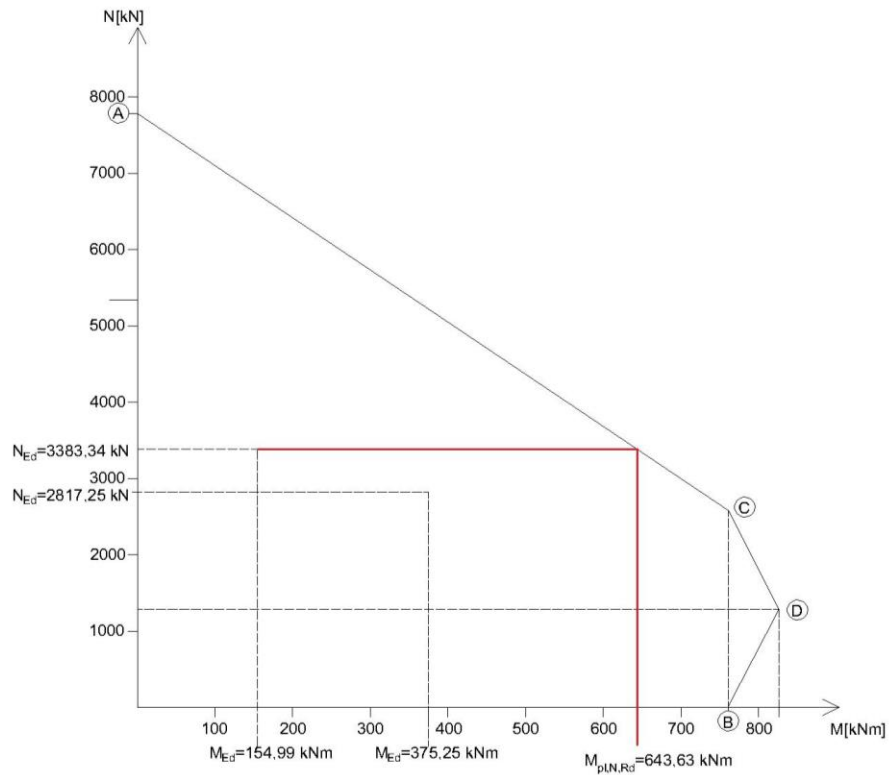
$$M = M_{pl,Rd} = 760,43 \text{ kNm}$$

TOČKA D  $N = 0,5 \cdot N_{pm,Rd} = 1291,15 \text{ kN}$

$$M = M_{max,Rd} = 826,11 \text{ kNm}$$



Slika 103. Interakcijska krivulja



Slika 104. Očitanje vrijednosti  $M_{pI,N,Rd}$  na interakcijskoj krivulji



**9.1.5. Otpornost elementa**

Efektivna krutost na savijanje  $(EI)_{eff}$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + K_e \cdot E_{c,eff} \cdot I_c$$

Puzanje betona

$$h_o = \frac{2 \cdot A_c}{u}$$

$$A_c = 1519 \text{ cm}^2$$

$$u = 2 \cdot (b_c + h_c) = 2 \cdot (40 + 42) = 164 \text{ cm}$$

$$h_o = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 1519}{164} = 18,52 \text{ cm}$$

Iz dijagrama je očitana vrijednost koeficijenta puzanja  $\varphi(t)$  koja iznosi 2,3.

Efektivni modul elastičnosti betona

$$E_{c,eff} = E_{cm} \cdot \frac{1}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \varphi(t)} = 3300 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1352,69}{3383,34} \cdot 2,3} = 1719,14 \text{ kNcm}^2$$

Efektivna krutost na savijanje oko osi y-y

$$I_{a,y} = 30800 \text{ cm}^4$$

$$I_{c,y} = \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} - I_{a,y} = \frac{40 \cdot 42^3}{12} - 30800 = 216160 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff,y} = 21000 \cdot 30800 + 0,6 \cdot 1719,14 \cdot 216160 = 8,70 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2$$

Efektivna krutost na savijanje oko osi z-z

$$I_{a,z} = 9240 \text{ cm}^4$$

$$I_{c,z} = \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} - I_{a,z} = \frac{40 \cdot 42^3}{12} - 9240 = 237720 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff,z} = 21000 \cdot 9240 + 0,6 \cdot 1719,14 \cdot 237720 = 4,39 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2$$

- Otpornost elementa na izvijanje

$$L_{cr,y} = 290 \text{ cm}$$

$$L_{cr,z} = \frac{L}{2} = \frac{290}{2} = 145 \text{ cm}$$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff}}{L_{cr}^2}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}$$

$$N_{pl,Rk} = A_a \cdot f_{yk} + A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck} = 161 \cdot 35,5 + 1519 \cdot 0,85 \cdot 3,0 = 9588,95 \text{ kN}$$

Os y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff,y}}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8,70 \cdot 10^8}{290^2} = 102099,36 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{9588,95}{102099,36}} = 0,306$$

Os z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff,z}}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 4,39 \cdot 10^8}{145^2} = 206076,40 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{9588,95}{206076,40}} = 0,216 < 2,0$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Mjerodavna krivulja izvijanja određuje se za profil djelomično obložen betonom.

Za pripadajuće krivulje izvijanja očita se faktor imperfekcija (u normi HRN EN 1993-1-1:2014, tablica 6.1).

Os izvijanja y-y → krivulja izvijanja b → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,34$ .

Os izvijanja z-z → krivulja izvijanja c → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,49$ .

Određivanje pomoćne veličine  $\Phi_y$  i  $\Phi_z$  :

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja a i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,34$ .

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,306 - 0,2) + 0,306^2] = 0,565$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja b i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,49$ .

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,216 - 0,2) + 0,216^2] = 0,527$$

Faktori redukcije  $\chi_y$  i  $\chi_z$ :

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,565 + \sqrt{0,565^2 - 0,306^2}} = 0,962$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,527 + \sqrt{0,527^2 - 0,216^2}} = 0,992$$

$$\chi = \chi_{min} = 0,962$$

Računska otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot N_{pl,Rd} = 0,962 \cdot 7782,6 = 7486,86 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{3383,34}{7486,86} < 1,00$$

$0,45 < 1,00 \rightarrow$  Uvjet zadovoljen.

- Otpornost elementa na interakciju uzdužne sile i momenta savijanja

Uzimanje u obzir imperfekcije elementa prema tablici 15.:

$$e_0 = \frac{l}{200} = \frac{290}{200} = 1,45 \text{ cm}$$

$$\Delta M = N_{Ed} \cdot e_0 = 3383,34 \cdot 1,45 = 4905,84 \text{ kNcm} = 49,05 \text{ kNm}$$

Mjerodavna je elastična analiza 2.reda.

$$(EI)_{eff,II} = 0,9 \cdot (E_a \cdot I_a + 0,5 \cdot E_{c,eff} \cdot I_c)$$

U smjeru osi y-y

$$(EI)_{eff,y,II} = 0,9 \cdot (21000 \cdot 30800 + 0,5 \cdot 1719,14 \cdot 216160) = 7,49 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 7,49 \cdot 10^8}{290^2} = 87899,33 \text{ kN}$$

Koeficijent  $k_1$  i  $k_2$  određuju se prema izrazu (8.14):

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}}$$

Faktor ekvivalentnog momenta  $\beta$

Iz tablice 16. očitamo vrijednost faktora  $\beta$  ovisno o raspodjeli momenta.

$$M_{Ed} = 375,25 \text{ kNm}$$

$$rM_{Ed} = 192,51 \text{ kNm}$$

Stoga slijedi da je  $r = 0,513$ . Za koeficijent  $k_1$  faktor  $\beta$  jednak je:

$$\beta = 0,66 + 0,44 \cdot r = 0,66 + 0,44 \cdot 0,513 = 0,886$$

$$k_1 = \frac{0,886}{1 - \frac{3383,34}{87899,33}} = 0,921$$

$$\Delta M_{y,Ed,I} = 49,05 \text{ kNm}$$

Za koeficijent  $k_2$  faktor  $\beta$  jednak je  $\beta = 1,0$ .

$$k_2 = \frac{1,0}{1 - \frac{3383,34}{87899,33}} = 1,040$$

Moment prema teoriji drugog reda određuje se iz izraza (8.16):

$$M_{y,Ed,II} = k_1 \cdot M_{y,Ed,I} + k_2 \cdot \Delta M_{y,Ed,I} > M_{max,Ed,I}$$

$$M_{y,Ed,II} = 0,921 \cdot 375,25 + 1,040 \cdot 49,05 = 396,62 \text{ kNm} > M_{max,Ed,I} = 375,25 \text{ kNm}$$

Za klasu čelika S355 faktor  $\alpha_M$  iznosi:

$$\alpha_M = 0,9$$

Uvjet:

$$\frac{M_{Ed,II}}{M_{pl,N,Rd}} = \frac{M_{Ed}}{\mu_d \cdot M_{pl,Rd}} = \frac{396,62}{643,63} = 0,62 < 0,9 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen.}$$

## 9.2. Rekapitulacija rezultata

Odabrani profil stupa:	Čelični HEB 320	Djelomično ubetonirani HEB 320	U Potpunosti ubetonirani HEB 320
Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu	5715,50 kN	6558,6 kN	7782,6 kN
Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu	1054,11 kN	1054,11 kN	1054,11 kN
Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i uzdužne sile	367,78 kNm	444,62 kNm	643,63 kNm
Otpornost elementa na izvijanje	5060,82 kN	6302,81 kN	7486,86 kN

## 9.3. Zaključak

Otpornosti poprečnog presjeka na uzdužnu silu, kao i otpornosti elementa na izvijanje veće su kod spregnutih poprečnih presjeka nego kod čeličnog. Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu ostaje nepromijenjena jer se pretpostavlja da poprečnu silu preuzima čelični dio presjeka. S obzirom da je utvrđeno da su otpornosti spregnutih presjeka veće, čelični dio spregnutog presjeka se može reducirati. Zbog toga je napravljen još jedan model sa spregnutim stupovima čiji se u potpunosti ubetoniran poprečni presjek sastoji od čeličnog profila HE 280 B i pokrivnog sloja betona  $c_y = c_z = 60 \text{ mm}$  koji zadovoljava sve uvjete otpornosti.

### 9.5. Dimenzioniranje spregnutog stupa

Stup na kojem će se provjeriti zadovoljava li otpornost na unutarnje sile je nosač B23 za mjerodavnu kombinaciju (COMB12).

Mjerodavni element:	
Oznaka:	B23
Profil:	U potpunosti ubetoniran HEB 280
Duljina:	2,9 m
Mjerodavna kombinacija	
Granično stanje nosivosti:	COMB 12
Granično stanje uporabivosti:	COMB 21

#### 9.5.1. Ulazni podaci

- Materijal

Klasa čelika: S355

Klasa betona: C30/37

Granica popuštanja čelika:  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2 = 35,5 \text{ kN/cm}^2$

Vlačna čvrstoća čelika:  $f_u = 490 \text{ N/mm}^2 = 49,0 \text{ kN/cm}^2$

Modul elastičnosti čelika:  $E = 210000 \text{ N/mm}^2 = 21000 \text{ kN/cm}^2$

Poissonov koeficijent:  $\nu = 0,3$

Modul posmika:  $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$

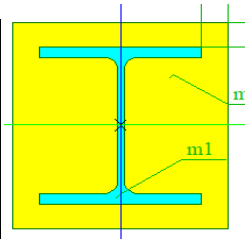
Vlačna deformacija:  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

Tlačna čvrstoća betona:  $f_{cd} = 20,0 \text{ N/mm}^2 = 2,0 \text{ kN/cm}^2$

Modul elastičnosti betona:  $E_{cm} = 33000 \text{ N/mm}^2 = 3000 \text{ kN/cm}^2$

- Geometrijske karakteristike čeličnog poprečnog presjeka

Odabrani profil:	HEB 280
Težina po m':	$G = 103 \text{ kg/m}'$
Površina poprečnog presjeka:	$A = 131,0 \text{ cm}^2$
Visina profila:	$h = 280,0 \text{ mm}$
Širina profila:	$b = 280,0 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t_w = 10,5 \text{ mm}$
Debljina pojasnice:	$t_f = 18,0 \text{ mm}$
Radijus zaobljenja:	$r = 24,0 \text{ mm}$
Momenti tromosti:	$I_y = 19300,0 \text{ cm}^4$ , $I_z = 6600,0 \text{ cm}^4$
Momenti otpora:	$W_y = 1380,0 \text{ cm}^3$ , $W_z = 471,0 \text{ cm}^3$
Plastični momenti otpora:	$W_{pl,y} = 1530,0 \text{ cm}^3$ , $W_{pl,z} = 718,0 \text{ cm}^3$
Torzijska konstanta:	$I_t = 146 \text{ cm}^4$
Konstanta krivljenja:	$I_w = 1130000 \text{ cm}^6$
Radijusi tromosti:	$i_y = 12,1 \text{ cm}$ , $i_z = 7,09 \text{ cm}$



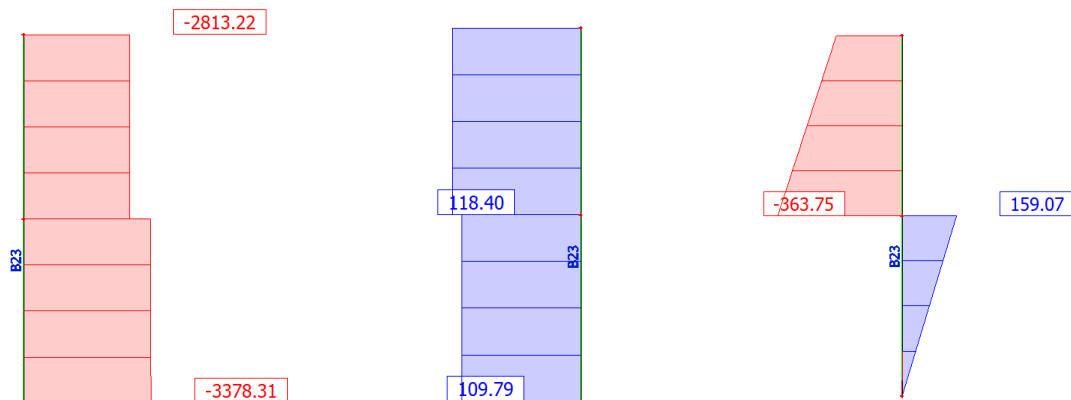
- Parcijalni faktori

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

- Učinci djelovanja (unutarnje sile):



Slika 105. Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja

### 9.5.2. Kontrola dimenzija pokrivnog sloja betona

Uvjeti:

$$c_y \leq 0,4 \cdot b; c_y > 40 \text{ mm}$$

$$c_z \leq 0,3 \cdot h; c_z > \min(40 \text{ mm}; \frac{b}{6} = 46,67 \text{ mm})$$

$$c_y = c_z = 60 \text{ mm}$$

$$40 \text{ mm} < c_y = 60 \text{ mm} < 0,4 \cdot b = 0,4 \cdot 280 = 112 \text{ mm} \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen.}$$

$$40 \text{ mm} < c_z = 60 \text{ mm} < 0,3 \cdot h = 0,3 \cdot 280 = 84 \text{ mm} \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen.}$$

### 9.5.3. Otpornost poprečnog presjeka

- Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} + A_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$A_a = 131,0 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_{uk} - A_a = (40 \cdot 40) - 131,0 = 1469 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = 131,0 \cdot 32,3 + 1469 \cdot 0,85 \cdot 2,0 = 6728,6 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{3378,31}{6728,6} < 1,00$$

$$0,50 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen.}$$

Kontrola udjela čelika u spregnutom stupu

Uvjet prema (8.1) glasi:

$$0,2 < \delta < 0,9$$

$$\delta = \frac{N_{pl,a,Rd}}{N_{pl,Rd}}$$

$$N_{pl,a,Rd} = A_a \cdot f_{yd} = 131,0 \cdot 32,3 = 4231,3 \text{ kN}$$

Stoga je:

$$\delta = \frac{N_{pl,a,Rd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{4231,3}{6728,6} = 0,63$$



$0,2 < \delta = 0,63 < 0,9 \rightarrow$  Uvjet zadovoljen.

Konstruktivsko ograničenje za bočno torzijsko izvijanje

Uvjet:

$$0,2 \leq \frac{h_c}{b_c} \leq 5,0$$

$$\frac{h_c}{b_c} = \frac{400}{400} = 1,0$$

$0,2 \leq 1,0 \leq 5,0 \rightarrow$  Uvjet zadovoljen.

- Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Plastična posmična otpornost

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

$$A_{V,z} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w$$

$$A_{V,z} = 131 - 2 \cdot 28,0 \cdot 1,8 + (1,05 + 2 \cdot 2,4) \cdot 1,8 = 40,73 \text{ cm}^2$$

$$\eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,20 \cdot 24,4 \cdot 1,05 = 30,74 \text{ cm}^2$$

$$A_{V,z} = 40,73 \text{ cm}^2 \geq 30,74 \text{ cm}^2$$

Prema tome slijedi:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{40,73 \cdot (35,50 / \sqrt{3})}{1,00} = 834,80 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{118,40}{834,80} = 0,14 < 1,00 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen}$$

$118,40 \text{ kN} < 0,5 \cdot 834,80 = 417,4 \text{ kN} \rightarrow$  nema redukcije granice popuštanja čelika

- Otpornost poprečnog presjeka na interakciju momenta savijanja i uzdužne sile

Formiranje interakcijskog dijagrama za os y

$$N_{pm,Rd} = A_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 1469 \cdot 0,85 \cdot 2,0 = 2497,3 \text{ kN}$$

$$h_n = \frac{N_{pm,Rd}}{2 \cdot b_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} + 2 \cdot t_w \cdot (2 \cdot f_{yd} - 0,85 \cdot f_{cd})} = h_n$$

$$= \frac{2497,3}{2 \cdot 40 \cdot 0,85 \cdot 2,0 + 2 \cdot 1,05 \cdot (2 \cdot 32,3 - 0,85 \cdot 2,0)} = 9,32 \text{ cm}$$

Uvjet:

$$h_n = 9,32 \text{ cm} \leq \frac{h}{2} - t_f = \frac{28}{2} - 1,8 = 12,2 \text{ cm} \rightarrow \text{neutralna os se nalazi u hrptu}$$

$$W_{pa} = W_{pl,y} = 1530,0 \text{ cm}^3,$$

$$W_{pc} = \frac{b_c \cdot h_c^2}{4} - W_{pa} = \frac{40 \cdot 40^2}{4} - 1530 = 14470,0 \text{ cm}^3$$

$$W_{pa,n} = t_w \cdot h_n^2 = 1,05 \cdot 9,32^2 = 91,21 \text{ cm}^3$$

$$W_{pc,n} = b_c \cdot h_n^2 - W_{pa,n} = 40 \cdot 9,32^2 - 91,21 = 3383,29 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = M_{max,Rd} - M_{n,Rd}$$

$$M_{max,Rd} = W_{pa} \cdot f_{yd} + 0,5 \cdot W_{pc} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 1530 \cdot 32,3 + 0,5 \cdot 14470,0 \cdot 0,85 \cdot 2,0$$

$$= 61718,5 \text{ kNcm} = 617,19 \text{ kNm}$$

$$M_{n,Rd} = W_{pa,n} \cdot f_{yd} + 0,5 \cdot W_{pc,n} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} = 91,21 \cdot 32,3 + 0,5 \cdot 3383,29 \cdot 0,85 \cdot 2,0$$

$$= 5821,88 \text{ kNcm} = 58,22 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 617,19 - 58,22 = 558,97 \text{ kNm}$$

Interakcijska krivulja

TOČKA A  $N = N_{pl,Rd} = 6728,6 \text{ kN}$

$$M = 0$$

TOČKA B  $N = 0$

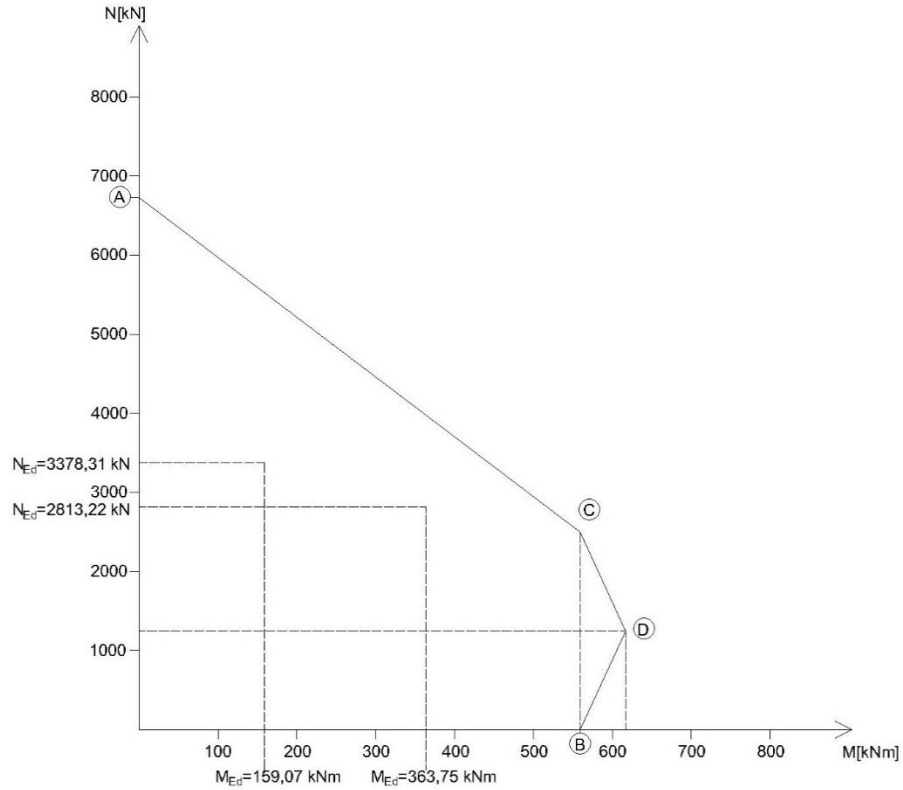
$$M = M_{pl,Rd} = 558,97 \text{ kNm}$$

TOČKA C  $N = N_{pm,Rd} = 2497,3 \text{ kN}$

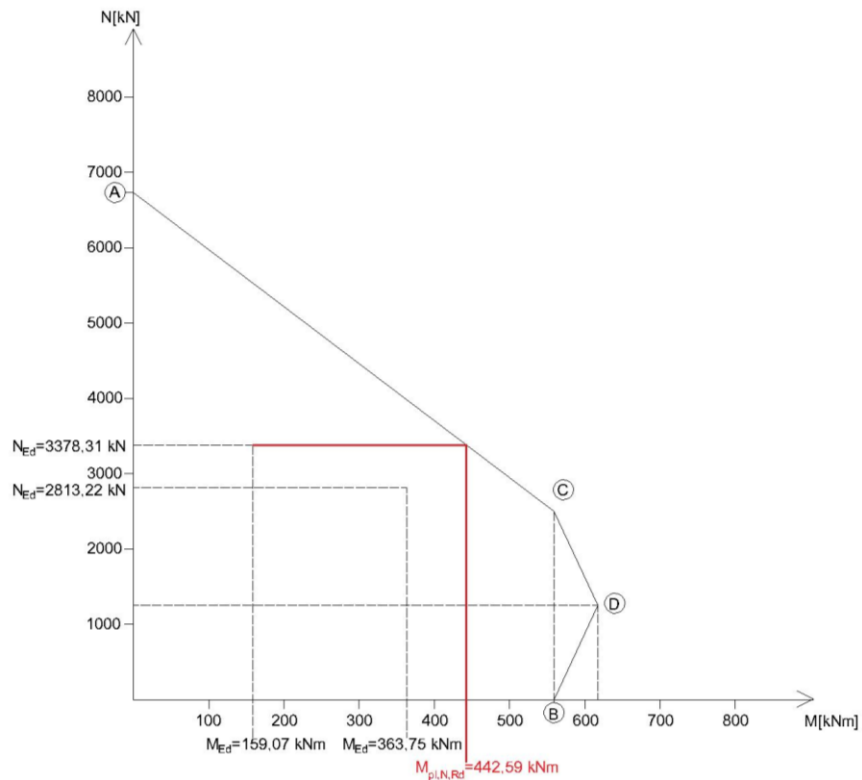
$$M = M_{pl,Rd} = 558,97 \text{ kNm}$$

TOČKA D  $N = 0,5 \cdot N_{pm,Rd} = 1248,65 \text{ kN}$

$$M = M_{max,Rd} = 617,19 \text{ kNm}$$



Slika 106. Interakcijska krivulja



Slika 107. Očitanje vrijednosti  $M_{pl,N,Rd}$  na interakcijskoj krivulji

**9.5.4. Otpornost elementa**

Efektivna krutost na savijanje  $(EI)_{eff}$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + K_e \cdot E_{c,eff} \cdot I_c$$

Puzanje betona

$$h_o = \frac{2 \cdot A_c}{u}$$

$$A_c = 1718 \text{ cm}^2$$

$$u = 2 \cdot (b_c + h_c) = 2 \cdot (40 + 40) = 160 \text{ cm}$$

$$h_o = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 1469}{160} = 18,36 \text{ cm}$$

Iz dijagrama je očitana vrijednost koeficijenta puzanja  $\varphi(t)$  koja iznosi 2,5.

