

# Analiza visoke okvirne čelične konstrukcije zgrade sa sustavom spregnute jezgre

---

**Bene, Toni**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:658507>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-07**

*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Toni Bene

**ANALIZA VISOKE OKVIRNE ČELIČNE  
KONSTRUKCIJE ZGRADE SA SUSTAVOM  
SPREGNUTE JEZGRE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Toni Bene

**ANALIZA VISOKE OKVIRNE ČELIČNE  
KONSTRUKCIJE ZGRADE SA SUSTAVOM  
SPREGNUTE JEZGRE**

DIPLOMSKI RAD

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

Zagreb, 2024.



University of Zagreb  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Toni Bene

**ANALYSIS OF TALL BUILDING STEEL FRAME  
STRUCTURE WITH COMPOSITE STEEL-  
CONCRETE CORE**

MASTER THESIS

Supervisor: Assoc. Prof. Ivan Lukačević

Zagreb, 2024.



## ZAHVALE

Želio bi se zahvaliti svima koji su mi bili podrška i koji su me podupirali u mom školovanju.

Velika hvala mom mentoru izv. prof. dr. sc. Ivanu Lukačeviću na posvećenom vremenu i razumijevanju za mene i moj rad, korisnim savjetima, usmjeravanju pri izradi rada.

Zahvalio bih se i svim ostalim profesorima i asistentima s našeg fakulteta na prenesenom znanju tokom cijelog studija a posebno profesorima i asistentima s zavoda za konstrukcije pošto sam ipak odabrao ići u tom smjeru obrazovanja i stjecanja novih znanja.

Hvala svim kolegama koji su bili uz mene tokom mog studiranja a najviše prijateljima s kojima sam razmjenjivao znanja i riješavao probleme bilo kakvih nejasnoća, a najviše na druženju i šalama tokom studija.

Hvala mojoj obitelji i rodbini na pružanju podrške u lijepim i teškim trenucima mog školovanja.

## SAŽETAK

Razvojem novih metoda i tehnologija izgradnje spregnuti sustavi čelik beton sve se više koriste kod izgradnje visokih zgrada. Tema ovog rada je analiza visoke okvirne čelične konstrukcije zgrade sa sustavom spregnute jezgre. Rad je podijeljen u dva dijela. Prvi dio obrađuje teoriju vezanu za ponašanje sustava koji je predmet rada i korištene metode dok je u drugom dijelu proveden globalni proračun i dokaz pouzdanosti karakterističnih elemenata zgrade. Teorijski dio opisuje karakteristike analiziranih konstrukcijskih sustava. Navedene su prednosti i nedostaci te je opisan način proračuna takvih sustava prema dostupnoj literaturi. U praktičnom dijelu rada proveden je proračun čelične okvirne konstrukcije tj. njezinih elemenata i priključaka te je proveden preliminarni proračun spregnute jezgre. U analizi je obuhvaćeno i djelovanje potresa korištenjem linearne dinamičke analize. Kod analize djelovanja vjetra na građevinu, korištene su dvije metode: postupak sile vjetra na konstrukciju i postupak tlaka vjetra na površine. Proračuni su provedeni prema europskim normama te dostupnoj literaturi u slučaju spregnute jezge. U radu su korišteni računalni programi Autodesk Robot, IDEA Statica te Autocad.

## KLJUČNE RIJEČI

Visoka građevina, okvirna konstrukcija, spregnuta jezgra, spregnuti posmični zid ispunjen betonom

## SUMMARY

With the development of new methods and technologies of construction, composite steel-concrete systems are increasingly used in tall buildings. The subject of this thesis is the analysis of tall building with steel frame structure supported with composite steel-concrete core. The thesis consists of two parts. The first part addresses the theory of the behaviour of a system that is the subject of the thesis and the method used, while the second part contains the global calculations and proof of the reliability of the characteristic elements of the building. The theoretical part describes the characteristics of the analysed structural systems. The advantages and disadvantages are listed and the design methods for such systems from the available literature are summarised. The practical part of the thesis contains the calculations of the steel frame structure, its elements and joints as well as the preliminary calculations of the composite core. The analysis also includes the effects of earthquakes using linear dynamic analysis. The analysis of the wind load on the structure uses two methods: the effect of the wind forces on the structure and the effects of the wind pressures on surfaces. Calculations are made according to European standards and available literature in the case of a composite core. Autodesk Robot, IDEA Statica and Autocad software are used in the paper.

## KEY WORDS

Tall building, Frame structure, Composite core, Concrete-filled composite shear wall

---

## SADRŽAJ

ZAHVALE.....	i
SAŽETAK.....	ii
SUMMARY .....	iii
SADRŽAJ.....	iv
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OKVIRNE KONSTRUKCIJE.....</b>	<b>2</b>
2.1 Općenito o okvirnim sustavima.....	2
2.2 Okviri sa vezovima.....	3
2.3 Stupovi .....	5
2.4 Priključci.....	5
<b>3 SPREGNUTI I MJEŠOVITI SUSTAVI.....</b>	<b>8</b>
3.1 Moždanici.....	10
3.2 Spregnuti stupovi.....	11
3.3 Spregnute ploče s profiliranim limovima.....	12
3.4 Spregnuti posmični zid ispunjen betonom.....	13
3.4.1 Općenito.....	13
3.4.2 Čelična ploča .....	14
3.4.3 Beton.....	15
3.4.4 Posmična veza .....	15
3.4.5 Primjena CFCSW u zgradarstvu .....	17
3.4.6 Vrste CFCSW-a .....	18
3.4.6.1 Opći CFCSW.....	18
3.4.6.2 CFCSW posebnog oblika .....	18
3.4.6.3 CFCSW s rubnim elementima.....	19
3.4.7 Izgradnja.....	21

---

3.4.8	Omjer uzdužnog tlačnog opterećenja.....	21
3.4.9	Omjer armature (debljina čelične ploče).....	22
3.4.10	Razmak moždanika.....	22
3.4.11	Proračun otpornosti CFCSW sustava.....	22
3.4.12	Projektiranje krutosti.....	25
<b>4</b>	<b>KRITERIJI PRORAČUNA .....</b>	<b>26</b>
4.1	Proračun graničnih stanja.....	26
4.1.1	Proračunske situacije.....	26
4.1.2	Granično stanje uporabljivosti.....	26
4.1.3	Granično stanje nosivosti.....	27
4.2	Kriteriji u potresnim područjima.....	28
4.2.1	Kombinacije pri potresnoj proračunskoj situaciji.....	28
4.2.1.1	Kombinacija inercijskih učinaka.....	28
4.2.1.2	Kombinacija učinaka komponenata potresnog djelovanja.....	29
4.2.1.3	Kombinacija djelovanja za potresnu proračunsku kombinaciju.....	29
4.2.2	Proračun duktilnih konstrukcija.....	29
4.2.3	Temeljni zahtjevi.....	31
4.2.3.1	Zahtjev da ne smije doći do rušenja.....	31
4.2.3.2	Zahtjev ograničenja oštećenja.....	32
4.2.4	Projektiranje čeličnih konstrukcija u seizmičkim područjima.....	33
4.2.4.1	Mehaničke karakteristika materijala.....	34
4.2.4.1.1	Čvrstoća i duktilnost.....	34
4.2.4.1.2	Žilavost.....	35
4.2.4.2	Pravila i zahtjevi za neduktilne elemente.....	35
4.2.4.3	Pravila i zahtjevi za neduktilne priključke.....	36
4.2.5	Proračun okvirnih sustava.....	36
4.2.5.1	Zahtjevi za stupove.....	36
4.2.5.2	Zahtjevi za spregnute nosače.....	37
4.2.5.3	Zahtjevi za nosače.....	38

---

4.2.5.4	Zahtjevi za priključak nosač stup.....	39
4.2.5.5	Zahtjev priključaka temeljne stope.....	40
4.2.5.6	Projektiranje i razrada detalja spregnute ploče .....	40
4.2.6	Redukcija pojasnice nosača.....	40
<b>5</b>	<b>GLOBALNA ANALIZA KONSTRUKCIJE.....</b>	<b>41</b>
5.1	Imperfekcije okvira .....	41
5.2	Klasifikacija čelične konstrukcije .....	43
5.2.1	Stalne i prolazne proračunske situacije.....	43
5.2.2	Potresna proračunska situacija .....	43
<b>6</b>	<b>ANALIZA OPTEREĆENJA.....</b>	<b>44</b>
6.1	Statička djelovanja .....	44
6.1.1	Stalno opterećenje.....	44
6.1.1.1	Stalno opterećenje međukatne konstrukcije.....	45
6.1.1.2	Stalno opterećenje konstrukcije krova .....	45
6.1.2	Uporabno opterećenje.....	45
6.1.2.1	Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije.....	45
6.1.2.2	Uporabno opterećenje konstrukcije krova .....	46
6.1.3	Opterećenje snijegom.....	46
6.1.4	Opterećenje vjetrom.....	47
6.1.4.1	Sile vjetra na konstrukciju.....	48
6.1.4.1.1	Osnovna brzina vjetra.....	48
6.1.4.1.2	Koeficijent izloženosti.....	49
6.1.4.1.3	Koeficijent sile.....	50
6.1.4.1.4	Faktor konstrukcije.....	52
6.1.4.1.5	Rezultirajuća sila vjetra.....	55
6.1.4.2	Tlaka vjetra na površine .....	58
6.2	Dinamička djelovanja.....	63
6.2.1	Linearna dinamička metoda spektra odziva.....	63
6.2.1.1	Općenito.....	63

---

6.2.1.2	Potresno djelovanje.....	65
<b>7</b>	<b>PRELIMINARNO DIMENZIONIRANJE .....</b>	<b>67</b>
7.1	Međukatna konstrukcija .....	67
7.2	Glavni i sekundarni nosač.....	68
7.3	Stup.....	69
<b>8</b>	<b>NUMERIČKO MODELIRANJE.....</b>	<b>71</b>
8.1	Oblikovanje posmične jezgre.....	72
8.2	Oblikovanje sekundarnih nosača .....	72
8.2.1	Položaj i orijentacija nosača .....	72
8.3	Modeliranje stropne dijafragme.....	73
8.4	Ulazni podaci za provedbu analiza.....	73
8.4.1	Ulazni podaci statičke analize.....	74
8.4.2	Ulazni podaci dinamičke analize .....	74
<b>9</b>	<b>REZULTATI ANALIZE KONSTRUKCIJE.....</b>	<b>75</b>
9.1	Rezultati statičke analize .....	75
9.1.1	Klasifikacija čelične konstrukcije prema EC-3 .....	75
9.1.2	Stup .....	77
9.1.3	Glavni nosač.....	77
9.1.4	Granično stanje uporabljivosti.....	78
9.2	Rezultati dinamičke analize.....	79
9.2.1	Općenito.....	79
9.2.2	Rezultati linearno dinamičke analize (modalna analiza) .....	80
9.2.2.1	Klasifikacija čelične konstrukcije prema EC-8 .....	80
9.2.2.2	Stup .....	84
9.2.2.3	Glavni nosač.....	85
9.2.2.4	Zahjev ograničenog oštećenja EC-8.....	85
<b>10</b>	<b>PRORAČUN KONSTRUKCIJE .....</b>	<b>87</b>
10.1	Dimenzioniranje karakterističnih emementa.....	87
10.1.1	Stup.....	87

---

10.1.1.1	Klasifikacija poprečnog presjeka .....	87
10.1.1.2	Otpornost poprečnog presjeka .....	88
10.1.1.3	Otpornost elementa.....	88
10.1.2	Glavni nosač.....	91
10.1.2.1	Granično stanje nosivosti .....	91
10.1.2.1.1	Klasifikacija poprečnog presjeka.....	91
10.1.2.1.2	Otpornost poprečnog presjeka .....	92
10.1.2.1.3	Otpornost elementa.....	94
10.1.2.2	Granično stanje uporabljivosti.....	96
10.1.3	Spregnuti nosač.....	97
10.1.3.1	Djelovanja.....	98
10.1.3.2	Proračun za granično stanje nosivosti.....	99
10.1.3.2.1	Proračunski učinci djelovanja .....	99
10.1.3.2.2	Proračun za fazu izvedbe.....	99
10.1.3.2.3	Proračun za drugu fazu-korištenje.....	101
10.1.3.3	Granično stanje uporabljivosti.....	110
10.1.3.3.1	Proračun progiba za fazu izvedbe .....	110
10.1.3.3.2	Proračun progiba za drugu fazu-korištenje .....	110
10.1.4	Spregnuta ploča.....	115
10.1.4.1	Djelovanja.....	115
10.1.4.2	Karakteristike materijala.....	116
10.1.4.3	Konstruktivske pojedinosti .....	116
10.1.4.3.1	Zahtijevana debljina ploče i minimalna armatura .....	117
10.1.4.3.2	Dužine oslanjanja i preklapanja limova.....	117
10.1.4.4	Granično stanje nosivosti .....	118
10.1.4.4.1	Faza izvedbe .....	118
10.1.4.4.2	Druga faza-korištenje.....	119
10.1.4.5	Granično stanje uporabljivosti.....	123
10.1.4.5.1	Provjera raspucalosti betona .....	123



---

10.1.4.5.2	Provjera veličine progiba.....	123
10.1.4.6	Granično stanje uporabljivosti.....	126
10.1.5	Posmični zid.....	128
10.1.5.1	Općenito.....	128
10.1.5.2	Dokaz posmičnog zida za djelovanje potresa.....	129
10.1.5.3	Dokaz posmičnog zida za djelovanje vjetra .....	133
10.1.5.4	Dokaz posmičnog zida za mjerodavnu kombinaciju iz računalnog modela.....	135
10.2	Dimenzioniranje priključaka.....	139
10.2.1	Priključak temeljne stope stupa .....	139
10.2.2	Priključak 2 glavna i sekundarnog nosača na stup .....	144
10.2.3	Priključak glavnog i 2 sekundarna nosača na stup .....	148
10.2.4	Priključak 2 sekundarna nosača na stup .....	151
10.2.5	Nastavak glavnog nosača.....	154
10.2.6	Nastavak sekundarnog nosača.....	157
10.2.7	Nastavak stupa.....	160
10.2.8	Spoj sekundarnih nosača na glavni nosač.....	164
<b>11</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>169</b>
	<b>POPIS LITERATURE .....</b>	<b>170</b>
	<b>Nacrti .....</b>	<b>171</b>

## 1 UVOD

Projektni zadatak rada je visoka poslovna zgrada koja je tlocrtno kvadratnog oblika s dimenzijama 36 m x 36 m. Visina zgrade od 193,5 m i sastoji se od 45 nadzemnih etaža visine 4,3 m. Konstrukcija se sastoji od stupova s vanjske strane na razmaku od 6 m. Stupovi su međusobno povezani (ukruženi) glavnim i sekundarnim nosačima. U sredini same zgrade po visini postavljena je posmična spregnuta jezgra. Kvaliteta čelika svih elemente je S355. Međukatna konstrukcija je spregnuta ploča sustava Multideck 50 (izvedba bez podupiranja) kod koje je korišten beton razreda C30/37 te armatura B500B. Konstrukcija je izvedena od okvira koji su ukruženi pomoću jezgre koja je izvedena od spregnutih posmičnih zidova ispunjenih betonom. Povećanjem visine građevine okviri postaju previše skupi zbog skupljih priključaka i utjecaja savijanja stupova koje zahtijeva „više“ materijala. Kod većih visina sami okviri nisu dovoljni pa ih je potrebno dodatno ukrutiti pomoću vezova ili u ovom slučaju pomoću spregnutih posmičnih zidova u jezgri. Spregnuti posmični zidovi sastoje se od čeličnih ploča koje su ispunjene betonom. Prednosti spregnutih konstrukcija izvedenih iz čelika i betona su visoka otpornost, poboljšana otpornost na požar i visoka duktilnost. Spregnuti elementi stekli su veliku popularnost tijekom 20. stoljeća. Primjena spregnutih posmičnih zidova ispunjenih betonom ograničena je zbog nedovoljno provedenih istraživanja i nedostatka norma za projektiranje. Posmični zidovi djeluju kao savitljivi elementi koji se suprotstavljaju bočnim silama, uključujući seizmičke sile i opterećenje vjetrom. Korištenje tradicionalnih armiranobetonskih posmičnih zidova zahtijeva armaturu i oplatu, što znatno produljuje izgradnju. Uzdužno opterećenje dovodi do vrlo debelih AB posmičnih zidova i do zauzimanja korisnog prostora zato su bolji izbor spregnuti posmični zidovi ispunjeni betonom.

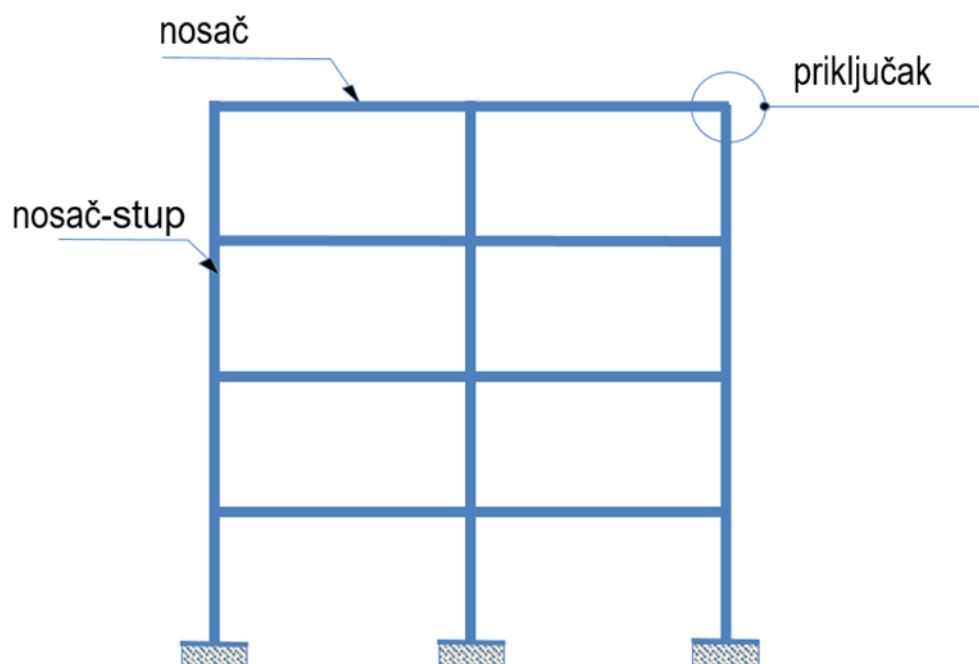
## 2 OKVIRNE KONSTRUKCIJE

### 2.1 Općenito o okvirnim sustavima

Okvirni sustavi su nosivi sustavi sastavljeni od jednog ili više nosača i dva ili više stupova koji su međusobno direktno priključeni najčešće pomoću zavarenih ili vijčanih priključaka i koji su dimenzionirani da djeluju zajedno i odupiru se djelovanjima.

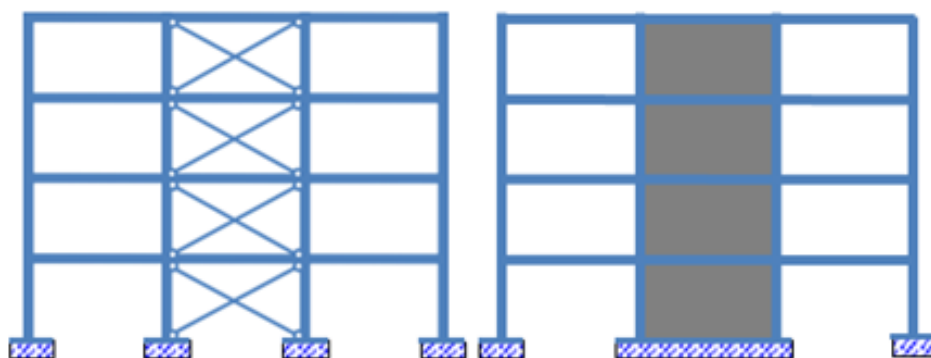
Okviri mogu biti ravninski ili prostorni, jednorasponski ili višerasponski, a po visini prizemni, jednokatni i višekatni. Jednorasponske prizemne okvirne konstrukcije često se koriste za sportske dvorane, hangare te slične konstrukcije, a višerasponski okviri za prodajne i tvorničke hale. Zbog mogućnosti fleksibilnog iskorištenja prostora, višekatne okvirne konstrukcije često su nosivi sustav javnih i poslovnih zgrada i nebodera.

Okviri su sastavljeni od konstrukcijskih elemenata i priključaka, kao što je prikazano na slici 2.1.



Slika 2.1. Elementi okvirnog sustava [1]

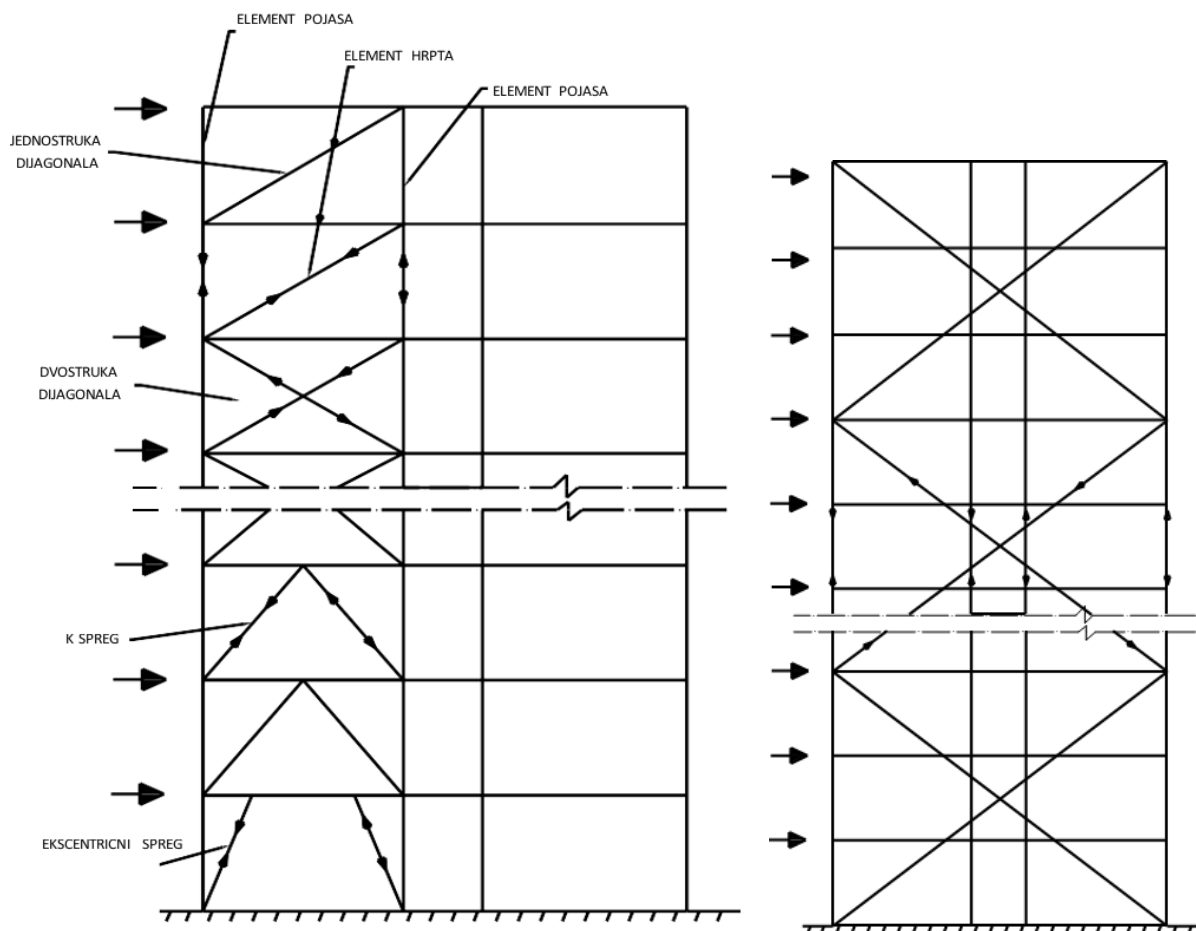
Konstruktivni sustav mora biti sposoban preuzeti horizontalna djelovanja i ograničavati horizontalne deformacije. Kada okvir ne posjeduje zahtijevanu otpornost te krutost da se suprotstavi horizontalnim djelovanjima koja djeluju na njega, dodaje mu se vezni sustav. Kod uobičajene inženjerske prakse za pojam vezni sustav smatraju se rešetke, betonske jezgre, zidovi i bilo koji sustav koji može preuzeti horizontalne sile ili horizontalno pridržati konstrukciju kako je prikazano na slici 2.2.



Slika 2.2. Vezni sustav i betonska jezgra [1]

## 2.2 Okviri sa vezovima

Kada okvirnom sustavu dodamo vez odgovarajuće krutosti u jedno ili više polja sustav se može smatrati poduprtim. Kod poduprtih okvira stupovi i nosači prenose većinom vertikalno opterećenje dok se elementi veza odupiru horizontalnom opterećenju. Vezovi su jako učinkoviti elementi jer savijanje i posmik preuzimaju uzdužnom silom pa mogu biti minimalnih dimenzija. Vezovi se najčešće izvode u visini jedne etaže, a pojavljuju se i noviji moderniji sustavi gdje vezovi zauzimaju više etaža kao što je prikazano na slici 2.3. Takve vezove nazivamo "super spregovi" ili "mega spregovi". Povećavanjem dimenzija vezova povećava se i učinkovitost veza kod preuzimanja horizontalnih opterećenja. Veliki spregovi često se naglašavaju na fasadi da bi se ostvario određeni arhitektonski dojam.



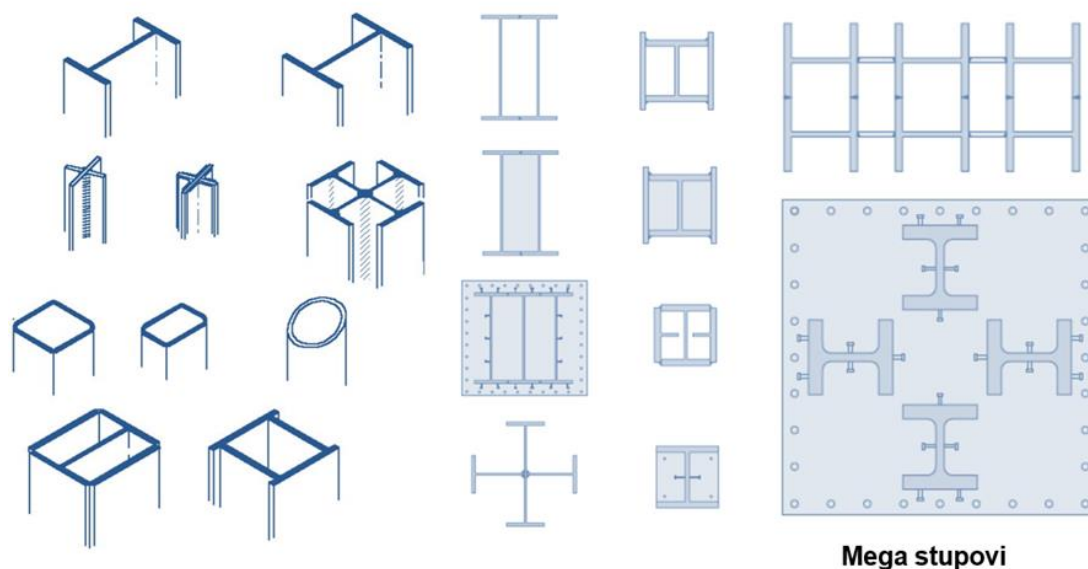
Slika 2.3. Upotreba vezova (spregova) za ukrućivanje okvira [2]

Vezovi zatvaraju unutarnji prostor te vanjske otvore na zgradi pa ih treba smjestiti da što manje smetaju zahtijevanom rasporedu zgrade. Pri tome je važna suradnja arhitekta te inženjera jer kod visokih zgrada položaj vezova ne bi trebao primarno biti definiran arhitektonskim ciljevima, nego učinkovitošću nosive konstrukcije zgrade.

U vezovima se mogu javiti tlačne i vlačne sile pri čemu će tlačna otpornost biti odlučujući faktor kod definiranja dimenzija elemenata.

## 2.3 Stupovi

Stupovi mogu biti različitih poprečnih presjeka. Na slici 2.4. prikazani su primjeri poprečnih presjeka stupova. Najjednostavniji su u obliku slova I poprečnog presjeka i u obliku cijevi. Kod visokih građevina kod kojih se javljaju velike tlačne sile u stupovima koriste se složeni stupovi koji su najčešće zavareni od različitih poprečnih presjeka. Također, kod visokih građevina često se dimanzija stupova smanjuje s visinom radi ekonomičnosti.



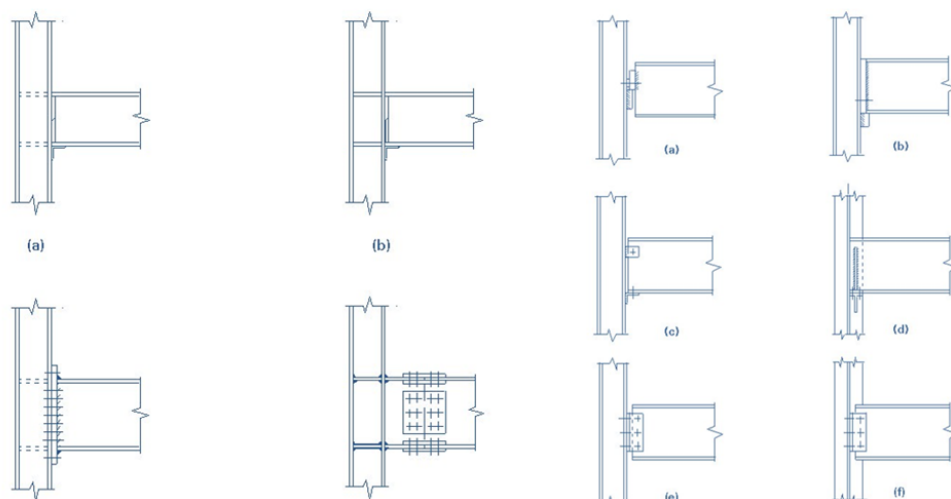
Slika 2.4. Poprečni presjeci stupova [1]

## 2.4 Priključci

Spajanje elemenata ima veliko značenje u oblikovanju čeličnih konstrukcija jer spojeni dijelovi moraju djelovati kao cjelina i priključci moraju biti u stanju sigurno prenijeti sile i momente savijanja. Spojna sredstva koja se najčešće primjenjuju za spajanje su zavari i vijci kao što je prikazano na slikama 2.5. i 2.6.

Zavarivanje se često koristi kod spajanja metalnih konstrukcija, u isto vrijeme je kvalitetno te učinkovito. Zavarivanje je spajanje dva ili više istih ili različitih materijala taljenjem ili pritiskom, može biti s ili bez dodavanja dodatnog materijala, tako da se dobije homogeni zavareni spoj.

Vijčani priključci se mogu rastaviti i jednostavniji su za izvedbu na gradilištu. Visoko čvrsti vijci postaju sve više značajni u metalnim konstrukcijama jer se mogu prednapregnuti. U tom slučaju spoj prenosi sile trenja. Materijal koji se upotrebljava kod visokovrijednih vijaka ima čvrstoću od najmanje  $900 \text{ N/mm}^2$ . Matica je izrađena od istog materijala kao i vijak a podloške su toplinskim postupkom otvrdnute na čvrstoću istu kao i materijal vijaka. Vijci se pritežu moment ključem do određenog zakretnog momenta.



*Slika 2.5. Nepopustljivi i djelomično nepopustljivi priključci      Zglobni priključci [1]*



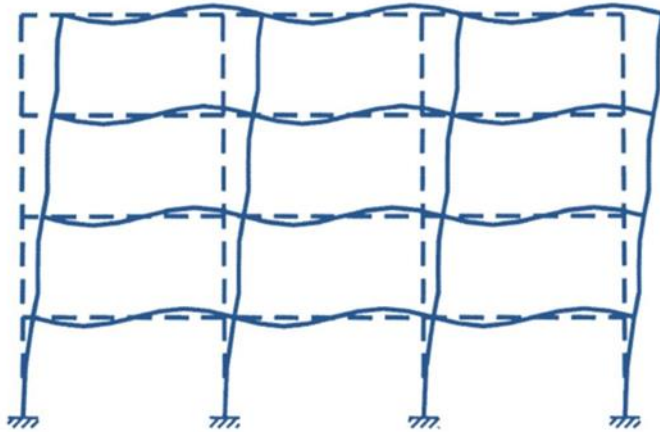
*Slika 2.6 Nepopustljivi i djelomično nepopustljivi priključci*



*Zglobni priključci (također imaju određenu krutost) [1]*

Okvirno sustavi su popularan sustav stabilizacije jer osiguravaju veliku slobodu u arhitektonskom projektiranju konstrukcije. Najučinkovitiji su kod niskih i srednje visokih građevina koje nisu previše vitke. Kako bi se osiguralo maksimalno okvirno djelovanje, veza između nosača i stupova mora biti kruta (nepopustljivi priključci), ali je moguća izvedba i djelomično nepopustljivih priključaka kod manjih visina kao što je prikazano na slikama 2.5. i 2.6. [1].

Mehanizam prijenosa opterećenja kod okvirnih sustava je takav da stupovi i nosači preuzimaju horizontalna opterećenja i događaju se njihove deformacije kao što je prikazano na slici 2.7. Okviri za veće visine postaju neisplativi zbog skupljih priključaka i utjecaja savijanja stupova koje zahtijeva „više“ materijala pa ih je potrebno dodatno ukrutiti.



Slika 2.7. Savijanje nosača i stupova kod okvirnog sustava [1]



### 3 SPREGNUTI I MJEŠOVITI SUSTAVI

Tradicionalni (klasični) nosivi sustavi primjenjivi su za pravilne prizmatične zgrade koje često imaju namjenu kojoj je nosivi sustav u cijelosti podređen. Ponašanje klasičnih nosivih sustava utvrdilo je njihovu upotrebu kroz skoro čitavo prošlo stoljeće.

Novi sustavi javljaju se kao reakcija na monotonu klasičnu arhitekturu u kojoj prevladavaju ponavljajući pravilni oblici. Pokazalo se da kombiniranjem sustava mogu iskoristiti prednosti svakog od njih, a nedostaci pojedinih sustava se umanjuju ili potpuno nestaju.

Glavni razlozi korištenja mješovitih nosivih sustava su [1]:

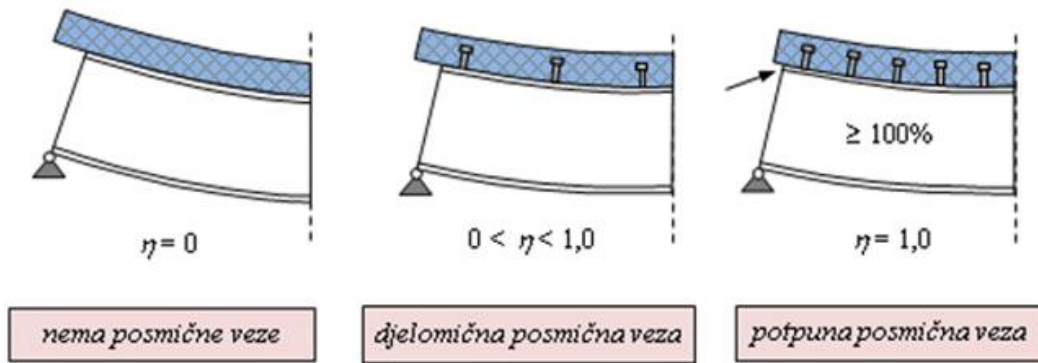
- Želja obaranja visinskih rekorda.
- Nepravilni tlocrti te neobični oblici zgrada kao izraz suvremene arhitekture.
- Pojava mješovitih zahtjeva upotrebe zgrade.
- Racionalnija upotreba materijala, da se kombiniranjem prednosti pojedinih sustava te međusobnom interakcijom što bolje iskoriste pojedine od njih.
- Potreba za zadovoljavanjem rastućih zahtjeva na građevine-pouzdanost: sigurnost (povećana otpornost na potresna te izvanredna djelovanja), funkcionalnost (povećanje trajnosti, smanjenje pomaka) i trajnost.

Razvijanjem kompjuterskih metoda proračuna, moguće je analizirati mnogo složenije nosive sustave, metode proračuna više nisu ograničavajući faktor u konceptualnoj definiciji građevine.

Često se koriste mješoviti čelično-betonski sustavi koji uključuju armiranobetonske i čelične komponente u oblicima koji su općenito primjenjivi, kao što su spregnuti cijevni sustav i sustavi s betonskim jezgrama.

Oslobodili su se tradicionalne primjene samo čeličnih ili samo betonskih elemenata. Svojstava betona najatraktivnija su njegova krutost i njegova sposobnost izvedbe u različitim tipova konstrukcijskih elemenata. Stoga se većina mješovitih sustava oslanja na svojstva betona za otpornost na bočna opterećenja. Svojstava čelika u mješovitim sustavima koristi mogućnost izvedbe većih raspona nosača što rezultira većim slobodnim prostorom.

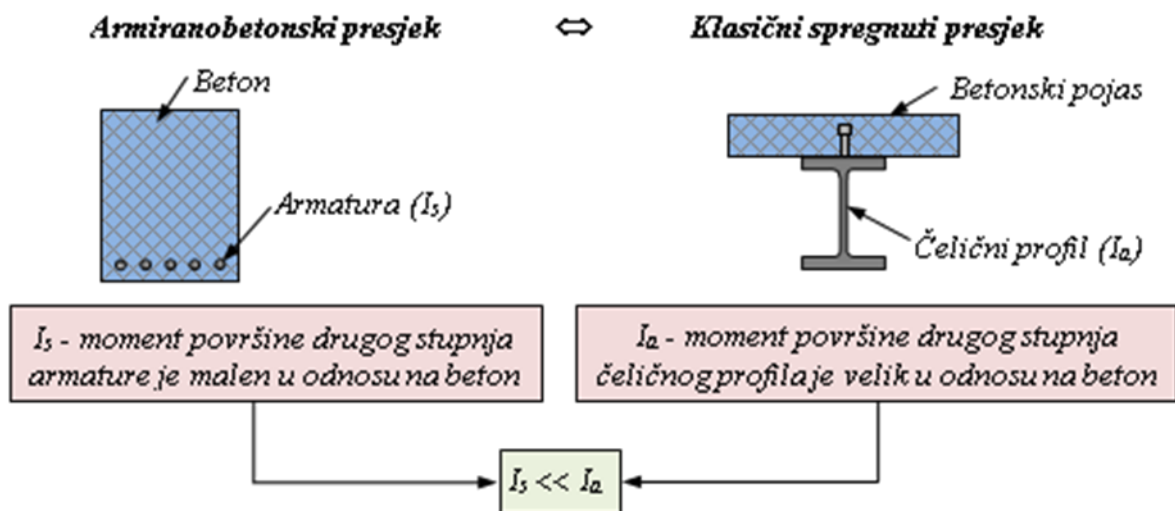
Tradicionalni način građenje čelikom ili armiranim betonom imaju višestruke mogućnosti. Razvoj i primjena konstrukcija sastavljenih od čelika i betona dovela je do nove suradnje čelika i betona kao što je prikazano na slici 3.1.



Slika 3.1. Ostvarenje posmične veze [3]

Suradnja se više ne temelji samo na ostvarivanju posmične veze između ta dva materijala, čelik i beton mogu surađivati bez posmične veze, gdje se nosivost presjeka postiže zbrajanjem nosivosti čeličnog dijela presjeka i betonskog dijela presjeka. Trend razvoja konstrukcijskih sustava sve se više temelji na zajedničkoj suradnji materijala koji imaju različita mehanička svojstva.

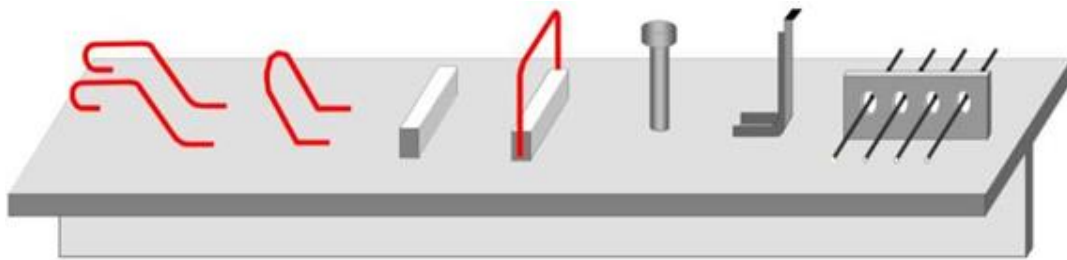
Kod armiranog betona može se reći da je ostvarena suradnja čelika i betona, ali na drugačiji način nego tradicionalno sastavljene konstrukcije koje se obično nazivaju "spregnute konstrukcije". Prema tome armiranobetonske konstrukcije mogu se isto smatrati nekom vrstom spregnute konstrukcije. Razlika između tih konstrukcija i klasične spregnute konstrukcije prikazana je na slici 3.2.



Slika 3.2 AB presjek i spregnuti presjek [3]

### 3.1 Moždanici

Posmična veza između konstrukcijskih elemenata koji su sastavljeni od dva ista ili različita materijala ostvaruju se pomoću spojnih sredstava. Kod zajedničkog djelovanja betonske ploče i čeličnog nosača, koriste se različita sredstva za sprezanje koje nazivamo moždanici. U današnje vrijeme postoji mnogo oblika moždanika koji se primjenjuju u spregnutim konstrukcijama. Prva korištena sredstva za sprezanje bila su napravljena od čelika za armaturu u obliku otvorenih sidara ili zatvorenih petlji. Da bi imali djelotvoran prijenos posmične sile iz čeličnog nosača u betonsku ploču potrebno je ugraditi poprečnu armaturu. Korišteni su čak i čelični blok moždanici a izrađivali su se od čeličnih šipki pravokutnog poprečnog presjeka, dijelova T, L ili U profila. Koristili su se samostalno ili čak u kombinaciji s petljama izrađenim od čelika za armaturu. Neke od vrsta spojnih sredstava prikazane su na slici 3.3.



Slika 3.3. Vrste moždanika [3]

Valjkasti moždanici s glavom jedni su od najčešćih sredstva za sprezanje u modernim spregnutim konstrukcijama a općenito i jedina sredstva koja su normativno obrađena. Moždanici se ponašaju različito s obzirom na mogućnost većeg ili manjeg proklizavanja. Moždanike dijelimo na:

- duktilne moždanike-vitki
- neduktilne moždanike-krhki

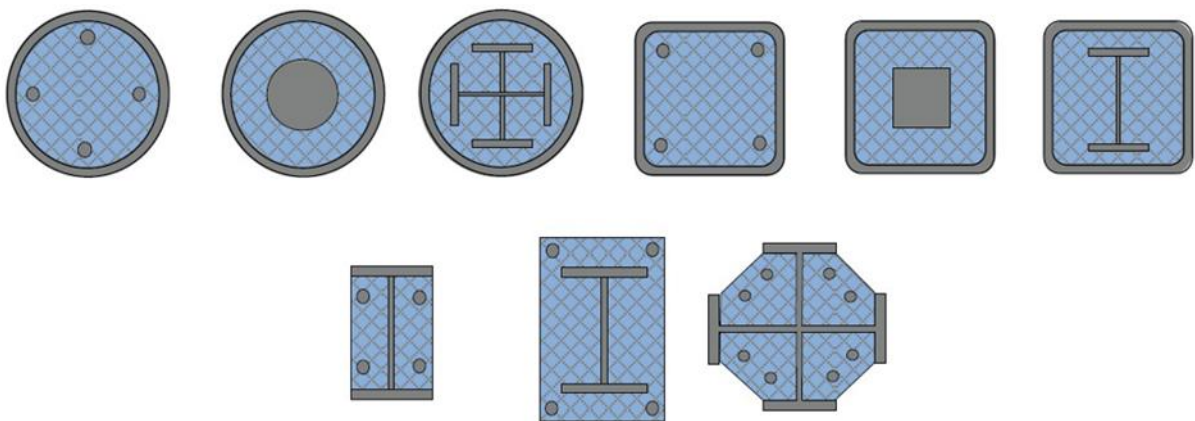
Duktilni moždanici prije otkazivanja ostvaruju znatne pomake između čelika i betona. Duktilni moždanici su oni koji imaju dostatan kapacitet deformacije kako bi se opravdala pojednostavnjena pretpostavka o plastičnom ponašanju posmične veze između čelika i betona.

## 3.2 Spregnuti stupovi

Spregnuti stupovi su konstrukcijski elementi koji su opterećeni uzdužnim tlačnim silama a mogu se javiti i momenti savijanja. Velika fleksibilnost primjene, značajna ekonomičnost, vrlo kratko vrijeme izvedbe, odlična nosivost te dojmljiv estetski izgled jedni su od najjačih argumenata sve veće primjene spregnutih stupova. Do 50-ih godina prošlog stoljeća čelični stupovi su se oblagali betonom radi vatrozaštite, a beton se nije uzimao u proračun nosivosti i stabilnosti elemenata konstrukcije.

Prema konstrukcijskom oblikovanju spregnuti stupovi mogu se podijeliti u tri osnovne vrste kao što je prikazano na slici 3.4.:

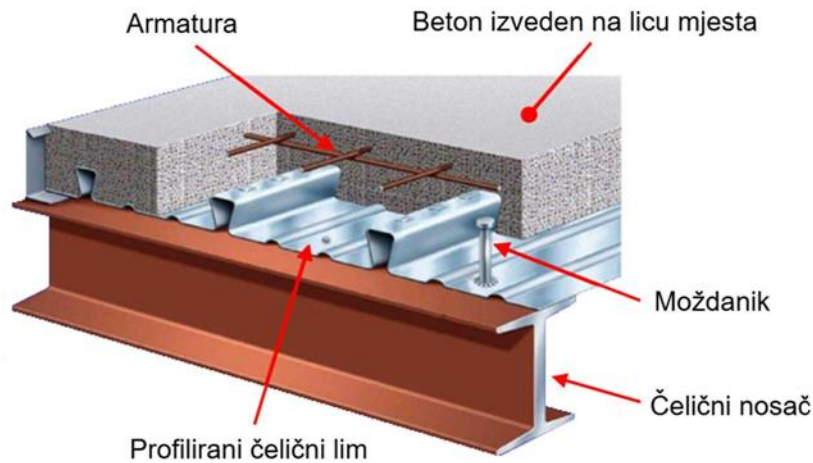
- stupovi s poprečnim presjecima gdje su čelični profili potpuno obloženi betonom
- stupovi s poprečnim presjecima koji su djelomično obloženi betonom
- stupovi s poprečnim presjecima pravokutnih ili kružnih čeličnih cijevi koje su ispunjene betonom



Slika 3.4. Poprečni presjeci spregnutih stupova [3]

### 3.3 Spregnute ploče s profiliranim limovima

Spregnute ploče najčešće se primjenjuju kod višekatnih zgrada a izvode se od profiliranih čeličnih limova i betona koji očvršćivanjem aktivira spregnuto djelovanje, gdje se omogućava prijenos uzdužne posmične sile na njihovom kontaktu. Metode za proračun spregnutih ploča temelji se na ispitivanjima i obuhvaćeno je u normi za projektiranje spregnutih konstrukcija EN 1994-1-1. Spregnute ploče prenose opterećenje u jednom smjeru, zbog toga treba voditi računa o rasponima sekundarnih nosača na koje se oslanjaju. Profilirani limovi služe kao zamjena za vlačnu armaturu a služe i kao izgubljena oplata, radna platforma te osiguravaju stabilizaciju nosača ispod sebe kao što je prikazano na slici 3.5. [3].



Slika 3.5. Spregnuti nosač [3]

Za primjenu spregnutih ploča postoje brojne prednosti:

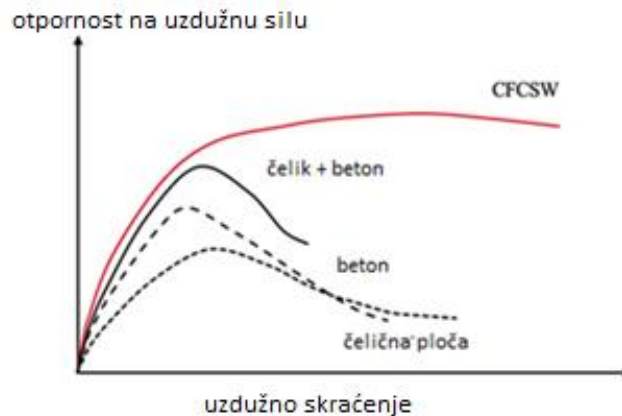
- brza i jednostavna izvedba
- veliki rasponi
- male dimenzije elemenata (manja vlastita težina)
- nema potrebe za oplatom, vlačnom armaturom ni podupiranjem do 3.5 m raspona
- duktilno ponašanje
- povećana otpornost nosača na bočno-torzijsko izvijanje
- mali opseg radova na gradilištu

## 3.4 Spregnuti posmični zid ispunjen betonom

### 3.4.1 Općenito

Čelični stupovi ispunjeni betonom, spregnute ploče i spregnuti nosači često se koriste za izvedbu konstrukcija zbog svojih odličnih karakteristika. Prednosti spregnutih konstrukcija izvedenih iz čelika i betona su visoka otpornost, poboljšana otpornost na požar i visoka duktilnost. Spregnuti elementi počeli su se upotrebljavati krajem 19. stoljeća i stekli su veliku popularnost tijekom 20. stoljeća uglavnom u Sjevernoj Americi, Japanu i Europi. Primjena spregnutih posmičnih zidova ispunjenih betonom u praktičnoj inženjerskoj praksi ograničena je zbog nedovoljno provedenih istraživanja i nedostatka norma za projektiranje. Posmični zidovi djeluju kao savitljivi elementi koji se suprotstavljaju bočnim silama, uključujući seizmičke sile i opterećenje vjetrom. Korištenje tradicionalnih armiranobetonskih posmičnih zidova zahtijeva armaturu i oplatu, što znatno produljuje izgradnju. Uzdužno opterećenje dovodi do vrlo debelih AB posmičnih zidova i do zauzimanja korisnog prostora. Spregnuti posmični zid ispunjen betonom (engl. Concrete filled composite shear wall, CFCSW) može smanjiti nedostatke tradicionalnih AB posmičnih zidova, sastoji se od dvije vanjske čelične ploče koje su povezane s različitim vrstama veza kao što su moždanici i dijafragme, a između su ispunjene betonom. CFCSW je prvo proučavan i korišten u nuklearnim postrojenjima za otpornost na bočna seizmička opterećenja, gdje se pokazao kao vrlo dobro rješenje, a zatim se počeo primjenjivati u kombinaciji sa sustavima čeličnog okvira u visokim zgradama. Kod CFCSW čelične ploče povezane su s betonom preko spojnice (moždanika ili dijafragmi), koje ne sprječava njihovo lokalno izbočavanje izvan ravnine u potpunosti. Lokalno izbočavanje može se pojaviti u plastičnom ili elastičnom području ovisno o vitkosti, koja je definirana omjerom razmaka između spojnica i debljine čelične ploče.

CFCSW može iskoristiti prednosti čelika i betona osiguravajući oplatu prilikom betoniranja te povećavajući otpornost čeličnih ploča na izbočavanje. Slika 3.6. prikazuje usporedbu tlačne otpornosti između posmičnog zida izvedenog čeličnim limovima, betonskog posmičnog zida i CFCSW. Rezultati ispitivanja pokazali su da je otpornost CFCSW-a veća od jednostavnog zbroja otpornosti čelika i betona, a to znači da je učinak sprezanja povećao otpornost. Također, krutost spregnutog posmičnog zida veća je od zbrojenih krutosti betonskog i čeličnog posmičnog zida.



Slika 3.6. Ponašanje spregnutih posmičnih zidova izvedenih od čelika i betona u tlaku [4]

### 3.4.2 Čelična ploča

Slika 3.7. prikazuje dva klasična oblika čeličnih ploča kod CFCSW, a to su profilirana čelična ploča (lim) i ravna čelična ploča (lim). Ravne čelične ploče sve se više koriste u praksi zato što se mogu lakše proizvesti u većim debljinama. Ravna površina pruža prednosti pri povezivanju s drugim dijelovima i posjeduje arhitektonsko-estetske prednosti.



a) CFCSW s ravnim čeličnim pločama

b) CFCSW s profiliranim čeličnim pločama

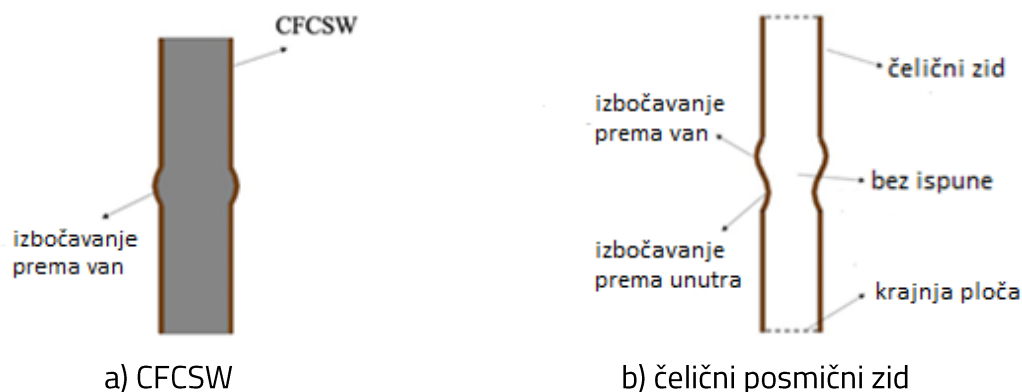
Slika 3.7. Oblici čeličnih ploča CFCSW [4]

Čelične ploče najčešće se proizvode u radionici i zatim se dopremaju na gradilište te spajaju. Čelične ploče služe kao oplata pri lijevanju betona. U početnoj fazi, čelične ploče djeluju kao pojačanje koje pridonosi otpornosti zidova na posmik te osigurava dvoosno ograničenje unutarnjeg betona kako bi se povećala njegova tlačna čvrstoća, što dovodi do duktilnijeg načina otkazivanja kao što je prikazano na slici 3.8.

Izvedba čeličnih ploča u CFCSW-u ovisi o svojstvima čelika. Svojstva čelika u različitim nacionalnim normama se razlikuju. Kemijski sastavi i mehanička svojstva mogu biti različita ali većinom su usporediva. Primjerice, područje primjene u europskoj normi EN 1994-1-1 ograničeno je do granice popuštnja 460 MPa. Do sada su provedena opsežna istraživanja čeličnih stupova ispunjenih betonom i spregnutih nosača s upotrebom čelika visoke čvrstoće i čelika ultravisoke čvrstoće. Zaključeno je da čelik veće čvrstoće može povećati duktilnosti pa se takav čelik može primjeniti i kod CFCSW sustava.

### 3.4.3 Beton

Beton može spriječiti lokalno izbočavanje čeličnih ploča. Slika 3.8. prikazuje modove otkazivanja CFCSW i čeličnih posmičnih zidova. Može se primijetiti da se unutar čeličnih ploča u CFCSW događa samo lokalno izbočavanje prema van. EN 1994-1-1 odnosi se na projektiranje spregnutih konstrukcija s normalnim i lakim betonom. Čvrstoća treba biti veće od C20/25 i LC20/22, ali manja od C60/75 i LC60/66. Osim lakog betona i betona normalne čvrstoće, upotrebljavaju se i betoni visoke čvrstoće s tlačnom čvrstoćom većom od 60 MPa. Osim betona visoke čvrstoće, moguće je proizvesti beton ultravisoke čvrstoće s tlačnom čvrstoćom većom od 150 MPa.



Slika 3.8. Modovi otkazivanja CFCSW i čeličnih posmičnih zidova [4]

### 3.4.4 Posmična veza

Tipovi ostvarivanja posmične veze kod CFCSW-a s profiliranim čeličnim pločama prikazani su na slici 3.9. CFCSW s ispupčenjima na limu na slici 3.9. (a), primijenjen je na poslovnim zgradama, a ponašanje ovakvog novog zidnog sustava do sada je istraživano obzirom na uzdužno ponašanje i savijanje. Rezultati istraživanja pokazali su da se lokalno izbočavanje dogodilo prije nego što je dosegnuta granica popuštanja. Različite vrste spojnih sredstava mogu se koristiti za poboljšanje otpornosti i stabilnosti CFCSW-a, uključujući moždanike



kao što je prikazano na slici 3.9. (b), vijke i navojne šipke kao što je prikazano na slici 3.9. (c) i (d), moždanike od žljeba do žljeba postavljene na ispupčenjima kao što je prikazano na slici 3.9. (e). Eksperimentalni rezultati pokazali su da bi odgovarajući spojevi mogli pridonijeti krutosti, čvrstoći kao i duktilnosti.

Slika 3.10. prikazuje opće tipove veza u CFCSW s ravnim čeličnim pločama. Ponašanje spregnutog CFCSW s ravnim čeličnim pločama slično je onom s profiliranim čeličnim pločama, tj. visoka posmična i uzdužna otpornost, zadovoljavajući sposobnost razgradnje energije i visoku duktilnost. Deblje čelične ploče koje se primjenjuju u građevinarstvu vrlo je teško proizvesti u profilirane oblike. Također u smislu estetskog razmatranja, preferira se CFCSW s ravnim čeličnim pločama. Kod projektiranju spregnutih posmičnih zidova, poželjno je da se lokalno izbočavanje čeličnih ploča dogodi nakon doseganja granice popuštanja čelika. Stoga se okomite dijafragme i J kuke mogu zavariti na čelične ploče. Spojnice mogu omogućiti učinkovitije savijanje čeličnih ploča u neelastičnom području s pravilnim razmakom spojnica, nakon čega dolazi do raspucavanja betona s dvije strane i izbjegavanja odvajanja čeličnih ploča od betona. Slika 3.11. prikazuje različite vrste spojnih sredstava za ostvarivanje posmične veze koje se koriste kod spregnutih nosača ili sendvič panelima čelik-beton-čelik. Budući da CFCSW ima sličnu strukturu kao sendvič spregnuti sustavi, spojnice imaju potencijal za primjenu u spregnutim sustavima posmičnih zidova.



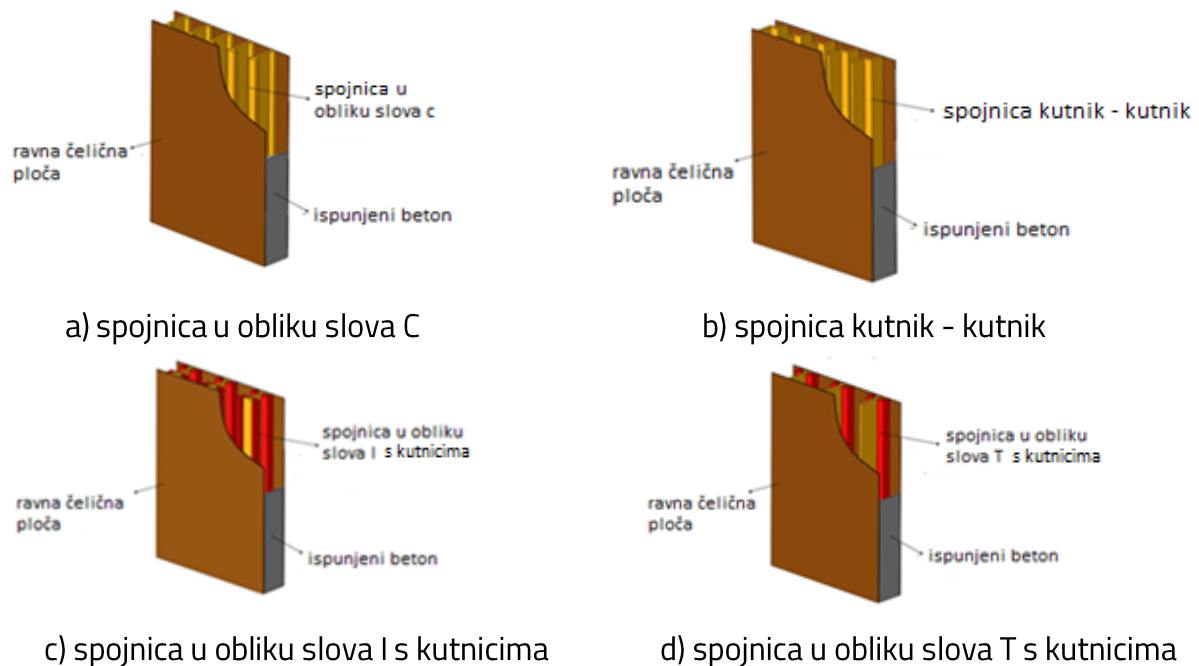
**Slika 3.9.** Profilirana čelična ploča CFCSW s različitim vrstama spojnih sredstava [4]



Slika 3.10. Ravna čelična ploča CFCSW s različitim vrstama spojnih sredstava [4]

### 3.4.5 Primjena CFCSW u zgradarstvu

CFCSW se koristi u niskim i srednje visokim zgradama od 1970-ih, a u visokim zgradama u posljednjem desetljeću, posebno u područjima visoke seizmičnosti. Povećanjem visine zgrade, usvojeni su neki novi tipovi spojnice kako bi se poboljšale karakteristike CFCSW-a. Početkom 1960-ih izvedba CFCSW-a usvojena u nuklearnoj industriji široko je istražena, što je potaknulo upotrebu CFCSW-a u zgradama. U 1970-ima većina spregnutih zidova korištena je u Japanu i Sjedinjenim Državama. Zgrade s CFCSW-om bile su izložene stvarnim potresima i pokazale su zadovoljavajuće ponašanje.

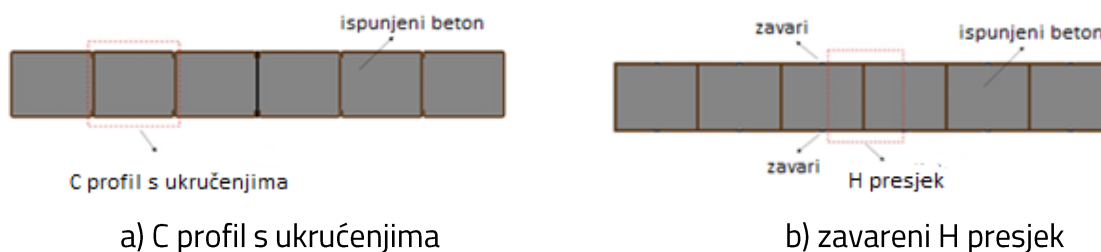


Slika 3.11. Različite vrste spojnih sredstava [4]

### 3.4.6 Vrste CFCSW-a

#### 3.4.6.1 Opći CFCSW

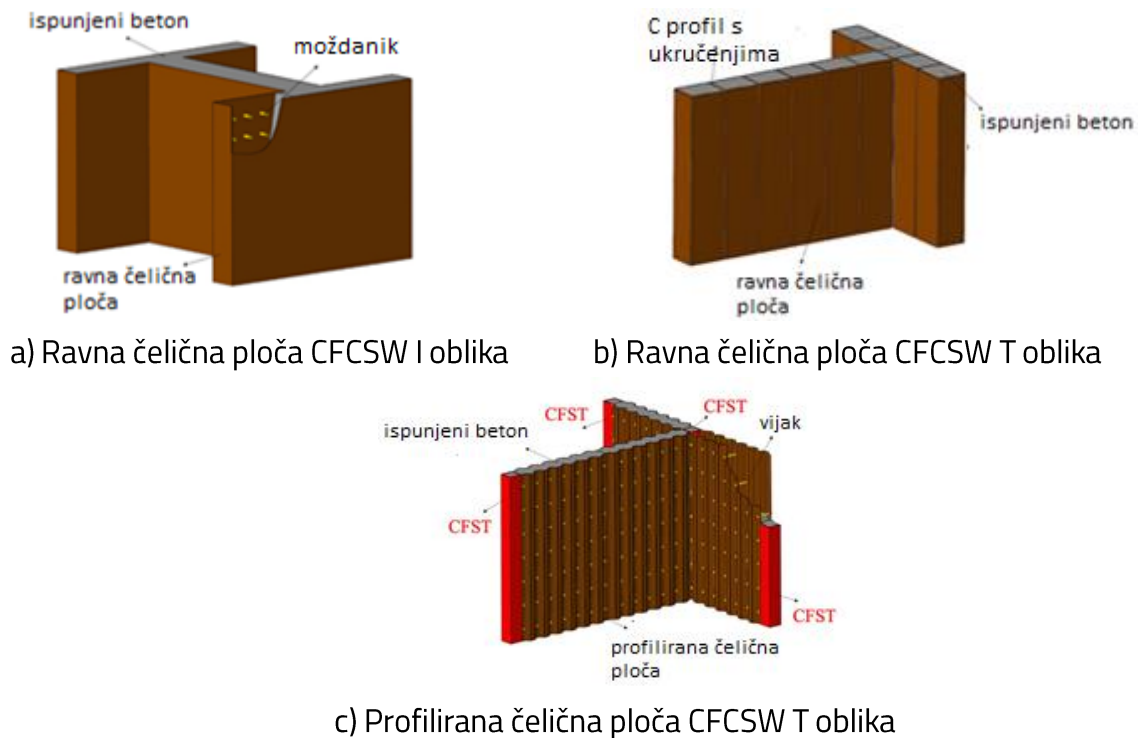
CFCSW se sastoje od vanjskih čeličnih ploča, betonske jezgre i različitih vrsta spojnih sredstava. Čelik i beton djeluju zajedno kako bi se oduprijeli opterećenjima koja djeluju na njih. Kod projektiranja konstrukcija velikih dimenzija, CFCSW je bolji odabir nego betonski zid pošto mu se debljina može značajno smanjiti. Posmična veza se možda neće najbolje pokazati, posebno za visoke zgrade u zonama visoke seizmičnosti pa su predloženi novi CFCSW sustavi više pregradnih dijelova, kao što je prikazano na slici 3.12. H presjek može biti montažno izveden izvan gradilišta i zavaren na gradilištu. Spregnuti posmični zid s više pregrada omogućio je ostavriavanje jače posmične veze s betonom pa se povećala duktilnosti i otpornost. Veza između čeličnih ploča i betona dodatno je poboljšana tako da je izbjegnuto odvajanje čeličnih ploča od betona, a poboljšan je i učinak sprežanja.



Slika 3.12. CFCSW sustavi više pregradnih dijelova [4]

#### 3.4.6.2 CFCSW posebnog oblika

Većina konstrukcija koristi spregnute zidove normalnog oblika, međutim zbog nekih razmatranja koriste se spregnuti zidovi različitog oblika kao što je prikazano na slici 3.13. Spregnuti zidovi u obliku slova I (I-CFCSW) i spregnuti zidovi u obliku slova T (T-CFCSW) imaju veću nosivosti nego klasični spregnuti zidovi. Značajno su poboljšani kapaciteti deformacije i sposobnost razgradnje energije. Ovakvi sustavi nisu u širokoj upotrebi zbog skupih procesa proizvodnje, sastavljanja i nedostatka norma za projektiranje.