Efektivni modul elastičnosti betona

$$E_{c,eff} = E_{cm} \cdot \frac{1}{1 + \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \varphi(t)} = 3300 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1349,18}{3378,31} \cdot 2,5} = 1651,31 \text{ kNcm}^2$$

Efektivna krutost na savijanje oko osi y-y

$$I_{a,y} = 19300 \text{ cm}^4$$

$$I_{c,y} = \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} - I_{a,y} = \frac{40 \cdot 40^3}{12} - 19300 = 194033,33 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff,y} = 21000 \cdot 19300 + 0,6 \cdot 1651,31 \cdot 194033,33 = 5,98 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2$$

Efektivna krutost na savijanje oko osi z-z

$$I_{a,z} = 6600 \text{ cm}^4$$

$$I_{c,z} = \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} - I_{a,z} = \frac{40 \cdot 40^3}{12} - 6600 = 206733,33 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff,z} = 21000 \cdot 6600 + 0,6 \cdot 1651,31 \cdot 206733,33 = 3,43 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2$$

- Otpornost elementa na izvijanje

$$L_{cr,y} = 290 \text{ cm}$$

$$L_{cr,z} = \frac{L}{2} = \frac{290}{2} = 145 \text{ cm}$$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff}}{L_{cr}^2}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}$$

$$N_{pl,Rk} = A_a \cdot f_{yk} + A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck} = 131 \cdot 35,5 + 1469 \cdot 0,85 \cdot 3,0 = 8396,45 \text{ kN}$$

Os y-y:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff,y}}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 5,98 \cdot 10^8}{290^2} = 70178,64 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{8396,45}{70178,64}} = 0,346$$

Os z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff,z}}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3,43 \cdot 10^8}{145^2} = 161011,86 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{8396,45}{161011,86}} = 0,228 < 2,0$$

Faktor redukcije:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

Mjerodavna krivulja izvijanja određuje se za profil djelomično obložen betonom.

Za pripadajuće krivulje izvijanja očita se faktor imperfekcija (u normi HRN EN 1993-1-1:2014, tablica 6.1).

Os izvijanja y-y → krivulja izvijanja b → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,34$ .

Os izvijanja z-z → krivulja izvijanja c → faktor imperfekcija  $\alpha = 0,49$ .

Određivanje pomoćne veličine  $\Phi_y$  i  $\Phi_z$  :

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja a i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,34$ .

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,346 - 0,2) + 0,346^2] = 0,585$$

Toplo dogotovljeni profil s krivuljom izvijanja b i faktorom imperfekcije  $\alpha = 0,49$ .

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,228 - 0,2) + 0,228^2] = 0,533$$

Faktori redukcije  $\chi_y$  i  $\chi_z$ :

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,585 + \sqrt{0,585^2 - 0,346^2}} = 0,946$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,533 + \sqrt{0,533^2 - 0,228^2}} = 0,985$$

$$\chi = \chi_{min} = 0,946$$

Računska otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot N_{pl,Rd} = 0,946 \cdot 6728,6 = 6365,26 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} < 1,00$$

$$\frac{3378,31}{6365,26} < 1,00$$

0,53 < 1,00 → Uvjet zadovoljen.

- Otpornost elementa na interakciju uzdužne sile i momenta savijanja

Uzimanje u obzir imperfekcije elementa prema tablici 15.:

$$e_0 = \frac{l}{200} = \frac{290}{200} = 1,45 \text{ cm}$$

$$\Delta M = N_{Ed} \cdot e_0 = 3378,31 \cdot 1,45 = 4898,55 \text{ kNcm} = 48,99 \text{ kNm}$$

Mjerodavna je elastična analiza 2.reda.

$$(EI)_{eff,II} = 0,9 \cdot (E_a \cdot I_a + 0,5 \cdot E_{c,eff} \cdot I_c)$$

U smjeru osi y-y

$$(EI)_{eff,y,II} = 0,9 \cdot (21000 \cdot 19300 + 0,5 \cdot 1651,31 \cdot 194033,33) = 5,09 \cdot 10^8 \text{ kNcm}^2$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 5,09 \cdot 10^8}{290^2} = 59733,99 \text{ kN}$$

Koeficijenti  $k_1$  i  $k_2$  određuju se prema izrazu (8.14):

$$k = \frac{\beta}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}}$$

Iz tablice 16. očitamo vrijednost faktora  $\beta$  ovisno o raspodjeli momenta.

$$M_{Ed} = 363,75 \text{ kNm}$$

$$rM_{Ed} = 192,07 \text{ kNm}$$

Stoga slijedi da je  $r = 0,528$ . Za koeficijent  $k_1$  faktor  $\beta$  jednak je :

$$\beta = 0,66 + 0,44 \cdot r = 0,66 + 0,44 \cdot 0,528 = 0,892$$

$$k_1 = \frac{0,892}{1 - \frac{3378,31}{59733,99}} = 0,945$$

$$\Delta M_{y,Ed,I} = 48,99 \text{ kNm}$$

Za koeficijent  $k_2$  faktor  $\beta$  jednak je:  $\beta = 1,0$ .

$$k_2 = \frac{1,0}{1 - \frac{3378,31}{59733,99}} = 1,060$$

Moment prema teoriji drugog reda određuje se iz izraza(8.16):

$$M_{y,Ed,II} = k_1 \cdot M_{y,Ed,I} + k_2 \cdot \Delta M_{y,Ed,I} > M_{max,Ed,I}$$

$$M_{y,Ed,II} = 0,945 \cdot 363,75 + 1,060 \cdot 48,99 = 395,67 \text{ kNm} > M_{max,Ed,I} = 363,75 \text{ kNm}$$

Za klasu čelika S355 faktor  $\alpha_M$  iznosi:

$$\alpha_M = 0,9$$

Uvjet:

$$\frac{M_{Ed,II}}{M_{pl,N,Rd}} = \frac{M_{Ed}}{\mu_d \cdot M_{pl,Rd}} = \frac{395,67}{442,59} = 0,89 < 0,9 \rightarrow \text{Uvjet zadovoljen.}$$

## 10. DIMENZIONIRANJE PRIKLJUČAKA

### 10.1. Priključak stope stupa

#### Project item Stopa stupa

#### Design

Name	Stopa stupa
Description	Stopa stupa
Analysis	Stress, strain/ simplified loading

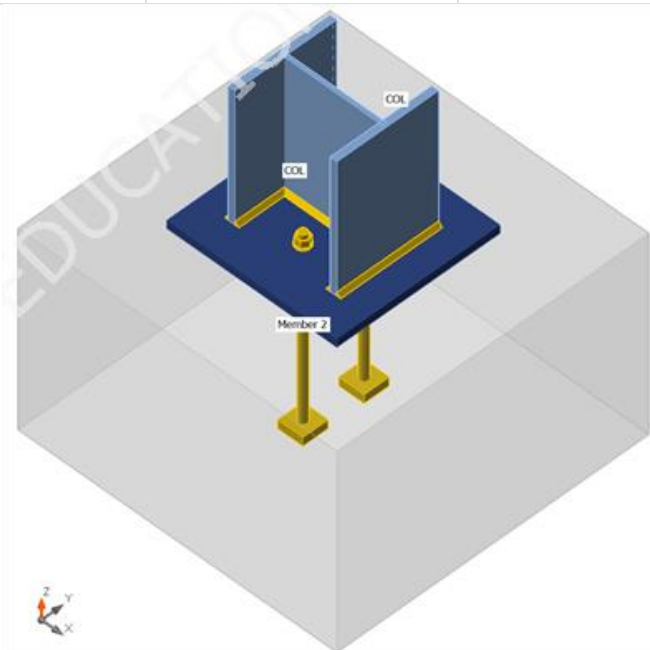
#### Members

#### Geometry

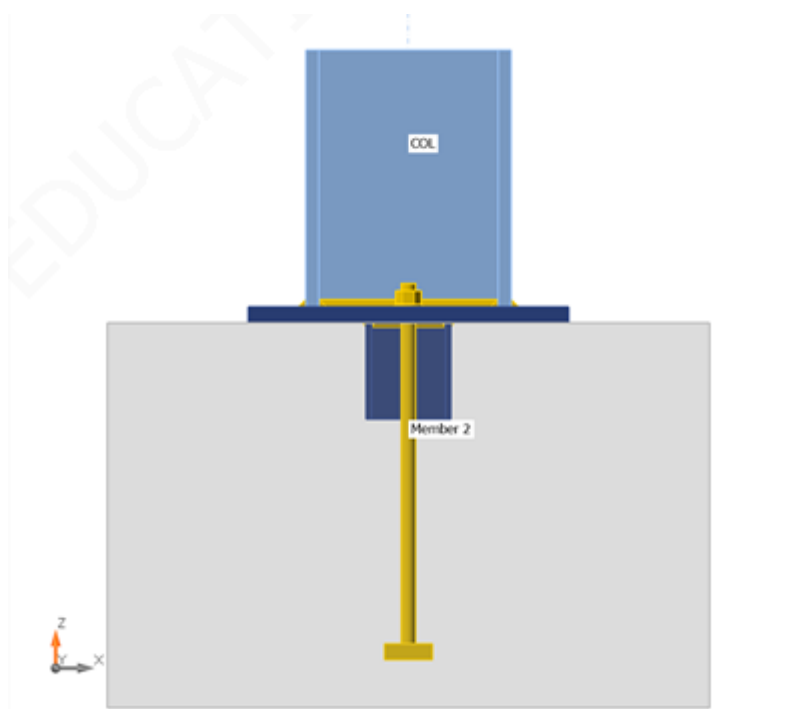
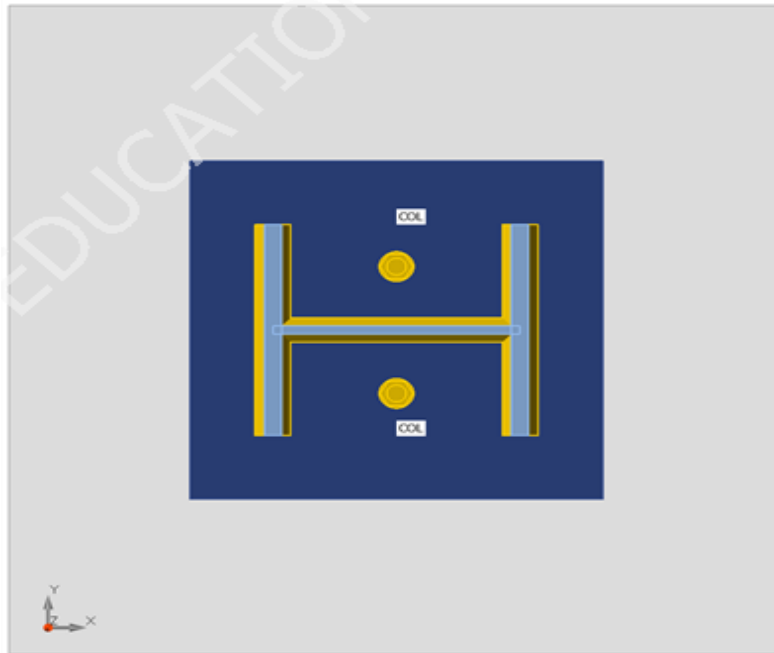
Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
COL	35 - HEB320	0.0	90.0	0.0	0	0	0

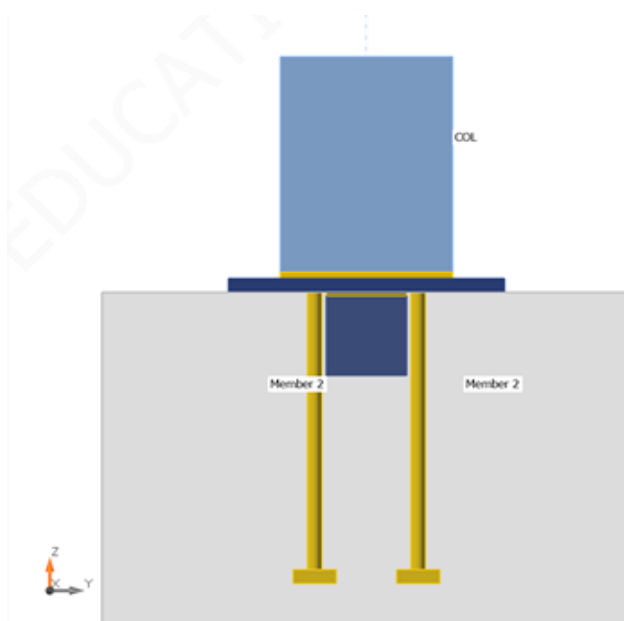
#### Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
COL / end		Node	0









### Cross-sections

Name	Material
35 - HEB320	S 355
43 - CON1(HEA140)	S 355

### Anchors

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M24 8.8	M24 8.8	24	800.0	452

### Load effects (Equilibrium not required)

Name	Member	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
LE1	COL / End	-3286.5	0.0	93.1	0.0	0.0	0.0

### Foundation block

Item	Value	Unit
<b>CB 1</b>		
Dimensions	920 x 940	mm
Depth	600	mm
Anchor	M24 8.8	
Anchoring length	500	mm
Shear force transfer	Shear lug	
Cross-section of shear lug	CON1(HEA140)	
Length of shear lug	150	mm

## Check

### Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.0 < 5.0%	OK
Anchors	0.1 < 100%	OK
Welds	98.8 < 100%	OK
Concrete block	85.0 < 100%	OK
Shear	44.8 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

### Plates

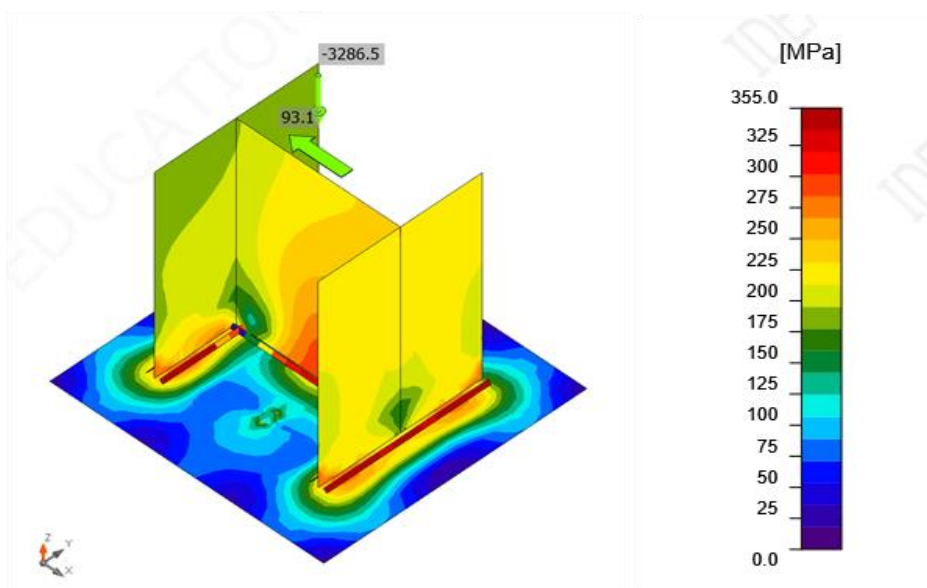
Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
COL-bfl 1	20.5	LE1	270.3	0.0	0.0	OK
COL-tfl 1	20.5	LE1	270.5	0.0	0.0	OK
COL-w 1	11.5	LE1	313.3	0.0	0.0	OK
Member 2-bfl 1	8.5	LE1	319.2	0.0	0.0	OK
Member 2-tfl 1	8.5	LE1	348.8	0.0	0.0	OK
Member 2-w 1	5.5	LE1	270.4	0.0	0.0	OK
BP1	25.0	LE1	325.3	0.0	0.0	OK

### Design data

Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 355	355.0	5.0

### Symbol explanation

$t_p$	Plate thickness
$\sigma_{Ed}$	Equivalent stress
$\epsilon_{pl}$	Plastic strain
$\sigma_{c,Ed}$	Contact stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain



Equivalent stress, LE1

### Anchors

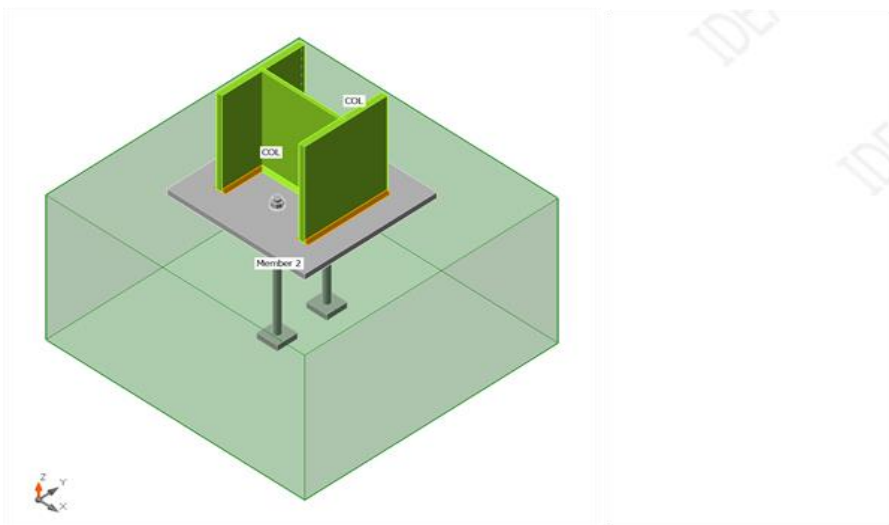
Shape	Item	Loads	$N_{Ed}$ [kN]	$N_{Rd,p}$ [kN]	$V_{Rd,cp}$ [kN]	$U_t$ [%]	$U_s$ [%]	$U_{ts}$ [%]	Status
	A1	LE1	0.0	646.6	329.9	0.0	0.1	0.0	OK
	A2	LE1	0.0	646.6	329.9	0.0	0.1	0.0	OK

### Design data

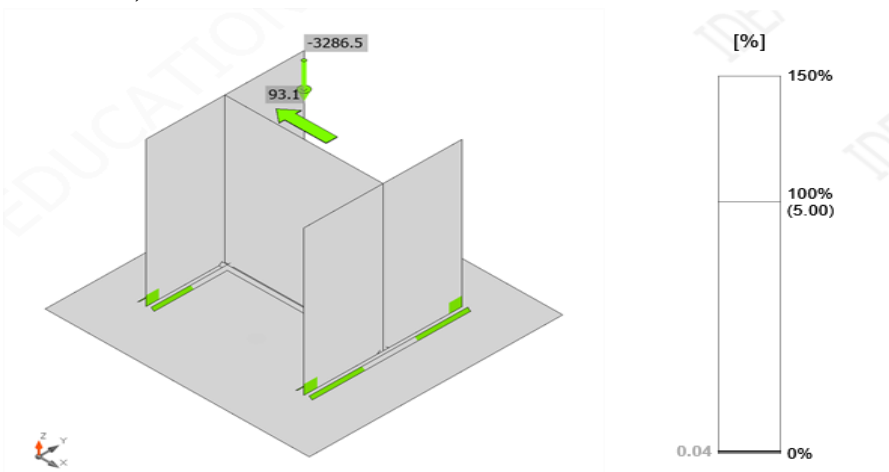
Grade	$N_{Rd,s}$ [kN]	$V_{Rd,s}$ [kN]
M24 8.8 - 1	160.0	113.0

### Symbol explanation

$N_{Ed}$	Tension force
$N_{Rd,p}$	Design resistance in case of pull-out failure - EN 1992-4 – 7.2.1.5
$V_{Rd,cp}$	Design resistance in case of concrete pryout failure - EN 1992-4 – 7.2.2.4
$U_t$	Utilization in tension
$U_s$	Utilization in shear
$U_{ts}$	Utilization in tension and shear
$N_{Rd,s}$	Design tensile resistance of a fastener in case of steel failure - EN 1992-4 – 7.2.1.3
$V_{Rd,s}$	Design shear resistance of a fastener in case of steel failure - EN 1992-4 – 7.2.2.3.1



Overall check, LE1



Strain check, LE1

**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> [%]	Status
BP1	COL-bfl 1	▲ 8.0 L	299	LE1	429.8	1.7	-207.3	-201.7	-81.1	98.7	85.8	OK
		▲ 8.0 L	299	LE1	429.9	1.7	-200.3	205.8	76.5	98.7	91.7	OK
BP1	COL-tfl 1	▲ 8.0 L	299	LE1	430.4	2.0	-198.9	-207.9	-73.1	98.8	95.6	OK
		▲ 8.0 L	299	LE1	429.9	1.8	-209.9	199.9	83.5	98.7	84.2	OK
BP1	COL-w 1	▲ 8.0 L	298	LE1	370.1	0.0	-185.6	-184.3	14.8	85.0	57.5	OK
		▲ 8.0 L	298	LE1	371.6	0.0	-184.1	185.5	-17.5	85.3	57.4	OK
BP1	Member 2-bfl 1	▲ 4.0 L	139	LE1	427.3	0.3	151.2	146.6	178.2	98.1	75.4	OK
		▲ 4.0 L	139	LE1	427.9	0.6	188.0	-190.7	-113.6	98.3	66.6	OK
BP1	Member 2-tfl 1	▲ 4.0 L	139	LE1	427.1	0.2	-219.7	-179.0	-112.5	98.1	68.7	OK
		▲ 4.0 L	139	LE1	427.6	0.4	193.7	-178.4	128.9	98.2	77.1	OK

BP1	Member 2-w 1	▲ 4.0 L	124	LE1	225.9	0.0	-104.8	-91.2	-70.9	51.9	26.2	OK
		▲ 4.0 L	124	LE1	277.5	0.0	-101.6	115.1	94.8	63.7	27.6	OK

**Design data**

Material	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 355	0.90	435.6	352.8

**Symbol explanation**

$T_w$	Throat thickness a
L	Length
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$T_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$T_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
Ut	Utilization
$Ut_c$	Weld capacity utilization
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance: $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
▲	Fillet weld

**Concrete block**

Item	Loads	c [mm]	$A_{eff}$ [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [MPa]	$k_j$ [-]	$f_{jd}$ [MPa]	Ut [%]	Status
CB 1	LE1	45	104945	31.4	2.76	37.0	85.0	OK

**Symbol explanation**

c	Bearing width
$A_{eff}$	Effective area
$\sigma$	Average stress in concrete
$k_j$	Concentration factor
$f_{jd}$	The ultimate bearing strength of the concrete block
Ut	Utilization

**Shear in contact plane**

Name	Loads	$V_v$ [kN]	$V_z$ [kN]	$V_{Rd,y}$ [kN]	$V_{Rd,z}$ [kN]	$V_{c,Rd}$ [kN]	$U_t$ [%]	Status
BP1	LE1	0.0	92.9	487.8	207.6	369.6	44.8	OK


**Symbol explanation**

$V_y$	Shear force in base plate $V_y$
$V_z$	Shear force in base plate $V_z$
$V_{Rd,y}$	Shear resistance
$V_{Rd,z}$	Shear resistance
$V_{c,Rd}$	Concrete bearing resistance
$U_t$	Utilization

**Buckling**

Buckling analysis was not calculated.