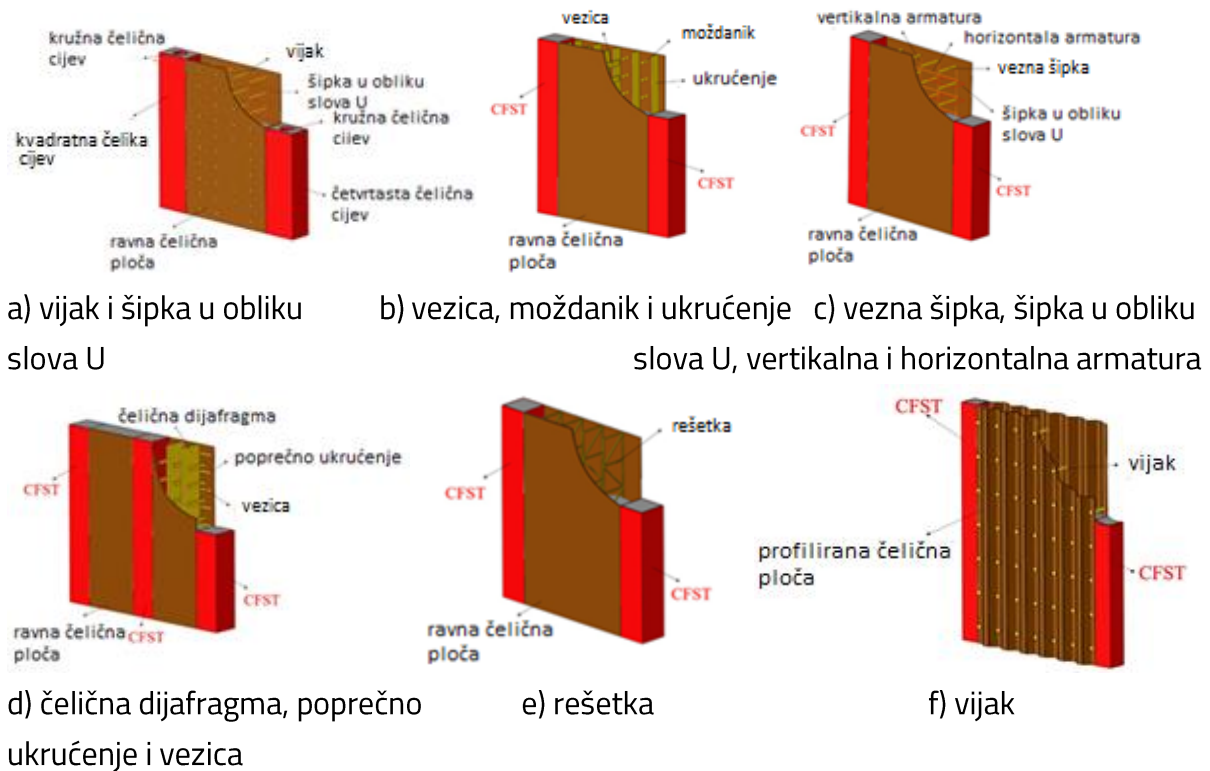
Slika 3.13. Različiti oblici CFCSW [4]

### 3.4.6.3 CFCSW s rubnim elementima

Rubni elementi imaju veliki utjecaj na karakteristike spregnutih posmičnih zidova, novija istraživanja usredotočena su na korištenje čeličnih stupova ispunjenih betonom (CFST) u sustavu spregnutih posmičnih zidova. Slika 3.14. prikazuje spregnute posmične zidove s CFST rubnim elementima. CFST-ovi se najčešće zavaruju na čelične ploče a to se može izvršiti u radionici nakon postavljanja vanjskih čeličnih ploča. CFST rubni elementi mogu povećati otpornost na vanjska opterećenja i djelovati kao dodatna ograničenja za ograničavanje betona, što također može poboljšati duktilnost cijelog posmičnog zida. CFST značajno utječe na sposobnost razgradnje energije spregnutog posmičnog zida a debljina CFST-a može u velikoj mjeri utjecati na ukupnu stabilnost spregnutog posmičnog zida. Izračun otpornosti na uzdužnu tlačnu silu CFCSW s CFST rubnim elementima uzimajući u obzir doprinos CFST može se provesti sljedećim izrazom:

$$N_u = N_{us} + N_{uc} + N_{uCFST} \quad (3.1)$$

gdje su  $N_{us}$ ,  $N_{uc}$  i  $N_{uCFST}$  otpornost na tlačnu silu poprečnog presjeka čeličnih ploča, betona i CFST rubnih elemenata



Slika 3.14. CFCSW s različitim vrstama spojnih sredstava i CFST rubnim elementima [4]

Kod CFCSW opterećenog uzdužnom tlačnom silom javlja se lokalno izbočavanje. Moždanici se najčešće koriste u spregnutim zidovima i sprječavaju lokalno izbočavanje čeličnih ploča u elastičnom području.

Omjer razmaka moždanika i debljina čeličnog lima je ključni faktor koji utječe na izbočavanje čeličnog lima. Naprezanje izbočavanja čelične ploče dobiveno na temelju ispitivanja koristeći teoriju izbočavanja Eulerovog stupa iznosi:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_s}{12k^2 \frac{s}{t_s}} \quad (3.2)$$

gdje je k faktor efektivne duljine s vrijednošću od 0,7. Stoga se ograničenje vitkosti kada je lokalno naprezanje na izbočavanje jednako granici popuštanja čelika ( $\sigma_{cr} = f_y$ ) može izvesti kao:

$$\frac{s}{t_s} \leq 1,30 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} \quad (3.3)$$

Kako bi se smanjila vitkost i spriječilo elastično lokalno izbočavanje, jedan od načina je smanjiti razmak moždanika, iako to nije isplativo. Druga mogućnost je uvođenje CFST kao

rubnih elemenata. Zaključeno je da CFST rubni elementi mogu izdržati veliki dio uzdužnog tlačnog opterećenja i poboljšati uzdužno tlačno ponašanje CFCSW. Kod CFCSW-a pod uzdužnom tlačnom silom i savijanjem, dolazi samo do izbočavanja prema van zbog ograničenja koje osigurava betonska jezgra. Postoje pukotine u blizini moždanika, a u usporedbi s AB zidom, uzorak pucanja CFCSW-a je ujednačeniji.

Način otkazivanja CFCSW je duktilan u usporedbi s čistim betonom ili čeličnim zidovima.

### 3.4.7 Izgradnja

Jedna od glavnih prednosti CFCSW-a je modularnost konstrukcije, koja uključuje predizradu, transport i montažu čeličnih dijelova koji se zatim pune betonom. To može poboljšati učinkovitost izgradnje i uštedjeti vrijeme i troškove. Konstrukcijski problemi koji se odnose na visinu lijevanja betona i redoslijed lijevanja mogu dovesti do zaostalog naprezanja i nesavršenosti, što ima negativan utjecaj na ponašanje spregnutih posmičnih zidova.

Nesavršenost je uglavnom uzrokovana procesom proizvodnje, transporta i montaže čeličnog lima. Nesavršenost čelične ploče može se dodatno povećati tijekom lijevanja betona. Utvrđeno je da su geometrijska nesavršenost čeličnih ploča i tlak u betonu uzroci smanjenja tlačne otpornosti, ali to neće utjecati na uzdužnu krutost.

Ponašanje čeličnih dijelova, uključujući nosivost, stabilnost i sposobnost deformacije povezane s vlastitom težinom i konstrukcijskim opterećenjem uglavnom ovisi o posmičnoj krutosti ( $G_s A_{eff}$ ).

### 3.4.8 Omjer uzdužnog tlačnog opterećenja

Omjer uzdužnog tlačnog opterećenja definiran je kao omjer primijenjene uzdužne tlačne sile i otpornosti na uzdužnu tlačnu silu CFCSW. Kod većeg uzdužnog tlačnog opterećenja spregnuti posmični zidovi apsorbiraju više energije i veća je sposobnost razgradnje energije. Beton je sklon drobljenju u ranoj fazi pod većim uzdužnim tlačnim opterećenjem. Sposobnost deformacije i duktilnost su dva važna pokazatelja u seizmičkom proračunu a oni se smanjivali s povećanjem uzdužnog tlačnog opterećenja. Stoga treba naći odgovarajuće uzdužno opterećenje kako bi se osiguralo da sposobnost razgradnje energije, krutost, otpornost, duktilnost i kapacitet deformacije mogu postići zadovoljavajuću vrijednost.

### 3.4.9 Omjer armature (debljina čelične ploče)

U fazi uporabe čelične ploče djeluju kao armatura, izraženo u debljini čelične ploče  $2t_s/t_w$ . Veća debljina čelične ploče pridonosi većoj krutosti, krajnjoj posmičnoj otpornosti i stabilnijoj histerezoj petlji. Povećanjem debljine čelične ploče moglo bi doći do oštećenja betona pod posmičnim opterećenjem budući da otpornost na posmik betona nije povećana, što dovodi do smanjenja duktilnosti. Spregnuti posmični zidovi opterećeni uzdužnom silom, pokazali su da je uzdužna krutost i otpornost na izbočavanje povećana povećanjem debljine čelične ploče.

### 3.4.10 Razmak moždanika

Izrazi za proračun predloženi su na temelju numeričke analize za izračun maksimalnog toleriranog razmaka moždanika tako da se lokalno izbočavanje čelične ploče između moždanika ne bi dogodilo prije popuštanja čeličnih ploča. Osim vitkosti spregnutog posmičnog zida, razmak moždanika značajno utječe na spregnuto djelovanje.

### 3.4.11 Proračun otpornosti CFCSW sustava

Proračunski izrazi za otpornost na posmik i otpornost na savijanje spregnutih posmičnih zidova su dani u nastavku.

Posmična otpornost u ravnini bez rubnog elementa:

$$V_n = 0,6f_y \cdot A_s \quad (3.4)$$

Posmična otpornost u ravnini s punim kružnim rubnim elementima:

$$V_n = \phi \cdot k \cdot f_y \cdot A_s \quad (3.5)$$

Posmična otpornost u ravnini s plukružnim rubnim elementima:

$$V_n = \phi \cdot k \cdot f_y \cdot A_s \quad (3.6)$$

gdje je:

$\phi$  faktor redukcije s vrijednošću 0,9

$k=1,11-5,16\rho$

$$\rho = \frac{A_s \cdot f_y}{12 \cdot A_c \sqrt{f_c}}$$

Otpornost na savijanje u ravnini bez rubnog elementa:

$$M_y = \frac{0,7}{3} f_c \cdot t_c \cdot C_1^2 + f_y \cdot t_s \left( \frac{4}{3} \cdot C_1^2 - 2 \cdot L \cdot C_1 + L^2 \right) \quad (3.7)$$

Otpornost na savijanje u ravnini s punim kružnim rubnim elementima:

$$M_y = A_{HSS} \cdot f_{y,HSS}(h - 2x + D_{HSS}) + (h^2 + 2C_2^2 - 2C_2h) \cdot t_s \cdot f_y + [0,25\pi D_{in}^2(0,5D_{HSS} + C_2 - x) + 0,33x \cdot t_c(C_2 - 0,67x) + 0,5t_c(C_2 - x)^2]f_c \quad (3.8)$$

Otpornost na savijanje u ravnini s plukružnim rubnim elementima:

$$M_y = 0,5 \cdot A_{HSS} \cdot f_{y,HSS} \left( \frac{2D_{HSS}}{\pi} + h \right) + (h^2 + 2C_3^2 - 2C_3h) \cdot t_s \cdot f_y \quad (3.9)$$

gdje je:

$C_1, C_2, C_3$  su dubine poprečnog presjeka u mm

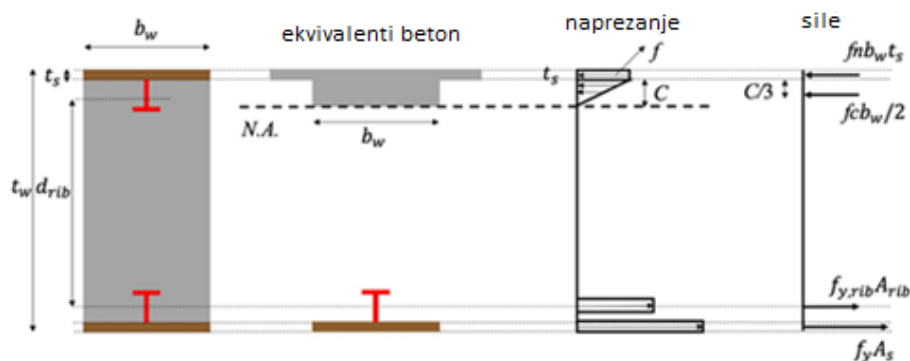
$$C_1 = \frac{2f_y \cdot t_s \cdot L}{0,35 \cdot f_c \cdot t_c + 4f_y \cdot t_s}$$

$$C_2 = \frac{2h_w \cdot t_s \cdot f_y - (0,25\pi \cdot D_{in}^2 - 0,67x \cdot t_c) \cdot f_c}{f_c \cdot t_c + 4f_y \cdot t_s}$$

$$C_3 = \frac{2h_w \cdot t_s \cdot f_y - 0,125(\pi \cdot D_{in}^2) \cdot f_c}{f_c \cdot t_c + 4f_y \cdot t_s}$$

$$x = 0,5 \left( D_{in} - \sqrt{D_{in}^2 - t_c^2} \right)$$

Kod izraza za posmičnu otpornosti u ravnini za spregnute posmične zidove treba uzeti redukcijski faktor od 0,75. Kod otpornosti na savijanje izvan ravnine, čelična ploča u tlaku iznad neutralne osi transformira se u ekvivalentni betonski blok množenjem omjera modula. Slika 3.15. prikazuje dijagram ravnoteže sila. Naprezanje rebra u tlaku se ne uzima u obzir jer je udaljenost između težišta rebra i neutralne osi relativno mala. Za zidove čiji omjer stranica  $b/h$  nije veći od 2, rubni elementi nisu potrebni. Rubne elemente treba projektirati prema analizi raspodjele naprezanja pri savojnim i uzdužnim opterećenjima.



Slika 3.15. Dijagram naprezanja za proračun otpornosti na savijanje izvan ravnine [4]

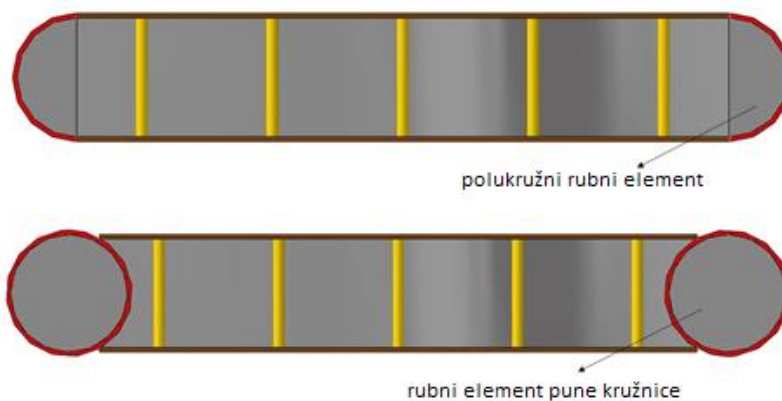




Slika 3.16. Mehanički model [4]

Posmično ponašanje u ravnini podijeljeno je u tri dijela kao što je prikazano na slici 3.16., što ovisi o početku nastanka pukotina u betonu i popuštanju čelične ploče. Za otpornost spregnutih posmičnih zidova na savijanje, pretpostavlja se da čelična ploča na vlačnoj strani dostiže potpuno popuštanje i koristi se 87,5% debljine stijenke za polugu između resultantne tlačne otpornosti betona i vlačne otpornosti čelika. Izraz za posmičnu otpornost se temelji na Von Misesovom popuštanju čeličnih ploča, kao i na razmatranju doprinosa ortotropnog raspucanog betona u tlaku.

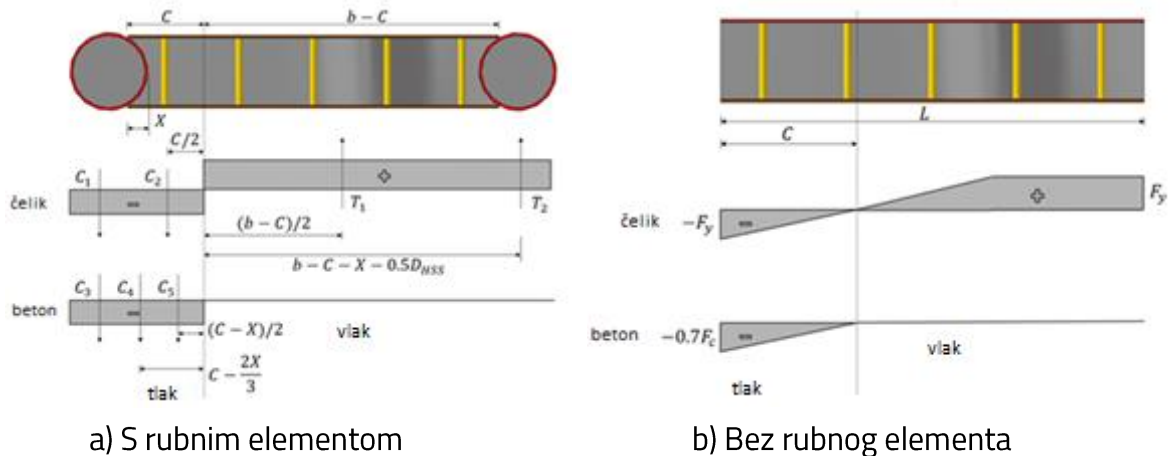
Spregnuti posmični zidovi s polukružnim i punim kružnim rubnim elementima prikazani su na slici 3.17.



Slika 3.17. CFCSW s polu i punim kružnim rubnim elementom [4]

Kod spregnutog zida bez rubnog elementa čelične ploče doprinose otpornosti na posmik u ravnini. Za spregnuti posmični zid s rubnim elementom, doprinosi čelične ploče i betona su uzeti u obzir. Kod spregnutog posmičnog zida s rubnim elementima plastičnu otpornost na savijanje u ravnini treba izračunati pod pretpostavkom da je sav beton u tlaku iznad neutralne osi postigao svoju maksimalnu tlačnu čvrstoću  $f_c$ , a čelik je postigao minimalnu

granicu popuštanja  $f_y$ , i na vlačnoj i na tlačnoj strani kao što je prikazano u dijagramu raspodjele naprezanja na slici 3.18. (a). Kod spregnutog posmičnog zida bez rubnih elemenata, beton doseže maksimalni tlak i linearno se smanjuje do nule iznad neutralne osi, a čelik varira od tlačne do vlačne granice popuštanja kao što je prikazano na slici 3.18. (b).



Slika 3.18. Dijagram raspodjele naprezanja za CFCSW [4]

### 3.4.12 Projektiranje krutosti

Posmična krutost AB posmičnog zida ostaje bruto vrijednosti bez ikakvog smanjenja zbog raspucavanja. Posmičnu krutost AB posmičnih zidova treba modificirati jer se svojstva čelične ploče u spregnutim posmičnim zidovima razlikuju od armature u AB zidovima.

Posmična krutost se može izračunati prema izrazu:

$$K = K_s + K_c = G \cdot 2 \cdot t_s + \frac{1}{\frac{4}{0,7 \cdot G_c \cdot t_c} + \frac{2(1 - \nu)}{G \cdot 2 \cdot t_p}} \quad (3.10)$$

Ponašanje spregnutih posmičnih zidova u ravni određeno je ponašanjem ortotropnog raspucalog betona i čeličnih ploča. Stoga se posmična krutost sastoji od dvije komponente:  $K_s$  i  $K_c$ , gdje je  $K_s$  doprinos čeličnih ploča, a  $K_c$  doprinos raspucanog betona.

Krutost na savijanje uvjetovana je smanjenim učinkom prijanjanja i zaostalim naprezanjima zbog skupljanja u betonu. Na krutost na savijanje stoga utječe veliki broj parametara, uključujući omjer modula betona i čelika, udaljenost do neutralne osi i deformaciju gornje ploče, što dovodi do izuzetno kompliciranog proračuna.

## 4 KRITERIJI PRORAČUNA

### 4.1 Proračun graničnih stanja

#### 4.1.1 Proračunske situacije

Odabir proračunske situacije ovisi o okolnostima pod kojima se zahtijeva od konstrukcije ispunjenje njene funkcije.

Vrste proračunskih situacija:

- izvanredna proračunska situacija
- potresna proračunska situacija
- stalna proračunska situacija
- prolazna proračunska situacija

Tablica 4.1. Preporučene vrijednosti faktora  $\psi$  [5]

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

#### 4.1.2 Granično stanje uporabljivosti

Granično stanje uporabljivosti spadaju granična stanja koja se odnose na funkcioniranje konstrukcije i konstrukcijskih elemenata, udobnost i komfor ljudi. Granično stanje uporabljivosti uključuje provjeru deformacija, vibracija te oštećenja koje nepovoljno utječu na izgled.

Uvjet pouzdanosti glasi:

$$E_d \leq C_d \quad (4.1)$$

gdje su:  $E_d$  proračunski učinak djelovanja  
 $C_d$  granična vrijednost kriterija uporabljivosti

Kombinacije djelovanja:

- česta kombinacija:

$$E_d = \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "\psi_{1,1} Q_{k,1}" + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad (4.2)$$

- karakteristična kombinacija:

$$E_d = \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "Q_{k,1}" + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (4.3)$$

- nazovistalna kombinacija:

$$E_d = \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad (4.4)$$

Koeficijenti kombinacije za preteča djelovanja navedeni u tablici 4.1. Granične vrijednosti kriterija uporabljivosti:

**Tablica 4.2.** Ograničenje vertikalnih progiba konstrukcijskih elemenata [5]

Konstrukcijski element	Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja	
	$w_{\max}$	$w_2 + w_3$
Krovišta	$L/200$	$L/250$
Prohodna krovišta	$L/250$	$L/300$
Stropovi	$L/250$	$L/300$
Krovišta i stropovi koji nose krhke obloge i vrlo krute pregradne stijene	$L/300$	$L/350$
Stropovi koji nose stupove osim u slučaju ako se konstrukcija promatra kao cjelovita	$L/400$	$L/500$
U slučaju kada je $w_{\max}$ važan za izgled konstrukcije	$L/250$	–

**Tablica 4.3.** Ograničenje horizontalnih pomaka konstrukcije [5]

Građevina	Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja	
	$u_i$	$u$
Prizemne industrijske građevine bez kрана i/ili međukatova	$H_1/150$	–
Prizemne građevine	$H_1/300$	–
Višekatne zgrade	$H_1/300$	$H/500$
NAPOMENA: $H_1$ – visina kata; $H$ – visina građevine		

#### 4.1.3 Granično stanje nosivosti

Granično stanje nosivosti spadaju stanja koja se odnose na sigurnost ljudi i sigurnost konstrukcije. Navedeno granično stanje provjerava se kod gubitka ravnoteže konstrukcije ili nekog njezinog dijela, kod sloma (prouzročnog prekomjernom deformacijom, stvaranjem mehanizma konstrukcije, slom prouzročen umorom, ...)

Uvjet pouzdanosti glasi:

$$E_d \leq R_d \quad (4.5)$$

gdje je:  $E_d$  proračunski učinak djelovanja

$R_d$  proračunska otpornost

Proračunski učinak djelovanja glasi:

$$E_d = \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,1} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \right\} \quad (4.6)$$

## 4.2 Kriteriji u potresnim područjima

Filozofija seizmičkog projektiranja utvrđuje pravilno projektiranje konstrukcija koje zadovoljava različite seizmičke zahtjeve [9]:

- Spriječiti oštećenje nekonstrukcijskih komponenti kao što su pregradni zidovi u čestim manjim događajima podrhtavanja tla.
- Spriječiti konstrukcijska te minimalizirati nekonstrukcijska oštećenja kod umjerenih seizmičkih aktivnosti.
- Sprječavanje ozbiljnih oštećenja ili stanja koje prethode rušenju u rijetkim značajnim seizmičkim aktivnostima.

Veličina prihvatljive štete te troškovi popravaka najviše utječu na razinu seizmičke otpornosti konstrukcije. Seizmičko projektiranje je postizanje dobrog odnosa između seizmičkih zahtjeva (dinamičkih učinaka na konstrukciju) te kapaciteta konstrukcije (sposobnost sustava da se odupre tim djelovanjima bez sloma).

### 4.2.1 Kombinacije pri potresnoj proračunskoj situaciji

#### 4.2.1.1 Kombinacija inercijskih učinaka

Proračunska vrijednost učinaka djelovanja  $E_d$  u potresnoj proračunskoj situaciji glasi:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} Q_{k,i} \quad (4.7)$$

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i} \quad (4.8)$$

gdje su:  $\psi_{E,i}$  koeficijent kombinacije za promjenjivo djelovanje

$\psi_{2,i}$  i  $\varphi$  koeficijenti propisani tablicom 4.1. odnosno 4.7.

Tablica 4.4. Vrijednosti  $\varphi$  pri proračunu  $\psi_{E,i}$  [5]

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

#### 4.2.1.2 Kombinacija učinaka komponenata potresnog djelovanja

Najčešće se uzima da horizontalne komponente potresnog djelovanja djeluju zajedno. Kombinacija učinaka komponenata potresnog djelovanja radi se sumiranjem 100%-tne vrijednosti u glavnom smjeru te 30%-tnim vrijednostima u preostalim smjerovima.

$$A_{Ed} = E_{Edx} + 0,30E_{Edy} + 0,30E_{Edz} \quad (4.9)$$

$$A_{Ed} = 0,30E_{Edx} + E_{Edy} + 0,30E_{Edz} \quad (4.10)$$

$$A_{Ed} = 0,30E_{Edx} + 0,30E_{Edy} + E_{Edz} \quad (4.11)$$

gdje su:

- $A_{Ed}$  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

#### 4.2.1.3 Kombinacija djelovanja za potresnu proračunsku kombinaciju

Kombinacija djelovanja može se izraziti:

$$E_d = \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad (4.12)$$

Koeficijent kombinacije za preteća djelovanja navedeni su u tablici 4.1.

#### 4.2.2 Proračun duktilnih konstrukcija

Građevine projektirane prema elastičnom spektru odziva koje bi ostale u elastičnom području sve do sloma se ne izvode jer mogu biti izrazito skupe. Proračun se vrši sa smanjenim seizmičkim silama odnosno proračunskom spektru odziva. Seizmičke sile su smanjene zbog toga što je konstrukcija sposobna raspršiti (disipirati) potresnu energiju u

duktilnim područjima, koje treba s posebnom pozornošću projektirati. Sposobnost trošenja energije uzima se preko faktora ponašanja  $q$ . Preporučene vrijednosti faktora ponašanja nalaze su u tablici 4.6. Razmatramo razred duktilnosti DCM.

Zgrade su raspoređene u četiri razreda važnosti, ovisno o posljedicama otkazivanja konstrukcija na živote ljudi, društvene te ekonomske posljedice, tablica 4.5.

**Tablica 4.5. Razredi važnosti [8]**

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

Poslovna građevina pripada razredu važnosti II s pripadnim faktorom važnosti 1,0.

**Tablica 4.6. Gornje granice faktora ponašanja [8]**

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

Disipativne konstrukcije (DCM ili DCH) EC8-1 preporučuje se upotreba faktora ponašanja većeg od 2,0. Pretpostavka se može primjeniti uz osiguranje dostatne duktilnosti elemenata koji uslijed tlačnih naprezanja elementi zadovoljavaju uvjete lokalih vitkosti propisanih razredima, tablica 4.7.

**Tablica 4.7. Zahtijevani razred presjeka [8]**

Razred duktilnosti	Referencijska vrijednost faktora ponašanja $q$	Zahtijevani razred presjeka
DCM	$1,5 < q \leq 2$	razred 1, 2 ili 3
	$2 < q \leq 4$	razred 1 ili 2
DCH	$q > 4$	razred 1

### 4.2.3 Temeljni zahtjevi

EC8-1 seizmički proračun konstrukcija treba obuhvatiti dvije razine proračuna:

- Zahtjev da ne smije doći do rušenja: zaštita ljudskih života uslijed rijetkih seizmičkih aktivnosti sprječavanjem lokalnog ili globalnog urušavanja konstrukcije te očuvanje cjelovitosti konstrukcije s preostalim nosivostima.
- Zahtjev ograničenja oštećenja: ograničenje konstrukcijskih i nekonstrukcijskih oštećenja u slučaju čestih seizmičkih događaja bez ograničenja upotrebe, gdje bi troškovi bili nerazmjerno visoki u usporedbi s troškovima same konstrukcije.

Prvi uvjet postignut je primjenom kapacitativnog projektiranja na temelju hijerarhije otkazivanja. Zahtjev je izravno povezan s graničnim stanjem nosivosti. Drugi zahtjev postignut je ograničenjem bočnog međukatnog pomaka konstrukcije te je na neki način povezano s graničnim stanjem uporabljivosti.

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

Ovo granično stanje povezano je s krajnjim graničnim stanjem te zahtijeva provjeru bočne otpornosti i trošenje energije sustava. Implicirano je na ispunjenje zahtjeva kod kojeg ne smije doći do rušenja i ne zahtijeva da konstrukcija ostane u elastičnom području. Sustav dopušta značajne neelastične deformacije u konstrukcijskim elementima te njihovim spojevima pod uvjetom da se očuva cjelovitost konstrukcije. Provjerom pojedinačnih konstrukcijskih elemenata (otpornost i stabilnost), ovo stanje podrazumijeva i provjeru ukupne stabilnosti konstrukcije kao što su prevrtanje i klizanje, nosivost temeljnog tla, učinci drugog reda i slično.

Uvjet pouzdanosti koji treba zadovoljiti za sve konstrukcijske i nekonstrukcijske elemente je:

$$E_d \leq R_d \quad (4.13)$$

gdje je:  $E_d$  proračunski učinak djelovanja  
 $R_d$  proračunska otpornost

Zahtjev da ne smije doći do rušenja pod seizmičkim djelovanjem smatra se zadovoljenim ako je ispunjeno:

- ravnoteža
- lokalna i globalna duktilnost
- otpornost



- otpornost stropnih dijafragmi
- otpornost temelja
- seizmička otpornost spojeva

Konstrukcija mora biti projektirana te izvedena da se odupre proračunskom potresnom djelovanju bez lokalnog ili globalnog rušenja zadržavajući konstrukcijsku cjelovitost i preostalu nosivost nakon potresa. Proračun potresnog djelovanja provodi se za povratno razdoblje od 475 godina.

#### 4.2.3.2 Zahtjev ograničenja oštećenja

Navedeni zahtjev propisuje da konstrukcija mora biti proračunata i izvedena da se odupre potresnom djelovanju, koje ima veću vjerojatnost pojave od proračunskog potresnog djelovanja, bez značajnih oštećenja ili gubitka funkcionalnosti. Uglavnom se šteta očekuje na nekonstrukcijskim elementima, a njezina pojava ovisi o interakciji s deformacijom sustava. Proračun se provodi za povratni period od 95 godina.

Navedeni temeljni zahtjev osigurava punu konstrukcijsku uporabivost uslijed čestih seizmičkih aktivnosti (sadrži veću vjerojatnost pojave u odnosu na zahtjev da ne smije doći do rušenja) te smanjuje troškove popravaka nakon većih potresnih djelovanja. Zahtjev ograničenja oštećenja rezultiran je gornjom granicom međukatnih pomaka  $d_r/h$  u graničnom stanju uporabivosti gdje je  $d_r$  međukatni zahtjev, a  $h$  visina kata. Često će ovaj zahtjev uvjetovati veličinu elemenata stoga se preporuča njegova provedba prije samog dimenzioniranja.

$$d_r \cdot v \leq ah \quad (4.14)$$

gdje je:  $d_r$  proračunski katni pomak određen kao razlika prosječnih bočnih pomaka  $d_s$  na vrhu i podnožju promatranog kata za čestu kombinaciju djelovanja

$h$  visina kata

$v$  faktor smanjenja kojim se uzima u obzir najkraće povratno razdoblje potresnog djelovanja povezano sa zahtjevom ograničenja oštećenja, preporučena vrijednost iznosi 1,0

$\alpha$  zgrade bez nekonstrukcijskih elemenata  $\alpha=0,010$

Pomak točke sustava određuje se:

$$d_s = q_d \cdot d_e \quad (4.15)$$

- gdje je:
- $d_s$  pomak konstrukcijskog sustava uzrokovan proračunskim potresnim djelovanjem
  - $q_d$  uzima se jednak faktoru ponašanja  $q$ , jedino ako nije drugačije propisano
  - $d_e$  pomak konstrukcijskog sustava određen linearnim proračunom temeljenom na proračunskom spektru odziva

Ako je provedena nelinearna dinamička analiza vremenskog zapisa, međukatni pomak određuje se izravno iz seizmičkog djelovanja, zadanih preko generiranih akcelograma.

#### 4.2.4 Projektiranje čeličnih konstrukcija u seizmičkim područjima

Kako bi osigurali povećanu lokalnu te ukupnu duktilnost, potrebno je pretpostaviti broj kriterija koji karakteriziraju učinke djelovanja  $E_d$ , kako bi se utvrdilo da konstrukcija razvija cjelovit ili globalni plastični mehanizam čime se omogućuje upotreba većih faktora ponašanja (većih od propisanih za DCM ili DCH). Važna značajka je pravilno oblikovanje i izvođenje detalja, pravilan odabir svojstava materijala koji omogućuju sprječavanje lokalne neduktilne lomove.

Zone razgradnje energije mogu biti u konstrukcijskim elementima ili priključcima. Ako se nalaze u konstrukcijskim elementima, neduktilna područja te priključci na koje su spojeni duktilni elementi trebaju posjedovati povećanu čvrstoću da se osigura cikličko popuštanje u duktilnim elementima. Zone razgradnje energije smještene su u priključcima a priključni elementi trebaju posjedovati povećanu otpornost što omogućuje cikličko trošenje energije u priključcima.

Važan kriterij potresnog oblikovanje građevina je pravilnost tlocrta i pravilnost po visini. Kako bi se osiguralo trošenje energije i globalno duktilno ponašanje, mora se izbjeći krhki slom. Globalno ponašanje konstrukcije znatno ovisi o lokalnom ponašanju kritičnih područja te razradi detalja konstrukcije. Oblikovanjem duktilnih i neduktilnih područja, treba postići sposobnost trošenja energije pri cikličkom savijanju. Proračun treba temeljiti na prikladnom proračunskom modelu. Temeljni koncept Eurokoda 8 je veza između otpornosti te duktilnosti ostvarena preko klasa duktilnosti. Konstrukcije sa zonama razgradnje energije trebaju se projektirati tako da popuštanje ili lokalno izbočavanje ne utječe na ukupnu stabilnost konstrukcije. Zone razgradnje energije trebaju imati dostatnu duktilnost i otpornost. Duktilna područja smještena u konstrukcijskim elementima ili

spojevima. Ako su smještena u konstrukcijskim elementima, dijelovi u kojima se ne razgrađuje energija, mora imati dostatnu povećanu čvrstoću s ciljem razvoja cikličkog popuštanja u dijelovima u kojima se razgrađuje energija.