**Bill of material**
**Manufacturing operations**

Name	Plates [mm]	Shape	Nr.	Welds [mm]	Length [mm]	Bolts	Nr.
BP1	P25.0x480.0-500.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 8.0 Double fillet: a = 4.0	899.5 404.5	M24 8.8	2

**Welds**

Type	Material	Throat thickness [mm]	Leg size [mm]	Length [mm]
Double fillet	S 355	8.0	11.3	899.5
Double fillet	S 355	4.0	5.7	404.5

**Anchors**

Name	Length [mm]	Drill length [mm]	Count
M24 8.8	525	500	2

**Code settings**

Item	Value	Unit	Reference
Safety factor $\gamma_{M0}$	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor $\gamma_{M1}$	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor $\gamma_{M2}$	1.25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor $\gamma_{M3}$	1.25	-	EN 1993-1-8: 2.2

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



## 10.2. Priključak sekundarnog nosača na uzdužni nosač

## Project item Priključak sekundarnog nosača na uzdužni nosač

## Design

Name	Priključak sekundarnog nosača na uzdužni nosač
Description	Priključak sekundarnog nosača na uzdužni nosač
Analysis	Stress, strain/ simplified loading

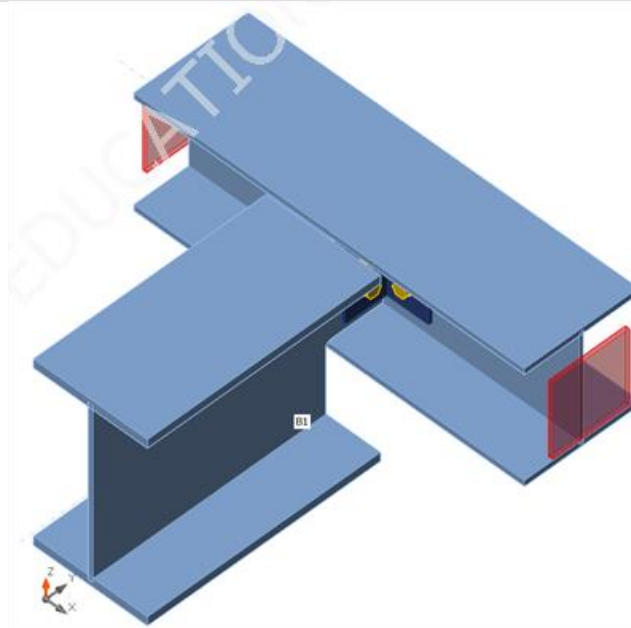
## Members

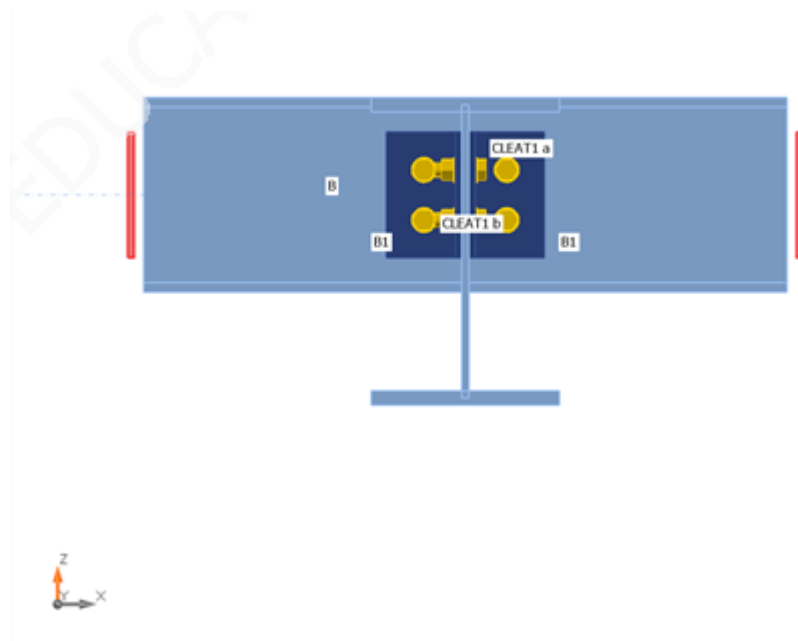
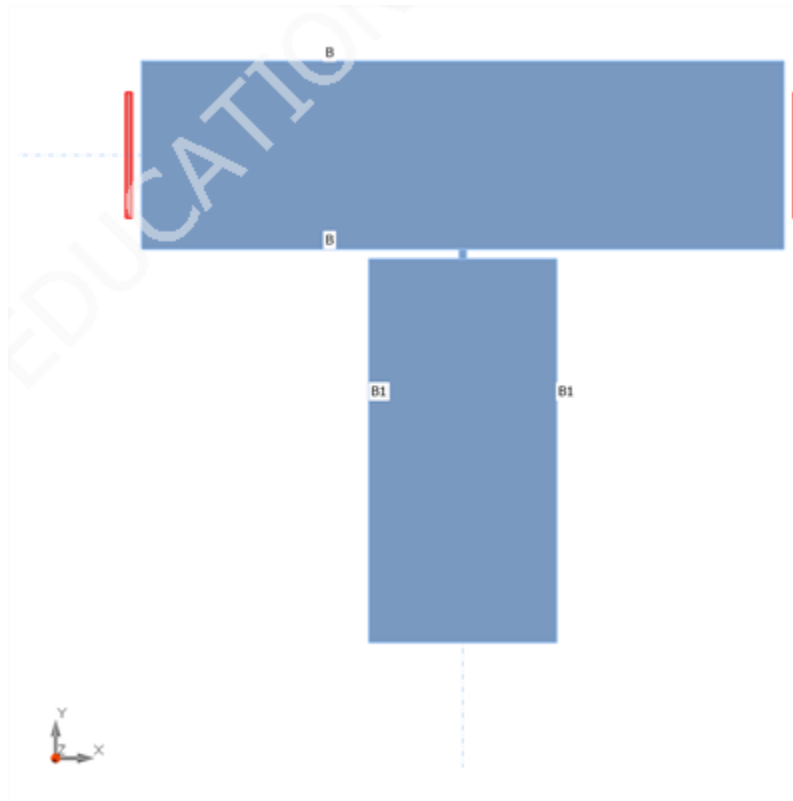
## Geometry

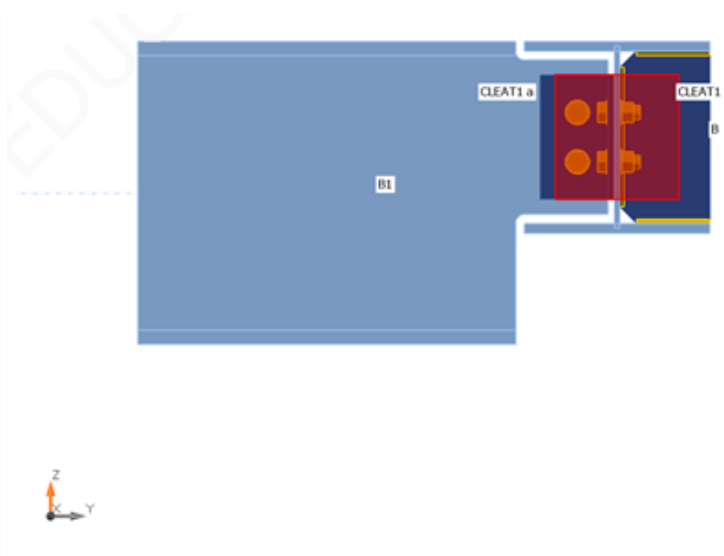
Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B	36 - HEA320	0.0	0.0	0.0	0	0	120
B1	37 - HEA500	-90.0	0.0	0.0	0	0	30

## Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
B / begin	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
B / end	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
B1 / end		Bolts	64







### Cross-sections

Name	Material
36 - HEA320	S 355
37 - HEA500	S 355
38 - L120	S 355

### Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M22 8.8	M22 8.8	22	800.0	380

### Load effects (Equilibrium not required)

Name	Member	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
LE1	B1 / End	0.0	0.0	-249.4	0.0	0.0	0.0

### Check

### Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	1.3 < 5.0%	OK
Bolts	90.5 < 100%	OK
Welds	96.1 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

**Plates**

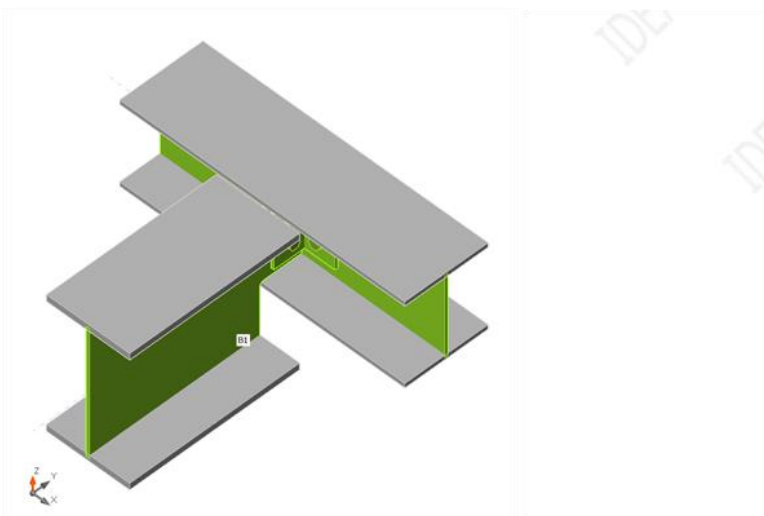
Name	$t_b$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{Pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B-bfl 1	15.5	LE1	166.6	0.0	0.0	OK
B-tfl 1	15.5	LE1	177.6	0.0	0.0	OK
B-w 1	9.0	LE1	356.4	0.7	151.6	OK
B1-bfl 1	23.0	LE1	52.1	0.0	0.0	OK
B1-tfl 1	23.0	LE1	52.0	0.0	0.0	OK
B1-w 1	12.0	LE1	355.4	0.2	185.7	OK
CLEAT1 a-bfl 1	10.0	LE1	357.7	1.3	608.2	OK
CLEAT1 a-w 1	10.0	LE1	356.1	0.5	608.2	OK
CLEAT1 b-bfl 1	10.0	LE1	357.4	1.1	616.4	OK
CLEAT1 b-w 1	10.0	LE1	356.0	0.5	616.4	OK
STIFF1	10.0	LE1	165.6	0.0	0.0	OK

**Design data**

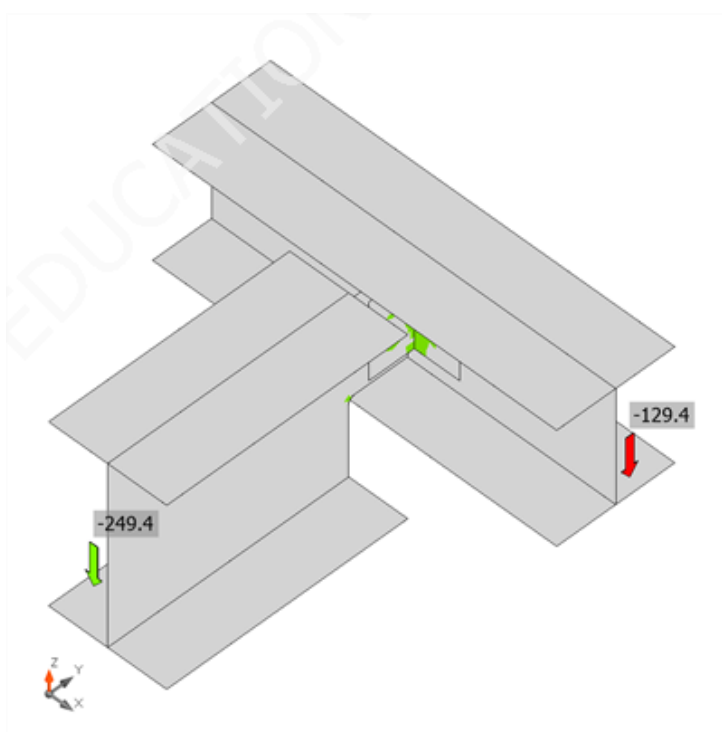
Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 355	355.0	5.0

**Symbol explanation**

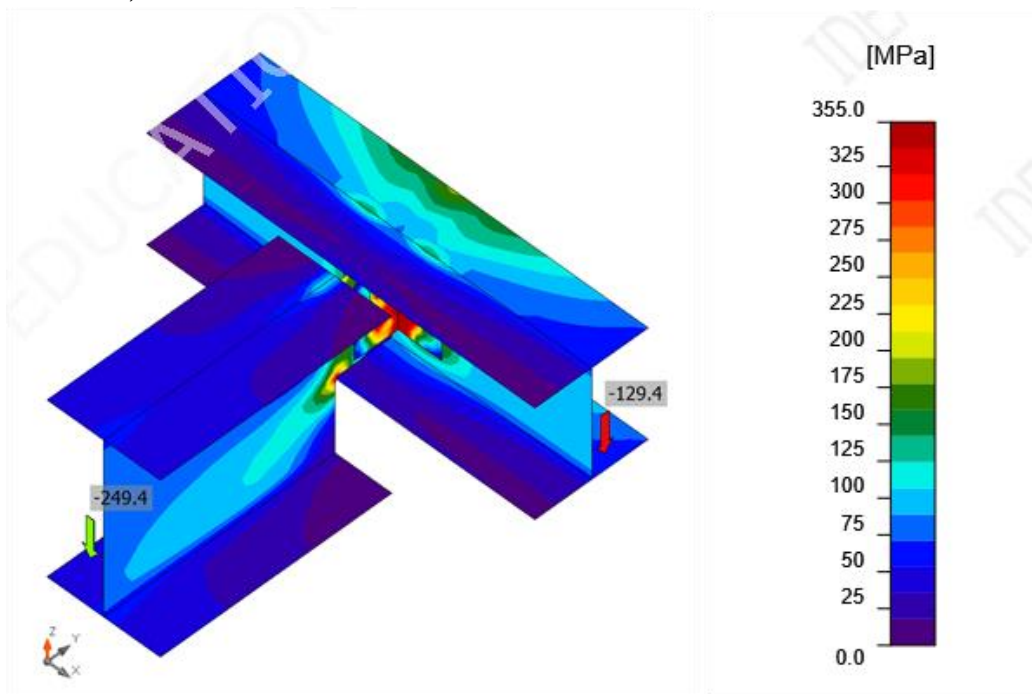
$t_p$	Plate thickness
$\sigma_{Ed}$	Equivalent stress
$\epsilon_{Pl}$	Plastic strain
$\sigma_{c,Ed}$	Contact stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain



Overall check, LE1

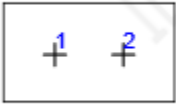
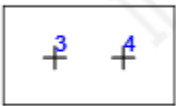
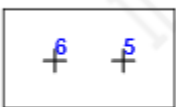


Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

**Bolts**

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B1	M22 8.8 - 1	LE1	56.9	62.1	222.8	32.6	55.7	76.6	OK
	B2	M22 8.8 - 1	LE1	32.5	62.7	258.7	18.6	53.9	67.2	OK
	B3	M22 8.8 - 2	LE1	58.0	77.0	194.0	33.2	66.2	89.9	OK
	B4	M22 8.8 - 2	LE1	110.9	52.5	167.1	63.6	45.1	90.5	OK
	B5	M22 8.8 - 2	LE1	56.5	76.9	194.0	32.3	66.1	89.2	OK
	B6	M22 8.8 - 2	LE1	110.5	52.7	167.1	63.3	45.3	90.5	OK

**Design data**

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M22 8.8 - 1	174.5	265.0	116.4
M22 8.8 - 2	174.5	238.5	116.4

**Symbol explanation**

$F_{t,Ed}$	Tension force
$F_{v,Ed}$	Resultant of bolt shear forces $V_y$ and $V_z$ in shear planes
$F_{b,Rd}$	Plate bearing resistance EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$U_{t_t}$	Utilization in tension
$U_{t_s}$	Utilization in shear
$U_{t_{ts}}$	Interaction of tension and shear EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$F_{t,Rd}$	Bolt tension resistance EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$B_{p,Rd}$	Punching shear resistance EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$F_{v,Rd}$	Bolt shear resistance EN 1993-1-8 – Tab. 3.4

**Welds**

Item	Edge	$T_w$ [mm]	$L$ [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{PI}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	$U_t$ [%]	$U_{t_c}$ [%]	Status
B-bfl 1	STIFF1	▲ 5.0 L	118	LE1	59.3	0.0	-2.0	-2.2	34.2	13.6	11.2	OK

		▲ 5.0 L	118	LE1	58.7	0.0	-2.9	2.7	-33.8	13.5	11.0	OK
B-w 1	STIFF1	▲ 5.0 L	224	LE1	418.7	0.0	161.7	174.1	139.3	96.1	44.1	OK
		▲ 5.0 L	224	LE1	401.9	0.0	181.7	-169.3	-119.1	92.3	43.5	OK
B-tfl 1	STIFF1	▲ 5.0 L	118	LE1	76.2	0.0	-8.1	-8.2	43.0	17.5	14.1	OK
		▲ 5.0 L	118	LE1	76.1	0.0	-8.6	8.5	-42.8	17.5	14.0	OK

**Design data**


Material	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 355	0.90	435.6	352.8

**Symbol explanation**

$T_w$	Throat thickness a
L	Length
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\epsilon_{pl}$	Strain
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis
$\tau_{\parallel}$	Shear stress parallel to weld axis
Ut	Utilization
$Ut_c$	Weld capacity utilization
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance: $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
▲	Fillet weld

**Bill of material**

**Manufacturing operations**

Name	Plates [mm]	Shape	Nr.	Welds [mm]	Length [mm]	Bolts	Nr.
STIFF1	P10.0x145.5-279.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 5.0	462.0		

**Welds**

Type	Material	Throat thickness [mm]	Leg size [mm]	Length [mm]
Double fillet	S 355	5.0	7.1	462.0

**Bolts**

Name	Grip length [mm]	Count
M22 8.8	32	2
M22 8.8	19	4

**Code settings**

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



### 10.3. Priključak dijagonala VUS-a na stup

## Project item Priključak VUS-a na stup

### Design

Name	Priključak VUS-a na stup
Description	Priključak VUS-a na stup
Analysis	Stress, strain/ loads in equilibrium

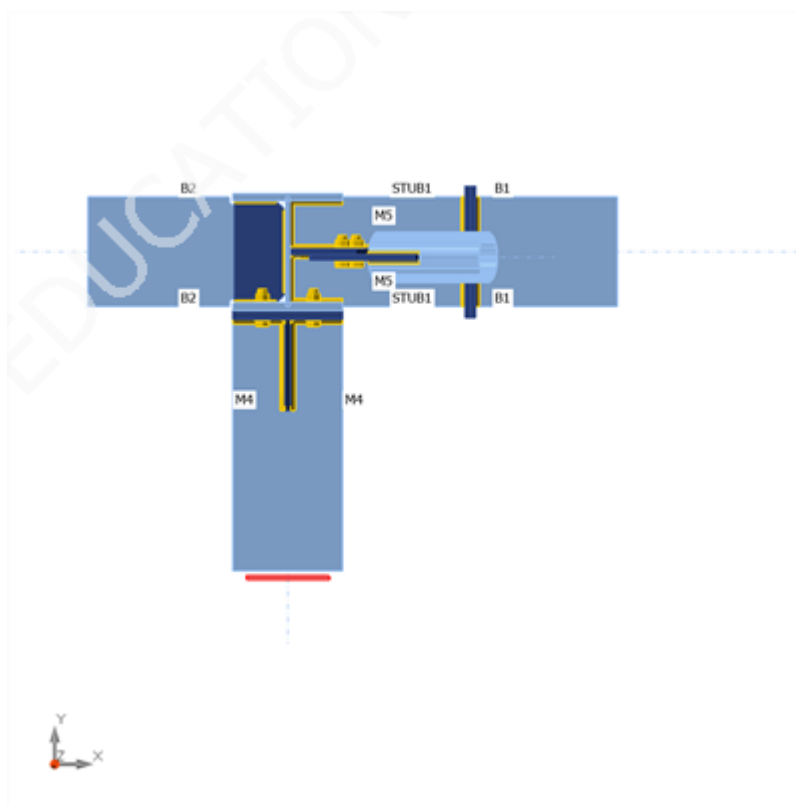
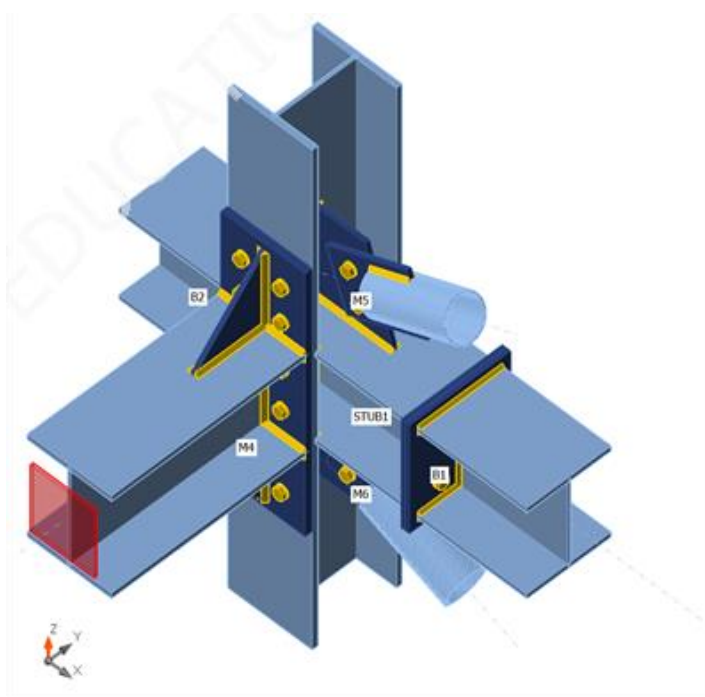
### Members

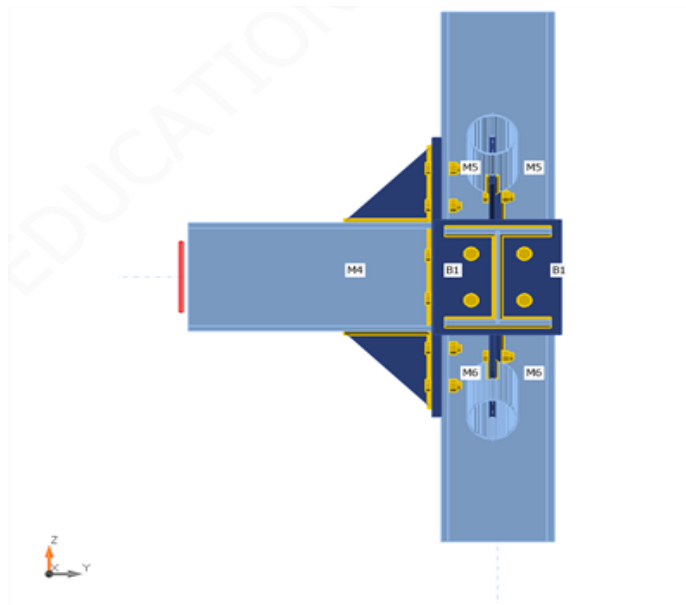
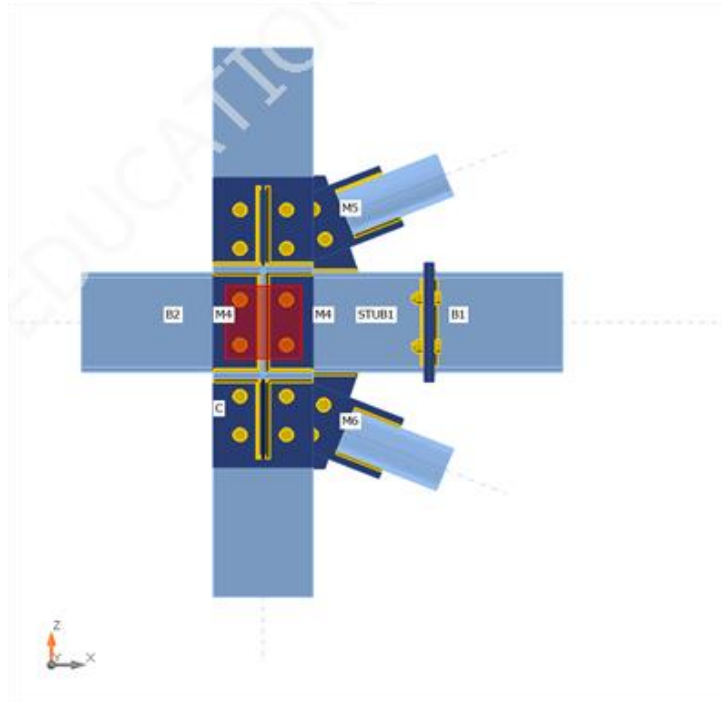
#### Geometry

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	35 - HEB320	0.0	90.0	90.0	0	0	0
B1	36 - HEA320	0.0	0.0	0.0	0	0	0
B2	36 - HEA320	180.0	0.0	0.0	0	0	0
M4	41 - HEA360	-90.0	0.0	0.0	0	0	0
M5	26 - CHS139.7/5.0	0.0	22.0	0.0	-20	0	220
M6	26 - CHS139.7/5.0	0.0	-22.0	0.0	-20	0	-220

#### Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
C / begin		Node	0
C / end		Node	0
B1 / end		Node	0
B2 / end		Node	0
M4 / end	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
M5 / end		Node	0
M6 / end		Node	0





**Cross-sections**

Name	Material
35 - HEB320	S 355
36 - HEA320	S 355
41 - HEA360	S 355
26 - CHS139.7/5.0	S 355

### Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M24 8.8	M24 8.8	24	800.0	452
M24 10.9	M24 10.9	24	1000.0	452
M22 8.8	M22 8.8	22	800.0	380

### Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	C / Begin	1352.8	0.0	68.9	0.0	199.5	0.0
	C / End	-949.6	0.0	194.7	0.0	-316.9	0.0
	B1 / End	0.0	0.0	118.9	0.0	0.0	0.0
	B2 / End	0.0	0.0	-118.9	0.0	0.0	0.0
	M4 / End	0.0	0.0	-222.3	0.0	-497.3	0.0
	M5 / End	45.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M6 / End	-118.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

### Unbalanced forces

Name	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	-67.6	-263.7	242.2	-380.8	36.1	-1.0

### Check

#### Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.5 < 5.0%	OK
Bolts	98.5 < 100%	OK
Welds	98.2 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

### Plates

Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
C-bfl 1	20.5	LE1	183.1	0.0	0.0	OK
C-tfl 1	20.5	LE1	355.5	0.2	87.7	OK
C-w 1	11.5	LE1	355.3	0.1	0.0	OK

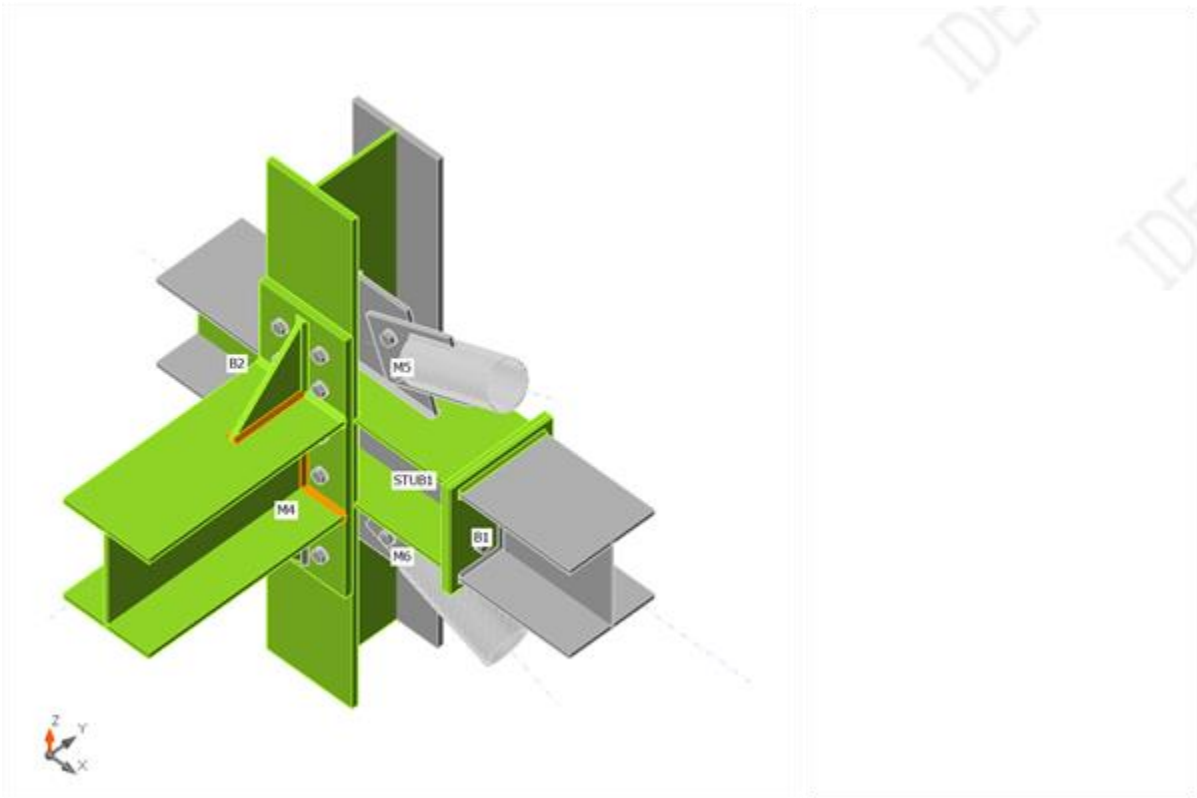
B1-bfl 1	15.5	LE1	142.6	0.0	0.0	OK
B1-tfl 1	15.5	LE1	294.6	0.0	0.0	OK
B1-w 1	9.0	LE1	209.1	0.0	0.0	OK
B2-bfl 1	15.5	LE1	49.8	0.0	0.0	OK
B2-tfl 1	15.5	LE1	48.9	0.0	0.0	OK
B2-w 1	9.0	LE1	356.0	0.5	33.5	OK
M4-bfl 1	17.5	LE1	355.3	0.1	0.0	OK
M4-tfl 1	17.5	LE1	355.1	0.0	0.0	OK
M4-w 1	10.0	LE1	355.6	0.3	0.0	OK
M5	5.0	LE1	102.9	0.0	0.0	OK
M6	5.0	LE1	274.1	0.0	0.0	OK
STUB1-bfl 1	15.5	LE1	340.4	0.1	0.0	OK
STUB1-tfl 1	15.5	LE1	336.6	0.0	0.0	OK
STUB1-w 1	9.0	LE1	203.8	0.0	0.0	OK
STUB1-EPa	15.0	LE1	355.6	0.3	134.7	OK
STUB1-EPb	15.0	LE1	355.6	0.3	134.7	OK
WID1a	15.0	LE1	158.1	0.0	7.1	OK
WID1b	15.0	LE1	232.2	0.0	8.8	OK
CPL1	15.0	LE1	69.7	0.0	11.7	OK
CPL2	15.0	LE1	138.1	0.0	13.3	OK
EP1	25.0	LE1	355.3	0.2	59.1	OK
WID2a	15.0	LE1	355.6	0.3	0.0	OK
WID2b	15.0	LE1	355.2	0.1	0.0	OK
STIFF1	15.0	LE1	250.8	0.0	0.0	OK
STIFF2	15.0	LE1	139.5	0.0	0.0	OK
FP1	10.0	LE1	355.7	0.3	38.1	OK

**Design data**

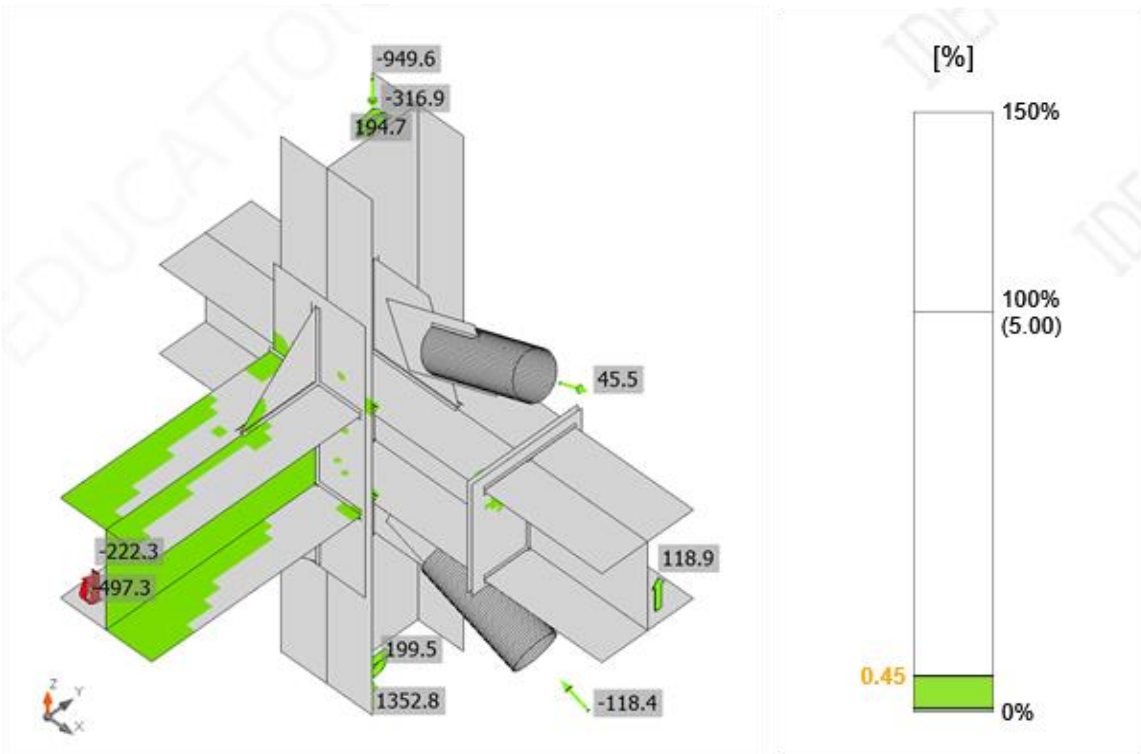
Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 355	355.0	5.0

**Symbol explanation**

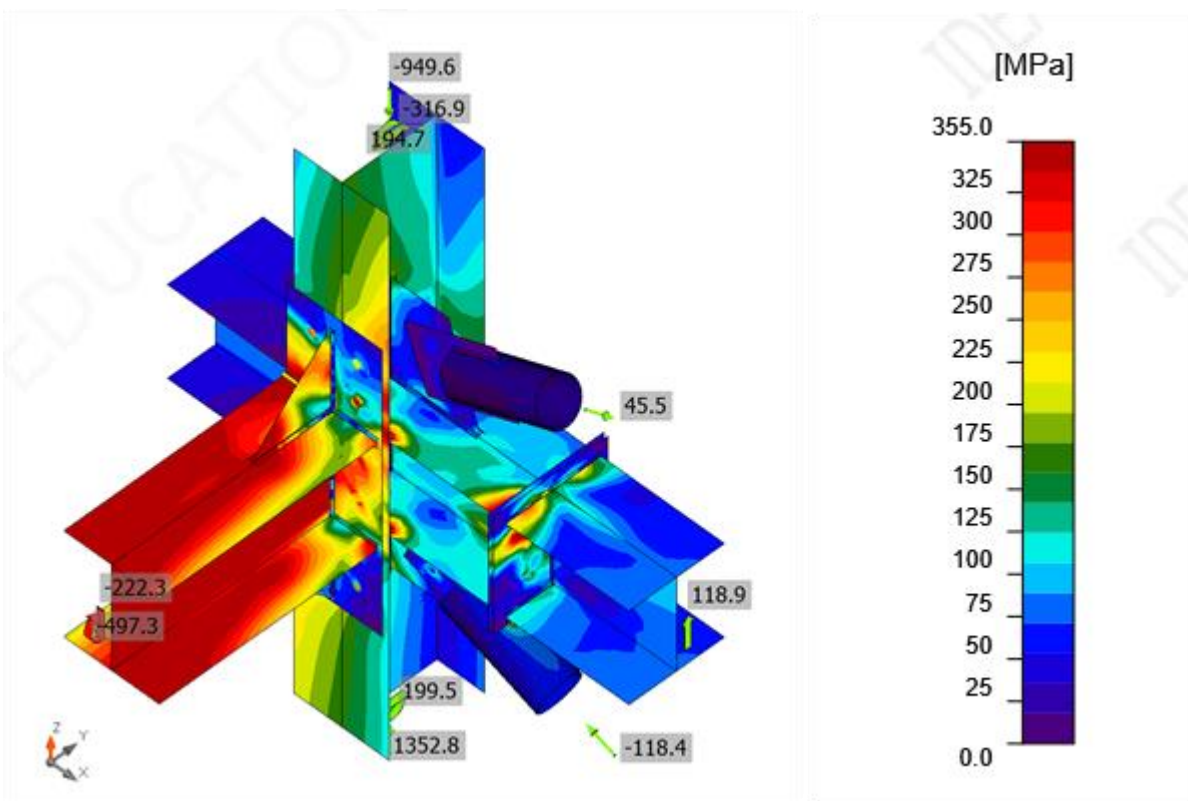
$t_p$	Plate thickness
$\sigma_{Ed}$	Equivalent stress
$\epsilon_{pl}$	Plastic strain
$\sigma_{c,Ed}$	Contact stress
$f_y$	Yield strength
$\epsilon_{lim}$	Limit of plastic strain



Overall check, LE1



Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

**Bolts**

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B1	M24 8.8 - 1	LE1	161.2	31.9	352.8	79.3	23.5	80.1	OK
	B2	M24 8.8 - 1	LE1	166.4	25.1	352.8	81.8	18.5	77.0	OK
	B3	M24 8.8 - 1	LE1	36.7	32.3	352.8	18.1	23.8	36.7	OK
	B4	M24 8.8 - 1	LE1	34.1	30.0	352.8	16.8	22.2	34.2	OK
	B5	M24 10.9 - 2	LE1	4.9	22.8	304.9	1.9	16.1	17.5	OK
	B6	M24 10.9 - 2	LE1	6.4	22.8	276.8	2.5	16.1	17.9	OK
	B7	M24 8.8 - 1	LE1	12.1	59.2	352.8	6.0	43.7	47.9	OK
	B8	M24 8.8 - 1	LE1	8.3	59.2	352.8	4.1	43.7	46.6	OK
	B9	M24 8.8 - 3	LE1	100.8	75.9	482.2	49.6	56.0	91.4	OK

	B10	M24 8.8 - 3	LE1	53.6	38.4	482.2	26.4	28.3	47.1	OK
	B11	M24 8.8 - 3	LE1	146.7	50.7	482.2	72.2	37.4	89.0	OK
	B12	M24 8.8 - 3	LE1	65.4	51.7	482.2	32.2	38.2	61.1	OK
	B13	M24 8.8 - 3	LE1	80.8	87.4	482.2	39.7	64.5	92.9	OK
	B14	M24 8.8 - 3	LE1	20.1	63.5	482.2	9.9	46.9	53.9	OK
	B15	M24 8.8 - 3	LE1	1.9	73.1	482.2	0.9	53.9	54.6	OK
	B16	M24 8.8 - 3	LE1	88.3	26.6	482.2	43.4	19.6	50.6	OK
	B17	M24 8.8 - 3	LE1	0.7	16.1	482.2	0.3	11.9	12.1	OK
	B18	M24 8.8 - 3	LE1	109.1	5.1	482.2	53.7	3.8	42.1	OK
	B19	M24 8.8 - 3	LE1	3.1	18.8	482.2	1.5	13.9	14.9	OK
B20	M24 8.8 - 3	LE1	9.8	18.4	482.2	4.8	13.5	17.0	OK	
	B21	M22 8.8 - 4	LE1	17.7	105.8	194.0	10.1	90.9	98.2	OK
	B22	M22 8.8 - 4	LE1	9.4	110.1	162.3	5.4	94.6	98.5	OK

**Design data**

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M24 8.8 - 1	203.3	421.1	135.6
M24 10.9 - 2	254.2	421.1	141.2
M24 8.8 - 3	203.3	575.5	135.6
M22 8.8 - 4	174.5	238.5	116.4

**Symbol explanation**

$F_{t,Ed}$	Tension force
$F_{v,Ed}$	Resultant of bolt shear forces $V_y$ and $V_z$ in shear planes
$F_{b,Rd}$	Plate bearing resistance EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$U_t$	Utilization in tension
$U_s$	Utilization in shear
$U_{ts}$	Interaction of tension and shear EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$F_{t,Rd}$	Bolt tension resistance EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$B_{p,Rd}$	Punching shear resistance EN 1993-1-8 – Tab. 3.4
$F_{v,Rd}$	Bolt shear resistance EN 1993-1-8 – Tab. 3.4

**Welds**

Item	Edge	$T_w$ [mm]	$L$ [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	$U_t$ [%]	$U_{tc}$ [%]	Status
STUB1-EPa	B1-bfl 1	▲ 7.0 L	298	LE1	130.8	0.0	-44.3	-66.0	26.3	30.0	16.3	OK



DIMENZIONIRANJE PRIKLJUČAKA

		▲ 7.0 L	298	LE1	206.5	0.0	-119.3	97.0	-7.6	47.4	30.5	OK
STUB1-EPa	B1-tfl 1	▲ 7.0 L	298	LE1	197.0	0.0	-37.1	-47.5	101.1	45.2	23.6	OK
		▲ 7.0 L	298	LE1	268.8	0.0	138.2	-79.0	107.2	61.7	34.5	OK
STUB1-EPa	B1-w 1	▲ 7.0 L	293	LE1	185.4	0.0	81.3	94.3	19.1	42.6	19.0	OK
		▲ 7.0 L	293	LE1	210.3	0.0	108.0	-95.0	-42.8	48.3	19.6	OK
STUB1-EPb	STUB1-bfl 1	▲ 7.0 L	299	LE1	145.9	0.0	-85.8	-63.3	-25.1	33.5	15.8	OK
		▲ 7.0 L	298	LE1	213.3	0.0	-129.2	94.5	-25.9	49.0	32.5	OK
STUB1-EPb	STUB1-tfl 1	▲ 7.0 L	298	LE1	178.6	0.0	-35.7	-53.7	-85.6	41.0	23.0	OK
		▲ 7.0 L	298	LE1	270.5	0.0	138.8	-84.9	-103.8	62.1	34.1	OK
STUB1-EPb	STUB1-w 1	▲ 7.0 L	293	LE1	210.5	0.0	90.9	96.1	52.7	48.3	24.2	OK
		▲ 7.0 L	293	LE1	199.4	0.0	102.8	-97.6	14.6	45.8	18.9	OK
C-bfl 1	STUB1-bfl 1	▲ 8.0 L	144	LE1	196.8	0.0	-110.5	-52.8	77.8	45.2	12.6	OK
		▲ 8.0 L	144	LE1	113.1	0.0	89.1	-31.4	25.1	26.0	15.2	OK
C-tfl 1	STUB1-bfl 1	▲ 8.0 L	144	LE1	426.9	0.0	-69.7	-241.0	-32.5	98.0	43.1	OK
		▲ 8.0 L	144	LE1	427.7	0.5	-255.4	193.5	42.3	98.2	31.8	OK
C-w 1	STUB1-bfl 1	▲ 8.0 L	278	LE1	101.0	0.0	32.3	12.2	-53.9	23.2	14.1	OK
		▲ 8.0 L	278	LE1	99.3	0.0	22.0	-42.1	36.8	22.8	6.8	OK
C-bfl 1	STUB1-tfl 1	▲ 8.0 L	144	LE1	121.1	0.0	-98.2	-36.6	18.2	27.8	15.8	OK
		▲ 8.0 L	144	LE1	232.3	0.0	128.6	-67.0	89.4	53.3	14.2	OK
C-tfl 1	STUB1-tfl 1	▲ 8.0 L	144	LE1	330.3	0.0	162.3	95.7	135.7	75.8	43.3	OK
		▲ 8.0 L	144	LE1	192.8	0.0	63.7	-66.8	-81.1	44.3	32.4	OK
C-w 1	STUB1-tfl 1	▲ 8.0 L	278	LE1	141.3	0.0	-26.4	-52.2	60.9	32.5	10.2	OK
		▲ 8.0 L	278	LE1	167.2	0.0	-9.3	9.6	-95.9	38.4	20.6	OK
C-w 1	STUB1-w 1	▲ 8.0 L	294	LE1	87.7	0.0	-4.9	-2.8	50.5	20.1	16.8	OK
		▲ 8.0 L	293	LE1	55.7	0.0	7.7	-10.6	-30.0	12.8	8.4	OK
C-w 1	WID1a	▲ 8.0 L	299	LE1	119.4	0.0	-35.3	-10.7	64.9	27.4	12.4	OK
		▲ 8.0 L	299	LE1	69.6	0.0	41.0	-16.4	-28.1	16.0	6.2	OK
STUB1-tfl 1	WID1a	▲ 8.0 L	279	LE1	77.2	0.0	-13.0	-10.7	-42.6	17.7	9.8	OK
		▲ 8.0 L	279	LE1	75.5	0.0	42.2	11.2	-34.3	17.3	13.1	OK
C-w 1	WID1b	▲ 8.0 L	299	LE1	157.0	0.0	-55.5	-30.5	79.1	36.0	14.7	OK
		▲ 8.0 L	299	LE1	88.2	0.0	-12.0	-0.6	50.5	20.3	9.6	OK
STUB1-bfl 1	WID1b	▲ 8.0 L	278	LE1	97.4	0.0	-50.6	-38.5	28.7	22.4	12.5	OK
		▲ 8.0 L	278	LE1	155.0	0.0	58.5	-45.1	-69.5	35.6	17.5	OK
EP1	M4-bfl 1	▲ 9.0 L	300	LE1	426.9	0.0	-215.9	-164.1	-135.1	98.0	51.7	OK
		▲ 9.0 L	300	LE1	270.8	0.0	-68.7	126.0	83.7	62.2	28.0	OK
EP1	M4-tfl 1	▲ 9.0 L	299	LE1	255.1	0.0	-119.0	-124.2	-39.2	58.6	36.2	OK
		▲ 9.0 L	300	LE1	397.0	0.0	-195.5	198.4	-20.9	91.2	58.7	OK
EP1	M4-w 1	▲ 9.0 L	332	LE1	189.6	0.0	1.8	-26.7	-106.1	43.5	18.8	OK

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> [%]	Status
		▲ 9.0 L	331	LE1	427.0	0.1	11.5	-13.4	246.0	98.0	80.1	OK
EP1	WID2a	▲ 9.0 L	248	LE1	103.2	0.0	-31.2	-33.3	46.1	23.7	14.8	OK
		▲ 9.0 L	248	LE1	271.7	0.0	-78.9	63.7	-135.9	62.4	41.4	OK
M4-tfl 1	WID2a	▲ 9.0 L	248	LE1	426.9	0.0	-74.2	-72.8	-231.5	98.0	53.1	OK
		▲ 9.0 L	249	LE1	296.4	0.0	-36.0	135.2	102.8	68.1	20.7	OK
EP1	WID2b	▲ 9.0 L	248	LE1	140.2	0.0	50.7	46.0	-59.8	32.2	22.6	OK
		▲ 9.0 L	249	LE1	112.5	0.0	-35.9	50.2	35.7	25.8	9.9	OK
M4-bfl 1	WID2b	▲ 9.0 L	249	LE1	231.0	0.0	8.0	111.8	72.6	53.0	25.5	OK
		▲ 9.0 L	248	LE1	405.0	0.0	93.5	-73.4	-215.3	93.0	39.9	OK
C-bfl 1	STIFF1	▲ 5.0 L	113	LE1	226.2	0.0	-23.9	-7.0	-129.7	51.9	31.0	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	212.4	0.0	-54.6	71.5	94.5	48.8	25.0	OK
C-w 1	STIFF1	▲ 5.0 L	225	LE1	183.1	0.0	-25.0	-31.9	99.8	42.0	22.4	OK
		▲ 5.0 L	225	LE1	259.3	0.0	79.1	-45.3	-135.2	59.5	42.0	OK
C-tfl 1	STIFF1	▲ 5.0 L	113	LE1	379.1	0.0	-132.7	-204.8	7.7	87.0	58.7	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	426.9	0.0	-233.8	173.7	111.1	98.0	90.7	OK
C-bfl 1	STIFF2	▲ 5.0 L	113	LE1	189.3	0.0	61.1	69.1	77.0	43.5	26.2	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	188.7	0.0	-4.7	12.7	-108.2	43.3	30.0	OK
C-w 1	STIFF2	▲ 5.0 L	224	LE1	208.6	0.0	-55.3	-51.8	-103.9	47.9	36.1	OK
		▲ 5.0 L	225	LE1	151.0	0.0	25.4	-25.1	82.2	34.7	17.9	OK
C-tfl 1	STIFF2	▲ 5.0 L	113	LE1	239.6	0.0	107.7	110.8	54.6	55.0	42.9	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	265.2	0.0	123.5	-126.4	48.9	60.9	49.3	OK
C-w 1	FP1	▲ 6.0 L	209	LE1	240.0	0.0	-140.1	-71.7	86.7	55.1	26.9	OK
		▲ 6.0 L	209	LE1	139.9	0.0	60.9	7.5	-72.3	32.1	23.3	OK
CPL1	M5	▲ 7.0	596	LE1	71.3	0.0	-13.2	2.3	-40.4	16.4	4.6	OK
CPL2	M6	▲ 6.0	596	LE1	218.4	0.0	43.4	-4.8	123.5	50.1	14.0	OK

**Design data**

Material	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 355	0.90	435.6	352.8

**Symbol explanation**

$T_w$	Throat thickness a
L	Length
$\sigma_{w,Ed}$	Equivalent stress
$\epsilon_{pI}$	Strain
$\sigma_{\perp}$	Perpendicular stress
$\tau_{\perp}$	Shear stress perpendicular to weld axis

$T_{  }$	Shear stress parallel to weld axis
$U_t$	Utilization
$U_{t_c}$	Weld capacity utilization
$\beta_w$	Correlation factor EN 1993-1-8 – Tab. 4.1
$\sigma_{w,Rd}$	Equivalent stress resistance
$0.9 \sigma$	Perpendicular stress resistance: $0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$
▲	Fillet weld

### Buckling

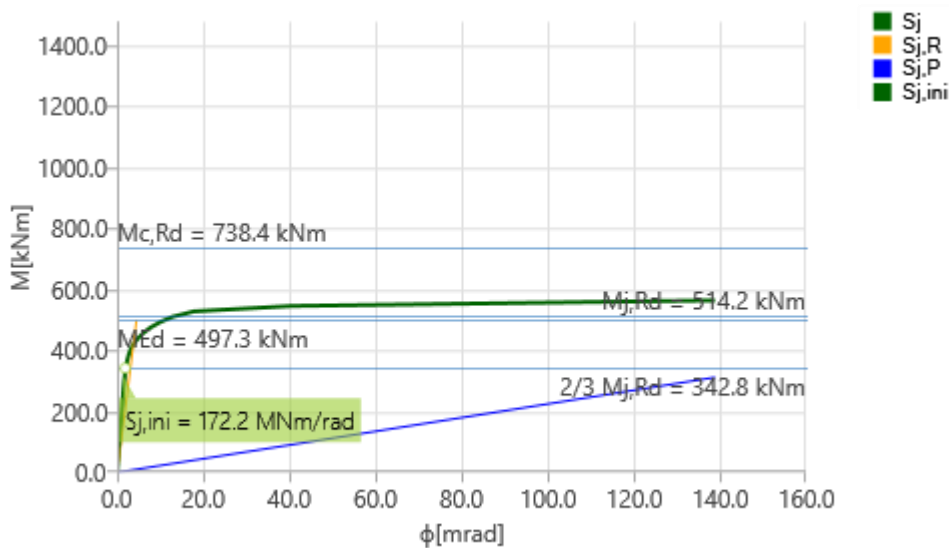
Buckling analysis was not calculated.