Da bi se osiguralo cjelokupno duktilno ponašanje, preporučuje se "jaki stup- slaba greda". Kriterij je usmjeren na provođenje globalnog načina otkazivanja s plastičnim zglobovima formiranih samo na krajevima grede dok stupovi moraju ostati u elastičnom području cijelom svojom visinom, osim na razini temeljne stope ili na vrhu gdje su plastični zglobovi prihvatljivi. Smatra se da je ispunjeno ako je ispunjen sljedeće:

$$\sum M_{RC} \geq 1,3 \cdot \sum M_{Rb} \quad (4.16)$$

gdje je:  $\sum M_{RC}$  zbroj proračunskih vrijednosti momenata otpornosti stupa u promatranom čvoru  
 $\sum M_{Rb}$  zbroj proračunskih vrijednosti momenata otpornosti grede u promatranom čvoru

#### 4.2.4.1 Mehaničke karakteristika materijala

##### 4.2.4.1.1 Čvrstoća i duktilnost

Nominalana granica popuštanja  $f_y$  je minimalna vrijednost koja je zapravo manja od stvarne čvrstoće čelika. Granice popuštanja čelika definirane su od strane proizvođača i često ne sadrže gornje vrijednosti. Prema pristupu kapacitativnog projektiranja važno je poznavati gornju vrijednost granice popuštanja elemenata u kojima se razgrađuje energija. Raspodjela svojstava materijala u konstrukciji, kao što su granica popuštanja te žilavost treba biti takva da se duktilna područja stvaraju gdje je to predviđeno proračunom. Zahtjev je ispunjen ako su granica popuštanja duktilnih područja i proračun konstrukcije u skladu s nekim od uvjeta:

- Gornja vrijednost granice popuštanja  $f_{y,max}$  duktilnih područja zadovoljava izraz:

$$f_{y,max} \leq 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y \quad (4.17)$$

gdje je:  $\gamma_{ov}$  koeficijent povećane čvrstoće, iznosi: 1,25  
 $f_y$  nazivna granica popuštanja čelika

- Proračun konstrukcije proveden na temelju jedne kvalitetne grupe čelika odnosno granice popuštanja  $f_y$  u duktilnim te neduktilnim područjima; gornja granica  $f_{y,max}$  specificirana je za čelik u duktilnim područjima; nazivna vrijednost  $f_y$  specificirana je u neduktilnim područjima i spojevima te premašuje  $f_{y,max}$  duktilnih područja. Kod ovog slučaja se za koeficijent povećane čvrstoće  $\gamma_{ov}$  uzima vrijednost 1,0.

- Stvarna granica popuštanja  $f_{y,act}$  svakog duktilnog područja određuje se mjerenjima a koeficijent povećane čvrstoće proračunava se za svako duktilno područje na temelju izraza:  $\gamma_{ov,act} = f_{y,act}/f_y$ .

Kod ova tri spomenuta uvjeta, najčešće se primjenjuje slučaj gdje projektanti nemaju informaciju o stvarnoj vrijednosti granice popuštanja u duktilnim elementima i spojevima te EC8 propisuje vrijednost koeficijenta povećane čvrstoće  $\gamma_{ov}=1,25$ . Drugi uvjet odgovara situaciji pri kojoj proizvođači isporučuju tzv."seizmički" čelik s garantiranom gornjom granicom popuštanja (najčešće nepraktična). Treća opcija moguća je u ograničenom broju situacija, npr. prilikom procjene postojećih konstrukcija.

#### 4.2.4.1.2 Žilavost

Važno svojstvo čelika u područjima razgradnje energije te zavarima je žilavost koja predstavlja mjeru zahtijevane veličine energije da se dogodi slom materijala. Kod žilavijeg materijala potrebno je više energije da bi se dogodio slom. Bez obzira na vrstu čelika u pogledu granice popuštanja, niži stupanj žilavosti odgovara manjoj duktilnosti. Pod seizmičkim opterećenjem duktilne komponente izložene su velikim neelastičnim cikličkim deformacijama te visokim brzinama deformiranja, koje mogu smanjiti raspoloživu duktilnost i mogu uzrokovati slom umorom kod malog broja ciklusa.

#### 4.2.4.2 Pravila i zahtjevi za neduktilne elemente

Opisano je u odjeljku EC8-1 za okvirne sustave gdje se propisuje koncept proračuna "jaki stup-slaba greda". EC8 nalaže općenitije pravilo proračuna kapaciteta koje treba primjeniti na sve nedisipativne elementne [8].

$$E_{Ed,i} = E_{Ed,G,i} + 1,1\gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot E_{Ed,R,i} \quad (4.18)$$

gdje je:

- $E_{Ed,G,i}$  učinak djelovanja (npr.uzdužna sila, moment savijanja ili poprečna sila) u elementu za nepotresno djelovanje koje se uzima u kombinaciji u potresnoj proračunskoj situaciji
- $E_{Ed,R,i}$  učinci djelovanja za proračunsko potresno djelovanje
- $\gamma_{ov}$  koeficijent povećane čvrstoće
- $\Omega$  omjer najmanje vrijednosti čvrstoće  $R_{d,E,i}$ -tog elementa prema učinku djelovanja  $E_{Ed,E,i}$  istog elementa od svih nosača koji su smješteni u zone razgradnje energije

$$\Omega = \min \left( \frac{R_{d,R,i}}{E_{Ed,R,i}} \right) \quad (4.19)$$

Jednadžba (4.18) ima cilj povećati veličinu neduktilnih elemenata. Povećanje veličine elemenata u kojima se razgrađuje energija treba izbjegavati kako bi se postigle racionalne te ekonomske konstrukcije. Postoje slučajevi u kojima je predimenzioniranje duktilnih elemenata neizbježno, kao konstrukcija sklonih bočnim deformacijama i P-delta učincima. Kriteriji stabilnosti i međukatnih pomaka zahtijevaju povećanje veličine elemenata kako bi se postiglo povećanje bočne krutosti. Nakon dimenzioniranja, potreba da se ispune svi navedeni zahtjevi često dovodi do konstrukcija s velikom čvrstoćom i duktilnosti, najčešće pretjerano većih od zahtjeva potresnim opterećenjem.

#### 4.2.4.3 Pravila i zahtjevi za neduktilne priključke

Kod svih tipova neduktilnih priključaka u duktilnim područjima konstrukcije propisuju se opća pravila kako bi se osiguralo dovoljno prekomjerne čvrstoće i izbjegla koncentracija plastičnih deformacija. Neduktilni spojevi trebaju zadovoljiti uvjet [8,9]:

$$R_d \geq 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot R_{fy} \quad (4.20)$$

gdje je:  $R_d$  otpornost spoja  
 $R_{fy}$  plastična otpornost spojenog elementa u kojem se razgrađuje energija  
 $\gamma_{ov}$  koeficijent povećane čvrstoće

#### 4.2.5 Proračun okvirnih sustava

##### 4.2.5.1 Zahtjevi za stupove

Stupovi se dimenzioniraju prema općem pravilu danog izrazom (4.18). Kako bi se osiguralo ponašanje "slaba greda-jaki stup", sile koje djeluju na stup dobivene elastičnim modelom moraju se pomnožiti koeficijentom  $\Omega$ . Za ovaj slučaj vrijedi [8]:

$$\Omega = \min \left( \frac{R_{d,E,i}}{E_{Ed,E,i}} \right) \quad (4.21)$$

gdje je:  $M_{Ed,i}$  proračunska vrijednost momenta savijanja grede  $i$  u potresnoj proračunskoj situaciji  
 $M_{pl,Rd,i}$  plastična otpornost momenta savijanja grede  $i$

Nakon izračuna koeficijent  $\Omega$ , stupovi se provjeravaju na tlak uzevši u obzir najnepovoljniju kombinaciju uzdužne sile i momenta savijanja. Učinci djelovanja proračunavaju se na sljedeći način [8]:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} \quad (4.22)$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} \quad (4.23)$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} \quad (4.24)$$

gdje su:  $N_{Ed,G}$ ,  $M_{Ed,G}$  i  $V_{Ed,G}$  učinci djelovanja u stupu za nepotresno djelovanje koje se uzima u kombinaciji pri potresnoj proračunskoj situaciji  
 $N_{Ed,E}$ ,  $M_{Ed,E}$  i  $V_{Ed,E}$  učinci djelovanja u stupu za proračunsko potresno djelovanje  
 $\gamma_{ov}$  koeficijent povećane čvrstoće  
 $\Omega$  koeficijent propisan izrazom (4.21)

Stupovi u kojima nastaju plastični zglobovi potrebno je uzeti u obzir da u njima djeluje moment  $M_{pl,Rd}$ . Poprečna sila u stupu  $V_{Ed}$  dobivena proračunom treba zadovoljiti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad (4.25)$$

#### 4.2.5.2 Zahtjevi za spregnute nosače

U duktilnim područjima, armatura spregnutih konstrukcija treba osigurati duktilno ponašanje. Kod spregnutog nosača, cilj proračuna je očuvati cjelovitost betonske ploče a popuštanje se osigurava čeličnim presjekom i popuštanjem armature. Ako se spregnuti nosač razmatra kao duktilni element, najmanji stupanj sprežanja iznosi 0,8 [7], te se proračunska otpornost moždanika dodatno reducira koeficijentom 0,75. Kod neduktilnih moždanika, zahtijeva se puni posmični spoj. Proračun djelotvorne širine pojasnice razlikuje se na proračun prema EN 1994 [7]. Kod seizmičkih područja on se definira ovisno o stanju I (elastično ponašanje) ili II (plastično ponašanje) te o predznaku momenta savijanja.

Tablica 4.8. Djelotvorne širine spregnutih nosača [7]

Predznak momenta savijanja M	Mjesto	Poprečni element	$b_c$ za $M_{Rd}$ stanje II (plastično)
Negativni M	Unutarnji stup	Potresne šipke	0,1/
Negativni M	Vanjski stup	Svi oblici sa šipkama usidrenim na pročeljnu gredu ili u betonski konzolni rubni trak	0,1/
Negativni M	Vanjski stup	Svi oblici sa šipkama neusidrenim na pročeljnu gredu ili na betonski konzolni rubni trak	0,0
Pozitivni M	Unutarnji stup	Potresne šipke	0,075 /
Pozitivni M	Vanjski stup	Čelična poprečna greda s moždanicima. Betonska ploča do vanjskog lica stupa profila H s jakom osi postavljenom kao na slici 7.5 ili preko stupa (betonski rubni trak). Potresne šipke.	0,075 /
Pozitivni M	Vanjski stup	Nema čelične poprečne grede ni čelične poprečne grede bez moždanika. Betonska ploča do vanjskog lica stupa profila H s jakom osi postavljenom kao na slici 7.5 ili preko stupa (rubni trak). Potresne šipke	$b_v/2 + 0,7 h_v/2$
Pozitivni M	Vanjski stup	Svi drugi oblici. Potresne šipke	$b_v/2 \leq b_{c,max}$ $b_{c,max} = 0,05 l$

### 4.2.5.3 Zahtjevi za nosače

Kako bi se ostvario duktilni globalni mehanizam kolapsa, okvirni sustav projektira se s ciljem stvaranja plastičnih zglobova na krajevima grede ili u priključcima greda-stup, ali izbjegavajući plastifikaciju stupova s izuzetkom kod temelja okvira i na zadnjoj etaži. Takav mod otkazivanja najpovoljniji je zbog iskorištenja kapaciteta duktilnosti u gredama. Razvoj plastičnih zglobova u stupovima dovodi do preuranjenog mehanizma kolapsa zbog malog i ograničenog rotacijskog kapaciteta stupova.

Plastični moment otpora i rotacijska sposobnost plastičnih zglobova ne bi bila umanjena zbog utjecaja tlačnih i posmičnih sila, za klase presjeka 1 i 2 treba zadovoljiti uvjete [6]:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1 \quad (4.26)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,15 \quad (4.27)$$

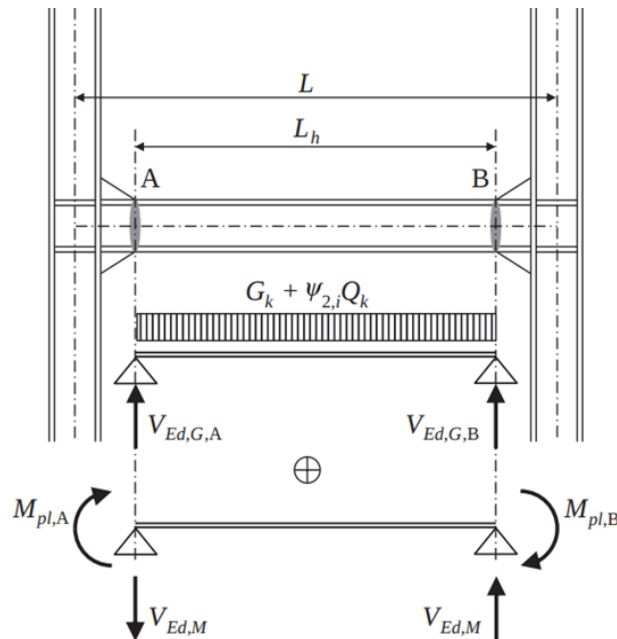
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,15 \quad (4.28)$$

gdje su:  $M_{Ed}, N_{Ed}, V_{Ed}$  proračunski učinci djelovanja  
 $M_{pl,Rd}, N_{pl,Rd}, V_{pl,Rd}$  proračunske otpornosti u skladu sa EN 1993-1

Zahvaljujući prisutnosti stropnih dijafragmi, aksijalne sile u gredama okvirnih sustava su zanemarive. Poprečne sile mogu biti značajne te iste treba ograničiti kako bi se izbjegla interakcija savijanja i posmika u plastičnim zglobovima. Kako je prikazano na slici 4.1. poprečna sila  $V_{Ed}$  na oba kraja upete grede određuje se prema principu kapacitativnog projektiranja:

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M} \quad (4.29)$$

gdje je:  $V_{Ed,G}$  proračunska potresna sila za nepotresna djelovanja  
 $V_{Ed,M}$  proračunska poprečna sila pri djelovanju plastičnih momenata savijanja  $M_{pl,A,Rd}$  i  $M_{pl,B,Rd}$  suprotnih predznaka na krajnjim presjecima grede A i B.  $V_{Ed,M} = (M_{pl,A,Rd} / M_{pl,B,Rd}) / L_h$  je najnepovoljniji uvjet koji se odnosi na gredu raspona  $L_h$  (neto duljinu između priključaka) te duktilna područja na oba kraja, slika 4.1.



Slika 4.1. Proračunska poprečna sila nosača: kombinacija nepotresnog djelovanja i plastičnih momenata savijanja na krajevima grede [9]

#### 4.2.5.4 Zahtjevi za priključak nosač stup

Kada se konstrukcija projektira na način da se energija razgrađuje u nosačima, priključci "nosač- stup" cijelog okvira moraju pružiti dostatno povećanje čvrstoće (otpornosti) kako bi omogućili formiranje plastičnih zglobova na krajevima grede [8].

$$M_{j,Rd} \geq 1,1\gamma_{ov} \cdot M_{b,pl,Rd} \quad (4.30)$$

gdje je:  $M_{j,Rd}$  otpornost na moment savijanja priključka  
 $M_{b,pl,Rd}$  otpornost na moment savijanja priključenog elementa  
 $\gamma_{ov}$  koeficijent povećane čvrstoće

Priključci "nosač-stup" paneli hrpta stupova moraju pružiti odgovarajuće povećanje čvrstoće kako bi se omogućio razvoj očekivanih mehanizama razgradnje energije izbjegavajući plastifikaciju ili posmično izbočavanje hrpta.

$$\frac{V_{wp,Ed}}{\min(V_{wp,Rd}; V_{wb,Rd})} \leq 1,0 \quad (4.31)$$

gdje je:  $V_{wp,Ed}$  računski posmična sila u panelu hrpta  
 $V_{wp,Rd}$  posmična otpornost hrpta panela  
 $V_{wb,Rd}$  otpornost na posmično izbočavanje panela hrpta



Da bi se osigurala odgovarajuća rotacijska sposobnost proračunska posmična otpornost vijaka u posmičnim vijčanim spojevima mora biti 20% veća od proračunske nosivosti. Tako se izbjegava kruti lom priključka koji unatoč tome što nije disipativni treba osigurati odgovarajući rotacijski kapacitet za zahtjev međukatnog pomaka pod seizmičkim djelovanjem.

#### 4.2.5.5 Zahtjev priključaka temeljne stope

Spoj stupa s temeljem treba se projektirati s povećanom čvrstoćom u odnosu na stup

$$M_{c,Rd} \geq 1,1\gamma_{ov} \cdot M_{c,pl,Rd} \quad (4.32)$$

gdje je:  $M_{c,Rd}$  računski otpornost priključka na savijanje  
 $M_{c,pl,Rd}$  računski plastična otpornost na savijanje stupa uzimajući u obzir uzdužnu silu  $N_{Ed}$  koja djeluje na stup te tako daje najgori uvjet za spoj stupa s temeljem  
 $\gamma_{ov}$  koeficijent povećane čvrstoće i

#### 4.2.5.6 Projektiranje i razrada detalja spregnute ploče

Međukatne konstrukcije modernih čeličnih zgrada često su u spregnutoj izvedbi. Spregnuta ploča vrlo je učinkovita za poboljšanje karakteristika međukatnih konstrukcija izloženih gravitacijskim i seizmičkim djelovanjima. Većina mase konstrukcije koncentrirana je na međukatnim konstrukcijama svakog kata u kojima se tijekom potresnog djelovanja javljaju značajne inercijske sile. Pravilno projektiranje i izvedba međukatne konstrukcije imaju važnu ulogu pri raspodjeli potresnih sila na vertikalne elemente. Uz inercijske sile, dijafragme trebaju biti sposobne za prijenos unutarnjih sila koje se javljaju između različitih vertikalnih sustava koji se odupiru potresnom djelovanju. EC8-1 preporučuje provjeru stropnih sustava na potresno djelovanje, pomnoženo koeficijentom povećane čvrstoće  $\gamma_d$  (može se pretpostaviti da je jednak kao i za neduktilne elemente) gdje je potresno djelovanje dobiveno analizom konstrukcije.

#### 4.2.6 Redukcija pojasnice nosača

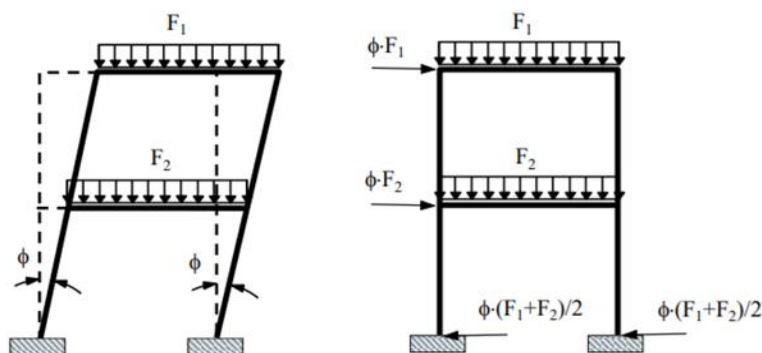
Efikasno i prilično jednostavno rješenje za izbjegavanje plastičnih deformacija u neduktilnim priključcima je smanjenje presjeka nosača na mjestu gdje se predviđa otvaranje plastičnih zglobova.

## 5 GLOBALNA ANALIZA KONSTRUKCIJE

### 5.1 Imperfekcije okvira

Bez obzira na točnost izvedbe u čeličnim konstrukcijama uvijek postoje imperfekcije kao što su rezidualni naponi, ekscentriciteti u spojevima, ekscentriciteti opterećenja, nedostatak vertikalnosti i nedostatak linearnosti elemenata. Takve nesavršenosti odgovorne su za dodatne unutarnje sile koje se moraju uzeti u obzir u globalnoj analizi i proračunu konstrukcijskih elemenata. EC3-1-1 nalaže da nesavršenosti treba uzeti u obzir u obliku ekvivalentnih geometrijskih imperfekcija s vrijednostima koje odražavaju učinke svih mogućih nesavršenosti. Učinci nesavršenosti okvirnog sustava uzimaju se u obzir u globalnoj analizi a lokalni učinci imperfekcija oblika luka pokrivaju krivuljama izvijanja.

Oblik i smjer geometrijskih imperfekcija u globalnoj analizi pokrivaju najnepovoljnije učinke. U prostornom modelu imperfekcije pokrivaju nesavršenosti u ravnini te izvan ravnine. Sustavi osjetljivi izbočavanju u bočno pomičnom modu, utjecaji nesavršenosti obuhvaćaju se preko početnog kuta rotacije okvira u odnosu na stopu stupa. Globalni početni kut rotacije odgovara nedostatku vertikalnosti konstrukcije i obuhvaća se preko kuta  $\phi$ , slika 5.1.



Slika 5.1. Ekvivalentna geometrijska imperfekcija u okvirnim sustavima [10]

Stoga vrijedi [11]:

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \quad (5.1)$$

gdje je:

$\phi$  osnovna vrijednost  $\phi_0 = 1/200$

$\alpha_h$  redukcijski faktor za visinu stupova

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

$\alpha_m$  redukcijski faktor za broj stupova u redu

$$\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + 1/m)}$$

Globalna početna nesavršenost zbog bočnog pomaka (uzdužni smjer):

$$\phi_0 = 1/200 = 0,005$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{193,5}} = 0,144$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + 1/m)} = \sqrt{0,5(1 + 1/7)} = 0,756$$

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 0,0005443$$

Globalna početna nesavršenost zbog bočnog pomaka (poprečni smjer):

$$\phi_0 = 1/200 = 0,005$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{193,5}} = 0,144$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + 1/m)} = \sqrt{0,5(1 + 1/7)} = 0,756$$

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 0,0005443$$

Ukupno vertikalno opterećenje (uzdužni smjer):

$$F_{uk,Ed} = q_{ed} \cdot A = 11,1 \text{ kN/m}^2 \cdot 216 \text{ m}^2 = 2397,6 \text{ kN}$$

Ekvivalentna horizontalna sila zbog imperfekcija (uzdužni smjer):

$$H_{Ed} = \phi \cdot F_{uk,Ed} = 0,0005443 \cdot 2397,6 = 1,31 \text{ kN}$$

Ukupno vertikalno opterećenje (poprečni smjer):

$$F_{uk,Ed} = q_{ed} \cdot A = 11,1 \text{ kN/m}^2 \cdot 216 \text{ m}^2 = 2397,6 \text{ kN}$$

Ekvivalentna horizontalna sila zbog imperfekcija (poprečni smjer):

$$H_{Ed} = \phi \cdot F_{uk,Ed} = 0,0005443 \cdot 2397,6 = 1,31 \text{ kN}$$

Relativne početne lokalne nesavršenosti za elemente tablica 5.1.:

$$e_0/L$$

(5.2)

gdje je:  $e_0$  maksimalna amplituda početnog bočnog pomaka

L duljina promatranog elementa

**Tablica 5.1. Početne lokalne imperfekcije oblika luka [6]**

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

## 5.2 Klasifikacija čelične konstrukcije

### 5.2.1 Stalne i prolazne proračunske situacije

Unutarnje sile i momenti mogu se odrediti:

- analizom prvog reda, koristeći početnu geometriju konstrukcije
- analizom drugog reda, obuhvaćajući utjecaj deformiranja konstrukcije (P-Δ učinci)

Učinci deformirane geometrije (učinci drugog reda) trebaju se uzeti u obzir ako značajno doprinose povećanju unutarnjih sila ili ponašanju sustava. Globalna analiza prvog reda može se koristiti ako se povećanje unutarnjih sila, uzrokovanih deformacijama može zanemariti. Uvjet je zadovoljen je ako je zadovoljen sljedeći kriterij:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad (5.3)$$

gdje je:  $F_{cr}$  elastično kritično opterećenje koje proizvodi instabilitet uslijed bočne pomičnosti  
 $F_{Ed}$  ukupno vertikalno računsko opterećenje koje djeluje na konstrukciju

### 5.2.2 Potresna proračunska situacija

Učinke drugog reda (P-Δ učinke) ne treba uzeti u obzir ako je na svim razinama ispunjeno:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0,10 \quad (5.4)$$

gdje je:  $\theta$  koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka  
 $P_{tot}$  ukupno gravitacijsko opterećenje na promatranom katu te iznad njega u proračunskoj potresnoj situaciji  
 $d_r$  proračunski katni pomak određen kao razlika prosječnih bočnih pomaka  $d_s$  na vrhu i pri podnožju promatranog kata  
 $V_{tot}$  ukupna katna potresna proračunska sila  
 $h$  međukatna visina

## 6 ANALIZA OPTEREĆENJA

Projektni zadatak: visoka poslovna zgrada tlocrtno je kvadratnog oblika s dimenzijama 36 m x 36 m. Visina zgrade od 193,5 m sastoji se od 45 nadzemnih etaža visine 4,3 m. Konstrukcija se sastoji od stupova s vanjske strane na razmaku od 6 m. Stupovi su međusobno povezani (ukrućeni) glavnim i sekundarnim nosačima. U sredini same zgrade po visini postavljena je spregnuta jezgra. Kvaliteta čelika svih elemente je S355. U slučaju da je potrebno koristiti duktilne elemente, njihova kvaliteta je S235. Međukatna konstrukcija je spregnuta Multideck 50 (izvedba bez podupiranja) gdje je beton razreda C30/37, a armatura B500B.

### 6.1 Statička djelovanja

#### 6.1.1 Stalno opterećenje

Tablica 6.1. Karakteristike profiliranog lima

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

Tablica 6.2. Karakteristike spregnute ploče ovisno o debljini

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

## 6.1.1.1 Stalno opterećenje međukatne konstrukcije

Tablica 6.3. Karakteristično opterećenje na međukatne ploče

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

## 6.1.1.2 Stalno opterećenje konstrukcije krova

Tablica 6.4. Karakteristično opterećenje na ploču krova

Trapezni čelični lim, $t=0,85$ mm		0,11 kN/m <sup>2</sup>
Betonska ploča, $h=10$ cm		2,10 kN/m <sup>2</sup>
Dodatno stalno (slojevi)		1,50 kN/m <sup>2</sup>
Šljunak $d=18$ cm		0,50 kN/m <sup>2</sup>
Instalacije		0,50 kN/m <sup>2</sup>
<b>Ukupno:</b>	$\Sigma g_{k,i} =$	<b>4,71 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Fasada:</b>	$g_{k,f} =$	<b>2,0 kN/m<sup>2</sup></b>

## 6.1.2 Uporabno opterećenje

## 6.1.2.1 Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije

Tablica 6.5. Uporabna opterećenja stropova [5]

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

Poslovna građevina kategorije B2 karakteristično uporabno opterećenje iznosi:

$q_{k,i}=3,0$  kN/m<sup>2</sup> (tablica 6.5.)

HRN EN 1991-1-1 propisuje da se korisno opterećenje može smanjiti faktorom smanjenja  $\alpha_A$ , zbog vrlo velike vjerojatnosti istovremenog opterećenja na svim katovima, korisno opterećenje uzeto u punom iznosu od 3,0 kN/m<sup>2</sup>.

### 6.1.2.2 Uporabno opterećenje konstrukcije krova

Tablica 6.6. Karakteristična uporabna opterećenja za krov [5]

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

<sup>a</sup> Za nagibe između  $20^\circ$  i  $40^\circ$  vrijednost  $q_k$  može se odrediti linearnom interpolacijom.

NAPOMENA 1: Opterećenje  $q_k$  djeluje na ploštini  $A$  koja predstavlja cijelu ploštinu krova.

NAPOMENA 2: Svi nagibi krova mjere se u odnosu na horizontalu, a opterećenja djeluju vertikalno na horizontalnu projekciju krovne plohe.

Kategorija H te nagib krova manji od  $20^\circ$  karakteristično uporabno opterećenje iznosi:  $q_{k,krov} = 0,6 \text{ kN/m}^2$ .

### 6.1.3 Opterećenje snijegom



Slika 6.1. Karta snježnih područja [5]

Zona opterećenja snijegom: I

Nadmorska visina (procijenjena na lokaciji): 128 m

Karakteristično opterećenje snijegom (EN 1991-1-3) iznosi  $s_k=0,50 \text{ kN/m}^2$ .

Opterećenje snijegom na krovu:

$$s = s_k \cdot \mu_t \cdot C_e \cdot C_t \quad (6.1)$$

gdje je: koeficijent oblika za nagib krova ( $<15^\circ$ )  $\mu_t=0,8$

koeficijent izloženosti  $C_e=1,0$

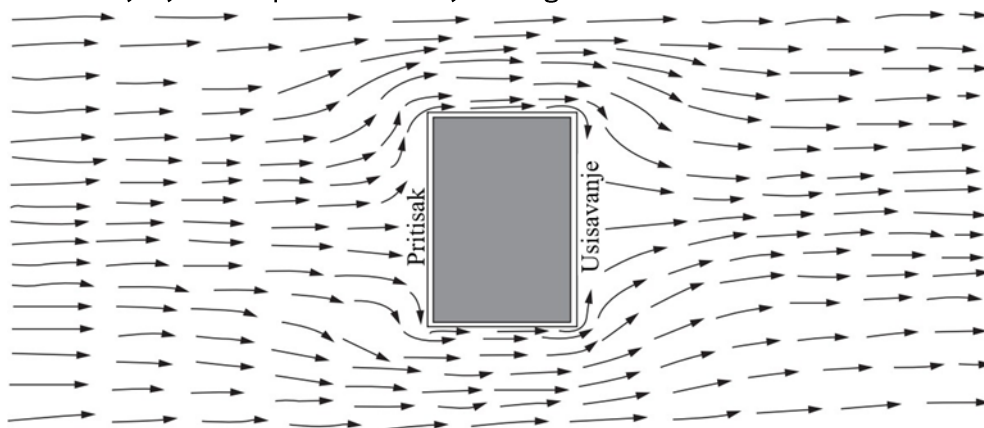
toplinski koeficijent  $C_t=1,0$

Karakteristično opterećenje snijega na krov:

$$s = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

#### 6.1.4 Opterećenje vjetrom

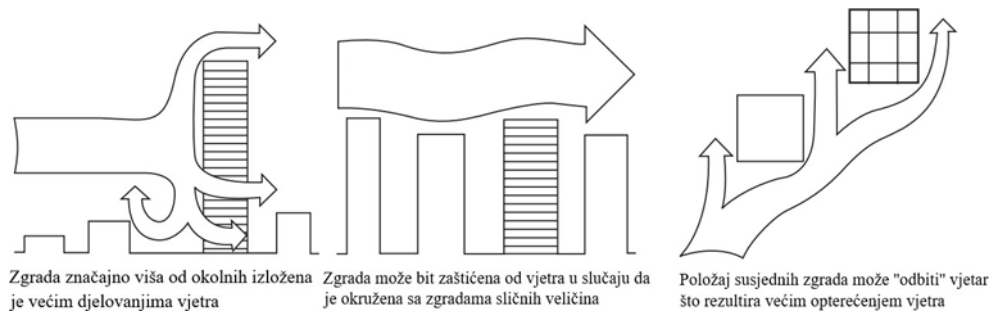
Osnovno pitanje koje se postavlja prilikom projektiranja visokih zgrada na vjetar: "Koji je najjači vjetar koji možemo očekivati na lokaciji zgrade?" Odgovor je dobiven mjerenjem, a zatim katalogiziranjem i ucrtavanjem osnovnih brzina vjetra na karte (slika 6.4.). Osim o brzini vjetra i visini zgrade snage vjetra variraju ovisno o obliku zgrade. Vjetar radi tlak na lice zgrade koje je direktno izloženo udaru vjetra. Čestice zraka zaobilaze zgradu kako bi nastavile tok strujanja te se ponovo sastaju iza zgrade kao što se vidi na slici 6.2.



Slika 6.2. Prikaz djelovanja vjetra na zgradu [11]

Nastaje negativni tlak tzv.efekt usisavanja na zavjetrini lica zgrade. Ukupna sila vjetra je zbroj pritiska vjetra na lice zgrade i usisavanja vjetra na zavjetrini zgrade. Važan parametar koji utječe na djelovanje vjetra je sama okolina zgrade. Utjecaj okolnih zgrada te konfiguracije terena može bit vrlo značajan.





**Slika 6.3.** Strujanje zraka ovisno o karakteristikama zgrade i okoline [11]

Nesimetrični tok oko konstrukcije zna prouzročiti odizne sile. Turbulencija zraka oko rubova te uglova u zavjetrinama zna stvoriti vrtloge, odnosno strujanje zraka vrlo velikom brzinom koji stvaraju kružne uzlazne i usisne tokove uz samu zgradu. Za razliku od stalnog opterećenja vjetra koji promatramo kao statičko djelovanje, turbulentna opterećenja vjetrom se zbog brzih udara vjetra brzo mijenjaju, stvaraju mnogo veće efekte a vjetar treba promatrati kao dinamičko djelovanje.