### Rotational stiffness

Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	$\Phi_c$ [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
M4	My	LE1	-514.2	172.2	13.8	15.50	112.1	2.2	Rigid



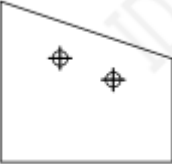
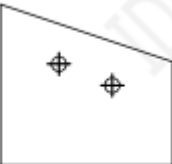


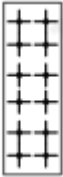
### Secant rotational stiffness




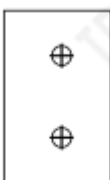
Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{j,s}$ [MNm/rad]	$\Phi$ [mrad]
M4	My	LE1	-497.3	46.7	10.6



Stiffness diagram My -  $\phi_y$ , LE1

**Bill of material**
**Manufacturing operations**

Name	Plates [mm]	Shape	Nr.	Welds [mm]	Length [mm]	Bolts	Nr.
STUB1	P15.0x360.0-370.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 7.0	1789.0	M24 8.8	4
	P15.0x360.0-370.0 (S 355)		1				
CUT1				Double fillet: a = 8.0	1429.5		
WID1	P15.0x300.0-280.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 8.0	1160.0	M24 10.9 M24 8.8	2 2
	P15.0x300.0-280.0 (S 355)		1				
CPL1	P15.0x310.0-200.0 (S 355)		1	Fillet: a = 7.0	600.0	M24 10.9	2
CPL2	P15.0x310.0-200.0 (S 355)		1	Fillet: a = 6.0	600.0	M24 8.8	2
EP1	P25.0x300.0-900.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 9.0	932.5	M24 8.8	12

WID2	P15.0x250.0-250.0 (S 355)		2	Double fillet: a = 9.0	1000.0		
STIFF1	P15.0x140.0-279.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 5.0	451.0		
STIFF2	P15.0x140.0-279.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 5.0	451.0		
FP1	P10.0x130.0-210.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 6.0	210.0	M22 8.8	2

### Welds

Type	Material	Throat thickness [mm]	Leg size [mm]	Length [mm]
Double fillet	S 355	7.0	9.9	1789.0
Double fillet	S 355	8.0	11.3	2589.5
Fillet	S 355	7.0	9.9	600.0
Fillet	S 355	6.0	8.5	600.0
Double fillet	S 355	9.0	12.7	1932.5
Double fillet	S 355	5.0	7.1	902.0
Double fillet	S 355	6.0	8.5	210.0

### Bolts

Name	Grip length [mm]	Count
M24 8.8	30	6
M24 10.9	30	2
M24 8.8	46	12
M22 8.8	19	2

## Code settings

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

## 10.4. Priključak dijagonala VUS-a na stopu stupa

### Project item Priključak VUS-a na temeljnu stopu

#### Design

Name	Priključak VUS-a na temeljnu stopu
Description	Priključak VUS-a na temeljnu stopu
Analysis	Stress, strain/ simplified loading

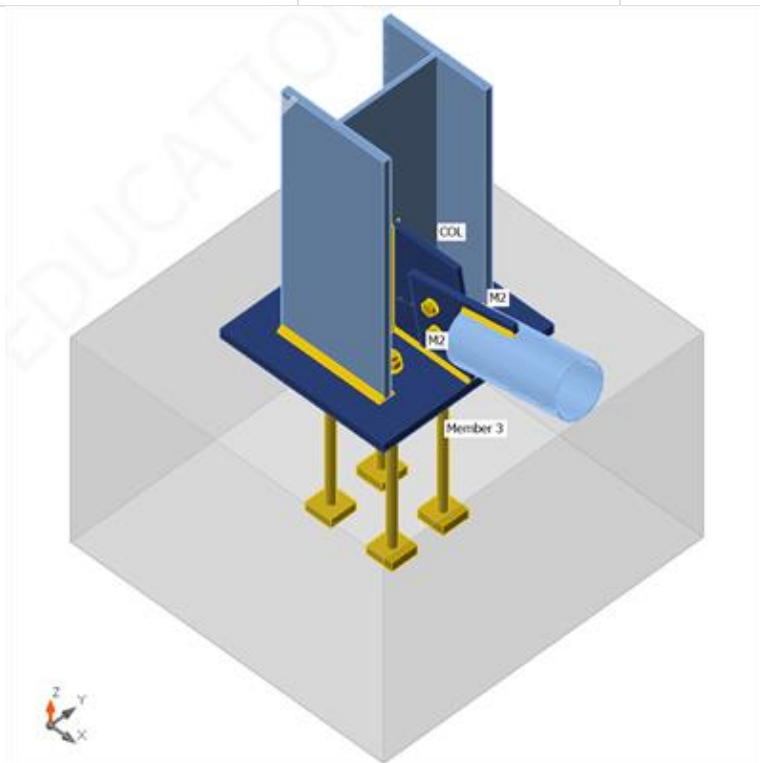
#### Members

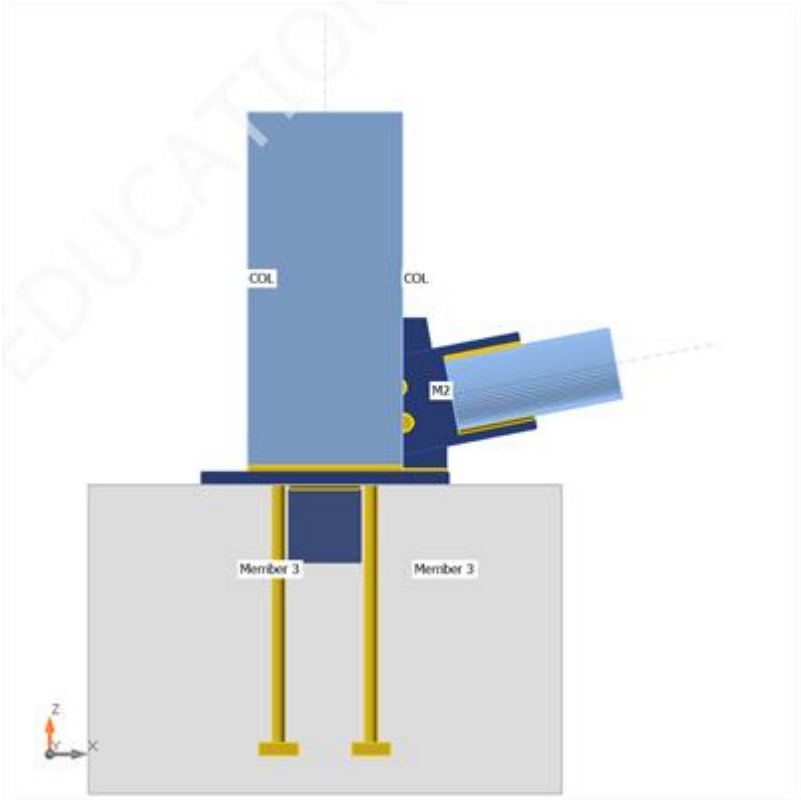
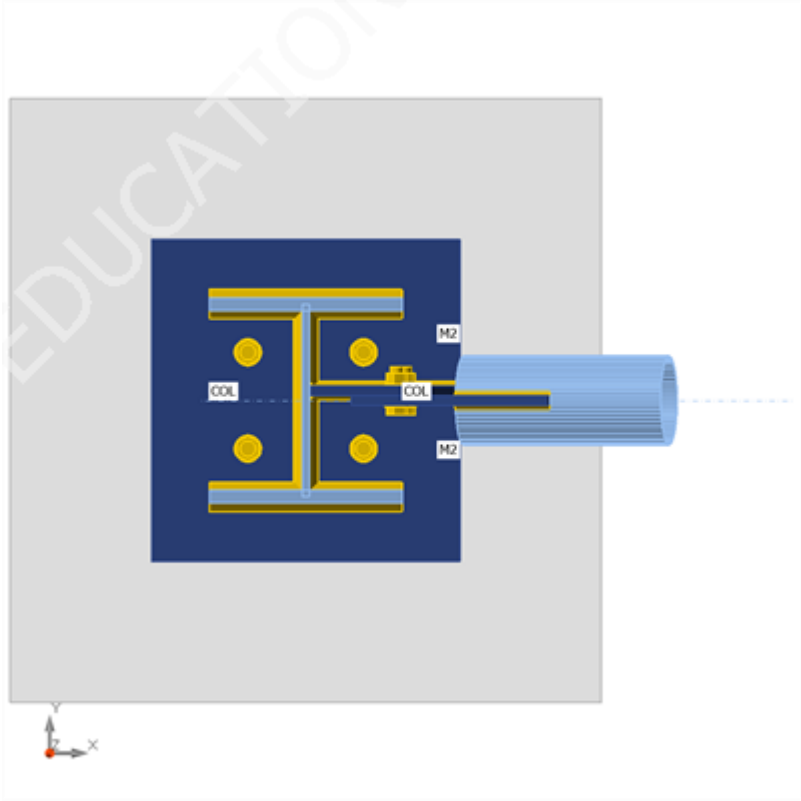
##### Geometry

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
COL	35 - HEB320	0.0	90.0	90.0	0	0	0
M2	26 - CHS139.7/5.0	0.0	11.0	0.0	-150	0	100

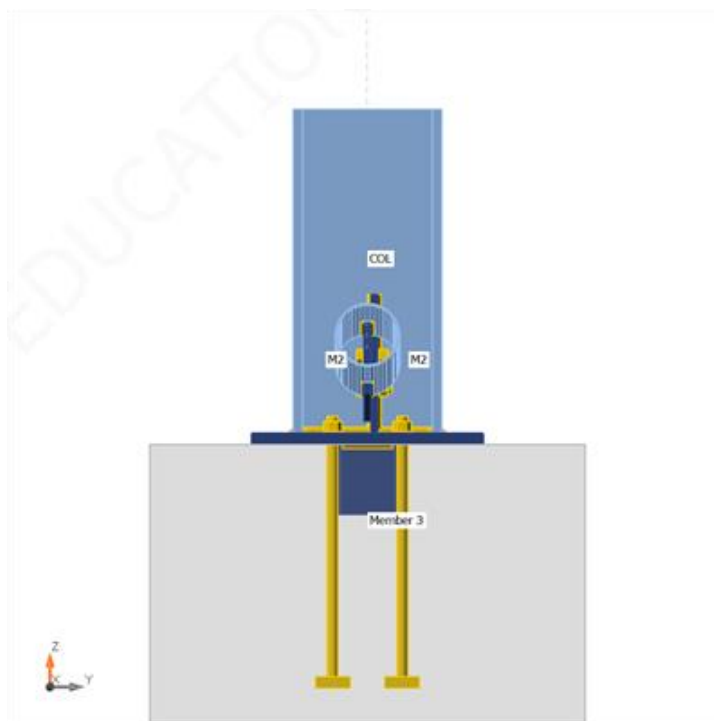
##### Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
COL / end		Node	0
M2 / end		Position	298









### Cross-sections

Name	Material
35 - HEB320	S 355
26 - CHS139.7/5.0	S 355
43 - CON1(HEA140)	S 355

### Anchors / Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M24 8.8	M24 8.8	24	800.0	452
M20 8.8	M20 8.8	20	800.0	314

### Load effects (Equilibrium not required)

Name	Member	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
LE1	COL / End	-3286.5	0.0	93.1	0.0	0.0	0.0
	M2 / End	-56.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

### Foundation block

Item	Value	Unit
<b>CB 1</b>		
Dimensions	920 x 940	mm
Depth	600	mm

Anchor	M24 8.8	
Anchoring length	500	mm
Shear force transfer	Shear lug	
Cross-section of shear lug	CON1(HEA140)	
Length of shear lug	150	mm

## Check

### Summary

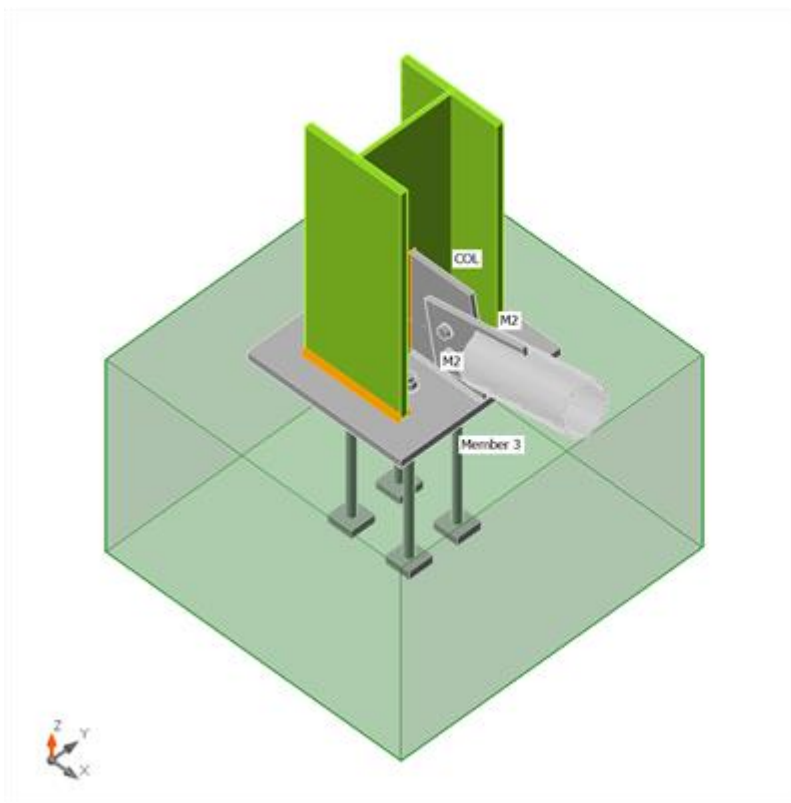
Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.2 < 5.0%	OK
Bolts	33.1 < 100%	OK
Anchors	0.1 < 100%	OK
Welds	98.7 < 100%	OK
Concrete block	80.0 < 100%	OK
Shear	44.7 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	

### Plates

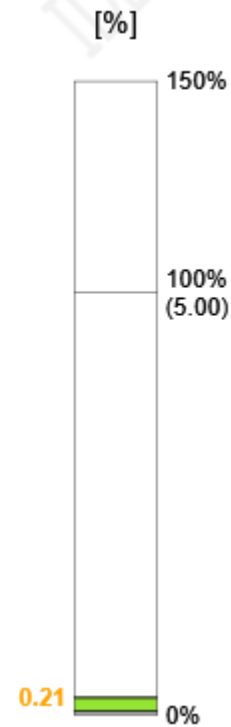
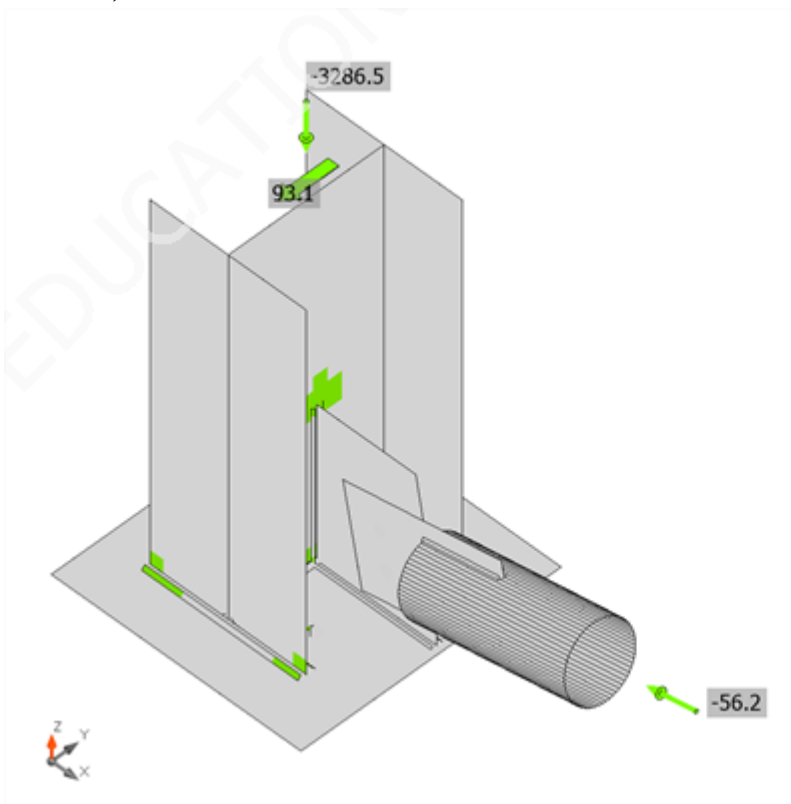
Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
COL-bfl 1	20.5	LE1	308.4	0.0	0.0	OK
COL-tfl 1	20.5	LE1	307.5	0.0	0.0	OK
COL-w 1	11.5	LE1	355.2	0.1	0.0	OK
M2	5.0	LE1	135.0	0.0	0.0	OK
Member 3-bfl 1	8.5	LE1	355.4	0.2	0.0	OK
Member 3-tfl 1	8.5	LE1	355.3	0.1	0.0	OK
Member 3-w 1	5.5	LE1	277.3	0.0	0.0	OK
BP1	25.0	LE1	340.4	0.0	0.0	OK
CPL1a	15.0	LE1	250.6	0.0	3.6	OK
CPL1b	15.0	LE1	89.0	0.0	12.1	OK

### Design data

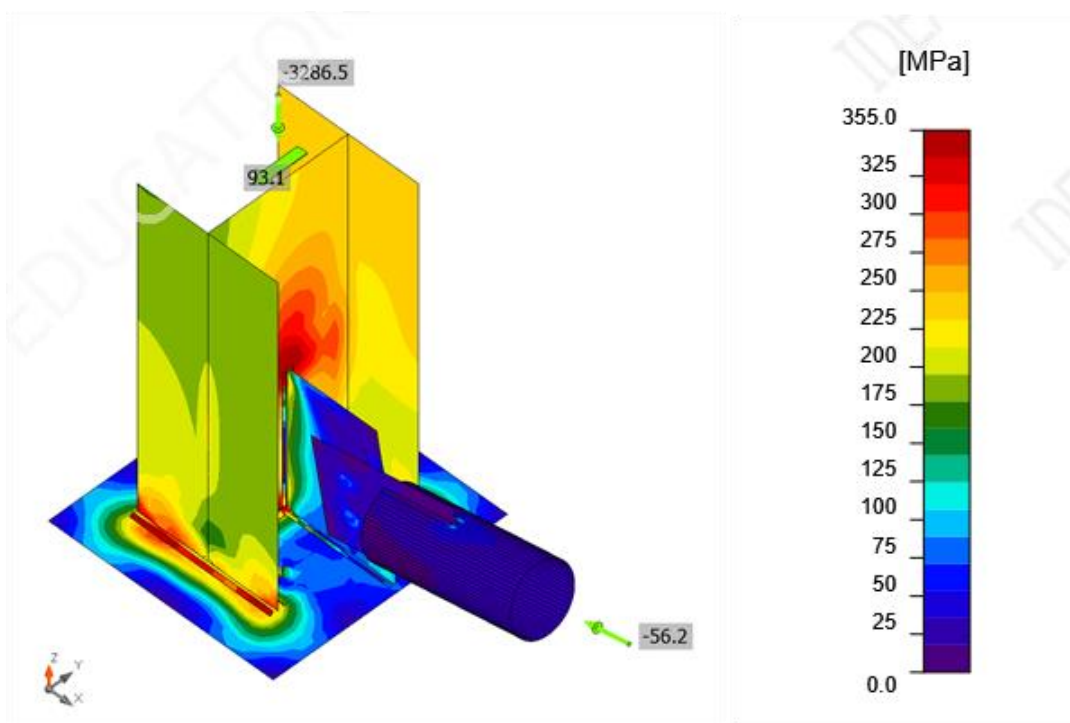
Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 355	355.0	5.0



Overall check, LE1

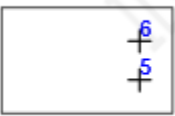


Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

### Bolts


Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B5	M20 8.8 - 1	LE1	6.4	28.1	294.0	4.5	29.9	33.1	OK
	B6	M20 8.8 - 1	LE1	2.2	28.1	294.0	1.6	29.9	31.0	OK

### Design data

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M20 8.8 - 1	141.1	352.1	94.1

### Anchors

Shape	Item	Loads	$N_{Ed}$ [kN]	$N_{Rd,p}$ [kN]	$V_{Rd,cp}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	A1	LE1	0.0	646.6	377.1	0.0	0.1	0.0	OK
	A2	LE1	0.0	646.6	377.1	0.0	0.1	0.0	OK
	A3	LE1	0.0	646.6	377.1	0.0	0.1	0.0	OK

	A4	LE1	0.0	646.6	377.1	0.0	0.1	0.0	OK
---	----	-----	-----	-------	-------	-----	-----	-----	----

**Design data**

Grade	$N_{Rd,s}$ [kN]	$V_{Rd,s}$ [kN]
M24 8.8 - 2	160.0	113.0

**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	▲ 9.0 L	299	LE1	429.2	1.4	-202.5	-197.4	-93.7	98.5	75.7	OK
		▲ 9.0 L	299	LE1	429.6	1.6	-200.2	204.6	79.3	98.6	81.5	OK
BP1	COL-tfl 1	▲ 9.0 L	299	LE1	430.0	1.8	-196.6	-205.4	-81.1	98.7	84.7	OK
		▲ 9.0 L	299	LE1	429.3	1.4	-205.0	193.9	99.2	98.6	73.4	OK
BP1	COL-w 1	▲ 9.5 L	298	LE1	305.3	0.0	-157.7	-144.8	42.5	70.1	47.7	OK
		▲ 9.5 L	298	LE1	302.0	0.0	-83.7	167.1	-12.1	69.3	43.2	OK
BP1	Member 3-bfl 1	▲ 6.0 L	139	LE1	388.3	0.0	143.4	139.4	154.8	89.1	46.1	OK
		▲ 6.0 L	139	LE1	426.9	0.0	183.9	-187.3	-120.0	98.0	39.6	OK
BP1	Member 3-tfl 1	▲ 6.0 L	139	LE1	347.2	0.0	104.6	148.8	119.9	79.7	44.1	OK
		▲ 6.0 L	139	LE1	418.6	0.0	188.3	-144.3	-160.5	96.1	53.1	OK
BP1	Member 3-w 1	▲ 6.0 L	123	LE1	124.3	0.0	-22.7	-12.5	-69.4	28.5	18.8	OK
		▲ 6.0 L	123	LE1	118.3	0.0	9.0	1.2	68.1	27.2	16.5	OK
COL-w 1	CPL1a	▲ 5.0 L	299	LE1	427.2	0.2	-80.6	-82.6	227.7	98.1	35.8	OK
		▲ 5.0 L	299	LE1	427.2	0.2	-92.9	91.0	-222.9	98.1	31.6	OK
BP1	CPL1a	▲ 5.0 L	229	LE1	228.0	0.0	-71.8	-71.7	102.3	52.3	24.1	OK
		▲ 5.0 L	229	LE1	228.7	0.0	-87.2	87.2	-85.4	52.5	26.2	OK
CPL1b	M2	▲ 5.0 L	596	LE1	87.6	0.0	1.4	10.1	49.6	20.1	4.5	OK
		▲ 5.0 L	596	LE1	62.6	0.0	13.8	-7.8	34.4	14.4	3.8	OK

**Design data**

Material	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 355	0.90	435.6	352.8

**Concrete block**

Item	Loads	c [mm]	$A_{eff}$ [mm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [MPa]	$k_j$ [-]	$f_{jd}$ [MPa]	$U_t$ [%]	Status
CB 1	LE1	46	119141	27.8	2.59	34.7	80.0	OK



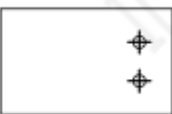
**Shear in contact plane**

Name	Loads	$V_y$ [kN]	$V_z$ [kN]	$V_{Rd,y}$ [kN]	$V_{Rd,z}$ [kN]	$V_{c,Rd}$ [kN]	$U_t$ [%]	Status
BP1	LE1	55.0	92.8	487.8	207.6	497.0	44.7	OK

**Buckling**

Buckling analysis was not calculated.