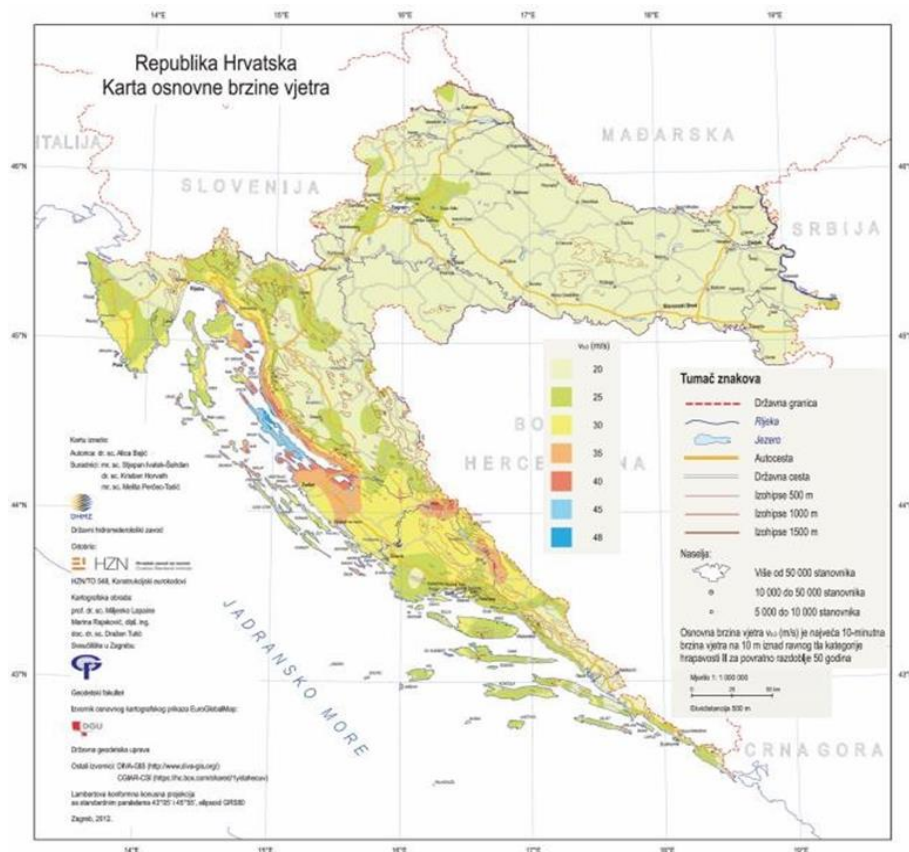
#### 6.1.4.1 Sile vjetra na konstrukciju

##### 6.1.4.1.1 Osnovna brzina vjetra

Brzina vjetra  $v_b$  je funkcija osnovne brzine vjetra, smjera vjetra i godišnjeg doba. Određuje se prema izrazu:

$$v_b = v_{b,0} \cdot v_{direction} \cdot v_{season} \quad (6.2)$$

Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra  $v_{b,0}$  predstavlja desetminutnu prosječnu brzinu vjetra na visini 10 m na terenu II kategorije pri godišnjoj vjerojatnosti prekoračenja vrijednosti od 2% za srednje povratno razdoblje koje iznosi 50 godina. Karte su propisane u nacionalnim dodacima za pojedine države a za Hrvatsku je prikazana na sljedećoj slici.



Slika 6.4. Osnovna brzina vjetrova  $v_{b,0}$  [5]

Vrijednosti faktora smjera djelovanja vjetrova  $c_{direction}$  te faktora godišnjeg doba  $c_{season}$  propisane su u Nacionalnom dodatku, a iznose 1,0. Brzina vjetrova prema izrazu (6.2) iznosi:  $v_b = 20 \cdot 1 \cdot 1 = 20 \text{ m/s}$ .

### 6.1.4.1.2 Koeficijent izloženosti

Koeficijent izloženosti za građevine više od 100 m određujemo proračunom kojim su obuhvaćeni različiti utjecaji kao što su hrapavost terena, referentna visina  $z$ , utjecaj turbulencije te nagib zemljišta preko faktora topografije.

Tablica 6.7. Kategorije terena [5]

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

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

Brzina vjetra na mjerodavnoj visini te udari vjetra ovise o hrapavosti terena. Koeficijent hrapavosti opisuje promjenu brzine vjetra u ovisnosti visine a određuje se preko srednje brzine vjetra na mjerodavnoj visini.

Vrijednost faktora terena za kategoriju IV:

$$k_r = 0,19 \cdot \ln \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \ln \cdot \left( \frac{1}{0,05} \right)^{0,07} = 0,205 \quad (6.3)$$

Koeficijent hrapavosti za referentnu visinu  $z_s$ :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \cdot \left( \frac{z}{z_0} \right) = \text{za } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad z_{min} = z_{max} = 200 \text{ m} \quad (6.4)$$

$$c_r(z) = 0,205 \cdot \ln \cdot \left( \frac{116,1}{1} \right) = 0,975$$

Koeficijent izloženosti se određuje prema:

$$c_e(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_r(z)^2 \cdot c_0(z)^2 = \left[ 1 + 7 \cdot \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} \right] \cdot c_r(z)^2 \cdot c_0(z)^2 \quad (6.5)$$

gdje je:

$z$	referentna visina
$k_I = 1,0$	faktor turbulencije
$c_0(z) = 1,0$	faktor topografije

#### 6.1.4.1.3 Koeficijent sile

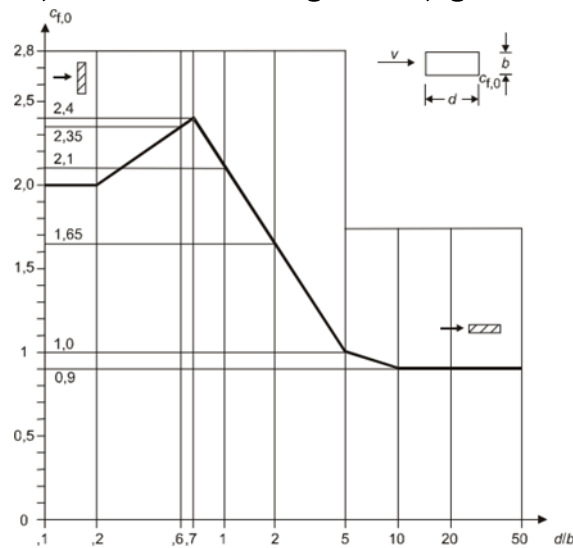
Koeficijent sile daje sveukupni učinak vjetra na konstrukciju, konstrukcijski element ili neki dio kao cjelinu, uključujući trenje [5]. Konstrukcijski elementi pravokutnog profila s vjetrom koji puše okomito na površinu može se odrediti prema sljedećem:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (6.6)$$

gdje je:

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

Osnovna vrijednost koeficijenta sile  $c_{f,0}$  ovisi o geometriji građevine  $d/b$ :



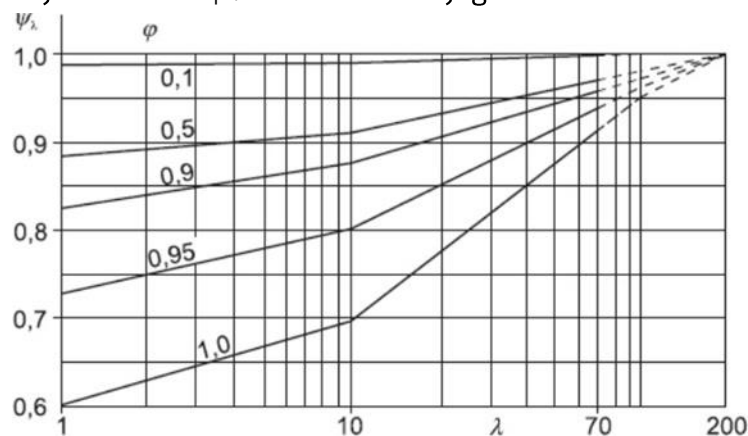
Slika 6.5. Koeficijenti sile  $c_{f,0}$  za pravokutne profile s oštrim uglovima [11]

Faktor redukcije uslijed vitkosti  $\psi_\lambda$  treba odrediti kao funkciju vitkosti  $\lambda$ . Proračunsku vitkost  $\lambda$  treba odrediti u ovisnosti o dimenzijama konstrukcije te njezinom položaju.

$$\lambda = 0,7 \frac{h}{b} \quad \text{ili} \quad \lambda = 70 \tag{6.7}$$

Koeficijent punoće  $\varphi$  predstavlja omjer zbroja projiciranih ploština elemenata te ukupne omeđene ploštine. U ovom slučaju on iznosi 1,0.

Faktor redukcije uslijed vitkosti  $\psi_\lambda$  očitava se iz dijagrama:



Slika 6.6. Faktor redukcije uslijed vitkosti [11]

Tablica 6.8. Određivanje koeficijenta sile

	vjetar na uzdužnu stranu:	vjetar na poprečnu stranu:
Osnovna vrijednost koeficijenta sile $c_{f,0}$	2,10	2,10
Funkcija vitkosti $\lambda$	70	70
Faktor redukcije uslijed vitkosti $\psi_\lambda$	0,9	0,9
Aerodinamički koeficijent sile	1,89	1,89

#### 6.1.4.1.4 Faktor konstrukcije

Konstruktivski faktor  $c_s c_d$  treba obuhvatiti učinke djelovanja vjetra od neistovremene pojave vršnog tlaka vjetra na površinu ( $c_s$ ) te učinka titranja konstrukcije zbog turbulencije ( $c_d$ ). Kako faktor konstrukcije ne ispunjava uvjete kojima bi se usvojila vrijednost 1,0, potrebno ga je odrediti računski ili pomoću dijagrama.

Izraz za faktor konstrukcije:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s)} \quad (6.8)$$

gdje je:

poredbena visina  $z_s = 0,6 \cdot h \geq z_{\min} \rightarrow 0,6 \cdot 193,5 = 116,1 \text{ m} > 10 \text{ m}$

$k_p$  vršni faktor

$I_V$  intenzitet turbulencije

$B^2$  faktor pozadine

$R^2$  faktor rezonantnog odziva

Dužina turbulencije  $L(z_s)$ :

$$L(z_s) = L_t \left( \frac{z}{z_t} \right)^\alpha \text{ za } z \geq z_{\min} = z_t = 200 \text{ m } L_t = 300 \text{ m} \quad (6.9)$$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \cdot \ln(z_0) \quad (6.10)$$

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

$$L(z_s) = 300 \left( \frac{116,1}{200} \right)^{0,670} = 208,39$$

Intenzitet turbulencije:

$$I_V(z_s) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z_s}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{116,1}{1}\right)} = 0,210 \quad (6.11)$$

Faktor pozadina  $B^2$ :

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0,63}} \quad (6.12)$$

Osnovna frekvencija (frekvencija prvog tona):

$$\eta_{1x} = \frac{\sqrt{d}}{0,1h} \quad (6.13)$$

Srednja brzina vjetra na referentnoj visini:

$$v_m(z_s) = c_r(z_s) \cdot v_b = 0,975 \cdot 20 = 19,51 \text{ m/s} \quad (6.14)$$

Bezdimenzijska frekvencija:

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{n_{1,x} \cdot L(z_s)}{v_m(z_s)} \quad (6.15)$$

Bezdimenzijska funkcija spektralne gustoće:

$$s_L(z, n) = \frac{6,8 \cdot f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \cdot f_L(z, n))^{5/3}} \quad (6.16)$$

Logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja:

$$\delta_a = \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e} \quad (6.17)$$

Logaritamski dekrement prigušenja:

$$\delta = \delta_s + \delta_a \quad \delta_s = 0,05 \quad (6.18)$$

Aerodinamočke prijenosne funkcije osnovnog oblika tiranja:

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (6.19)$$

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}) \quad (6.20)$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (6.21)$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}) \quad (6.22)$$

Rezonantni udio odziva:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) \quad (6.23)$$

Očekivana frekvencija v:

$$v = n_{1,x} \sqrt{\frac{B^2}{B^2 + R^2}} \quad \text{ali } v \geq 0,08\text{Hz} \quad (6.24)$$

Vršni faktor (udarni koeficijent):

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}} \quad \text{ali } k_p \geq 3,0 \quad T(t = 10 \text{ min}) = 600\text{s} \quad (6.25)$$

**Tablica 6.9. Određivanje faktora konstrukcije**

	vjetar na uzdužnu stranu:	vjetar na poprečnu stranu:
Faktor pozadine B <sup>2</sup> :	0,685	0,685
Osnovna frekvencija prvog tona [Hz]:	1,667	1,667
Bezdimenzijska frekvencija:	17,81	17,81
Bezdimenzijska funkcija spektralne gustoće:	0,021	0,021
Log. dekrement aerodinamičkog prigušenja:	0,024	0,024
Logarimatski dekrement prigušenja:	0,074	0,074
Aerodinamočke prijenosne funkcije osnovnog oblika tiranja:		
$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$	76,07	76,07
$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h})$	0,013	0,013
$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s, n_{1,x})$	14,15	14,15
$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b})$	0,066	0,066
Rezonantni udio odziva R <sup>2</sup> :	0,063	0,063
Očekivana frekvencija v [Hz]:	0,131	0,131
Vršni faktor (udarni koeficijent):	3,154	3,154
Faktor konstrukcije:	0,806	0,806

## 6.1.4.1.5 Rezultirajuća sila vjetra

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot c_e(z_e) \cdot c_s c_d \cdot c_f \cdot A_{ref} \quad (6.26)$$

gdje je:

$F_w$	silna vjetra na konstrukciju
$c_s c_d$	faktor konstrukcije
$c_f$	koeficijent sila
$q_p(z_e)$	vršni tlak uslijed brzine vjetra
$c_e(z_e)$	koeficijent izloženosti
$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$	gustoća zraka
$v_b$	brzina vjetra
$A_{ref}$	referentna površina na koju djeluje vjetar

Tablica 6.10. Sile vjetra na uzdužnu stranu

VJETAR PUŠE NA UZDUŽNU STRANU											
Etaža	h	b	z <sub>e</sub>	c <sub>s</sub> c <sub>d</sub>	c <sub>e</sub> (z)	q <sub>p</sub> (z)	c <sub>s</sub> c <sub>d</sub>	c <sub>f</sub>	q <sub>w</sub>	F <sub>w</sub> [kN]	
(kat)	[m]	[m]	[m]						[kN/m <sup>2</sup> ]		
1	4,3	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	47,06	
2	8,6	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12	
3	12,9	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12	
4	17,2	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12	
5	21,5	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12	
6	25,8	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12	
7	30,8	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12	
8	34,4	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12	
9	38,7	36,0	40,3	0,758	1,662	0,416	0,806	1,89	0,634	98,14	
10	43,0	36,0	44,6	0,779	1,723	0,431	0,806	1,89	0,657	101,70	
11	47,3	36,0	48,9	0,797	1,780	0,445	0,806	1,89	0,678	104,95	
12	51,6	36,0	53,2	0,815	1,832	0,458	0,806	1,89	0,698	108,05	
13	55,9	36,0	57,5	0,831	1,882	0,471	0,806	1,89	0,717	110,99	
14	60,2	36,0	61,8	0,845	1,928	0,482	0,806	1,89	0,733	113,47	
15	64,5	36,0	66,1	0,859	1,971	0,493	0,806	1,89	0,751	116,25	
16	68,8	36,0	70,4	0,872	2,012	0,503	0,806	1,89	0,767	118,73	
17	73,1	36,0	74,7	0,884	2,051	0,513	0,806	1,89	0,781	120,90	
18	77,4	36,0	79,0	0,896	2,088	0,522	0,806	1,89	0,796	123,22	



---

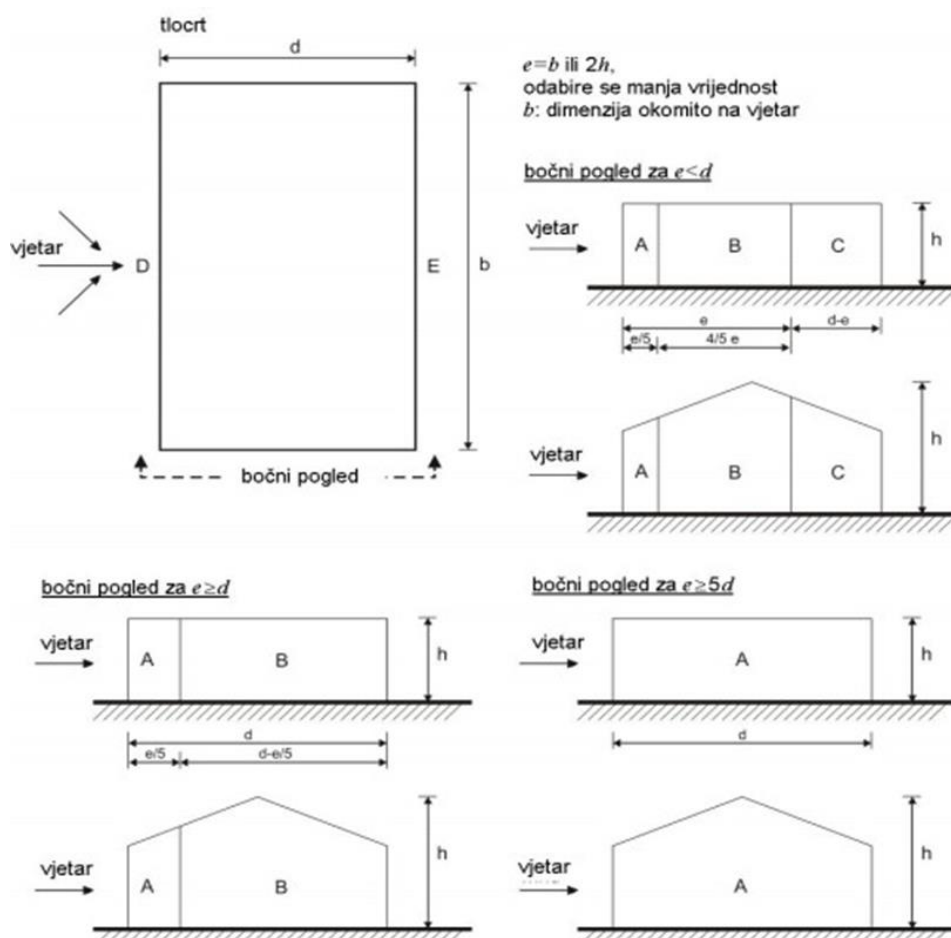
19	81,7	36,0	83,3	0,907	2,123	0,531	0,806	1,89	0,809	125,23
20	86,0	36,0	87,6	0,917	2,156	0,539	0,806	1,89	0,821	127,09
21	90,3	36,0	91,9	0,927	2,189	0,547	0,806	1,89	0,833	128,95
22	94,6	36,0	96,2	0,936	2,222	0,556	0,806	1,89	0,847	131,12
23	98,9	36,0	100,5	0,945	2,251	0,564	0,806	1,89	0,860	133,12
24	103,2	36,0	104,8	0,954	2,278	0,570	0,806	1,89	0,868	134,37
25	107,5	36,0	109,1	0,962	2,306	0,577	0,806	1,89	0,879	136,07
26	111,8	36,0	113,4	0,970	2,332	0,584	0,806	1,89	0,890	137,77
27	116,1	36,0	117,7	0,978	2,359	0,590	0,806	1,89	0,899	139,17
28	120,4	36,0	122,0	0,984	2,383	0,596	0,806	1,89	0,908	140,56
29	124,7	36,0	126,3	0,990	2,407	0,602	0,806	1,89	0,917	141,95
30	129,0	36,0	130,6	0,999	2,432	0,608	0,806	1,89	0,926	143,34
31	133,3	36,0	134,9	1,005	2,454	0,614	0,806	1,89	0,935	144,79
32	137,6	36,0	139,2	1,012	2,476	0,619	0,806	1,89	0,943	145,98
33	141,9	36,0	143,5	1,018	2,497	0,624	0,806	1,89	0,951	147,21
34	146,2	36,0	147,8	1,024	2,519	0,629	0,806	1,89	0,958	148,30
35	150,5	36,0	153,1	1,031	2,531	0,633	0,806	1,89	0,964	149,23
36	154,8	36,0	157,4	1,038	2,553	0,638	0,806	1,89	0,971	150,31
37	159,1	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
38	163,4	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
39	167,7	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
40	172,0	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
41	176,3	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
42	180,6	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
43	184,9	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
44	189,2	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
45	193,5	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06

Tablica 6.11. Sile vjetra na poprečnu stranu

VJETAR PUŠE NA POPREČNU STRANU										
Etaža (kat)	h [m]	b [m]	z <sub>e</sub> [m]	c <sub>r</sub> (z)	c <sub>e</sub> (z)	q <sub>p</sub> (z)	c <sub>s</sub> c <sub>d</sub>	c <sub>f</sub>	q <sub>w</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	F <sub>w</sub> [kN]
1	4,3	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	47,06
2	8,6	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12
3	12,9	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12
4	17,2	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12
5	21,5	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12
6	25,8	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12
7	30,8	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12
8	34,4	36,0	36,0	0,735	1,594	0,399	0,806	1,89	0,608	94,12
9	38,7	36,0	40,3	0,758	1,662	0,416	0,806	1,89	0,634	98,14
10	43,0	36,0	44,6	0,779	1,723	0,431	0,806	1,89	0,657	101,70
11	47,3	36,0	48,9	0,797	1,780	0,445	0,806	1,89	0,678	104,95
12	51,6	36,0	53,2	0,815	1,832	0,458	0,806	1,89	0,698	108,05
13	55,9	36,0	57,5	0,831	1,882	0,471	0,806	1,89	0,717	110,99
14	60,2	36,0	61,8	0,845	1,928	0,482	0,806	1,89	0,733	113,47
15	64,5	36,0	66,1	0,859	1,971	0,493	0,806	1,89	0,751	116,25
16	68,8	36,0	70,4	0,872	2,012	0,503	0,806	1,89	0,767	118,73
17	73,1	36,0	74,7	0,884	2,051	0,513	0,806	1,89	0,781	120,90
18	77,4	36,0	79,0	0,896	2,088	0,522	0,806	1,89	0,796	123,22
19	81,7	36,0	83,3	0,907	2,123	0,531	0,806	1,89	0,809	125,23
20	86,0	36,0	87,6	0,917	2,156	0,539	0,806	1,89	0,821	127,09
21	90,3	36,0	91,9	0,927	2,189	0,547	0,806	1,89	0,833	128,95
22	94,6	36,0	96,2	0,936	2,222	0,556	0,806	1,89	0,847	131,12
23	98,9	36,0	100,5	0,945	2,251	0,564	0,806	1,89	0,860	133,12
24	103,2	36,0	104,8	0,954	2,278	0,570	0,806	1,89	0,868	134,37
25	107,5	36,0	109,1	0,962	2,306	0,577	0,806	1,89	0,879	136,07
26	111,8	36,0	113,4	0,970	2,332	0,584	0,806	1,89	0,890	137,77
27	116,1	36,0	117,7	0,978	2,359	0,590	0,806	1,89	0,899	139,17
28	120,4	36,0	122,0	0,984	2,383	0,596	0,806	1,89	0,908	140,56
29	124,7	36,0	126,3	0,990	2,407	0,602	0,806	1,89	0,917	141,95
30	129,0	36,0	130,6	0,999	2,432	0,608	0,806	1,89	0,926	143,34
31	133,3	36,0	134,9	1,005	2,454	0,614	0,806	1,89	0,935	144,79

32	137,6	36,0	139,2	1,012	2,476	0,619	0,806	1,89	0,943	145,98
33	141,9	36,0	143,5	1,018	2,497	0,624	0,806	1,89	0,951	147,21
34	146,2	36,0	147,8	1,024	2,519	0,629	0,806	1,89	0,958	148,30
35	150,5	36,0	153,1	1,031	2,531	0,633	0,806	1,89	0,964	149,23
36	154,8	36,0	157,4	1,038	2,553	0,638	0,806	1,89	0,971	150,31
37	159,1	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
38	163,4	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
39	167,7	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
40	172,0	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
41	176,3	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
42	180,6	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
43	184,9	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
44	189,2	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06
45	193,5	36,0	193,5	1,080	2,714	0,679	0,806	1,89	1,034	160,06

### 6.1.4.2 Tlaka vjetra na površine



Slika 6.7. Legenda za vertikalne zidove [5]

Tablica 6.12. Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka [5]

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

Brzina vjetra prema izrazu (6.2):

$$v_b = 20 \cdot 1 \cdot 1 = 20 \text{ m/s}$$

Osnovni tlak uslijed brzine vjetra:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2 \quad (6.27)$$

Vršni tlak uslijed brzine vjetra:

$$q_b(z) = c_e \cdot q_b \quad (6.28)$$

Djelovanje vjetra po površini:

$$w_e(z) = q_b(z) \cdot c_{pe,10} \quad (6.29)$$

Tablica 6.13. Određivanje koeficijenta vanjskog tlak

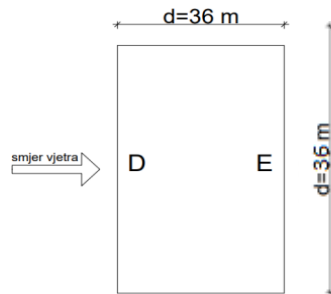
vjetar na uzdužnu stranu:

min (e = b ili e = 2h)

e = b → e = 36 m

e = 2h → e = 387 m

za e = d



$$\frac{h}{d} = \frac{193,5}{36} = 5,375$$

$$\frac{h}{d} > 5$$

$$C_{pe,10}^A = -1,200$$

$$C_{pe,10}^B = -0,800$$

$$C_{pe,10}^C = -$$

$$C_{pe,10}^D = 0,800$$

$$C_{pe,10}^E = -0,700$$

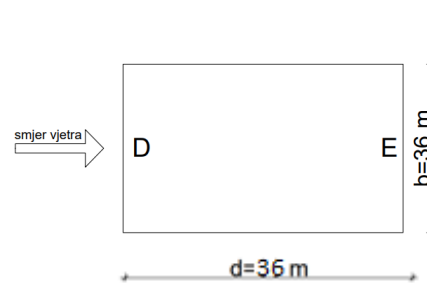
vjetar na poprečnu stranu:

min (e = b, e = 2h)

e = b → e = 36 m

e = 2h → e = 387 m

za e = d



$$\frac{h}{d} = \frac{193,5}{36} = 5,375$$

$$\frac{h}{d} > 5$$

$$-1,200$$

$$-0,800$$

$$-0,500$$

$$0,800$$

$$-0,700$$

Tablica 6.14. Sile vjetra na uzdužnu stranu

VJETAR PUŠE NA UZDUŽNU STRANU									
Etaža (kat)	h [m]	$q_b(z)$		$q_p$			D [kN]	E [kN]	D''+'E
		[kN/m <sup>2</sup> ]	$c_e(z)$	[kN/m <sup>2</sup> ]	$w_e^D$	$w_e^E$			
1	4,3	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	25,26	-21,59	46,9
2	8,6	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
3	12,9	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
4	17,2	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
5	21,5	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
6	25,8	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
7	30,8	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
8	34,4	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
9	38,7	0,250	1,662	0,416	0,333	-0,291	52,75	-45,05	97,8
10	43,0	0,250	1,723	0,431	0,345	-0,302	54,65	-46,75	101,4
11	47,3	0,250	1,780	0,445	0,356	-0,312	56,39	-48,30	104,7
12	51,6	0,250	1,832	0,458	0,366	-0,321	57,97	-49,69	107,7
13	55,9	0,250	1,882	0,471	0,377	-0,330	59,72	-51,08	110,8
14	60,2	0,250	1,928	0,482	0,386	-0,337	61,14	-52,17	113,3
15	64,5	0,250	1,971	0,493	0,394	-0,345	62,41	-53,41	115,8
16	68,8	0,250	2,012	0,503	0,402	-0,352	63,68	-54,49	118,2
17	73,1	0,250	2,051	0,513	0,410	-0,359	64,94	-55,57	120,5
18	77,4	0,250	2,088	0,522	0,418	-0,365	66,21	-56,50	122,7
19	81,7	0,250	2,123	0,531	0,425	-0,372	67,32	-57,59	124,9
20	86,0	0,250	2,156	0,539	0,431	-0,377	68,27	-58,36	126,6
21	90,3	0,250	2,189	0,547	0,438	-0,383	69,38	-59,29	128,7
22	94,6	0,250	2,222	0,556	0,445	-0,389	70,49	-60,22	130,7
23	98,9	0,250	2,251	0,564	0,451	-0,395	71,44	-61,15	132,6
24	103,2	0,250	2,278	0,570	0,456	-0,399	72,23	-61,77	134,0
25	107,5	0,250	2,306	0,577	0,462	-0,404	73,18	-62,54	135,7
26	111,8	0,250	2,332	0,584	0,467	-0,409	73,97	-63,31	137,3
27	116,1	0,250	2,359	0,590	0,472	-0,413	74,76	-63,93	138,7
28	120,4	0,250	2,383	0,596	0,477	-0,417	75,56	-64,55	140,1
29	124,7	0,250	2,407	0,602	0,482	-0,421	76,35	-65,17	141,5
30	129,0	0,250	2,432	0,608	0,486	-0,426	76,98	-65,94	142,9
31	133,3	0,250	2,454	0,614	0,491	-0,430	77,77	-66,56	144,3

32	137,6	0,250	2,476	0,619	0,495	-0,433	78,41	-67,03	145,4
33	141,9	0,250	2,497	0,624	0,499	-0,437	79,04	-67,65	146,7
34	146,2	0,250	2,519	0,629	0,503	-0,440	79,78	-68,11	147,9
35	150,5	0,250	2,531	0,633	0,506	-0,443	80,15	-68,58	148,7
36	154,8	0,250	2,553	0,638	0,510	-0,447	80,78	-69,20	150,0
37	159,1	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
38	163,4	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
39	167,7	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
40	172,0	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
41	176,3	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
42	180,6	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
43	184,9	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
44	189,2	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
45	193,5	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5

Tablica 6.15. Sile vjetra na poprečnu stranu

VJETAR PUŠE NA POPREČNU STRANU									
Etaža	$q_b(z)$	$q_p$		$w_e^D$	$w_e^E$	D [kN]	E [kN]	D''+'E	
(kat)	h [m]	[kN/m <sup>2</sup> ]	$c_e(z)$	[kN/m <sup>2</sup> ]					
1	4,3	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	25,26	-21,59	46,9
2	8,6	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
3	12,9	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
4	17,2	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
5	21,5	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
6	25,8	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
7	30,8	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
8	34,4	0,250	1,594	0,399	0,319	-0,279	50,53	-43,19	93,7
9	38,7	0,250	1,662	0,416	0,333	-0,291	52,75	-45,05	97,8
10	43,0	0,250	1,723	0,431	0,345	-0,302	54,65	-46,75	101,4
11	47,3	0,250	1,780	0,445	0,356	-0,312	56,39	-48,30	104,7
12	51,6	0,250	1,832	0,458	0,366	-0,321	57,97	-49,69	107,7
13	55,9	0,250	1,882	0,471	0,377	-0,330	59,72	-51,08	110,8
14	60,2	0,250	1,928	0,482	0,386	-0,337	61,14	-52,17	113,3
15	64,5	0,250	1,971	0,493	0,394	-0,345	62,41	-53,41	115,8
16	68,8	0,250	2,012	0,503	0,402	-0,352	63,68	-54,49	118,2

---

17	73,1	0,250	2,051	0,513	0,410	-0,359	64,94	-55,57	120,5
18	77,4	0,250	2,088	0,522	0,418	-0,365	66,21	-56,50	122,7
19	81,7	0,250	2,123	0,531	0,425	-0,372	67,32	-57,59	124,9
20	86,0	0,250	2,156	0,539	0,431	-0,377	68,27	-58,36	126,6
21	90,3	0,250	2,189	0,547	0,438	-0,383	69,38	-59,29	128,7
22	94,6	0,250	2,222	0,556	0,445	-0,389	70,49	-60,22	130,7
23	98,9	0,250	2,251	0,564	0,451	-0,395	71,44	-61,15	132,6
24	103,2	0,250	2,278	0,570	0,456	-0,399	72,23	-61,77	134,0
25	107,5	0,250	2,306	0,577	0,462	-0,404	73,18	-62,54	135,7
26	111,8	0,250	2,332	0,584	0,467	-0,409	73,97	-63,31	137,3
27	116,1	0,250	2,359	0,590	0,472	-0,413	74,76	-63,93	138,7
28	120,4	0,250	2,383	0,596	0,477	-0,417	75,56	-64,55	140,1
29	124,7	0,250	2,407	0,602	0,482	-0,421	76,35	-65,17	141,5
30	129,0	0,250	2,432	0,608	0,486	-0,426	76,98	-65,94	142,9
31	133,3	0,250	2,454	0,614	0,491	-0,430	77,77	-66,56	144,3
32	137,6	0,250	2,476	0,619	0,495	-0,433	78,41	-67,03	145,4
33	141,9	0,250	2,497	0,624	0,499	-0,437	79,04	-67,65	146,7
34	146,2	0,250	2,519	0,629	0,503	-0,440	79,78	-68,11	147,9
35	150,5	0,250	2,531	0,633	0,506	-0,443	80,15	-68,58	148,7
36	154,8	0,250	2,553	0,638	0,510	-0,447	80,78	-69,20	150,0
37	159,1	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
38	163,4	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
39	167,7	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
40	172,0	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
41	176,3	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
42	180,6	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
43	184,9	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
44	189,2	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5
45	193,5	0,250	2,714	0,679	0,543	-0,475	86,01	-73,53	159,5

## 6.2 Dinamička djelovanja

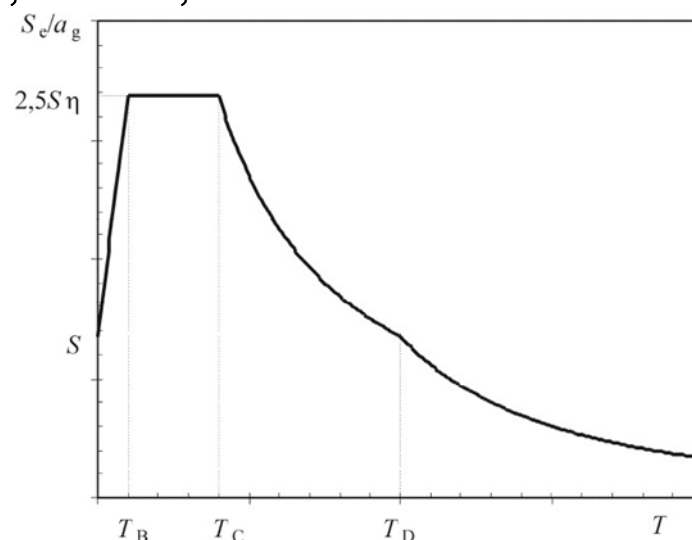
Potresni hazard na lokaciji građevine očituje se preko vršne akceleracije tla. Seizmičko opterećenje može se obuhvatiti statičkim i dinamičkim metodama koje se dijele na linearne i nelinearne. Razmatra se linearna dinamička metoda spektra odziva tj. modalna analiza.

### 6.2.1 Linearna dinamička metoda spektra odziva

#### 6.2.1.1 Općenito

Učinci potresnog djelovanja mogu se odrediti na temelju linearno-elastičnog ponašanja konstrukcije. Adekvatna metoda Eurokodom propisana je modalna analiza primjenom spektra odziva uz primjenu linearnog elastičnog modela konstrukcije i proračunskog spektra odziva, slika 6.8.

Spektri odziva su krivulje koje predstavljaju maksimalan odziv SDOF-a sustava na određeno ubrzanje tla i njegovo vremensko razdoblje tj. učestalost. Spektar odgovora može se protumačiti kao mjesto maksimalnog odziva SDOF sustava za dano prigušenje. Spektri odziva tako pomažu u dobivanju vršnih vrijednosti odziva konstrukcija u linearnom području koji se mogu iskoristiti za dobivanje potresnih sila pa se na taj način olakšava potresno oblikovanje konstrukcije.

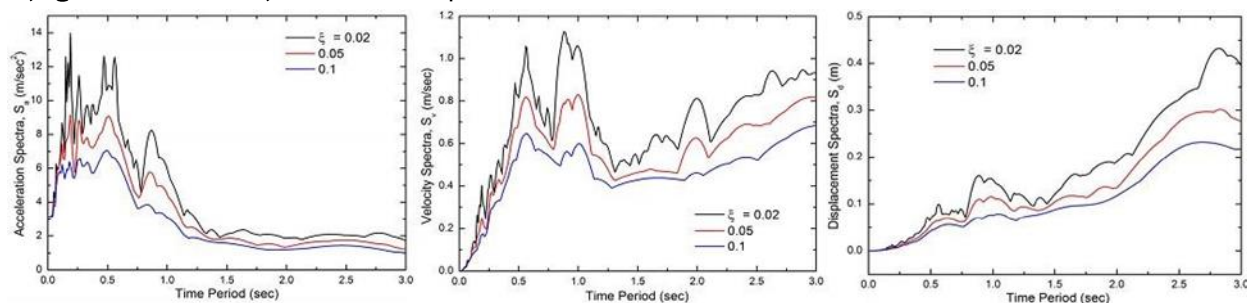


Slika 6.8. Elastični spektar odziva [8]

Formiranje spektra odgovora započinje potresnim zapisom (ubrzanje, brzina i pomak). Primjer vremenskog zapisa ubrzanja tla prikazano se na slici 6.9. SDOF sustav podvrgne se zapisanom potresnom djelovanju. Bilježe se spektri odgovora brzine, ubrzanja i pomaka, slika 6.9. a.), što je vidljivo na slikama, svaki od ta tri dijagrama ima po jedno,



nazovimo tako karakteristično područje (vršni odziv). Zbog jednostavnosti, vršni dijelovi dijagrama mogu se aproksimirati horizontalnim pravcima. Takvo ubrzanje konstantno je u prvom dijelu, brzina u središnjem, a pomak u krajnjem dijelu prikaza njihovih odziva. Prvom derivacijom brzine, dvostrukom derivacijom pomaka i "pripajanjem" tih dijagrama s dijagramom ubrzanja dobiva se spektar odziva (slika 6.8.).



a.)spektar ubrzanja

b.)spektar brzine

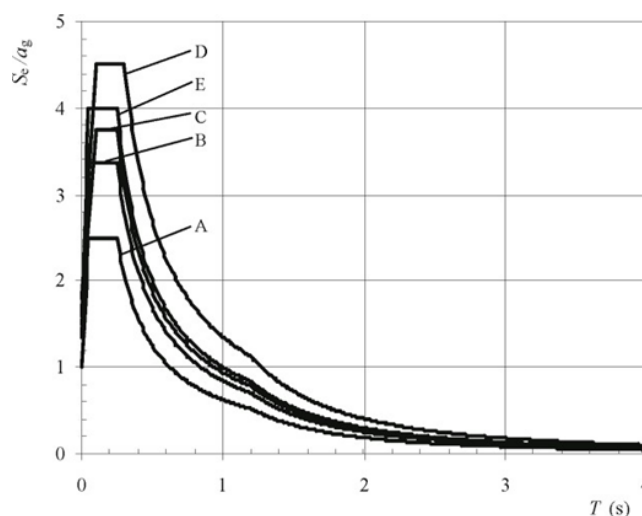
c.)spektar pomaka

Slika 6.9. Primjeri spektara odziva SDOF-a na potresno ubrzanje tla

Vrijednosti perioda  $T_B$ ,  $T_C$  i  $T_D$  te faktora tla  $S$  kojima se definira oblik elastičnog spektra odziva ovise o tipu temeljnog tla. Vrijednosti su ustanovljene u nacionalnim dodacima pojedinih država (tablica 6.16.). Upotrebljava se tip spektra I (magnituda površinskog vala veća od 5,5).

Tablica 6.16. Parametri temeljnog tla za horizontalni tip spektra 1 [8]

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



Slika 6.10. Elastični spektar tipa 1 ovisno o tipu tla uz 5%-tno prigušenje [8]

Horizontalna komponenta potresnog djelovanja proračunskog spektar  $S_d(T)$  definiran je [8]:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_d(T) = a_g S \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (6.30)$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_d(T) = a_g S \frac{2,5}{q} \quad (6.31)$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_d(T) = \left\{ a_g S \frac{2,5}{q} \left[ \frac{T_C}{T} \right] \right\} \geq \beta a_g \quad (6.32)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = \left\{ a_g S \frac{2,5}{q} \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \right\} \geq \beta a_g \quad (6.33)$$

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) koji 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

Vertikalna komponenta potresnog djelovanja proračunskog spektara dan je izrazima (6.30) do (6.33) uz zamjenu proračunskog ubrzanja temeljnog tla  $a_g$  sa  $a_{vg}$ , parametar  $S=1,0$  dok su ostali parametri definirani u tablici 6.17.

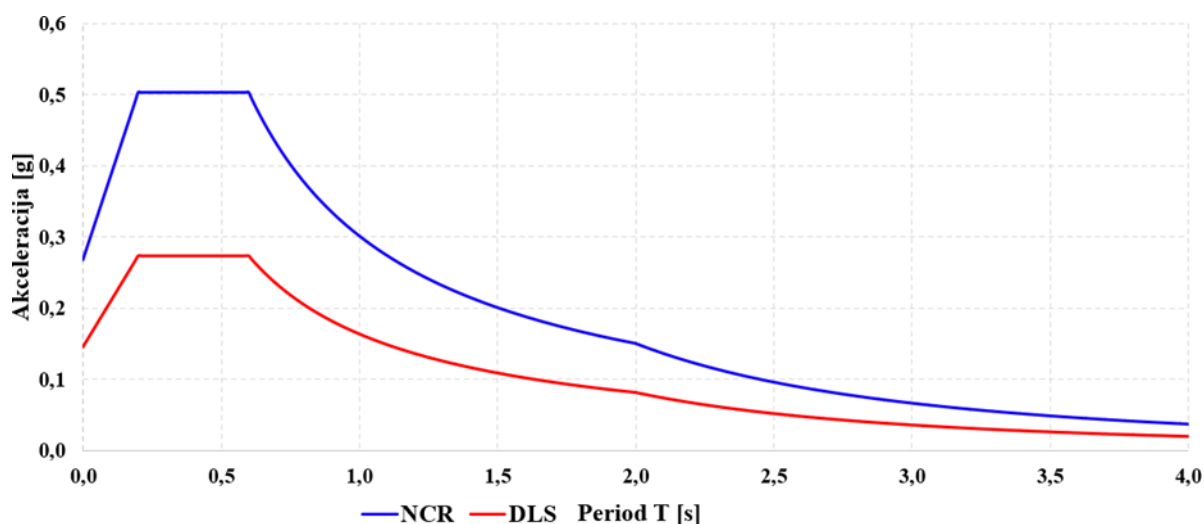
**Tablica 6.17.** Parametri za vertikalni tip spektra [8]

Spektar	$a_{vg} / a_g$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
Tip 1	0,90	0,05	0,15	1,0
Tip 2	0,45	0,05	0,15	1,0

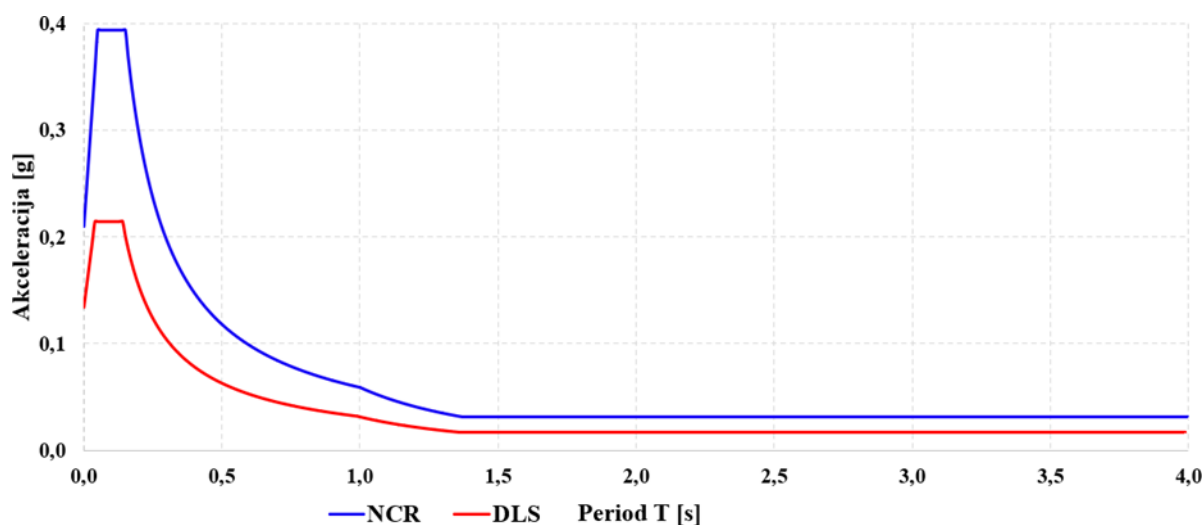
### 6.2.1.2 Potresno djelovanje

Potresno gibanje u nekoj točki na razini tla prikazuje se elastičnim spektrom ubrzanja koje se naziva elastični spektar odziva. Za našu građevinu upotrijebljeni su horizontalni (slika 6.11.) i vertikalni (slika 6.12.) proračunski spektri odziva za vršnu akceleraciju tla od 0,35g i tip tla C. Proračunski spektar proizlazi redukcijom elastičnog spektra faktorom ponašanja.

Usvaja se vrijednost  $q=2,0$  (tablica 4.5.). Može se pretpostaviti da faktor ponašanja za visoku zgradu neće imati veliki utjecaj. Na slikama prikazana su po dva spektra, jedan koji pokriva zahtjev da ne smije doći do rušenja i drugi za ispunjenje zahtjeva ograničenja oštećenja.



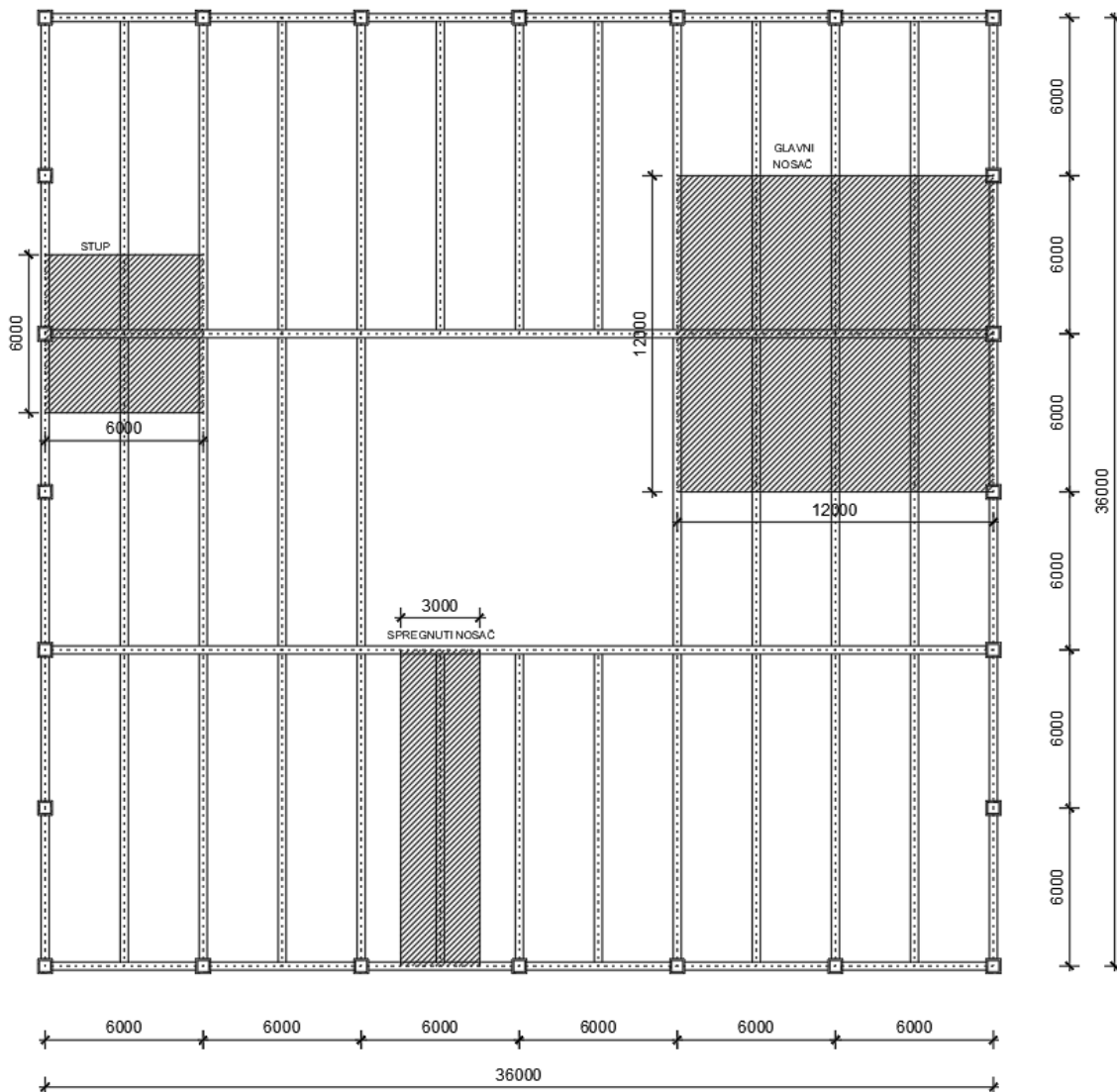
Slika 6.11. Horizontalni proračunski spektari odziva ( $q=2,0$  i  $\xi=5\%$ )



Slika 6.12. Vertikalni proračunski spektari odziva ( $q=2,0$  i  $\xi=5\%$ )

U modalnoj analizi u obzir se trebaju uzeti odzivi svih oblika vibracija koji znatno pridonose ukupnom odzivu. Zbroj proračunskih modalnih masa za razmatrane oblike iznosi najmanje 90% ukupne mase konstrukcije i da su uzeti svi oblici s modalnim masama većim od 5% ukupne mase. Kod prostornih modela uvjeti se razmatraju za svaki smjer.

## 7 PRELIMINARNO DIMENZIONIRANJE



Slika 7.1. Elementi za preliminarno dimenzioniranje

### 7.1 Međukatna konstrukcija

Preliminaran odabir spregnute ploče:

Međukatna konstrukcija:

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

$$g_{\text{ploča}}^{\text{međukatna}} = 1,35 \cdot 4,91 + 1,5 \cdot 3,0 = 11,1 \text{ kN / m}^2$$

$$g_{\text{ploča}}^{\text{međukatna}} = 11,1 \text{ kN / m}^2 < g_{\text{dop}} = 12,0 \text{ kN / m}^2$$

Krovnna konstrukcija:

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

$$g_{ploča}^{krov} = 1,35 \cdot 4,71 + 1,5 \cdot 0,6 + 0,5 \cdot 1,5 = 7,6 \text{ kN / m}^2$$

$$g_{ploča}^{krov} = 7,6 \text{ kN / m}^2 < g_{dop} = 12,0 \text{ kN / m}^2$$

Temeljem dobivenog opterećenja (tablica 7.1.) za međukatnu konstrukciju raspona 3 m preliminarno je odabrana spregnuta ploča Multideck 50. Multideck 50 je metalna ploča širine 600 mm s geometrijom lima prikladnom za izvedbu spregnute ploče. Uzdužna posmična veza osigurana je utiskivanjem a oblik lima daje ploči dodatno ojačanje. Profil služi kao oplata u fazi izvedbe te u konačnoj fazi predstavlja vlačnu armaturu. Debljina lima te ostale pripadajuće karakteristike dane su u tablici 6.1.

Tablica 7.1. Rasponi ovisni o debljini ploče i opterećenju

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

## 7.2 Glavni i sekundarni nosač

Procjena vlastite težine nosača:  $g_{k,gl,nosač} = 2,0 \text{ kN / m}$

Širina opterećenja koja otpada na glavni nosač je 12 m.

Kombinacija opterećenja:

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

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

$$1,35 \cdot \left[ \frac{12 \cdot 12 \cdot 4,91}{12} + \frac{6 \cdot 12 \cdot 2,0}{12} + 2,0 \right] + 1,5 \cdot \frac{12 \cdot 12 \cdot 3,0}{12} = 152 \text{ kN/m}$$

Sustav upete grede duljine 12 m vrijedi:

$$M_{Ed}^{oslonac} = \frac{-q \cdot l^2}{12} = \frac{-152 \cdot 12^2}{12} = 1824 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{sredina} = \frac{q \cdot l^2}{24} = \frac{-152 \cdot 12^2}{24} = 912 \text{ kNm}$$

Čelik S355 i HE 700A, otpornost na savijanje iznosi:

$$M_{y,Rd} = \frac{f_y \cdot W_{pl,y}}{\gamma_{M1}} = \frac{35,5 \cdot 7032}{1,1} = 2269 \text{ kN/m} > M_{Ed} = 1824 \text{ kN/m}$$

Povećana otpornost osigurava otpornost nosača na bočno torzijsko izvijanje koje se javlja u području negativnih momenata savijanja, te preliminarnim dimenzioniranjem nije obuhvaćeno. U području pozitivnih momenata savijanja nestabilnost je spriječena pridržanjem tlačne pojasnice betonskom pločom.

Glavni i sekundarni nosači odabran je isti profil poprečnog presjeka.

Preliminarno odabrani profil: HE 700A

### 7.3 Stup

Procjena vl.težine stupa:  $g_{k,stup}=7,4 \text{ kN / m}$

Tablica 7.2. Opterećenja na stup

Snijeg:	$S_{sk}=A \cdot s_k=36 \cdot 0,4=14,4 \text{ kN}$
Uporabno opterećenje krova:	$Q_{up,krov}=A \cdot q_{up,krov}=36 \cdot 0,6=21,6 \text{ kN}$
Uporabno opterećenje poslovne etaže:	$Q_{up,etaže}=A \cdot q_{up,etaža}=36 \cdot 3,0=108 \text{ kN}$
Međukatna konstrukcija:	$G_{međ.kon.}=A \cdot g_{međ.kon.}=36 \cdot 4,21=152 \text{ kN}$
Krovnna konstrukcija:	$G_{krov.kon.}=A \cdot g_{krov.kon.}=36 \cdot 4,71=170 \text{ kN}$
Pregradni zidovi:	$G_{pregradni}=A \cdot g_{pregradni}=36 \cdot 0,7=25,2 \text{ kN}$
Glavni nosač:	$G_{gl.nosač}=L \cdot g_{gl.nosač}=6 \cdot 2,04=12,2 \text{ kN}$
Sekundarni nosač:	$G_{sek.nosač}=L \cdot g_{sek.nosač}=12 \cdot 2,04=24,5 \text{ kN}$
Fasada:	$G_{fasada}=L \cdot g_{fasada}=36 \cdot 2,0=72,0 \text{ kN}$
Stupovi:	$G_{stup}=h \cdot g_{stup}=4,3 \cdot 7,4=31,8 \text{ kN}$

Opterećenje na stup prizemlja:

$$N_{G,k} = n(G_{sek.} + G_{gl.}) + n(G_{stup} + G_{fasade}) + (n - 1)(G_{međ.k.} + G_{preg.}) + G_{krov}$$

$$N_{G,k} = 45(24,5 + 12,2) + 45(31,8 + 72,0) + 44 \cdot (152 + 25,2) + 170 = 14289 \text{ kN}$$

$$N_{Q,k} = (n - 1) \cdot Q_{et.} + Q_{krov} + \psi_i S_k = 44 \cdot 108 + 21,6 + 0,5 \cdot 14,4 = 4781 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = \gamma_G \cdot N_{G,k} + \gamma_Q \cdot N_{Q,k} = 1,35 \cdot 14289 + 1,5 \cdot 4781 = 26462 \text{ kN}$$

Otpornost elementa na izvijanje y-y os:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 342100}{430^2} = 383473 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 948,1}{383473}} = 0,30$$

$$\frac{h}{b} = 1,15 < 1,2$$

→ krivulja izvijanja b  $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,30 - 0,2) + 0,30^2] = 0,56$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,30^2}} = 0,968$$

$$N_{y,b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,968 \cdot \frac{948,1 \cdot 35,5}{1,1} = 29619 \text{ kN}$$

$$N_{y,b,Rd} = 29619 \text{ kN} > N_{Ed} = 26462 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Iskoristivost je } 89,0 \%$$

Otpornost elementa na izvijanje z-z os:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 119900}{430^2} = 134401 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 948,1}{134401}} = 0,50$$

$$\frac{h}{b} = 1,15 < 1,2$$

→ krivulja izvijanja b  $\alpha = 0,34$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,50 - 0,2) + 0,50^2] = 0,68$$

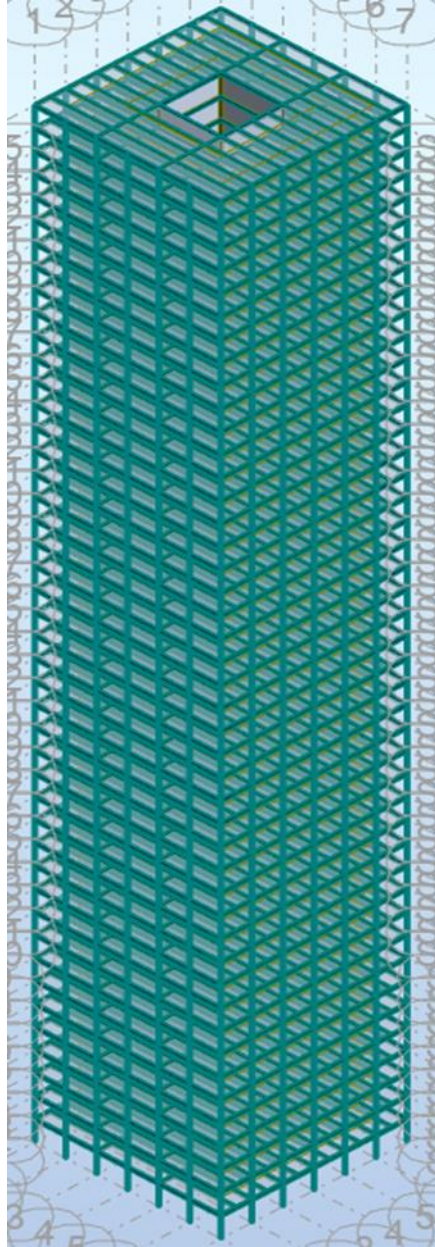
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,50^2}} = 0,877$$

$$N_{z,b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,877 \cdot \frac{948,1 \cdot 35,5}{1,1} = 26834 \text{ kN}$$

$$N_{z,b,Rd} = 26834 \text{ kN} > N_{Ed} = 26462 \text{ kN} \quad \rightarrow \text{Iskoristivost je } 99,0 \%$$

Preliminarno odabrani profil: HD 400x744

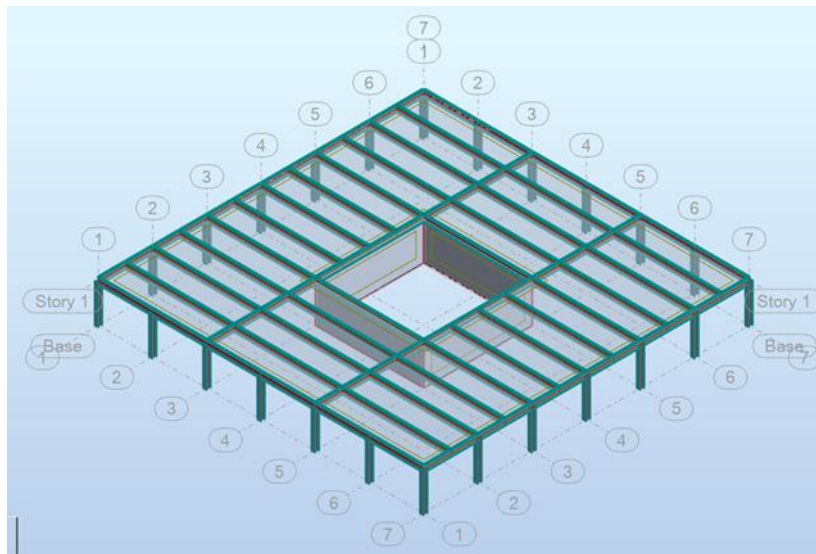
## 8 NUMERIČKO MODELIRANJE



Slika 8.1. 3D model konstrukcije



## 8.1 Oblikovanje posmične jezgre



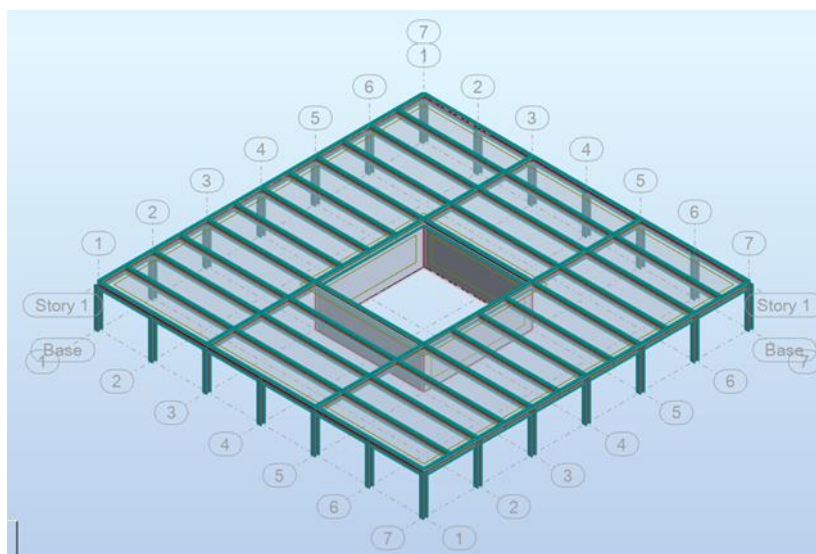
Slika 8.2. *Mogućnost oblikovanja posmične jezgre*

Posmična jezgra nosivog sustava je od spregnutog betona. Najprikladniji sustav je onaj koji je racionalan, a ujedno i osigurava dostatnu krutost.

## 8.2 Oblikovanje sekundarnih nosača

### 8.2.1 Položaj i orijentacija nosača

U ovom slučaju konstrukcija je jednakih dimenzija pa je svejedno u kojem smjeru postavimo sekundarne nosače.



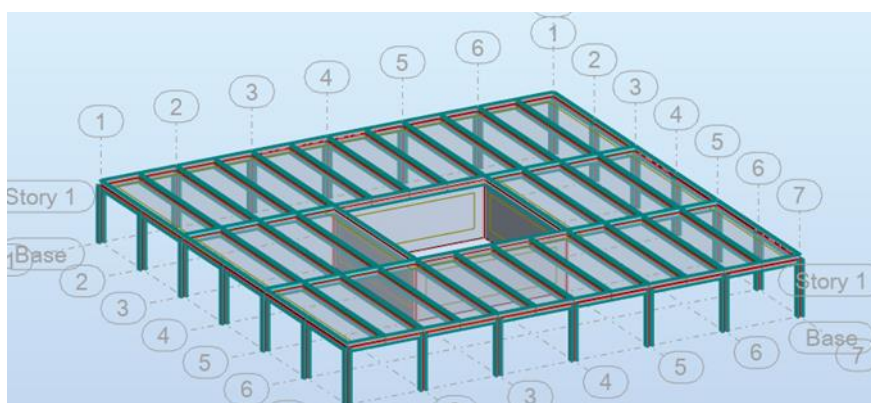
Slika 8.3. *Položaj sekundarnih nosača*

### 8.3 Modeliranje stropne dijafragme

Stropna dijafragma značajno utječe na globalno ponašanje sustava. Modeliranjem je primarni cilj postići ekvivalentno ponašanje spregnute ploče prema navedenim karakteristikama u poglavlju 10.1.4. Međutim to je vrlo zahtjevno i kompleksno pa se poseže za rješenjem u kojem će dijafragma što točnije simulirati realno ponašanje. Kod modeliranja ponašanje dijafragme definirano je matricom krutosti  $6 \times 6$ . Sastoji od savojne, torzijske i posmične krutosti, membranskog djelovanja i učinaka ekscentriciteta.

Najjednostavniji model potpuno krute membrane ne daje pouzdane rezultate. Takva dijafragma posjeduje apsolutnu krutost u ravnini (membransko ponašanje), ali ne i ostale krutosti.

Odabrana je rebrasta betonska ploča, geometrijskih karakteristika ekvivalentnih spregnutoj ploči definiranoj u poglavlju 10.1.4., uz zanemarivanje profiliranog čeličnog lima.



Slika 8.4. Modeliranje stropne dijafragme

### 8.4 Ulazni podaci za provedbu analiza

Tablica 8.1. Opterećenja na konstrukciju

No.	Case name	Nature
1	Vlastita težina	Structural
2	Dodatno stalno	Structural
3	Fasada	Structural
4	Korisno poslovnj	Category A
5	Korisno krov	Category H
6	Snijeg	snow
7	vjetar x	wind
8	vjetar y	wind
9	imperfekcije x	Structural
10	imperfekcije y	Structural

### 8.4.1 Ulazni podaci statičke analize

Tablica 8.2. Kombinacije za granično stanje nosivosti

Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
12 (C)	COMB1	Linear Combinati	ULS	Structural	$(1+2+3+9)*1.35+(4+5)*1.50+6*0.75+7*0.90$
13 (C)	COMB2	Linear Combinati	ULS	Structural	$(1+2+3+10)*1.35+(4+5)*1.50+6*0.75+8*0.90$
14 (C)	COMB3	Linear Combinati	ULS	Structural	$(1+2+3+9)*1.35+(4+5)*1.05+6*0.75+7*1.50$
15 (C)	COMB4	Linear Combinati	ULS	Structural	$(1+2+3+10)*1.35+(4+5)*1.05+6*0.75+8*1.50$
16 (C)	COMB5	Linear Combinati	ULS	Structural	$(1+2+3+9)*1.35+(4+5)*1.05+6*1.50+7*0.90$
17 (C)	COMB6	Linear Combinati	ULS	Structural	$(1+2+3+10)*1.35+(4+5)*1.05+6*1.50+8*0.90$

Tablica 8.3. Kombinacije za granično stanje uporabljivosti

18 (C)	COMB7	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+7+9)*1.00+(4+5)*0.70+6*0.50$
19 (C)	COMB8	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+8+10)*1.00+(4+5)*0.70+6*0.50$
20 (C)	COMB9	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+4+5+9)*1.00+6*0.50+7*0.60$
21 (C)	COMB10	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+4+5+10)*1.00+6*0.50+8*0.60$
22 (C)	COMB11	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+6+9)*1.00+(4+5)*0.70+7*0.60$
23 (C)	COMB12	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+6+10)*1.00+(4+5)*0.70+8*0.60$

### 8.4.2 Ulazni podaci dinamičke analize

Tablica 8.4. Djelovanja za modalnu analizu

24	Seismic EC 8 Direction_X	seismic			
25	Seismic EC 8 Direction_Y	seismic			
26	1 * X 0.3 * Y	seismic			
27	1 * X -0.3 * Y	seismic			
28	0.3 * X 1 * Y	seismic			
29	0.3 * X -1 * Y	seismic			
26 (C) (CQC)	1 * X 0.3 * Y	Linear Combinati	ULS	seismic	$24*1.00+25*0.30$
27 (C) (CQC)	1 * X -0.3 * Y	Linear Combinati	ULS	seismic	$24*1.00+25*-0.30$
28 (C) (CQC)	0.3 * X 1 * Y	Linear Combinati	ULS	seismic	$24*0.30+25*1.00$
29 (C) (CQC)	0.3 * X -1 * Y	Linear Combinati	ULS	seismic	$24*0.30+25*-1.00$
30 (C) (CQC)	COMB17	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+26+9)*1.00+(4+5)*0.15$
31 (C) (CQC)	COMB18	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+27+9)*1.00+(4+5)*0.15$
32 (C) (CQC)	COMB19	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+28+10)*1.00+(4+5)*0.15$
33 (C) (CQC)	COMB20	Linear Combinati	SLS	Structural	$(1+2+3+29+10)*1.00+(4+5)*0.15$

Kako bi se uzeo u obzir ekscentričnost položaja masa pri potresnom djelovanju, slučajna ekscentričnost na katu i računa se kao:

$$e_{ai} = \pm 0,05L_i \quad (8.1)$$

gdje je:  $e_{ai}$  slučajna ekscentričnost mase  $i$   
 $L_i$  dimenzija kata okomito na smjer potresnog djelovanja

$$e_x = 1,8 \text{ m}$$

$$e_y = 1,8 \text{ m}$$

## 9 REZULTATI ANALIZE KONSTRUKCIJE

### 9.1 Rezultati statičke analize

#### 9.1.1 Klasifikacija čelične konstrukcije prema EC-3

Uvjeti klasifikacije prema EC-3 definirani su preko faktora elastičnog kritičnog opterećenja:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \quad (9.1)$$

Za elastičnu analizu uvjeti su:

$\alpha_{cr} \geq 10$	Konstrukcija je nepomična
$3 < \alpha_{cr} < 10$	Konstrukcija je pomična, približne metode
$\alpha_{cr} \leq 3$	Konstrukcija je pomična, egzaktne metode

Određivanje  $\alpha_{cr}$  provedeno je za stalnu ili prolaznu proračunsku situaciju - KGS.