**Bill of material**
**Manufacturing operations**

Name	Plates [mm]	Shape	Nr.	Welds [mm]	Length [mm]	Bolts	Nr.
BP1	P25.0x480.0-500.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 9.0 Double fillet: a = 9.5 Double fillet: a = 6.0	600.0 299.5 404.5	M24 8.8	4
CPL1	P15.0x300.0-230.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 5.0	1130.0	M20 8.8	2
	P15.0x310.0-190.0 (S 355)		1				

**Welds**

Type	Material	Throat thickness [mm]	Leg size [mm]	Length [mm]
Double fillet	S 355	9.0	12.7	600.0
Double fillet	S 355	9.5	13.4	299.5
Double fillet	S 355	6.0	8.5	404.5
Double fillet	S 355	5.0	7.1	1130.0

## Anchors

Name	Length [mm]	Drill length [mm]	Count
M24 8.8	525	500	4

## Bolts

Name	Grip length [mm]	Count
M20 8.8	30	2

## Code settings

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

## 10.5. Priključak dijagonala VUS-a

### Project item Priključak dijagonala VUS-a

#### Design

Name	Priključak dijagonala VUS-a
Description	Priključak dijagonala VUS-a
Analysis	Stress, strain/ loads in equilibrium

#### Members

##### Geometry

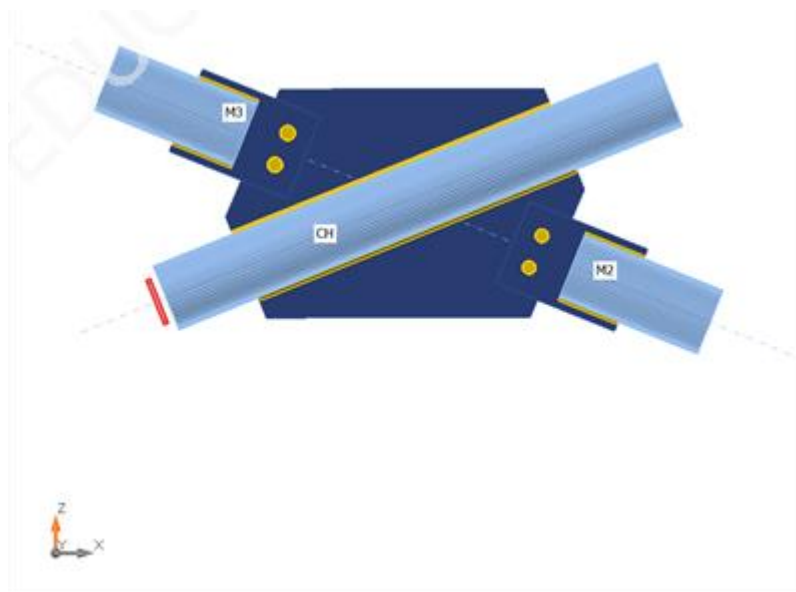
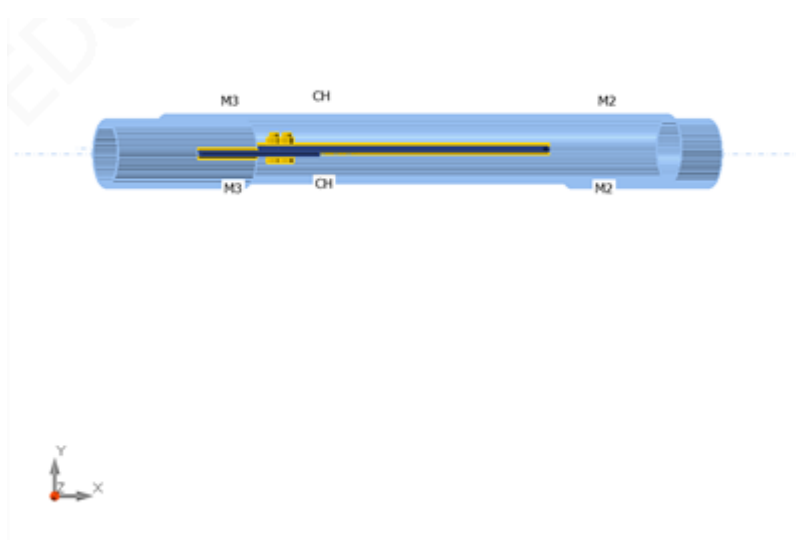
Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
CH	26 - CHS139.7/5.0	0.0	22.0	5.0	0	0	0
M2	26 - CHS139.7/5.0	0.0	-22.0	5.0	95	0	-15
M3	26 - CHS139.7/5.0	180.0	22.0	5.0	125	0	-15

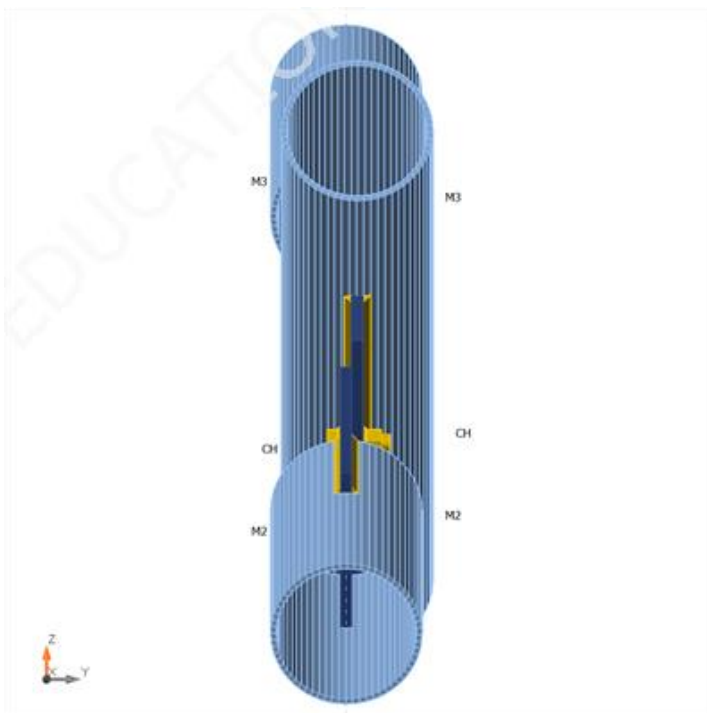
##### Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
CH / begin	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Node	0
CH / end		Node	0
M2 / end		Node	0
M3 / end		Node	0









### Cross-sections

Name	Material
26 - CHS139.7/5.0	S 355

### Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M16 8.8	M16 8.8	16	800.0	201
M18 8.8	M18 8.8	18	800.0	254

### Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	CH / Begin	134.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	CH / End	-134.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M2 / End	82.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	M3 / End	82.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

### Unbalanced forces

Name	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## Check

### Summary

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.3 < 5.0%	OK
Bolts	73.7 < 100%	OK
Welds	49.8 < 100%	OK
Buckling	Not calculated	
GMNA	Calculated	

### Plates

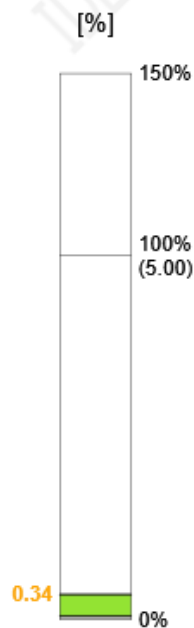
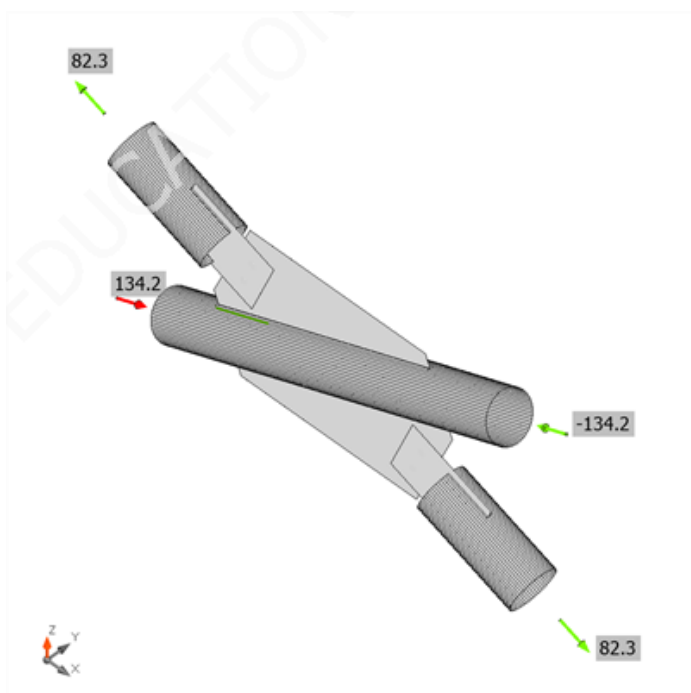
Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pI}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
CH	5.0	LE1	355.7	0.3	0.0	OK
M2	5.0	LE1	259.3	0.0	0.0	OK
M3	5.0	LE1	254.9	0.0	0.0	OK
SP1	10.0	LE1	264.4	0.0	21.2	OK
SP2	10.0	LE1	243.1	0.0	21.0	OK
CPL4	10.0	LE1	226.8	0.0	21.3	OK
CPL5	10.0	LE1	215.9	0.0	21.0	OK

### Design data

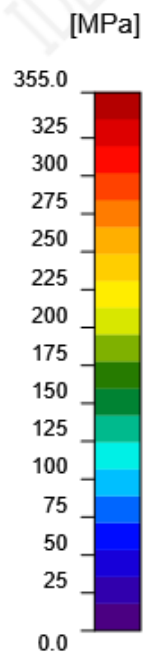
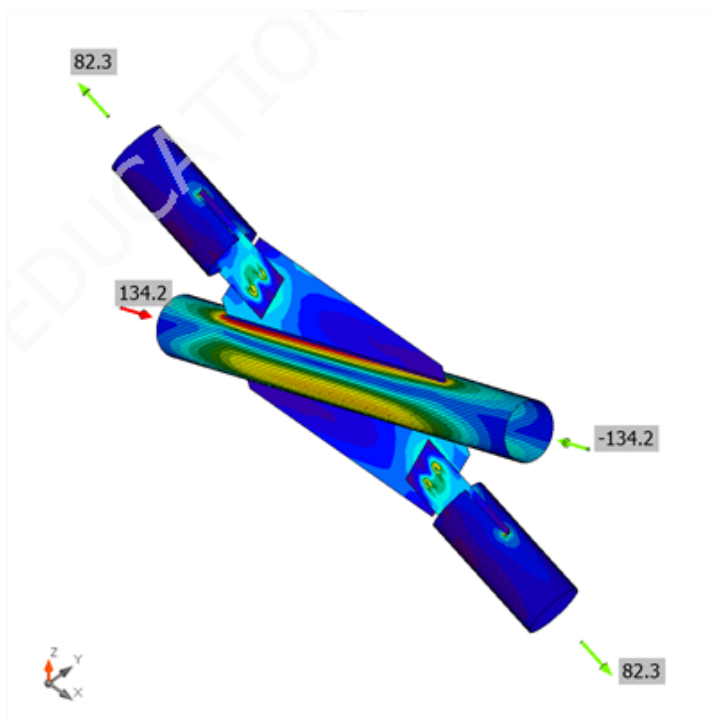
Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 355	355.0	5.0



Overall check, LE1

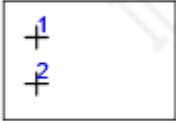
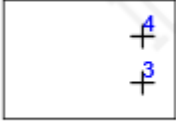


Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

**Bolts**

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B1	M16 8.8 - 1	LE1	6.7	41.2	123.2	7.4	68.4	73.7	OK
	B2	M16 8.8 - 1	LE1	4.6	41.0	119.6	5.0	68.1	71.7	OK
	B3	M18 8.8 - 2	LE1	8.1	41.3	147.0	7.3	56.0	61.2	OK
	B4	M18 8.8 - 2	LE1	5.2	41.0	145.9	4.7	55.6	58.9	OK

**Design data**

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M16 8.8 - 1	90.4	187.5	60.3
M18 8.8 - 2	110.6	211.1	73.7

**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 [%]	$U_{t_c}$ [%]	Status
CH-arc 48	SP1	▲ 5.0 L	696	LE1	84.2	0.0	27.1	30.2	-34.7	19.3	3.1	OK
		▲ 5.0 L	696	LE1	174.6	0.0	76.8	-72.1	54.7	40.1	8.0	OK
CH-arc 16	SP2	▲ 5.0 L	696	LE1	64.1	0.0	17.1	31.0	-17.7	14.7	3.2	OK
		▲ 5.0 L	696	LE1	161.2	0.0	81.5	-70.1	39.2	37.0	7.6	OK
CPL4	M2-arc 15	▲ 4.0	129	LE1	208.7	0.0	-48.8	6.3	117.0	47.9	17.4	OK
CPL4	M2-arc 47	▲ 4.0	129	LE1	212.2	0.0	-53.0	-2.0	118.6	48.7	16.6	OK
CPL5	M3-arc 15	▲ 4.0	129	LE1	211.9	0.0	-53.1	-1.9	118.4	48.7	16.6	OK
CPL5	M3-arc 47	▲ 4.0	129	LE1	208.8	0.0	-48.9	6.1	117.0	47.9	17.3	OK
CPL4	M2	▲ 4.0	258	LE1	216.8	0.0	-50.8	-5.4	-121.5	49.8	17.1	OK
CPL5	M3	▲ 4.0	258	LE1	216.9	0.0	-50.7	-5.2	-121.7	49.8	17.1	OK

**Design data**

Material	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 355	0.90	435.6	352.8

**Buckling**

Buckling analysis was not calculated.

## Code settings

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

## 10.6. Priključak poprečnog i uzdužnog nosača na stup

### Project item Priključak uzdužnog i poprečnog nosača na stup

#### Design

Name	Priključak uzdužnog i poprečnog nosača na stup
Description	Priključak uzdužnog i poprečnog nosača na stup
Analysis	Stress, strain/ loads in equilibrium

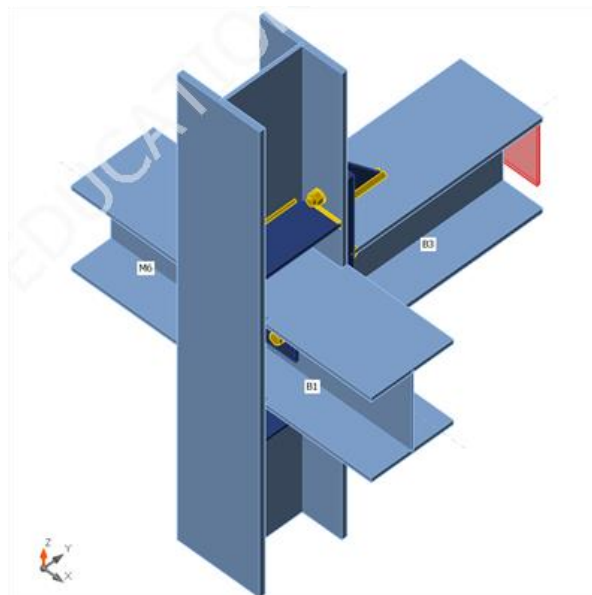
#### Members

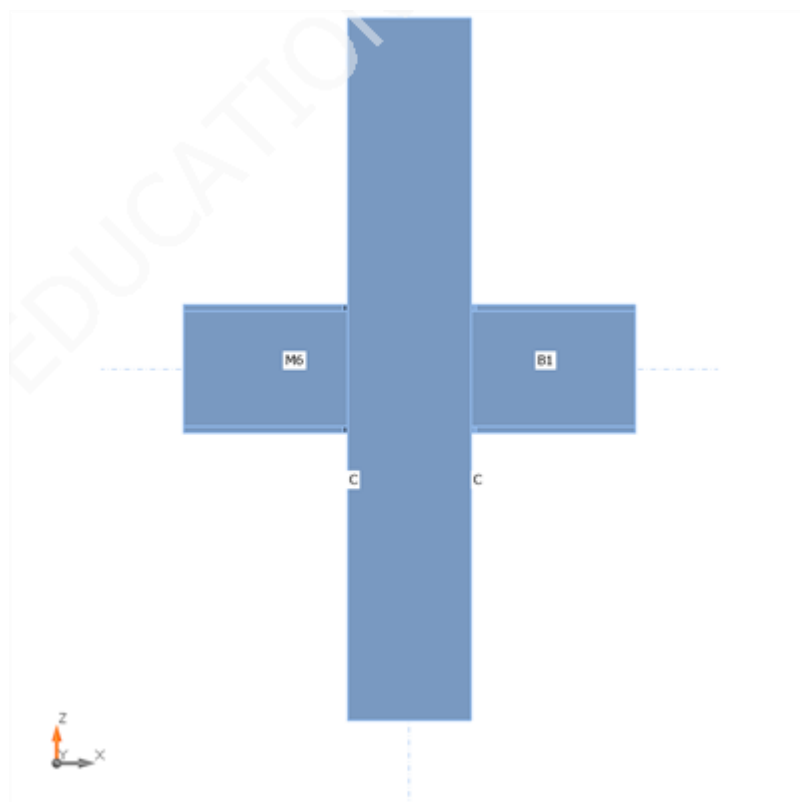
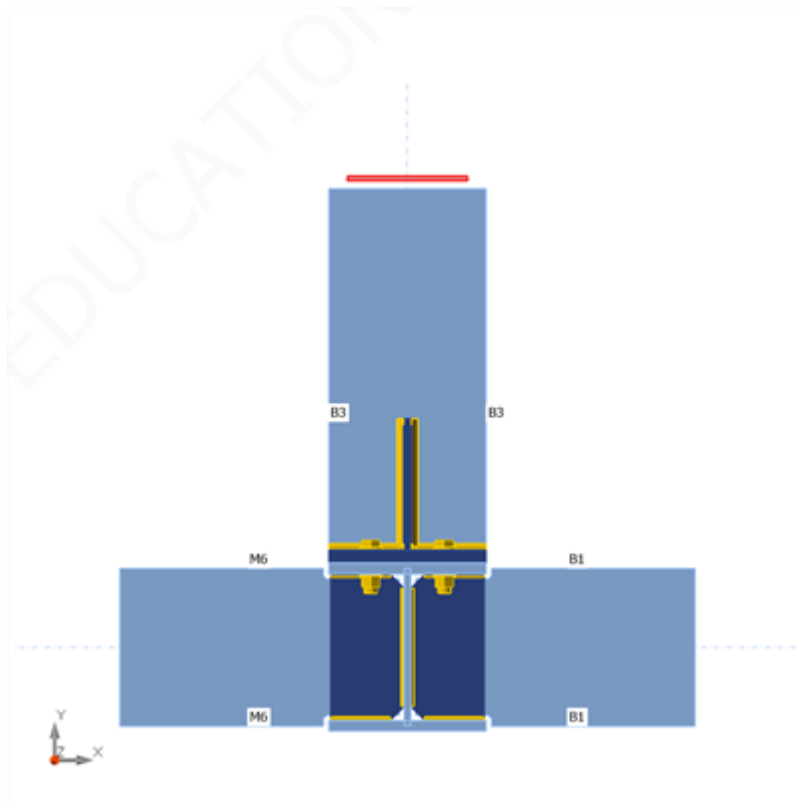
##### Geometry

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	35 - HEB320	0.0	90.0	90.0	0	0	0
B1	36 - HEA320	0.0	0.0	0.0	10	0	0
B3	41 - HEA360	90.0	0.0	0.0	0	0	0
M6	36 - HEA320	180.0	0.0	0.0	10	0	0

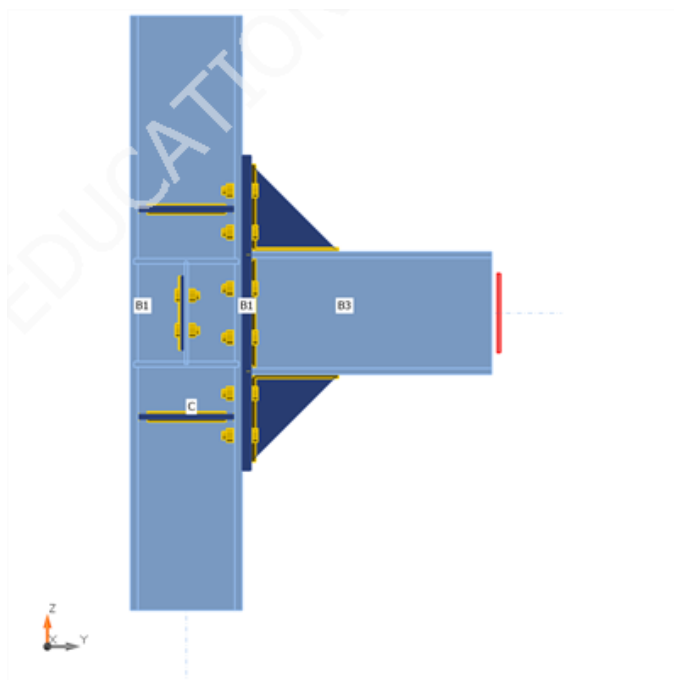
##### Supports and forces

Name	Support	Forces in	X [mm]
C / begin		Node	0
C / end		Node	0
B1 / end		Bolts	66
B3 / end	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Bolts	0
M6 / end		Bolts	66









### Cross-sections

Name	Material
35 - HEB320	S 355
36 - HEA320	S 355
41 - HEA360	S 355

### Bolts

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M24 8.8	M24 8.8	24	800.0	452
M22 8.8	M22 8.8	22	800.0	380

### Load effects (forces in equilibrium)

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	C / Begin	968.2	0.0	201.1	0.0	251.4	0.0
	C / End	-502.7	0.0	-275.3	0.0	-311.9	0.0
	B1 / End	0.0	0.0	118.9	0.0	0.0	0.0
	B3 / End	0.0	0.0	226.5	0.0	-553.5	0.0
	M6 / End	0.0	0.0	-118.9	0.0	0.0	0.0

### Unbalanced forces

Name	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	0.0	74.2	692.1	613.9	-18.0	0.0