Vrijednosti elastičnog kritičnog opterećenja mogu se dobiti prema izrazu:

$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \quad (9.2)$$

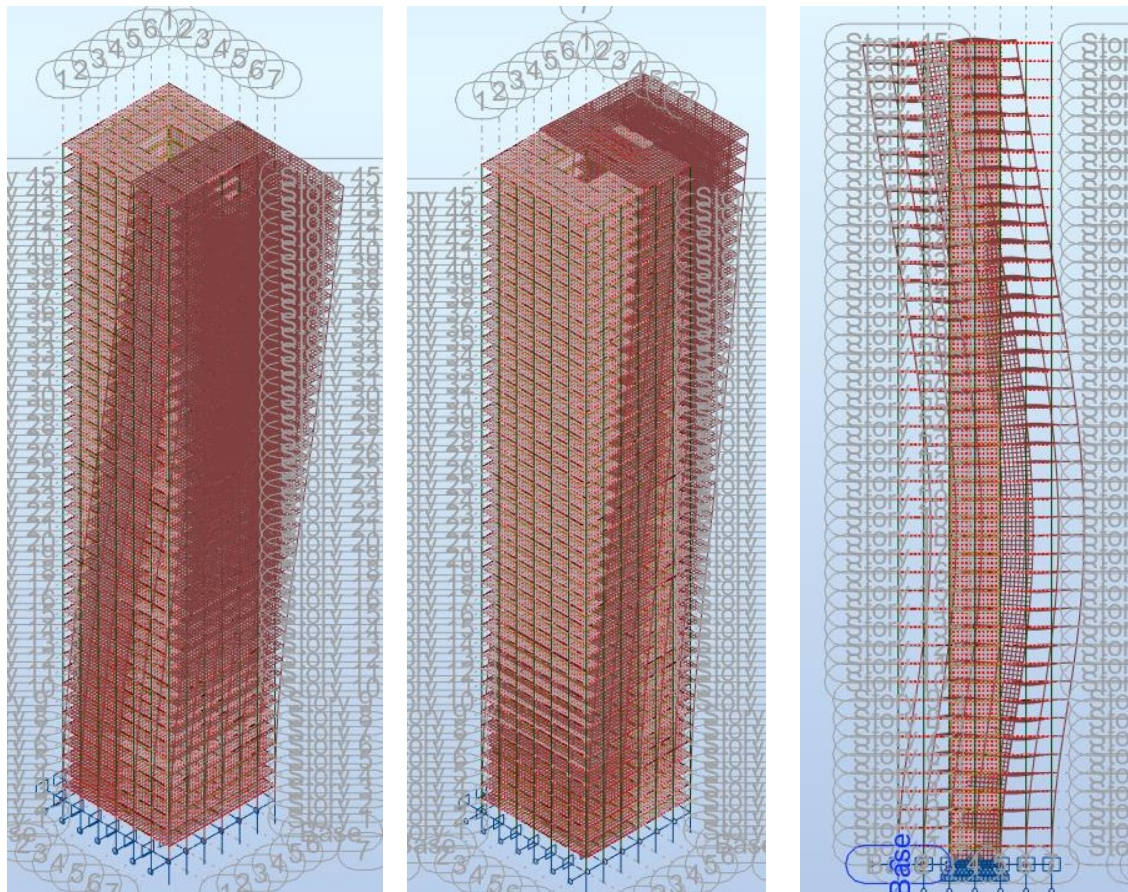
Gdje su:

$H_{Ed}$	Proračunska horizontalna sila na dnu etaže
$V_{Ed}$	Proračunska vertikalna sila na dnu etaže
$h$	Ukupna visina etaže
$\delta_{H,Ed}$	Horizontalni pomak na vrhu etaže

Za dobivanje vrijednosti kritičnog koeficijenta na modelu korištena je Buckling analiza za mjerodavnu kombinaciju KGS-a.

Analiza je provedena za sve kombinacije djelovanja graničnog stanja nosivosti. Na slici 9.1. su prikazana tri globalna moda izvijanja s pripadajućim kritičnim koeficijentima za mjerodavnu kombinaciju.




 $\alpha_{cr}=7,10$  (1 mod)

 $\alpha_{cr}=8,04$  (2 mod)

 $\alpha_{cr}=21,05$  (14 mod)

Slika 9.1. Globalni modovi izvijanja za različite kombinacije djelovanja

Učinci djelovanja određuju se elastičnom analizom drugog reda koja obuhvaća P- $\Delta$  učinke. Isti se uzimaju u obzir numeričkim putem.

35/ 1	7.09771e+00	2.82068e-05
35/ 2	8.04265e+00	1.32925e-04
35/ 3	1.59018e+01	5.65887e-03
35/ 4	1.68674e+01	2.74417e-03
35/ 5	1.75170e+01	4.96039e-03
35/ 6	1.84107e+01	1.60872e-02
35/ 7	1.88869e+01	5.06655e-03
35/ 8	1.95530e+01	4.60314e-03
35/ 9	1.96157e+01	3.29969e-03
35/ 10	1.96607e+01	2.25715e-03
35/ 11	1.96752e+01	8.80780e-03
35/ 12	2.03803e+01	8.55280e-03
35/ 13	2.07753e+01	1.65958e-02
35/ 14	2.10527e+01	2.70950e-03
35/ 15	2.15814e+01	3.91576e-03
35/ 16	2.21212e+01	2.97877e-02
35/ 17	2.22256e+01	1.91901e-02
35/ 18	2.22682e+01	1.95236e-02
35/ 19	2.26360e+01	1.55487e-02
35/ 20	2.34934e+01	5.77249e-02

Slika 9.2. Kritični koeficijenti

### 9.1.2 Stup

Tablica 9.1. Mjerodavni učinci djelovanja za stup

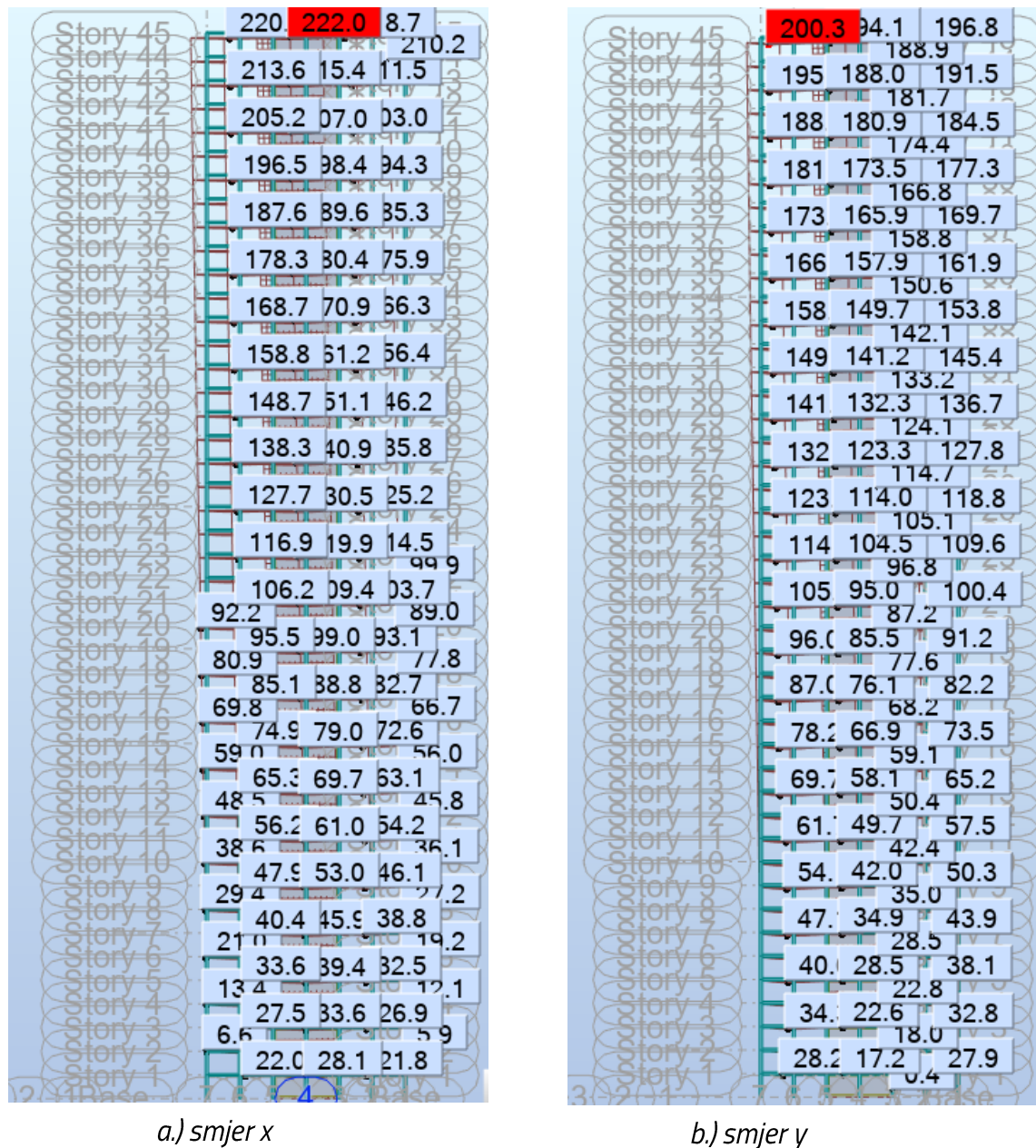
K 550x550x60		
	max N	max M
N [kN]	-27 563	-27 510
M <sub>y</sub> [kNm]	0	6
V <sub>z</sub> [kN]	262	262
M <sub>z</sub> [kNm]	438	689
V <sub>y</sub> [kN]	0	0

### 9.1.3 Glavni nosač

Tablica 9.2. Mjerodavni učinci djelovanja za glavni nosač

HE 550 M		
	max N	max M
N [kN]	-95	-17
M <sub>y</sub> [kNm]	1516	1925
V <sub>z</sub> [kN]	-674	-689
M <sub>z</sub> [kNm]	zanemarivo	zanemarivo
V <sub>y</sub> [kN]	zanemarivo	zanemarivo

## 9.1.4 Granično stanje uporabljivosti



Slika 9.3. Horizontalni katni pomak za COMB 7 i COMB 8

Horizontalni pomak kata:

$$u_i = \frac{H_i}{300} = \frac{430}{300} = 1,43 \text{ cm}$$

Ukupni horizontalni pomak građevine:

$$u = \frac{H}{500} = \frac{19350}{500} = 38,70 \text{ cm}$$

## 9.2 Rezultati dinamičke analize

### 9.2.1 Općenito

Tablica 9.3. Prirodni periodi i frekvencije modova odziva

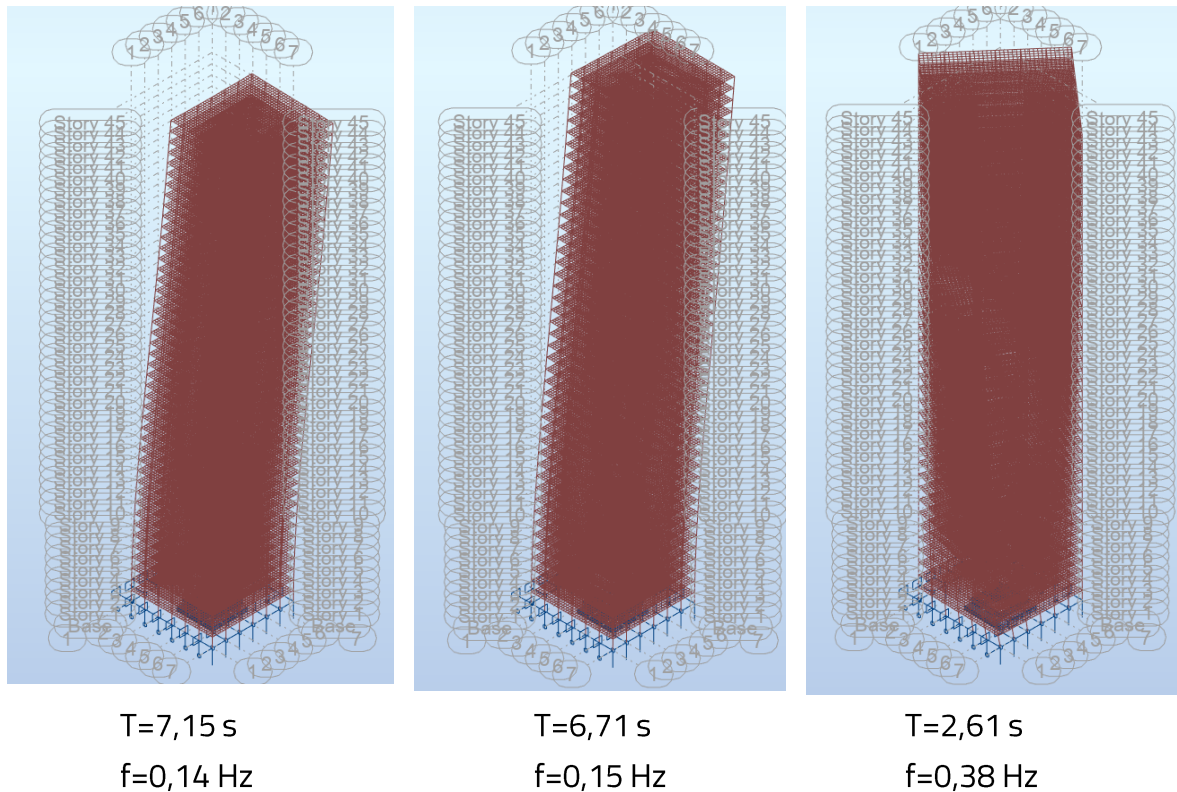
Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)
11/ 1	0.14	7.15
11/ 2	0.15	6.71
11/ 3	0.38	2.61
11/ 4	0.57	1.75
11/ 5	0.60	1.68
11/ 6	1.14	0.87
11/ 7	1.33	0.75
11/ 8	1.37	0.73
11/ 9	1.89	0.53
11/ 10	2.32	0.43
11/ 11	2.36	0.42
11/ 12	2.60	0.38

Tablica 9.4. Efektivna modalna masa

Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)	Cur.mas.UX (%)	Cur.mas.UY (%)	Cur.mas.UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)
11/ 1	0.14	7.15	67.22	0.00	0.00	67.22	0.00	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 2	0.15	6.71	67.22	67.68	0.00	0.00	67.68	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 3	0.38	2.61	67.22	67.68	0.00	0.00	0.00	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 4	0.57	1.75	82.98	67.68	0.00	15.75	0.00	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 5	0.60	1.68	82.98	83.17	0.00	0.00	15.49	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 6	1.14	0.87	82.98	83.17	0.00	0.00	0.00	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 7	1.33	0.75	89.28	83.17	0.00	6.30	0.00	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 8	1.37	0.73	89.28	89.32	0.00	0.00	6.15	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 9	1.89	0.53	89.28	89.32	0.00	0.00	0.00	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 10	2.32	0.43	92.69	89.32	0.00	3.41	0.00	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 11	2.36	0.42	92.69	92.66	0.00	0.00	3.34	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40
11/ 12	2.60	0.38	92.69	92.66	0.00	0.00	0.00	0.00	60277039.04	60277039.04	13055335.40

Mora se "aktivirati" minimalno 90% mase što je vidi u tablici 9.4., u prvom modu se aktivira gotovo 67% mase u x smjeru, naravno tada vrijedi i da je prvi mod translacijski u x smjeru. Isto vrijedi i za y smjer, uz aktivaciju 67% efektivne mase. Ukupno je korišteno 12 modova da bi se aktiviralo više od 90% mase.





Slika 9.4. Modalni oblici za prva tri tona

Vrijednosti učinaka djelovanja proračunate su, te prikazani obuhvaćajući odziv konstrukcije za oba smjera. To se postiže sumiranjem 100%-tnim odzivom konstrukcije u jednom horizontalnom smjeru, 30%-tnim u drugom.

## 9.2.2 Rezultati linearno dinamičke analize (modalna analiza)

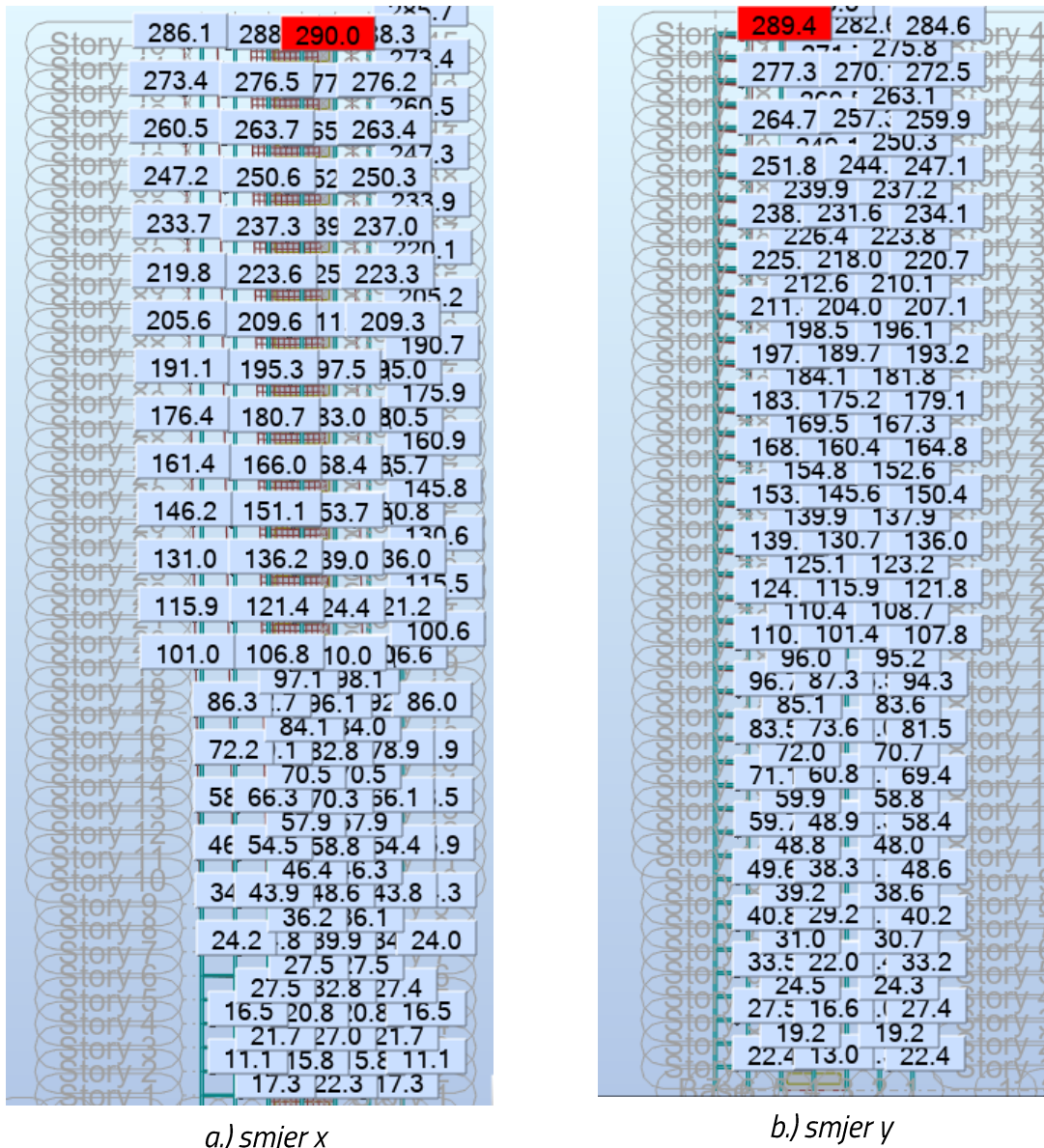
### 9.2.2.1 Klasifikacija čelične konstrukcije prema EC-8

Uvjeti klasifikacije prema EC-8 definirani su tako da se učinci drugog reda ne moraju uzeti u obzir ako je na svim katovima zadovoljen uvjet:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \quad (9.3)$$

Gdje su:

$\theta$	Koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka
$P_{tot}$	Gravitacijsko opterećenje na promatranom katu
$d_r$	Proračunski katni pomak
$V_{tot}$	Ukupna katna potresna poprečna sila
$h$	Visina etaže



Slika 9.5. Katni pomak za klasifikaciju sustava prema EC-8 COMB 17 i COMB 19

Tablica 9.5. Klasifikacija sustava za smjer x

Etaža (kat)	$P_{tot}$ [kN]	$V_{tot}$ [kN]	$d_{e,dolje}$ [cm]	$d_{e,gore}$ [cm]	$d_r$ [cm]	$h$ [cm]	$\theta$	Rezultat	Uvjet
1	602770	14716	0	2,2	2,2	430	0,222	$0,2 < \theta < 0,3$	OK
2	589280	14212	2,2	2,4	0,2	430	0,02	$< 0,10$	OK
3	575985	13768	2,4	2,7	0,3	430	0,03	$< 0,10$	OK
4	562590	13341	2,7	3,0	0,3	430	0,03	$< 0,10$	OK
5	549195	12927	3,0	3,3	0,3	430	0,03	$< 0,10$	OK
6	535800	12527	3,3	3,6	0,3	430	0,03	$< 0,10$	OK

---

7	522405	12138	3,6	4,0	0,4	430	0,04	<0,10	OK
8	509010	11760	4,0	4,4	0,4	430	0,04	<0,10	OK
9	495615	11390	4,4	4,9	0,5	430	0,04	<0,10	OK
10	482220	11029	4,9	5,4	0,5	430	0,05	<0,10	OK
11	468825	10675	5,4	5,9	0,5	430	0,06	<0,10	OK
12	455430	10327	5,9	6,4	0,5	430	0,05	<0,10	OK
13	442035	9984	6,4	7,0	0,6	430	0,06	<0,10	OK
14	428640	9647	7,0	7,6	0,6	430	0,06	<0,10	OK
15	415245	9315	7,6	8,3	0,7	430	0,07	<0,10	OK
16	401850	8987	8,3	8,9	0,6	430	0,07	<0,10	OK
17	388455	8662	8,9	9,6	0,7	430	0,07	<0,10	OK
18	375060	8340	9,6	10,3	0,6	430	0,07	<0,10	OK
19	361665	8022	10,3	11,0	0,7	430	0,07	<0,10	OK
20	348270	7706	11,0	11,7	0,7	430	0,07	<0,10	OK
21	334875	7393	11,7	12,4	0,7	430	0,07	<0,10	OK
22	321480	7082	12,4	13,1	0,8	430	0,08	<0,10	OK
23	308085	6773	13,1	13,9	0,8	430	0,08	<0,10	OK
24	294690	6465	13,9	14,6	0,7	430	0,07	<0,10	OK
25	281295	6159	14,6	15,4	0,8	430	0,08	<0,10	OK
26	267900	5855	15,4	16,1	0,7	430	0,08	<0,10	OK
27	254505	5552	16,1	16,8	0,7	430	0,08	<0,10	OK
28	241110	5251	16,8	17,5	0,7	430	0,08	<0,10	OK
29	227715	4950	17,5	18,3	0,8	430	0,07	<0,10	OK
30	214320	4650	18,3	19,0	0,7	430	0,08	<0,10	OK
31	200925	4352	19,0	19,8	0,8	430	0,07	<0,10	OK
32	187530	4054	19,8	20,5	0,7	430	0,08	<0,10	OK
33	174135	3757	20,5	21,2	0,7	430	0,07	<0,10	OK
34	160740	3461	21,2	21,9	0,7	430	0,07	<0,10	OK
35	147345	3166	21,9	22,6	0,7	430	0,08	<0,10	OK
36	133950	2871	22,6	23,3	0,7	430	0,07	<0,10	OK
37	120555	2576	23,3	23,9	0,6	430	0,07	<0,10	OK
38	107160	2576	23,9	24,6	0,7	430	0,07	<0,10	OK
39	93765	1989	24,6	25,2	0,6	430	0,07	<0,10	OK
40	80370	1696	25,2	25,9	0,7	430	0,07	<0,10	OK
41	66975	1403	25,9	26,5	0,6	430	0,07	<0,10	OK

42	53580	1111	26,5	27,2	0,7	430	0,06	<0,10	OK
43	40185	818	27,2	27,8	0,6	430	0,07	<0,10	OK
44	26790	527	27,8	28,4	0,6	430	0,06	<0,10	OK
45	13395	234	28,4	29,0	0,6	430	0,07	<0,10	OK

Tablica 9.6. Klasifikacija sustava za smjer  $y$ 

Etaža (kat)	$P_{tot}$ [kN]	$V_{tot}$ [kN]	$d_{e,dolje}$ [cm]	$d_{e,gore}$ [cm]	$d_r$ [cm]	$h$ [cm]	$\theta$	Rezultat	Uvjet
1	602770	14716	0	2,2	2,2	430	0,222	$0,2 < \theta < 0,3$	OK
2	589280	14212	2,2	2,4	0,2	430	0,02	<0,10	OK
3	575985	13768	2,4	2,7	0,3	430	0,03	<0,10	OK
4	562590	13341	2,7	3,0	0,3	430	0,03	<0,10	OK
5	549195	12927	3,0	3,3	0,3	430	0,03	<0,10	OK
6	535800	12527	3,3	3,6	0,3	430	0,03	<0,10	OK
7	522405	12138	3,6	4,0	0,4	430	0,04	<0,10	OK
8	509010	11760	4,0	4,4	0,4	430	0,04	<0,10	OK
9	495615	11390	4,4	4,9	0,5	430	0,04	<0,10	OK
10	482220	11029	4,9	5,4	0,5	430	0,05	<0,10	OK
11	468825	10675	5,4	5,9	0,5	430	0,06	<0,10	OK
12	455430	10327	5,9	6,4	0,5	430	0,05	<0,10	OK
13	442035	9984	6,4	7,0	0,6	430	0,06	<0,10	OK
14	428640	9647	7,0	7,6	0,6	430	0,06	<0,10	OK
15	415245	9315	7,6	8,3	0,7	430	0,07	<0,10	OK
16	401850	8987	8,3	8,9	0,6	430	0,07	<0,10	OK
17	388455	8662	8,9	9,6	0,7	430	0,07	<0,10	OK
18	375060	8340	9,6	10,3	0,6	430	0,07	<0,10	OK
19	361665	8022	10,3	11,0	0,7	430	0,07	<0,10	OK
20	348270	7706	11,0	11,7	0,7	430	0,07	<0,10	OK
21	334875	7393	11,7	12,4	0,7	430	0,07	<0,10	OK
22	321480	7082	12,4	13,1	0,8	430	0,08	<0,10	OK
23	308085	6773	13,1	13,9	0,8	430	0,08	<0,10	OK
24	294690	6465	13,9	14,6	0,7	430	0,07	<0,10	OK
25	281295	6159	14,6	15,4	0,8	430	0,08	<0,10	OK
26	267900	5855	15,4	16,1	0,7	430	0,08	<0,10	OK
27	254505	5552	16,1	16,8	0,7	430	0,08	<0,10	OK

28	241110	5251	16,8	17,5	0,7	430	0,08	<0,10	OK
29	227715	4950	17,5	18,3	0,8	430	0,07	<0,10	OK
30	214320	4650	18,3	19,0	0,7	430	0,08	<0,10	OK
31	200925	4352	19,0	19,8	0,8	430	0,07	<0,10	OK
32	187530	4054	19,8	20,5	0,7	430	0,08	<0,10	OK
33	174135	3757	20,5	21,2	0,7	430	0,07	<0,10	OK
34	160740	3461	21,2	21,9	0,7	430	0,07	<0,10	OK
35	147345	3166	21,9	22,6	0,7	430	0,08	<0,10	OK
36	133950	2871	22,6	23,3	0,7	430	0,07	<0,10	OK
37	120555	2576	23,3	23,9	0,6	430	0,07	<0,10	OK
38	107160	2576	23,9	24,6	0,7	430	0,07	<0,10	OK
39	93765	1989	24,6	25,2	0,6	430	0,07	<0,10	OK
40	80370	1696	25,2	25,9	0,7	430	0,07	<0,10	OK
41	66975	1403	25,9	26,5	0,6	430	0,07	<0,10	OK
42	53580	1111	26,5	27,2	0,7	430	0,06	<0,10	OK
43	40185	818	27,2	27,8	0,6	430	0,07	<0,10	OK
44	26790	527	27,8	28,4	0,6	430	0,06	<0,10	OK
45	13395	234	28,4	29,0	0,6	430	0,07	<0,10	OK

Pošto je na pojedinim razinama koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka  $\theta$  manji od granične vrijednosti (tablica 9.5. i 9.6.), uvjet nije zadovoljen na svim razinama. S obzirom na dobivene vrijednosti, učinci 2. reda (P- $\Delta$ ) za potresno opterećenje mogu se zanemariti, pošto je dominantno opterećenje vjetar a ne potres.

### 9.2.2.2 Stup

Tablica 9.7. Učinci djelovanja prema maksimalnoj tlačnoj sili

K 550x550x60		
	max N	max M
N [kN]	-15 680	-15 640
M <sub>y</sub> [kNm]	0	0
V <sub>z</sub> [kN]	139	110
M <sub>z</sub> [kNm]	243	356
V <sub>y</sub> [kN]	0	0

### 9.2.2.3 Glavni nosač

Tablica 9.8. Učinci djelovanja prema maksimalnoj tlačnoj sili i momentu savijanja

HE 550 M		
	max N	max M
N [kN]	-44	17
M <sub>y</sub> [kNm]	825	1102
V <sub>z</sub> [kN]	-353	-375
M <sub>z</sub> [kNm]	zanemarivo	zanemarivo
V <sub>y</sub> [kN]	zanemarivo	zanemarivo

### 9.2.2.4 Zahjev ograničenog oštećenja EC-8

Konstrukcija se mora oduprijeti djelovanju koje ima veću vjerojatnost pojave ( $T_{DLR} = 95$  god.) od proračunskog potresnog djelovanja ( $T_{DLR} = 475$  god.), bez pojave oštećenja i njima pridruženih ograničenja uporabe, troškova koji bi bili nesrazmjerno veliki u usporedbi s cijenom same konstrukcije. Slučajni torzijski učinci uzeti su kao factor povećanja dok su dobivene vrijednosti faktora povećanja s uzimanjem u obzir učinaka 2. reda (P-Δ) zanemarene.

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

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

Gdje su:

$d_r$  Proračunski katni pomak

$v$  Faktor smanjenja

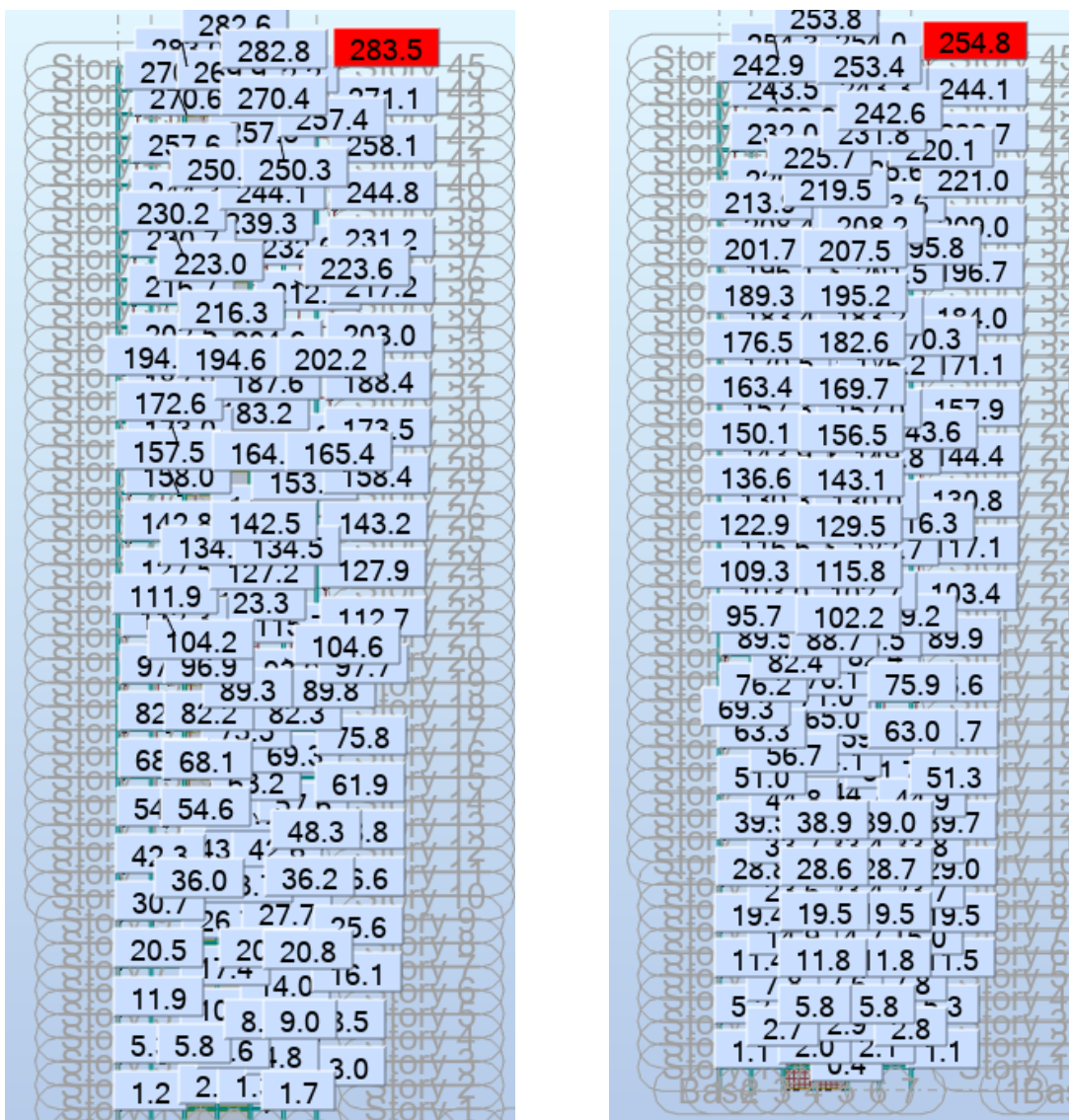
Ograničenje za etažu zgrade:

$$0,010 h = 0,010 \cdot 430 = 4,30 \text{ cm}$$

Prema hrvatskom nacionalnom dodatku, vrijednost faktora smanjenja iznosi:

$$v = 1,0$$





a.) smjer x

b.) smjer y

Slika 9.6. Horizontalni katni pomak za seizmičko djelovanje ( $T_{DLR} = 95$  god.)