## Check Summary

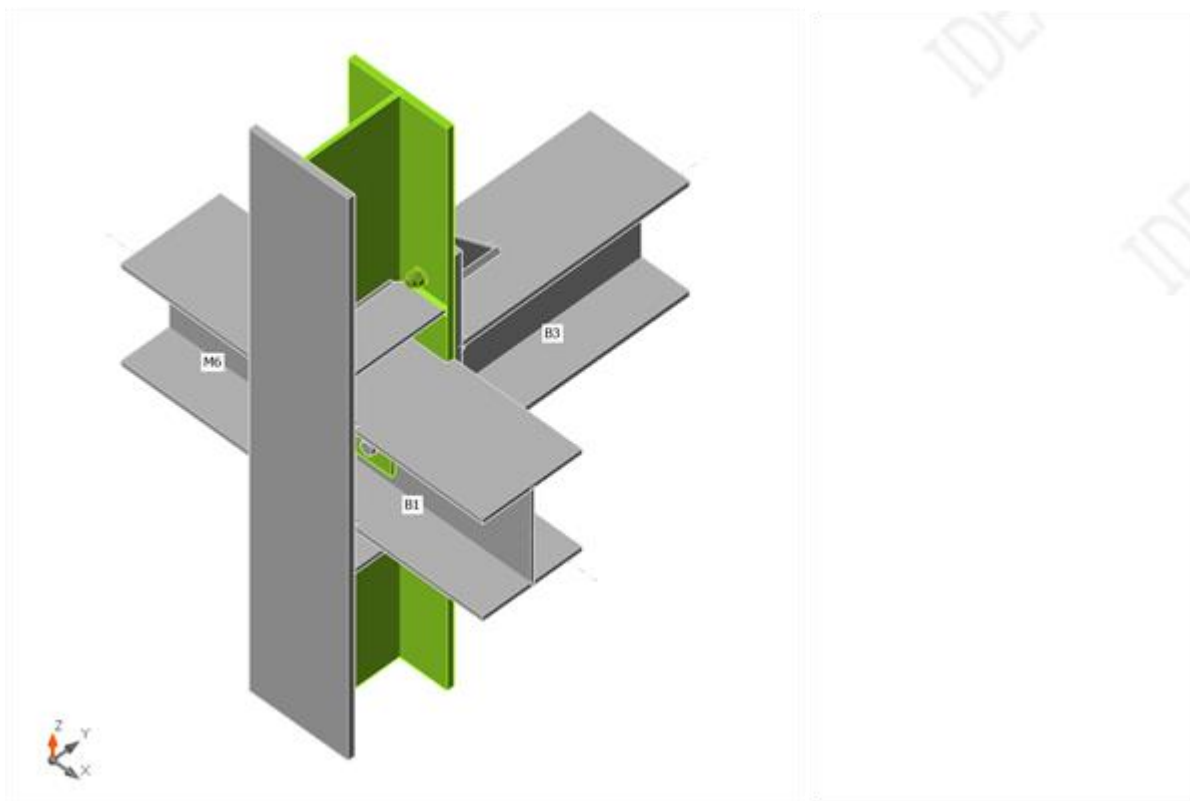
Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	$0.8 < 5.0\%$	OK
Bolts	$62.5 < 100\%$	OK
Welds	$98.2 < 100\%$	OK
Buckling	Not calculated	

## Plates

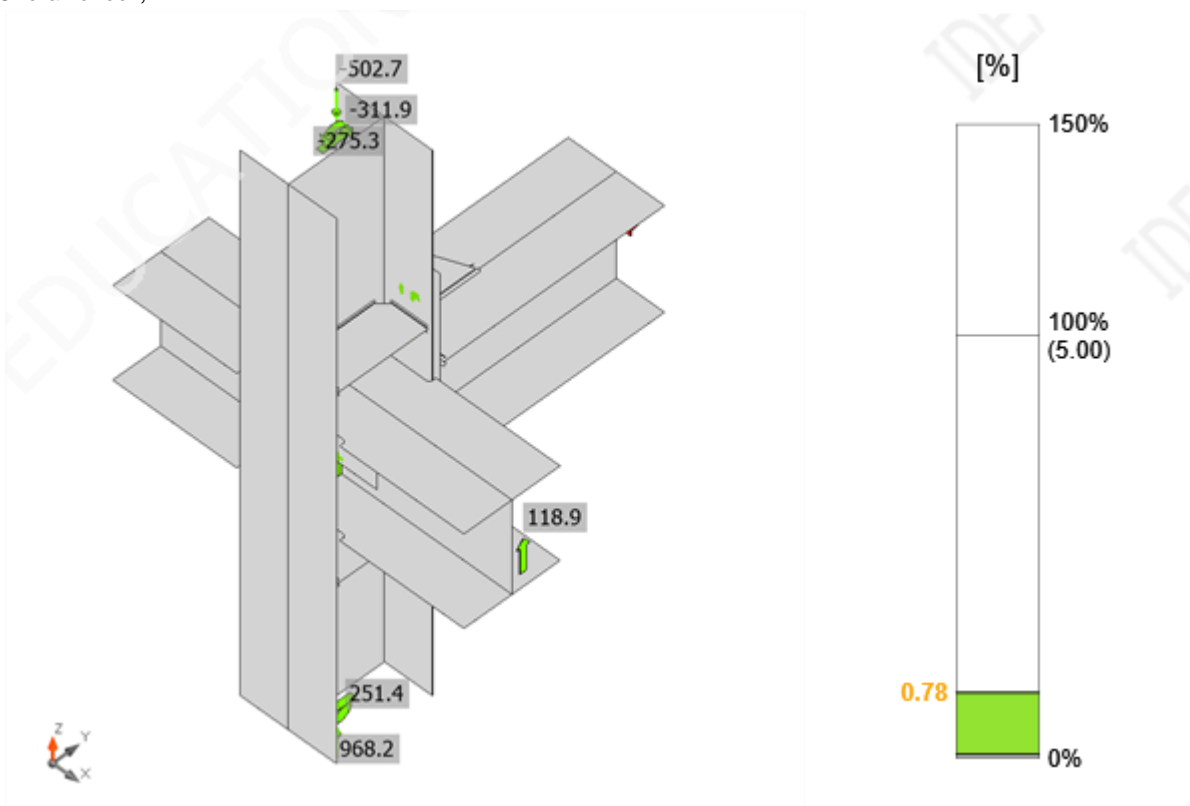
Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
C-bfl 1	20.5	LE1	355.2	0.1	32.9	OK
C-tfl 1	20.5	LE1	347.1	0.0	0.0	OK
C-w 1	11.5	LE1	356.6	0.8	0.0	OK
B1-bfl 1	15.5	LE1	43.1	0.0	0.0	OK
B1-tfl 1	15.5	LE1	43.4	0.0	0.0	OK
B1-w 1	9.0	LE1	298.8	0.0	23.2	OK
B3-bfl 1	17.5	LE1	256.2	0.0	0.0	OK
B3-tfl 1	17.5	LE1	263.9	0.0	0.0	OK
B3-w 1	10.0	LE1	328.0	0.0	0.0	OK
M6-bfl 1	15.5	LE1	43.4	0.0	0.0	OK
M6-tfl 1	15.5	LE1	43.1	0.0	0.0	OK
M6-w 1	9.0	LE1	299.5	0.0	23.1	OK
EP1	25.0	LE1	259.1	0.0	26.5	OK
FP1	10.0	LE1	354.2	0.6	44.1	OK
FP2	10.0	LE1	356.1	0.5	40.6	OK
WID1a	15.0	LE1	147.5	0.0	0.0	OK
WID1b	15.0	LE1	164.1	0.0	0.0	OK
STIFF1a	15.0	LE1	142.4	0.0	0.0	OK
STIFF1b	15.0	LE1	159.8	0.0	0.0	OK
STIFF2a	15.0	LE1	135.3	0.0	0.0	OK
STIFF2b	15.0	LE1	92.8	0.0	0.0	OK

## Design data

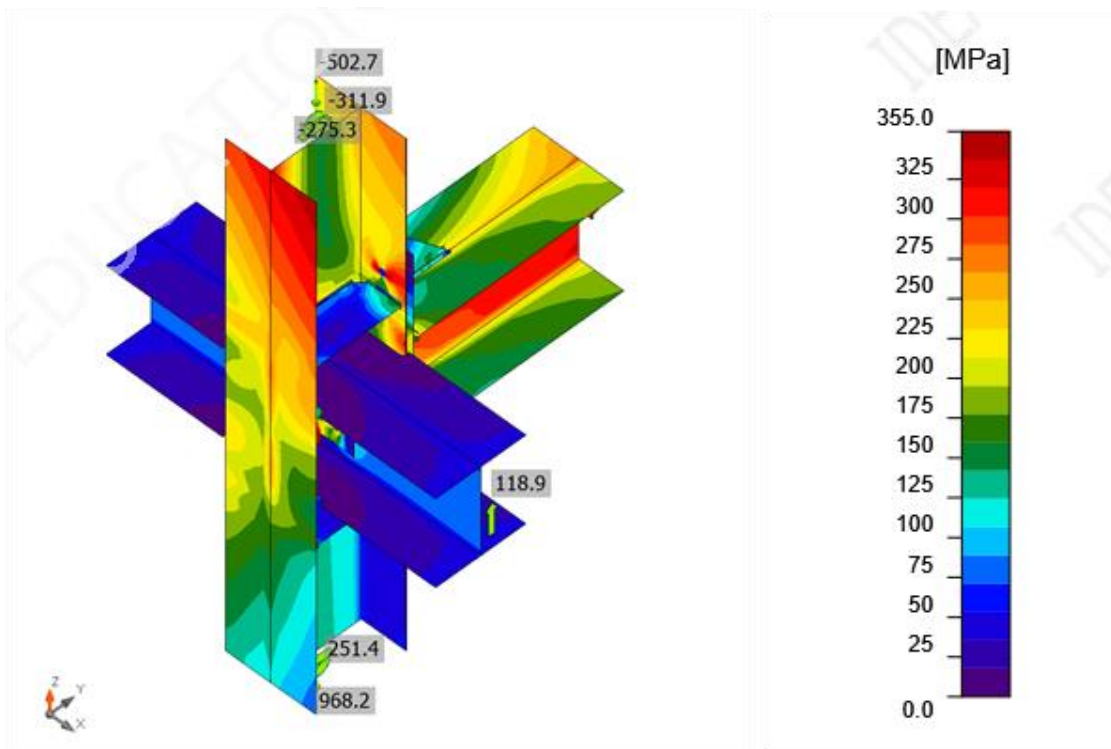
Material	$f_y$ [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
S 355	355.0	5.0



Overall check, LE1



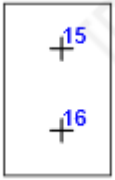
Strain check, LE1



Equivalent stress, LE1

**Bolts**

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B1	M24 8.8 - 1	LE1	27.0	48.8	482.2	13.3	36.0	45.5	OK
	B2	M24 8.8 - 1	LE1	5.3	22.9	482.2	2.6	16.9	18.7	OK
	B3	M24 8.8 - 1	LE1	56.3	26.9	482.2	27.7	19.9	39.6	OK
	B4	M24 8.8 - 1	LE1	7.0	23.6	482.2	3.5	17.4	19.9	OK
	B5	M24 8.8 - 1	LE1	26.2	28.4	482.2	12.9	21.0	30.2	OK
	B6	M24 8.8 - 1	LE1	6.2	19.7	482.2	3.1	14.5	16.7	OK
	B7	M24 8.8 - 1	LE1	3.2	56.4	482.2	1.6	41.6	42.7	OK
	B8	M24 8.8 - 1	LE1	13.8	30.4	482.2	6.8	22.5	27.3	OK
	B9	M24 8.8 - 1	LE1	1.2	49.6	482.2	0.6	36.6	37.0	OK
	B10	M24 8.8 - 1	LE1	26.5	47.1	482.2	13.0	34.7	44.1	OK
	B11	M24 8.8 - 1	LE1	41.2	65.1	482.2	20.3	48.0	62.5	OK
	B12	M24 8.8 - 1	LE1	48.2	54.9	482.2	23.7	40.5	57.5	OK
	B13	M22 8.8 - 2	LE1	2.9	59.7	164.7	1.7	51.3	52.5	OK
	B14	M22 8.8 - 2	LE1	16.6	59.1	194.0	9.5	50.8	57.6	OK

	B15	M22 8.8 - 2	LE1	16.6	59.1	194.0	9.5	50.8	57.6	OK
	B16	M22 8.8 - 2	LE1	2.8	59.7	164.7	1.6	51.3	52.5	OK

**Design data**

Grade	$F_{t,Rd}$ [kN]	$B_{p,Rd}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]
M24 8.8 - 1	203.3	575.5	135.6
M22 8.8 - 2	174.5	238.5	116.4

**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
EP1	B3-bfl 1	▲ 9.0 L	300	LE1	157.1	0.0	-83.4	-69.3	-33.3	36.1	21.9	OK
		▲ 9.0 L	299	LE1	95.0	0.0	25.4	-29.2	-44.1	21.8	11.3	OK
EP1	B3-tfl 1	▲ 9.0 L	299	LE1	108.5	0.0	-31.1	-46.5	-38.0	24.9	13.7	OK
		▲ 9.0 L	300	LE1	175.5	0.0	-92.6	83.2	-22.1	40.3	26.1	OK
EP1	B3-w 1	▲ 9.0 L	332	LE1	88.6	0.0	-22.3	-40.5	-28.4	20.3	10.3	OK
		▲ 9.0 L	331	LE1	258.7	0.0	-15.4	9.2	148.8	59.4	47.2	OK
C-w 1	FP1	▲ 6.0 L	209	LE1	427.7	0.5	-228.3	-189.3	-88.1	98.2	33.0	OK
		▲ 6.0 L	209	LE1	427.5	0.4	191.0	-215.3	49.0	98.1	42.8	OK
C-w 1	FP2	▲ 6.0 L	209	LE1	427.5	0.4	-167.1	-206.1	95.6	98.2	42.3	OK
		▲ 6.0 L	209	LE1	427.8	0.6	-221.3	190.8	-90.9	98.2	32.3	OK
EP1	WID1a	▲ 9.0 L	248	LE1	117.9	0.0	36.4	30.6	-57.1	27.1	16.6	OK
		▲ 9.0 L	248	LE1	42.4	0.0	-1.4	-0.3	-24.5	9.7	4.5	OK
B3-tfl 1	WID1a	▲ 9.0 L	249	LE1	109.7	0.0	-30.5	25.9	-55.1	25.2	12.3	OK
		▲ 9.0 L	248	LE1	132.2	0.0	31.0	-30.0	-67.9	30.3	23.6	OK
EP1	WID1b	▲ 9.0 L	248	LE1	73.5	0.0	15.6	11.3	-39.9	16.9	10.8	OK
		▲ 9.0 L	248	LE1	52.4	0.0	-9.7	4.6	-29.4	12.0	7.3	OK
B3-bfl 1	WID1b	▲ 9.0 L	248	LE1	83.9	0.0	-10.8	-11.7	-46.6	19.3	15.2	OK
		▲ 9.0 L	248	LE1	136.9	0.0	28.6	-17.8	-75.3	31.4	17.7	OK
C-bfl 1	STIFF1a	▲ 5.0 L	113	LE1	129.3	0.0	76.7	60.1	2.6	29.7	26.9	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	53.7	0.0	4.1	-20.7	-23.0	12.3	12.0	OK
C-w 1	STIFF1a	▲ 5.0 L	225	LE1	151.1	0.0	75.0	75.3	7.9	34.7	13.0	OK
		▲ 5.0 L	225	LE1	119.3	0.0	2.5	-2.0	-68.9	27.4	16.8	OK
C-tfl 1	STIFF1a	▲ 5.0 L	113	LE1	135.0	0.0	-31.6	-20.8	-72.9	31.0	20.4	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	205.1	0.0	102.4	-91.7	46.0	47.1	31.4	OK
C-bfl 1	STIFF1b	▲ 5.0 L	113	LE1	267.7	0.0	-114.7	-85.6	110.3	61.5	43.7	OK

		▲ 5.0 L	113	LE1	140.4	0.0	40.6	-50.0	59.3	32.2	23.9	OK
C-w 1	STIFF1b	▲ 5.0 L	224	LE1	126.0	0.0	25.9	25.0	-66.6	28.9	19.6	OK
		▲ 5.0 L	225	LE1	136.8	0.0	-78.9	60.3	23.0	31.4	14.2	OK
C-tfl 1	STIFF1b	▲ 5.0 L	113	LE1	82.7	0.0	-44.4	-22.9	33.1	19.0	13.2	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	115.0	0.0	15.2	-10.5	-65.0	26.4	20.9	OK
C-bfl 1	STIFF2a	▲ 5.0 L	113	LE1	130.9	0.0	-57.1	-43.4	52.4	30.1	18.9	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	141.2	0.0	-56.9	70.6	-24.2	32.4	18.4	OK
C-w 1	STIFF2a	▲ 5.0 L	225	LE1	137.2	0.0	52.7	59.2	-43.0	31.5	19.9	OK
		▲ 5.0 L	224	LE1	46.7	0.0	-19.2	13.9	20.2	10.7	9.4	OK
C-tfl 1	STIFF2a	▲ 5.0 L	113	LE1	97.3	0.0	-61.4	-39.9	17.5	22.3	18.6	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	128.8	0.0	66.7	-62.7	-11.0	29.6	25.8	OK
C-bfl 1	STIFF2b	▲ 5.0 L	113	LE1	81.8	0.0	27.5	39.7	20.1	18.8	13.0	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	162.5	0.0	75.3	-70.2	44.6	37.3	24.9	OK
C-w 1	STIFF2b	▲ 5.0 L	225	LE1	92.3	0.0	23.1	47.2	20.8	21.2	10.3	OK
		▲ 5.0 L	225	LE1	119.1	0.0	34.4	-10.3	-65.0	27.4	18.6	OK
C-tfl 1	STIFF2b	▲ 5.0 L	113	LE1	115.1	0.0	31.8	13.3	-62.5	26.4	13.4	OK
		▲ 5.0 L	113	LE1	113.6	0.0	29.2	-47.8	41.7	26.1	18.7	OK

**Design data**

Material	$\beta_w$ [-]	$\sigma_{w,Rd}$ [MPa]	$0.9 \sigma$ [MPa]
S 355	0.90	435.6	352.8

**Buckling**

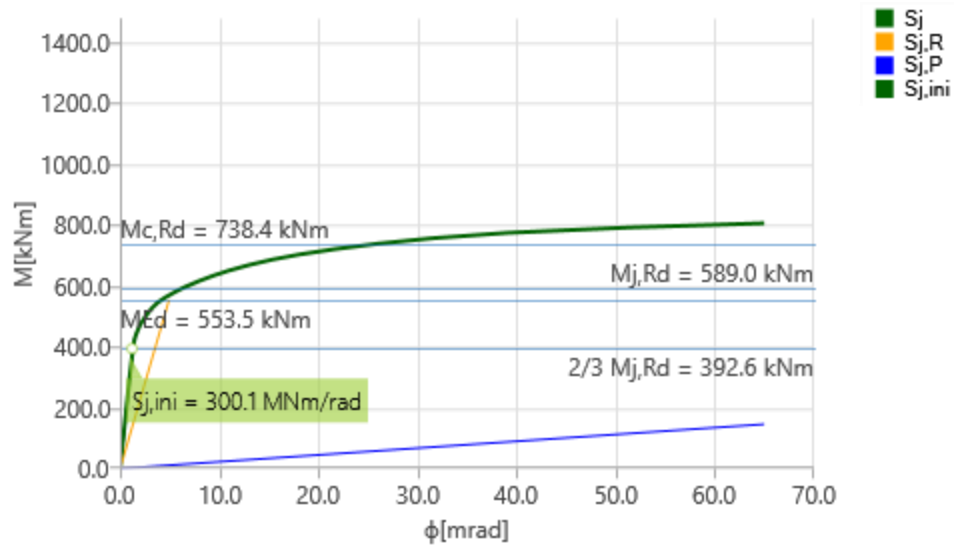
Buckling analysis was not calculated.

**Rotational stiffness**

Name	Comp.	Loads	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	$\Phi_c$ [mrad]	L [m]	$S_{j,R}$ [MNm/rad]	$S_{j,P}$ [MNm/rad]	Class.
B3	My	LE1	-589.0	300.1	-6.1	15.50	112.1	2.2	Rigid

**Secant rotational stiffness**




Name	Comp.	Loads	M [kNm]	$S_{js}$ [MNm/rad]	$\Phi$ [mrad]
B3	My	LE1	-553.5	133.4	-4.1


 Stiffness diagram  $M_y - \phi_y$ , LE1

## Bill of material

### Manufacturing operations

Name	Plates [mm]	Shape	Nr.	Welds [mm]	Length [mm]	Bolts	Nr.
CUT1							
EP1	P25.0x300.0-900.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 9.0	932.5	M24 8.8	12
FP1	P10.0x130.0-210.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 6.0	210.0	M22 8.8	2
FP2	P10.0x130.0-210.0 (S 355)		1	Double fillet: a = 6.0	210.0	M22 8.8	2

WID1	P15.0x250.0-250.0 (S 355)		2	Double fillet: a = 9.0	1000.0		
STIFF1	P15.0x140.0-279.0 (S 355)		2	Double fillet: a = 5.0	902.0		
STIFF2	P15.0x140.0-279.0 (S 355)		2	Double fillet: a = 5.0	902.0		

### Welds

Type	Material	Throat thickness [mm]	Leg size [mm]	Length [mm]
Double fillet	S 355	9.0	12.7	1932.5
Double fillet	S 355	6.0	8.5	420.0
Double fillet	S 355	5.0	7.1	1804.0

### Bolts

Name	Grip length [mm]	Count
M24 8.8	46	12
M22 8.8	19	4

### Code settings

Item	Value	Unit	Reference
Safety factor $\gamma_{M0}$	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor $\gamma_{M1}$	1.00	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor $\gamma_{M2}$	1.25	-	EN 1993-1-1: 6.1
Safety factor $\gamma_{M3}$	1.25	-	EN 1993-1-8: 2.2
Safety factor $\gamma_C$	1.50	-	EN 1992-1-1: 2.4.2.4
Safety factor $\gamma_{Inst}$	1.20	-	EN 1992-4: Table 4.1
Joint coefficient $\beta_j$	0.67	-	EN 1993-1-8: 6.2.5



Effective area - influence of mesh size	0.10	-	
Friction coefficient - concrete	0.25	-	EN 1993-1-8
Friction coefficient in slip-resistance	0.30	-	EN 1993-1-8 tab 3.7
Limit plastic strain	0.05	-	EN 1993-1-5
Detailing	No		
Distance between bolts [d]	2.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Distance between bolts and edge [d]	1.20	-	EN 1993-1-8: tab 3.3
Concrete breakout resistance check	Both		EN 1992-4: 7.2.1.4 and 7.2.2.5
Use calculated $a_b$ in bearing check.	Yes		EN 1993-1-8: tab 3.4
Cracked concrete	Yes		EN 1992-4
Local deformation check	No		CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Local deformation limit	0.03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
Geometrical nonlinearity (GMNA)	Yes		Analysis with large deformations for hollow section joints
Braced system	No		EN 1993-1-8: 5.2.2.5

## 11. ISKAZ MATERIJALA

Pozicija	Profil	Duljina [m]	Specifična masa [kg/m]	Broj komada	Ukupna masa [kg]
S1	HE 320 B	10,150	127	22	28359,10
S2	HE 140 A	0,150	24,7	33	122,27
S3	HE 320 B	8,700	127	11	12153,90
U1	HE 320 A	7,250	97,6	140	99064,00
U2	HE 320 A	0,500	97,6	28	1366,40
U3	HE 320 A	6,750	97,6	14	9223,20
P1	HE 500 A	15,50	155	70	168175,00
F1	HE 360 A	15,50	112	77	133672,00
C1	139,7x5	7,135	16,6	6	710,65
C2	139,7x5	3,194	16,6	12	636,24
C3	139,7x5	6,835	16,6	1	113,46
C4	139,7x5	2,770	16,6	2	91,96
<b>Ukupno</b>					<b>453689,08</b>
Površina objekta [m <sup>2</sup> ]					7866,25
Volumen objekta [m <sup>3</sup> ]					21182,69
<b>Utrošak čelika po m<sup>2</sup></b>					57,68
<b>Utrošak čelika po m<sup>3</sup></b>					21,42

Pozicija	Profili	Volumen [mm <sup>3</sup> ]	Specifična masa [kg/ mm <sup>3</sup> ]	Broj komada	Ukupna masa [kg]
L1	≠500x480x25	6000000	0,00000785	33	1554,3
L2	≠120x200x10	240000	0,00000785	280	527,52
L3	≠279x146x10	407340	0,00000785	70	223,83
L4	≠300x280x10	840000	0,00000785	24	158,26
L5	≠200x310x10	620000	0,00000785	24	116,81
L6	≠900x300x25	6750000	0,00000785	154	8160,08
L7	≠210x120x10	252000	0,00000785	168	332,34
L8	≠370x360x15	1998000	0,00000785	56	878,32
L9	≠300x235x15	1057500	0,00000785	4	33,20
L10	≠190x310x15	883500	0,00000785	4	27,74
L11	≠279x140x15	585900	0,00000785	388	1784,53
L12	≠250x250x15	468750	0,00000785	308	1133,34
L13	≠707x464x10	3280480	0,00000785	6	154,51
L14	≠260x180x10	288000	0,00000785	12	27,13
<b>Ukupno</b>					<b>15115,64</b>
<b>Utrošak materijala na priključcima (varovi, vijci)</b>					<b>5%</b>
<b>Ukupno s priključcima</b>					<b>15871,42</b>
Površina hale [m <sup>2</sup> ]					7866,25
Volumen hale [m <sup>3</sup> ]					21182,69
<b>Utrošak čelika po m<sup>2</sup></b>					<b>2,02</b>
<b>Utrošak čelika po m<sup>3</sup></b>					<b>0,75</b>

## 12. ZAKLJUČAK

Kod konstrukcija kao što su višekratne garaže, u kojima se traži velika površina sa što manje stupova i izbjegavajući zidove, rješenje leži u spregnutim konstrukcijskim elementima. Sprezanjem čeličnog nosača sa betonskom pločom ostvaruju se veliki rasponi koji omogućuju projektiranje ovakvih konstrukcija bez potrebe za ometanjem prometa. No, osim spregnutih nosača postoji mogućnost izvedbe spregnutih stupova. Cilj ovog rada bio je vidjeti kako se čelični i spregnuti stupovi ponašaju u istoj konstrukciji, u istim uvjetima i pod istim opterećenjima, te smanjiti poprečni presjek stupa zamjenjujući ga spregnutim presjekom ako je moguće. Uspoređujući rezultate dobivene za čelični HE 320 B, za djelomično ubetoniran HE 320 B i u potpunosti ubetoniran HE 320 B, zaključeno je da se otpornost poprečnog presjeka na savijanje te otpornost elementa na izvijanje povećala kod spregnutih stupova u odnosu na čelične. Otpornost se također povećala kod presjeka koji je u potpunosti ubetoniran u odnosu na presjek koji je djelomično ubetoniran što nam govori da i betonski dio poprečnog presjeka uvelike pridonosi otpornosti. Otpornost na poprečnu silu ostala je nepromijenjena što je bilo i očekivano s obzirom da se pretpostavlja da poprečnu silu preuzima čelični dio poprečnog presjeka. Dimenzioniranjem spregnutih stupova prema HRN EN 1994 zaključeno je da se poprečni presjek HE 320 B može zamijeniti u potpunosti ubetoniranim spregnutim betonsko-čeličnim presjekom HE 280 B sa debljinom pokrivnog sloja betona od 60 mm.

### 13. POPIS LITERATURE

[1] Pike, D., Guest, P., Jolly, C. K., Levell, S., Pundsack, M., Robery, P.C., Stewart, J.N., Whapples, C.W. *Design recommendations for multi-storey and underground car parks – fourth edition*, London: The Institution of Structural Engineers, 2011.

[2] [https://sections.arcelormittal.com/repository2/Sections/5\\_18\\_2\\_CarParks\\_web.pdf](https://sections.arcelormittal.com/repository2/Sections/5_18_2_CarParks_web.pdf)

(pristupano dana 12.studenog 2023.)

[3] Lukačević, I., *Konstruktivski sustavi garaža*, stručno usavršavanje u graditeljstvu na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, 2011.

[4] HRN EN 1990

[5] HRN EN 1991

[6] HRN EN 1993

[7] HRN EN 1994

[8] HRN EN 1998

[9] Skejić, D. *Klasifikacija okvira, imperfekcije okvira i veznih sustava*, predavanje iz kolegija Metalne konstrukcije 3 na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, 2023.

[10] Džeba, I. *Otpornost poprečnih presjeka i elemenata u čeličnim konstrukcijama – dimenzioniranje*, Zagreb: Građevinski fakultet, 2013.

[11] Boduljak, S., Bošnjak, A., Jurić, V., Lucić, M., Lucić, N., Perić, A., Pervan, B., Vrdoljak, I., Vujčić, T. *Uvod u spregnute konstrukcije od čelika i betona iz studentske perspektive*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Osijeku, 2020.

[12] Androić, B., Dujmović, D., Lukačević, I. *Projektiranje spregnutih konstrukcija prema Eurocode 4*, Zagreb: IA Projektiranje, 2012.

## 14. POPIS TABLICA

<b>Tablica 1.</b> Preporučene vrijednosti faktora $\psi$ iz norme HRN EN 1990:2011, tablica A1.1[4] ...	23
<b>Tablica 2.</b> Vrijednosti faktora $\varphi$ iz norme HRN EN 1998-1:2011, tablica 4.2[8].....	24
<b>Tablica 3.</b> Uporabna opterećenja garaža i prostora za promet vozila iz norme HRN EN 1991-1-1, tablica 6.8[5] .....	26
<b>Tablica 4.</b> Karakteristično opterećenje snijegom na tlu (HRN EN 1991-1-3)[5] .....	29
<b>Tablica 5.</b> Kategorije terena i parametri terena iz norme HRN EN 1991-1-4:2012,tablica 4.1[5] .....	32
<b>Tablica 6.</b> Preporučene vrijednosti $\lambda$ za valjke, poligonalne profile, pravokutne profile, konstrukcijske profile oštih bridova i rešetkaste konstrukcije iz HR EN 1991-1-4 , tablica 7.16(N)[5] .....	37
<b>Tablica 7.</b> Tipovi temeljnog tla iz norme HRN EN 1998-1:2011, tablica 3.1.[8] .....	48
<b>Tablica 8.</b> Klase važnosti građevine iz norme HRN EN 1998-1:2011, tablica 4.3.[8].....	49
<b>Tablica 9.</b> Granične vrijednosti faktora ponašanja za čelične sustave pravilne po visini iz norme HRN EN 1998-1:2011, tablica 6.2[8] .....	50
<b>Tablica 10.</b> Faktori imperfekcije $\alpha$ i ekvivalentne geometrijske imperfekcije $e_0$ [10] .....	76
<b>Tablica 11.</b> Parametri temeljnog tla za horizontalni tip spektra 1[8].....	121
<b>Tablica 12.</b> Parametri temeljnog tla za horizontalni tip spektra 2[8].....	121
<b>Tablica 13.</b> Rezultati modalne analize .....	124
<b>Tablica 14.</b> Maksimalne vrijednosti $d/t$ , $h/t$ i $b/t_f$ [12] .....	131
<b>Tablica 15.</b> Krivulje izvijanja i imperfekcije elemenata spregnutih stupova [12] .....	135
<b>Tablica 16.</b> Vrijednosti faktora ekvivalentnog momenta $\beta$ [12].....	136

## 15. POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Garaža s vanjskom rampom zakrivljenog oblika [1] .....	12
<b>Slika 2.</b> Garaža s unutarnjom rampom ravnog oblika [1] .....	13
<b>Slika 3.</b> Prikaz Humy sustava [2] .....	13
<b>Slika 4.</b> Parkirna mjesta pod kutem od $45^\circ$ (A i B) te okomita parkirna mjesta(C i D) [2] .....	14
<b>Slika 5.</b> Jednosmjerno kruženje s rampama na krajevima [3] .....	14
<b>Slika 6.</b> Odvojeno kruženje[3].....	15
<b>Slika 7.</b> Dvosmjerno kruženje s dvostrukim rampama[3] .....	15
<b>Slika 8.</b> Mješovito kruženje[3] .....	15
<b>Slika 9.</b> Vanjske spiralne rampe za ulaz i izlaz[3].....	15
<b>Slika 10.</b> Raspored stupova koji ne ometa promet vozila(lijevo) i raspored stupova koji ometa promet vozila(desno) [3].....	16
<b>Slika 11.</b> Moždanici zavareni za gornju pojasnicu čeličnog poprečnog presjeka[2] .....	17
<b>Slika 12.</b> Spregnuti nosač s PCC cjevasto nazubljenim montažnim pločama[3] .....	17
<b>Slika 13.</b> Spregnuti nosač s monolitnom betonskom pločom u trapeznom limu[3].....	18
<b>Slika 14.</b> Spregnuti nosač s prefabriciranim betonskim pločama zalivenim svježim betonom[3] .....	18
<b>Slika 15.</b> Sustav Hoesch Aditiv[3] .....	18
<b>Slika 16.</b> Vijčani spoj grede i stupa[2] .....	19
<b>Slika 17.</b> Uranjanje čeličnog elementa u kupku od cinka[3].....	19
<b>Slika 18.</b> Karta karakterističnog opterećenja snijegom za Republiku Hrvatsku [5].....	28
<b>Slika 19.</b> Karta osnovne brzine vjetra za Republiku Hrvatsku[5] .....	30
<b>Slika 20.</b> Referentna visina $z_e$ i raspodjela vršnog tlaka po visini konstrukcije kada je $h \leq b$ [5] .....	32
<b>Slika 21.</b> Koeficijenti sile $cf, 0$ za pravokutne profile s oštrim uglovima i bez toka preko slobodnog kraja [5] .....	36
<b>Slika 22.</b> Orijentacijske vrijednosti faktora učinka kraja $\Psi_\lambda$ kao funkcije omjera punoće $\varphi$ i vitkosti $\lambda$ .....	38
<b>Slika 23.</b> Dimenzije međukatne konstrukcije u uzdužnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar.....	38
<b>Slika 24.</b> Dimenzije stupa u uzdužnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar ...	40
<b>Slika 25.</b> Dimenzije stupa u uzdužnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar ...	41
<b>Slika 26.</b> Dimenzije međukatne konstrukcije u poprečnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar.....	42
<b>Slika 27.</b> Dimenzije stupa u poprečnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar ..	44
<b>Slika 28.</b> Dimenzije stupa u poprečnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar. ....	45
<b>Slika 29.</b> Dimenzije pristupne rampe u poprečnom smjeru za određivanje površine na koju djeluje vjetar .....	46
<b>Slika 30.</b> 2D statički model poprečnog nosača.....	52

<b>Slika 31.</b> Mjerodavno opterećenje za GSN .....	53
<b>Slika 32.</b> Mjerodavno opterećenje za GSU .....	53
<b>Slika 33.</b> Dijagram momenta savijanja <i>My, Ed</i> .....	53
<b>Slika 34.</b> Dijagram poprečnih sila <i>Vz, Ed</i> .....	53
<b>Slika 35.</b> Progib poprečnog nosača .....	53
<b>Slika 36.</b> 2D statički model poprečnog nosača.....	59
<b>Slika 37.</b> Mjerodavno opterećenje za GSN .....	60
<b>Slika 38.</b> Mjerodavno opterećenje za GSU .....	60
<b>Slika 39.</b> Dijagram momenta savijanja <i>My, Ed</i> .....	60
<b>Slika 40.</b> Dijagram poprečnih sila <i>Vz, Ed</i> .....	60
<b>Slika 41.</b> Progib sekundarnog poprečnog nosača .....	60
<b>Slika 42.</b> Plastična otpornost spregnutog poprečnog presjeka kada neutralna os leži u pojasnici	62
<b>Slika 43.</b> 2D statički model poprečnog nosača.....	66
<b>Slika 44.</b> Mjerodavno opterećenje za GSN .....	66
<b>Slika 45.</b> Mjerodavno opterećenje za GSU .....	66
<b>Slika 46.</b> Dijagram momenta savijanja <i>My, Ed</i> .....	67
<b>Slika 47.</b> Dijagram poprečnih sila <i>Vz, Ed</i> .....	67
<b>Slika 48.</b> Progib uzdužnog nosača.....	67
<b>Slika 49.</b> Početni kut rotacije $\phi[9]$ .....	75
<b>Slika 50.</b> Globalni mod izvijanja.....	81
<b>Slika 51.</b> 3D model konstrukcije .....	82
<b>Slika 52.</b> Tlocrt konstrukcije .....	82
<b>Slika 53.</b> Poprečni smjer konstrukcije.....	83
<b>Slika 54.</b> Uzdužni smjer konstrukcije-pogled B-B.....	83
<b>Slika 55.</b> Uzdužni smjer konstrukcije-pogled C-C.....	83
<b>Slika 56.</b> Prikaz analiziranog poprečnog nosača(B184).....	84
<b>Slika 57.</b> Dijagram momenta savijanja <i>My, Ed</i> .....	85
<b>Slika 58.</b> Dijagram poprečnih sila <i>Vz, Ed</i> .....	86
<b>Slika 59.</b> Progib poprečnog nosača B184.....	89
<b>Slika 60.</b> Prikaz analiziranog sekundarnog poprečnog nosača(B231) .....	90
<b>Slika 61.</b> Dijagram momenta savijanja <i>My, Ed</i> .....	91
<b>Slika 62.</b> Dijagram poprečnih sila <i>Vz, Ed</i> .....	92
<b>Slika 63.</b> Plastična otpornost spregnutog poprečnog presjeka kada neutralna os leži u pojasnici	93
<b>Slika 64.</b> Progib sekundarnog poprečnog nosača za mjerodavnu kombinaciju COMB 21 .....	95
<b>Slika 65.</b> Progib sekundarnog poprečnog nosača za korisno opterećenje .....	96
<b>Slika 66.</b> Prikaz analiziranog uzdužnog nosača(B461) .....	97
<b>Slika 67.</b> Dijagram momenta savijanja <i>My, Ed</i> .....	99
<b>Slika 68.</b> Dijagram poprečnih sila <i>Vz, Ed</i> .....	99
<b>Slika 69.</b> Progib uzdužnog nosača.....	101
<b>Slika 70.</b> Prikaz analiziranog stupa (B23) .....	102



<b>Slika 71.</b> Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja .....	103
<b>Slika 72.</b> Prikaz prvog dijela momentnog dijagrama .....	109
<b>Slika 73.</b> Prikaz drugog dijela momentnog dijagrama .....	110
<b>Slika 74.</b> Prikaz prvog dijela momentnog dijagrama .....	111
<b>Slika 75.</b> Prikaz drugog dijela momentnog dijagrama .....	112
<b>Slika 76.</b> Maksimalni pomaci stupa B23 u x i y smjeru .....	114
<b>Slika 77.</b> Dijagram uzdužnih sila vertikalnog uzdužnog sprega .....	115
<b>Slika 78.</b> Prikaz pomaka konstrukcije u x smjeru .....	118
<b>Slika 79.</b> Prikaz pomaka konstrukcije u y smjeru .....	119
<b>Slika 80.</b> Elastični spektar odziva [8] .....	120
<b>Slika 81.</b> Elastični spektar tipa 1[8] .....	121
<b>Slika 82.</b> Elastični spektar tipa 2[8] .....	122
<b>Slika 83.</b> Horizontalni proračunski spektar odziva za x smjer .....	123
<b>Slika 84.</b> Horizontalni proračunski spektar odziva za y smjer .....	124
<b>Slika 85.</b> Prvi mod osciliranja-translacija u x smjeru .....	125
<b>Slika 86.</b> Drugi mod osciliranja-translacija u y smjeru .....	125
<b>Slika 87.</b> Treći mod osciliranja -torzija .....	125
<b>Slika 88.</b> Dijagram momenata savijanja poprečnog nosača .....	126
<b>Slika 89.</b> Dijagram poprečnih sila poprečnog nosača .....	126
<b>Slika 90.</b> Dijagram momenata savijanja sekundarnog poprečnog nosača .....	126
<b>Slika 91.</b> Dijagram poprečnih sila sekundarnog poprečnog nosača .....	126
<b>Slika 92.</b> Dijagram momenata savijanja uzdužnog nosača .....	127
<b>Slika 93.</b> Dijagram poprečnih sila uzdužnog nosača .....	127
<b>Slika 94.</b> Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja .....	127
<b>Slika 95.</b> Dijagram uzdužnih sila vertikalnog uzdužnog sprega .....	128
<b>Slika 96.</b> Različiti poprečni presjeci spregnutih stupova [12] .....	130
<b>Slika 97.</b> Tipični poprečni presjeci čeličnih stupova i oznake dimenzija [7] .....	130
<b>Slika 98.</b> Interakcijska krivulja .....	132
<b>Slika 99.</b> Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja .....	141
<b>Slika 100.</b> Interakcijska krivulja .....	144
<b>Slika 101.</b> Očitavanje vrijednosti $Mpl, N, Rd$ na interakcijskoj krivulji .....	145
<b>Slika 102.</b> Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja .....	151
<b>Slika 103.</b> Interakcijska krivulja .....	155
<b>Slika 104.</b> Očitavanje vrijednosti $Mpl, N, Rd$ na interakcijskoj krivulji .....	155
<b>Slika 105.</b> Dijagram uzdužnih sila, poprečnih sila i momenata savijanja .....	162
<b>Slika 106.</b> Interakcijska krivulja .....	166
<b>Slika 107.</b> Očitavanje vrijednosti $Mpl, N, Rd$ na interakcijskoj krivulji .....	166

## 16. PRILOG

Kombinacije opterećenja za granično stanje nosivosti, granično stanje uporabivosti i potresno djelovanje:

Name	Description	Type	Load cases	Coeff. [-]
COMB1		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350
			DS - Dodatno stalno	1.350
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350
			S - Snijeg	1.500
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	1.500
			W-uzdužno - vjetar	0.900
COMB2		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350
			DS - Dodatno stalno	1.350
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350
			S - Snijeg	1.500
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	1.500
			W-poprečno - vjetar	0.900
COMB3		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350
			DS - Dodatno stalno	1.350
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350
			S - Snijeg	1.500
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	1.500
			W-uzdužno - vjetar	0.900
COMB4		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350
			DS - Dodatno stalno	1.350
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350
			S - Snijeg	1.500
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	1.500
			W-poprečno - vjetar	0.900
COMB5		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350
			DS - Dodatno stalno	1.350
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350
			S - Snijeg	0.750
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	0.750
			W-uzdužno - vjetar	1.500
COMB6		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350
			DS - Dodatno stalno	1.350
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350
			S - Snijeg	0.750
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	0.750
			W-poprečno - vjetar	1.500
COMB7		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350
			DS - Dodatno stalno	1.350
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350
			S - Snijeg	0.750
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	0.750
			W-uzdužno - vjetar	1.500
COMB8		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350
			DS - Dodatno stalno	1.350
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350
			S - Snijeg	0.750
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	0.750
			W-poprečno - vjetar	1.500
COMB9		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350
			DS - Dodatno stalno	1.350
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350
			Q - Uporabno	1.500
			IMP_U_X - imperfekcija od uporabnog opterećenja	1.500
			S - Snijeg	0.750
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	0.750
			W-uzdužno - vjetar	0.900

Name	Description	Type	Load cases	Coeff. [-]			
COMB10		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350			
			DS - Dodatno stalno	1.350			
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350			
			Q - Uporabno	1.500			
			IMP_U_X - imperfekcija od uporabnog opterećenja	1.500			
			S - Snijeg	0.750			
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	0.750			
			W-poprečno - vjetar	0.900			
COMB11		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350			
			DS - Dodatno stalno	1.350			
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350			
			Q - Uporabno	1.500			
			IMP_U_Y - imperfekcija od uporabnog opterećenja	1.500			
			S - Snijeg	0.750			
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	0.750			
			W-uzdužno - vjetar	0.900			
COMB12		Linear - ultimate	VT - Vlastita težina	1.350			
			DS - Dodatno stalno	1.350			
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.350			
			Q - Uporabno	1.500			
			IMP_U_Y - imperfekcija od uporabnog opterećenja	1.500			
			S - Snijeg	0.750			
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	0.750			
			W-poprečno - vjetar	0.900			
COMB13		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000			
			DS - Dodatno stalno	1.000			
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000			
			S - Snijeg	1.000			
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	1.000			
			W-uzdužno - vjetar	0.600			
			COMB14		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000
						DS - Dodatno stalno	1.000
IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000						
S - Snijeg	1.000						
IMP_S_X - imperfekcija od snijega	1.000						
W-poprečno - vjetar	0.600						
COMB15		Linear - serviceability				VT - Vlastita težina	1.000
						DS - Dodatno stalno	1.000
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000			
			S - Snijeg	1.000			
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	1.000			
			W-uzdužno - vjetar	0.600			
			COMB16		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000
						DS - Dodatno stalno	1.000
IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000						
S - Snijeg	1.000						
IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	1.000						
W-poprečno - vjetar	0.600						
COMB17		Linear - serviceability				VT - Vlastita težina	1.000
						DS - Dodatno stalno	1.000
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000			
			S - Snijeg	0.500			
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	0.500			
			W-uzdužno - vjetar	1.000			
			COMB18		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000
						DS - Dodatno stalno	1.000
IMP_ST_X - imperfekcija od	1.000						

Name	Description	Type	Load cases	Coeff. [-]
			stalnog opterećenja	
			S - Snijeg	0.500
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	0.500
			W-poprečno - vjetar	1.000
COMB19		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000
			S - Snijeg	0.500
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	0.500
			W-uzdužno - vjetar	1.000
COMB20		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000
			S - Snijeg	0.500
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	0.500
			W-poprečno - vjetar	1.000
COMB21		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000
			Q - Uporabno	1.000
			IMP_U_X - imperfekcija od uporabnog opterećenja	1.000
			S - Snijeg	0.500
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	0.500
			W-uzdužno - vjetar	0.600
COMB22		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			IMP_ST_X - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000
			Q - Uporabno	1.000
			IMP_U_X - imperfekcija od uporabnog opterećenja	1.000
			S - Snijeg	0.500
			IMP_S_X - imperfekcija od snijega	0.500
			W-poprečno - vjetar	0.600
COMB23		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000
			Q - Uporabno	1.000
			IMP_U_Y - imperfekcija od uporabnog opterećenja	1.000
			S - Snijeg	0.500
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	0.500
			W-uzdužno - vjetar	0.600
COMB24		Linear - serviceability	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			IMP_ST_Y - imperfekcija od stalnog opterećenja	1.000
			Q - Uporabno	1.000
			IMP_U_Y - imperfekcija od uporabnog opterećenja	1.000
			S - Snijeg	0.500
			IMP_S_Y - imperfekcija od snijega	0.500
			W-poprečno - vjetar	0.600
COMB25		Envelope - ultimate	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			Q - Uporabno	0.600
			S_X - potres u x smjeru	1.000
			S_X_AE - Accidental eccentricity for S_X	1.000
			S_Y - potres u y smjeru	0.300
			S_Y_AE - Accidental eccentricity for S_Y	0.300
COMB26		Envelope - ultimate	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000

Name	Description	Type	Load cases	Coeff. [-]
			Q - Uporabno	0.600
			S <sub>X</sub> - potres u x smjeru	1.000
			S <sub>X</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>X</sub>	1.000
			S <sub>Y</sub> - potres u y smjeru	-0.300
			S <sub>Y</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>Y</sub>	-0.300
COMB27		Envelope - ultimate	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			Q - Uporabno	0.600
			S <sub>X</sub> - potres u x smjeru	-1.000
			S <sub>X</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>X</sub>	-1.000
			S <sub>Y</sub> - potres u y smjeru	0.300
			S <sub>Y</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>Y</sub>	0.300
COMB28		Envelope - ultimate	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			Q - Uporabno	0.600
			S <sub>X</sub> - potres u x smjeru	0.300
			S <sub>X</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>X</sub>	0.300
			S <sub>Y</sub> - potres u y smjeru	1.000
			S <sub>Y</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>Y</sub>	1.000
COMB29		Envelope - ultimate	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			Q - Uporabno	0.600
			S <sub>X</sub> - potres u x smjeru	-0.300
			S <sub>X</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>X</sub>	-0.300
			S <sub>Y</sub> - potres u y smjeru	1.000
			S <sub>Y</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>Y</sub>	1.000
COMB30		Envelope - ultimate	VT - Vlastita težina	1.000
			DS - Dodatno stalno	1.000
			Q - Uporabno	0.600
			S <sub>X</sub> - potres u x smjeru	0.300
			S <sub>X</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>X</sub>	0.300
			S <sub>Y</sub> - potres u y smjeru	-1.000
			S <sub>Y</sub> _AE - Accidental eccentricity for S <sub>Y</sub>	-1.000

## **17. POPIS NACRTA**

**1]** Dispozicijsko rješenje 1:200

**[2]** Pregledni nacrt- vertikalni uzdužni spreg 1:25

**[3]** Pregledni nacrt- vertikalni uzdužni spreg 1:25

**[4]** Detalj A 1:5

**[5]** Detalj B 1:5

**[6]** Detalj C 1:5

**[7]** Detalj D 1:5

**[8]** Detalj E 1:5

**[8]** Detalj F 1:5