## 10 PRORAČUN KONSTRUKCIJE

### 10.1 Dimenzioniranje karakterističnih emementa

#### 10.1.1 Stup

Tablica 10.1. Geometrijske karakterisitke poprečnog presjeka

550 x 550 x 60			
	$A=$	1176	$\text{cm}^2$
	$h=$	550	mm
	$b=$	550	mm
	$t_w=$	60	mm
	$t_f=$	60	mm
	$r=$	0	mm
	$I_y=$	477 652	$\text{cm}^4$
	$W_{pl,y}=$	17400	$\text{cm}^3$
	$I_z=$	477 652	$\text{cm}^4$
$W_{pl,z}=$	17400	$\text{cm}^3$	

Tablica 10.2. Mjerodavni proračunski učinci djelovanja

Vrijednosti proračunskih učinaka djelovanja prema mjerodavnoj kombinaciji iz tablice 9.1.

Uzdužna sila:	$N_{Ed}=$	-27 510	kN
Moment savijanja:	$M_{y,E,d}=$	6	kNm
	$M_{z,E,d}=$	689	kNm
Poprečna sila:	$V_{z,Ed}=$	262	kN
	$V_{y,Ed}=$	0	kN

#### 10.1.1.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

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



Hrbat/pojasnica:

$$c = d - 3 \cdot t = 550 - 3 \cdot 60 = 370 \text{ mm}$$

$$t = 60 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu I:

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

$$\frac{370}{60} = 6,17 < 26,73 \quad \text{Hrbat i pojasnica su klase I!}$$

Poprečni pjesjek 550x550x60 je klase I!

### 10.1.1.2 Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost na tlačnu silu:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1176 \cdot 35,5}{1,0} = 41748 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti

$$\frac{27510}{41748} = 0,66 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Otpornost na savijanje:

Oko osi y:

$$M_{pl,y} = \frac{W_{pl,Rd} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17400 \cdot 35,5}{1,0} = 6177 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 6 \text{ kNm} < M_{pl,y} = 6177 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y}} = \frac{6}{6177} = 0,001 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Oko osi z:

$$M_{pl,z} = \frac{W_{pl,Rd} \cdot f_z}{\gamma_{M0}} = \frac{17400 \cdot 35,5}{1,0} = 6177 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 689 \text{ kNm} < M_{pl,z} = 6177 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z}} = \frac{689}{6177} = 0,11 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

### 10.1.1.3 Otpornost elementa

Otpornost elementa na izvijanje:

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Izvijanje oko osi y:

Kritična duljina izvijanja iznosi:  $L_{cr,y} = 430 \text{ cm}$

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 477\,652}{430^2} = 535419 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1176 \cdot 35,5}{535419}} = 0,279$$

Pomoćna veličina (za liniju izvijanja d)

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,279 - 0,2) + 0,279^2] = 0,558$$

Faktor redukcije:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,558 + \sqrt{0,558^2 - 0,279^2}} = 0,960$$

Računska otpornost:

$$N_{b,y,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,960 \cdot \frac{1176 \cdot 35,5}{1,1} = 36435 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{27510}{36435} = 0,76 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Izvijanje oko osi z:

Kritična duljina izvijanja iznosi:  $L_{cr,z}=430$  cm

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 477\,652}{430^2} = 535419 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1176 \cdot 35,5}{535419}} = 0,279$$

Pomoćna veličina (za liniju izvijanja d)

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,279 - 0,2) + 0,279^2] = 0,558$$

Faktor redukcije:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,558 + \sqrt{0,558^2 - 0,279^2}} = 0,960$$

Računska otpornost:

$$N_{b,z,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,960 \cdot \frac{1176 \cdot 35,5}{1,1} = 36435 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{27510}{36435} = 0,76 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Interakcija M+N

Koeficijenti jednolikog ekvivalentnog momenta  $C_m$

Prema obliku dijagrama savijanja oko osi y, koeficijenti  $C_{my}$  i  $C_{mLT}$  iznose:

$$a_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{6}{6} = 1 \quad \psi = 0$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,2 + 0,8 \cdot a_s = 0,2 + 0,8 \cdot 1 = 1$$

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

$$a_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{675}{689} = 0,98 \quad \psi = 0$$

$$C_{mz} = C_{mLT} = 0,2 + 0,8 \cdot a_s = 0,2 + 0,8 \cdot 0,98 = 0,98$$

Interakcijski koeficijenti:

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

$$k_{yy} = 0,98 \cdot [1 + (0,279 - 0,2) \cdot 0,76] \leq 0,98 \cdot [1 + 0,8 \cdot 0,76]$$

$$k_{yy} = 1,039 < 1,576$$

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

$$k_{zz} = 0,98 \cdot [1 + (2 \cdot 0,279 - 0,6) \cdot 0,76] \leq 0,98 \cdot [1 + 1,4 \cdot 0,76]$$

$$k_{zz} = 0,949 < 2,023$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,949 = 0,569$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,039 = 0,623$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$0,76 + 1,039 \cdot 0,001 + 0,569 \cdot 0,11 = 0,82 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

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

$$0,76 + 0,623 \cdot 0,001 + 0,949 \cdot 0,11 = 0,87 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

USVOJEN PROFIL: 550 x 550 x 60

## 10.1.2 Glavni nosač

Tablica 10.3. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

HE 550 M				
	$A=$	354	$\text{cm}^2$	
	$h=$	572	$\text{mm}$	
	$b=$	306	$\text{mm}$	
	$t_w=$	21	$\text{mm}$	
	$t_f=$	40	$\text{mm}$	
	$r=$	27	$\text{mm}$	
	$I_y=$	198 000	$\text{cm}^4$	
	$W_{pl,y}=$	7933	$\text{cm}^3$	
	$I_z=$	19 160	$\text{cm}^4$	
	$W_{pl,z}=$	1937	$\text{cm}^3$	
$A_{v,z}=$	139,6	$\text{cm}^2$		
$I_t=$	1554	$\text{cm}^4$		
$I_w=$	$13,520 \cdot 10^6$	$\text{cm}^6$		

Tablica 10.4. Proračunski učinci djelovanja

Vrijednosti proračunskih učinaka djelovanja prema mjerodavnoj kombinaciji iz tablice 9.2.

Uzdužna sila:	$N_{Ed}=$	-17	$\text{kN}$
Moment savijanja:	$M_{y,E,d}=$	1925	$\text{kNm}$
Poprečna sila:	$V_{z,E,d}=$	689	$\text{kN}$

Napomena: Zbog malih učinaka djelovanja, savijanje oko slabije osi se zanemaruje.

## 10.1.2.1 Granično stanje nosivosti

## 10.1.2.1.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

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

Hrbat:

$$c = h - 2(t_f + r) = 572 - 2(40 + 27) = 438 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 21 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu I:

$$\frac{c}{t_w} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

$$\frac{438}{21} = 20,86 < 26,73 \quad \text{Hrbat je klase I!}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{306 - 21 - 2 \cdot 27}{2} = 116 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 40 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu I:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

$$\frac{116}{40} = 2,90 < 7,29 \quad \text{Pojasnica je klase I!}$$

Poprečni pjesjek HE 550 M je klase II!

#### 10.1.2.1.2 Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost na tlačnu silu:

$$N_{c,Rd} = N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{354 \cdot 35,5}{1,0} = 12567 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{17}{12567} = 0,0014 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Otpornost na savijanje:

Oko osi y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y} = \frac{W_{pl,Rd} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7933 \cdot 35,5}{1,0} = 2816 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{1925}{2816} = 0,68 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Posmična otpornost:

Provjera izbočavanja hrpta na posmik u smjeru z:

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

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 572 - 2 \cdot 40 = 492 \text{ mm}$$

za valjane profile  $\eta=1,2$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{492}{21} = 23,43 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,81}{1,2} = 48,6 \text{ Ne dolazi do izbočavanja hrpta!}$$

Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{139,6 \cdot (35,5/\sqrt{3})}{1,0} = 2861 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{689}{2861} = 0,24 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Interakcija N/M/V:

Utjecaj posmične sile:

Smanjena otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu i moment savijanja ne dolazi ukoliko je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$V_{z,Ed} = 689 \text{ kN} < 0,5 \cdot 2861 = 1431 \text{ kN} \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Utjecaj uzdužne sile:

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

$$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{c,Rd} \quad \text{i} \quad N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{Mo}}$$

$$N_{Ed} = 17 \text{ kN} < 0,25 \cdot 12567 = 3142 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 17 \text{ kN} < \frac{0,5 \cdot 49,2 \cdot 2,1 \cdot 35,5}{1,0} = 1834 \text{ kN}$$

Oba uvjeta su zadovoljena, vrijedi:

$$M_{y,V,N,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 2816 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{1925}{2816} = 0,68 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

### 10.1.2.1.3 Otpornost elementa

Otpornost elementa na izvijanje:

Izvijanje oko osi y:

Kritična duljina izvijanja iznosi:  $L_{cr,y}=1200$  cm

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 198\,000}{1200^2} = 28498 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{354 \cdot 35,5}{28498}} = 0,664$$

Pomoćna veličina (za liniju izvijanja a)

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,664 - 0,2) + 0,664^2] = 0,769$$

Faktor redukcije:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,769 + \sqrt{0,769^2 - 0,664^2}} = 0,864$$

Računska otpornost:

$$N_{b,y,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,864 \cdot \frac{354 \cdot 35,5}{1,1} = 9871 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{17}{9871} = 0,0017 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Izvijanje oko osi z:

Kritična duljina izvijanja iznosi:  $L_{cr,z}=300$  cm

Elastična kritična sila:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 19\,160}{300^2} = 44124 \text{ kN}$$

Svedena vitkost:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{354 \cdot 35,5}{44124}} = 0,534$$

Pomoćna veličina (za liniju izvijanja b)

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,534 - 0,2) + 0,534^2] = 0,699$$

Faktor redukcije:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{0,699 + \sqrt{0,699^2 - 0,534^2}} = 0,870$$

Računska otpornost:

$$N_{b,z,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,870 \cdot \frac{354 \cdot 35,5}{1,1} = 9939 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{17}{9939} = 0,0017 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Otpornost elementa na savijanje:

Elastični kritični moment:

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

Pri čemu je:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} = \frac{21\,000}{2(1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Vrijednost koeficijenta  $C_1$  i  $C_2$

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

$$C_1=1,93 \quad C_2=0$$

Stoga vrijedi:

$$M_{cr} = 1,93 \frac{\pi^2 \cdot 4,0236 \cdot 10^8}{300^2} \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{1,352 \cdot 10^7}{19160} + \frac{300^2 \cdot 1,255 \cdot 10^7}{\pi^2 \cdot 4,0236 \cdot 10^8}} \right]$$

$$M_{cr} = 2\,679\,545 \text{ kNcm} = 26\,795 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7933 \cdot 35,5}{2\,679\,545}} = 0,324$$

Kako je  $\lambda_{LT} < 0,4$ , EC3 ne zahtijeva provjeru elementa na BTI.

Vrijednost koeficijenta redukcije iznosi:

$$\chi_{LT} = 1$$

Otpornost na savijanje:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot \frac{7933 \cdot 35,5}{1,1} = 256\,020 \text{ kNcm} = 2560 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{1925}{2560} = 0,75 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$



Interakcija M+N

Koeficijenti jednolikog ekvivalentnog momenta  $C_m$ :

Prema obliku dijagrama savijanja oko osi y, koeficijenti  $C_{mLT}$  i  $C_{my}$  iznose:

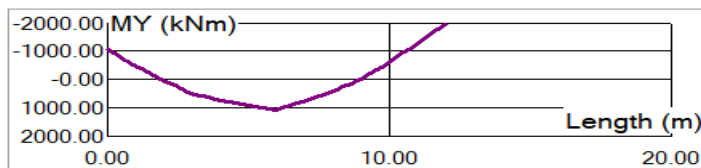
$$\psi = \frac{1084}{-1925} = -0,563$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,563) = 0,375 < 0,4$$

$$\psi = \frac{-1050}{-1925} = 0,545$$

$$a_s = \frac{1084}{-1925} = -0,563$$

$$C_{my} = -0,8 \cdot a_s = -0,8 \cdot (-0,563) = 0,45 > 0,4 \quad C_{my} = 0,45$$



	MY
MAX for member 2155	1084.00
in point:	6.00
MIN for member 2155	-1924.62
in point:	12.00

Diagram

<input checked="" type="checkbox"/> Fx	<input type="checkbox"/> Mx
<input type="checkbox"/> Fy	<input checked="" type="checkbox"/> My
<input type="checkbox"/> Fz	<input type="checkbox"/> Mz

Interakcijski koeficijenti:

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

$$k_{yy} = 0,45 [1 + (0,664 - 0,2) \cdot 0,0017] \leq 0,45 [1 + 0,8 \cdot 0,0017]$$

$$k_{yy} = 0,450 < 0,450$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,450 = 0,270$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$0,0017 + 0,450 \cdot 0,75 = 0,34 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

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

$$0,0017 + 0,270 \cdot 0,75 = 0,20 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

### 10.1.2.2 Granično stanje uporabljivosti

Ukupan progib nosača uslijed svih djelovanja iznosi 82 mm.

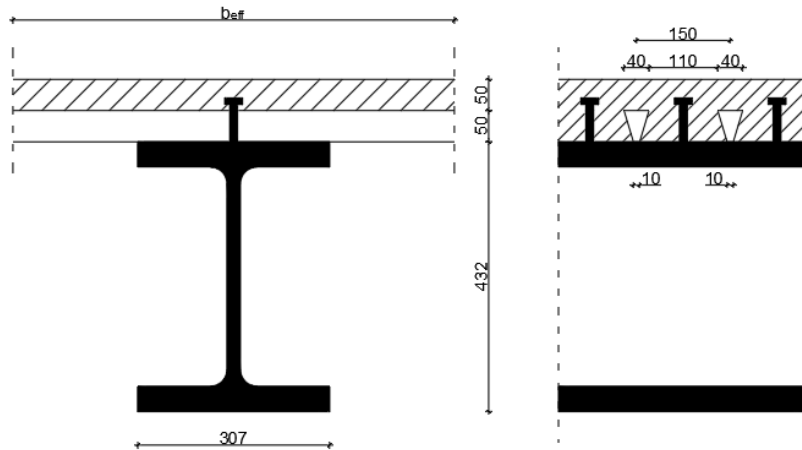
$$\delta_{tot} = 82,0 \text{ mm} > \frac{L}{250} = \frac{12000}{250} = 48 \text{ mm}$$

Potrebno je izvesti nadvišenje nosača koje iznosi:

$$\delta_c \geq 82,0 - 48 = 34 \text{ mm} \quad \delta_c = 40 \text{ mm}$$

USVOJEN PROFIL: HE 550 M

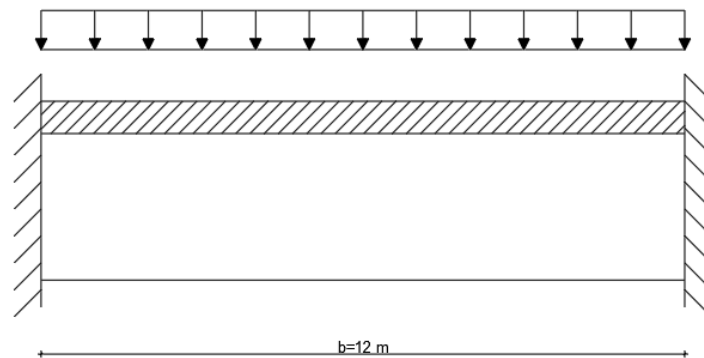
## 10.1.3 Spregnuti nosač



Slika 10.1. Poprečni presjek spregnutog nosača

Tablica 10.5. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

HE 400 M			
	$A=$	325,8	cm <sup>2</sup>
	$h=$	432	mm
	$b=$	307	mm
	$t_w=$	21,0	mm
	$t_f=$	40,0	mm
	$r=$	27,0	mm
	$I_y=$	104 100	cm <sup>4</sup>
	$W_{pl,y}=$	5571	cm <sup>3</sup>
	$I_z=$	19 340	cm <sup>4</sup>
	$W_{pl,z}=$	1934	cm <sup>3</sup>
$A_{v,z}=$	110,2	cm <sup>2</sup>	
$I_t=$	1515	cm <sup>4</sup>	
$I_w=$	$7,410 \cdot 10^6$	cm <sup>6</sup>	



Slika 10.2. Statički sustav spregnutog nosača

Beton C30/37:

$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$

$E_{cm} = 33\,000 \text{ N/mm}^2$

Armatura:

$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$

$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ N/mm}^2$

Konstrukcijski čelik:

$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ N/mm}^2$

$E_a = 210\,000 \text{ N/mm}^2$

Moždanici

$f_u = 450 \text{ N/mm}^2$

$d = 22 \text{ mm}$

$h_{sc} = 70 \text{ mm}$

### 10.1.3.1 Djelovanja

Faza izvedbe:

Spregnuta betonska ploča

$g_{c,1} = 2,14 \text{ kN/m}^2$

Profilirani čelični lim

$g_p = 0,11 \text{ kN/m}^2$

Čelični nosač (HE 400 M)

$g_n = 0,84 \text{ kN/m}^2$

Ukupno:

$\Sigma g_{k,1} = 3,09 \text{ kN/m}^2$

Servisno opterećenje:

$q_{k,1} = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Druga faza-korištenje:

Spregnuta betonska ploča

$g_{c,2} = 2,10 \text{ kN/m}^2$

Profilirani čelični lim

$g_p = 0,11 \text{ kN/m}^2$

Čelični nosač (HE 400 M)

$g_n = 0,84 \text{ kN/m}^2$

Ukupno:

$\Sigma g_{k,2} = 3,05 \text{ kN/m}^2$

Slojevi poda

$\Delta g = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Pregradni zidovi

$g_{preg} = 0,70 \text{ kN/m}^2$

Instalacije

$g_{inst} = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Ukupno:

$\Sigma g_{k,3} = 2,7 \text{ kN/m}^2$

Korisno opterećenje:

$q_{k,2} = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje vjetrom malog je intenziteta pa se zanemaruje.

### 10.1.3.2 Proračun za granično stanje nosivosti

Čelični nosač nije poduprt tijekom izvođenja.

#### 10.1.3.2.1 Proračunski učinci djelovanja

Faza izvedbe

$$e_d = b \cdot (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) = 3 \cdot (1,35 \cdot 3,09 + 1,5 \cdot 0,75) = 15,9 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed}^{oslonac} = -\frac{e_d \cdot l^2}{12} = -\frac{15,9 \cdot 12^2}{12} = -191 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{polje} = \frac{e_d \cdot l^2}{24} = \frac{15,9 \cdot 12^2}{24} = 95,4 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{e_d \cdot l}{2} = \frac{15,9 \cdot 12}{2} = 95,4 \text{ kN}$$

Druga faza-korištenje

$$e_d = b \cdot (\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) = 3 \cdot (1,35 \cdot 5,75 + 1,5 \cdot 3,0) = 36,7 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed}^{oslonac} = -\frac{e_d \cdot l^2}{12} = -\frac{36,7 \cdot 12^2}{12} = -440 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{polje} = \frac{e_d \cdot l^2}{24} = \frac{36,7 \cdot 12^2}{24} = 220 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{e_d \cdot l}{2} = \frac{36,7 \cdot 12}{2} = 220 \text{ kN}$$

#### 10.1.3.2.2 Proračun za fazu izvedbe

##### 10.1.3.2.2.1 Klasifikacija poprečnog presjeka

Hrbat:

$$c = h - 2(t_f + r) = 432 - 2(40 + 27) = 298 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 21 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu I:

$$\frac{c}{t_w} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = 26,73$$

$$\frac{298}{21} = 14,19 < 26,73 \quad \text{Hrbat je klase I!}$$

Pojasnica:

$$c = \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2} = \frac{307 - 21 - 2 \cdot 27}{2} = 116 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 40 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu I:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

$$\frac{116}{40} = 2,90 < 7,29 \quad \text{Pojasnica je klase I!}$$

Poprečni pjesjek HE 400 M je klase I!

### 10.1.3.2.2 Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost na savijanje:

Oko osi y:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,y} = \frac{W_{pl,Rd} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5571 \cdot 35,5}{1,0} = 197\,771 \text{ kNcm} = 1978 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{191}{1978} = 0,10 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Posmična otpornost:

Provjera izbočavanja hrpta na posmik u smjeru z:

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

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 432 - 2 \cdot 40 = 352 \text{ mm}$$

za valjane profile  $\eta=1,2$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{352}{21} = 16,76 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,81}{1,2} = 48,6 \quad \text{Ne dolazi do izbočavanja hrpta!}$$

Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{110,2 \cdot (35,5/\sqrt{3})}{1,0} = 2259 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{95,4}{2259} = 0,04 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Interakcija M/V:

Smanjena otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu i moment savijanja ne dolazi ukoliko je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$V_{z,Ed} = 95,4 \text{ kN} < 0,5 \cdot 2259 = 1130 \text{ kN} \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

### 10.1.3.2.3 Otpornost elementa

Otpornost elementa na savijanje:

Elastični kritični moment:

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

Pri čemu je:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{21\,000}{2(1+0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Vrijednost koeficijenta  $C_1$  i  $C_2$

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

$$C_1=2,578 \quad C_2=1,554$$

Stoga vrijedi:

$$M_{cr} = 2,578 \frac{\pi^2 \cdot 4,061 \cdot 10^8}{600^2} \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{7,410 \cdot 10^6}{19340} + \frac{600^2 \cdot 1,224 \cdot 10^7}{\pi^2 \cdot 4,061 \cdot 10^8} + (1,554 \cdot 21,6)^2} - (1,554 \cdot 21,6) \right]$$

$$M_{cr} = 310\,651 \text{ kNcm} = 3107 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vitkost:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{5571 \cdot 35,5}{310651}} = 0,798$$

Pomoćna veličina:

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,21 \cdot (0,798 - 0,2) + 0,798^2 \right] \\ &= 0,881 \end{aligned}$$

Vrijednost koeficijenta redukcije iznosi:

$$\chi_{LZ} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,881 + \sqrt{0,881^2 - 0,798^2}} = 0,797$$

Otpornost na savijanje:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot \frac{5571 \cdot 35,5}{1,1} = 143\,294 \text{ kNcm} = 1433 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{191}{1433} = 0,13 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

### 10.1.3.2.3 Proračun za drugu fazu-korištenje

#### 10.1.3.2.3.1 Pozitivni moment savijanja

Efektivna širina betonske pojasnice u polju:

$$b_{eff} = b_0 + b_{e1} + b_{e2}$$

$$b_0 = 0$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \frac{L_e}{8} = \frac{0,7 \cdot L}{8} = \frac{0,7 \cdot 12}{8} = 1,05 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 0 + 1,05 + 1,05 = 2,10 \text{ m} < b = 3,0 \text{ m}$$

Položaj neutralne osi:

Ako je  $N_{c,f} > N_{pl,a}$ , plastična neutralna os se nalazi u betonskoj pojasnici:

$$b_{eff} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} > A_a \cdot f_{yd}$$

$$2,1 \cdot 0,05 \cdot 0,85 \cdot 2,0 = 1785 \text{ kN} < 325,8 \cdot 35,5 = 11566 \text{ kN}$$

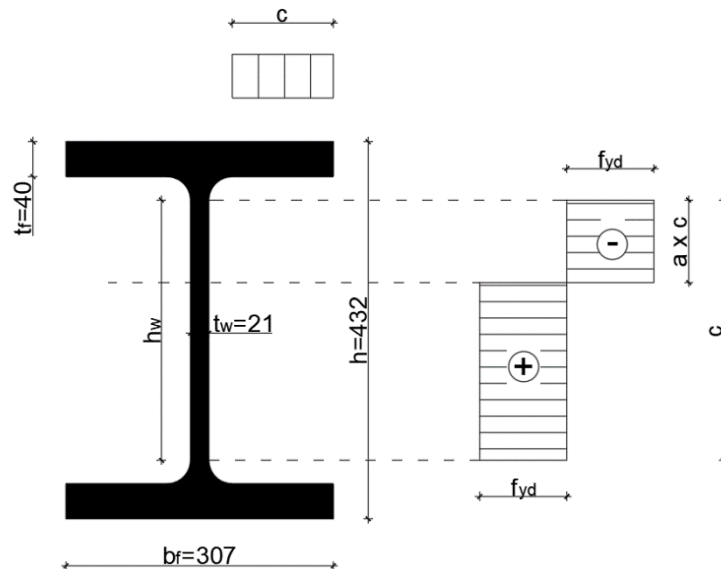
Plastična neutralna os ne nalazi se u betonskoj pojasnici.

Nova pretpostavka, neutralna os se nalazi u hrptu čeličnog nosača:

$$x_{pl} = h_c + h_p + t_f + \frac{A_a - 2 \cdot b \cdot t_f}{2 \cdot t_w} + \frac{b_{eff} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}}{2 \cdot t_w \cdot f_{yd}}$$

$$x_{pl} = 5,0 + 5,0 + 4,0 + \frac{325,8 - 2 \cdot 30,7 \cdot 4,0}{2 \cdot 2,1} - \frac{210 \cdot 5,0 \cdot 0,85 \cdot 2,0}{2 \cdot 2,1 \cdot 35,5} = 21,12 \text{ cm}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:



Slika 10.3. Raspodjela naprezanja za klasifikaciju poprečnog presjeka

Hrbat:

$$c = h - 2(t_f + r) = 432 - 2(40 + 27) = 298 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 21 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu I:

$$\alpha = \frac{c_c}{c} = \frac{4,42}{29,8} = 0,148$$

$$\frac{c}{t_w} \leq \frac{36 \cdot \varepsilon}{\alpha} = \frac{36 \cdot 0,81}{0,148} = 197,0$$

$$\frac{298}{21} = 14,19 < 197,0$$

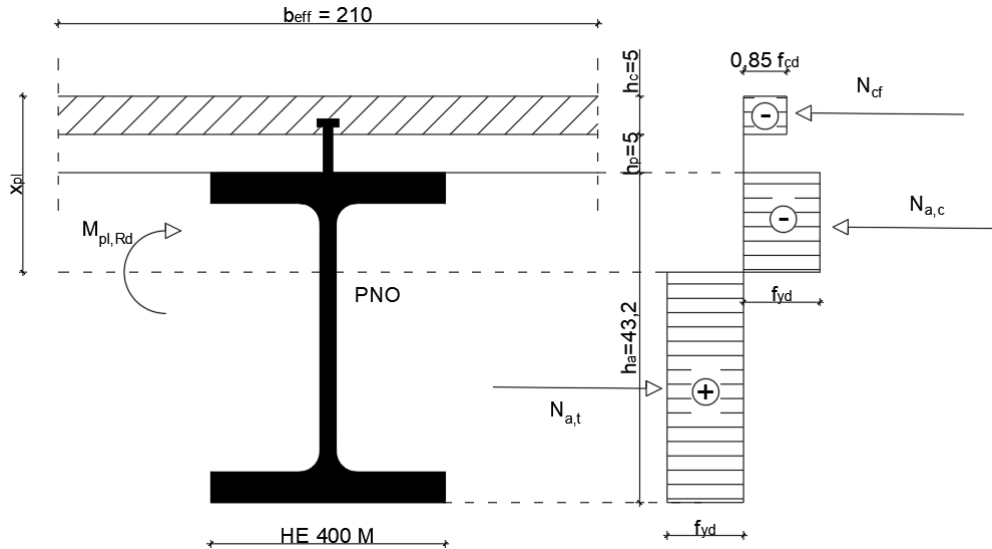
Hrbat je klase I!

Pojasnica:

Pojasnica je u fazi izvedbe čeličnog nosača klasificirana u klasu jedan, ona je također klasa jedan i u spregnutom stanju.

Spregnuti poprečni presjek je klase I!

Plastični moment otpornosti:



Slika 10.4. Određivanje savojne otpornosti u području pozitivnog momenta

$$M_{pl,Rd} = A_a f_{yd} \left( z + h_p \frac{h_c}{2} \right) - t_w f_{yd} (x_{pl} - h_c - h_p - t_f) (x_{pl} + h_p - t_f) - b t_f f_{yd} (h_c + 2h_p + t_f)$$

$$M_{pl,Rd} = 11566 \left( 21,6 + 5 \frac{5}{2} \right) - 142(21,12 - 5 - 5 - 4)(21,12 + 5 + 4) - 4359,4(5 + 10 + 5)$$

$$M_{pl,Rd} = 223\,289 \text{ kNcm} = 2233 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{220}{2233} = 0,10 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Interakcija M/V:

Poprečna sila je u sredini raspona nula, nema interakcije M/V.

#### 10.1.3.2.3.2 Područje negativnog momenta savijanja

Efektivna širina betonske pojasnice nad ležajem:

$$b_{eff} = b_0 + b_{e1} + b_{e2}$$

$$b_0 = 0$$

$$b_{e1} = b_{e2} = \frac{L_e}{8} = \frac{0,25 \cdot L}{8} = \frac{0,7 \cdot 12}{8} = 0,375 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 0 + 0,375 + 0,375 = 0,75 \text{ m} < b = 3,0 \text{ m}$$



Minimalna armatura:

Unutar efektivne širine spregnutog presjeka, propisuje se minimalna armatura koja treba zadovoljiti sljedeći uvjet:

$$A_s \geq \rho_s \cdot A_c$$

$$A_s = 3,68 \text{ cm}^2 \quad (\phi 10/16 \text{ cm})$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 75 \cdot 5 = 375 \text{ cm}^2$$

$$n_0 = \frac{E_a}{E_{cm}} = \frac{21000}{3300} = 6,36$$

$$\frac{b_{eff}}{n_0} = \frac{75}{6,36} = 11,79$$

Površina idealnog poprečnog presjeka:

$$A = A_a + \frac{b_{eff,2}}{n_0} \cdot h_c = 325,8 + \frac{75}{6,36} \cdot 5 = 384,76 \text{ cm}^2$$

Udaljenost između neutralne osi i težišta čeličnog presjeka:

$$z_{n0} = \frac{\frac{b_{eff,2}}{n_0} \cdot h_c \left( \frac{h_a}{2} \cdot \frac{h_c}{2} + h_p \right)}{A} = \frac{\frac{75 \cdot 5}{6,36} \left( \frac{43,2}{2} \cdot \frac{5}{2} + 5 \right)}{384,76} = 4,46 \text{ cm}$$

Udaljenost težišta neraspucane betonske pojasnice i neraspucanog spregnutog presjeka:

$$z_0 = \left( \frac{h_a}{2} \cdot \frac{h_c}{2} + h_p \right) - z_{n0} = \left( \frac{43,2}{2} \cdot \frac{5}{2} + 5 \right) - 4,46 = 24,64$$

Koeficijent  $k_c$  koji uzima u obzir raspodjelu naprezanja unutar presjeka neposredno prije raspucavanja:

$$k_c = \frac{1}{1 + h_c/(2z_0)} = \frac{1}{1 + 5/(2 \cdot 24,64)} = 0,908 < 1,0$$

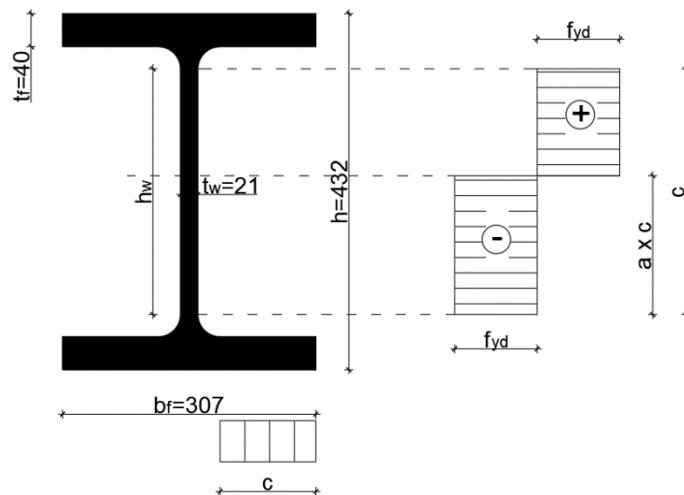
$$\rho_s = \delta \cdot \frac{f_y}{235} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{sk}} \sqrt{k_c} = 1,0 \cdot \frac{355}{235} \cdot \frac{2,9}{500} \sqrt{0,908} = 0,00835 \rightarrow 0,835\%$$

$$A_s = 3,68 \text{ cm}^2 \geq \rho_s \cdot A_c = 0,00835 \cdot 75 \cdot 5 = 3,13 \text{ cm}^2 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Klasifikacija poprečnog presjeka:

Pomak neutralne osi iz težišta čeličnog profila za iznos  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{A_s \cdot f_{sd}}{2 \cdot t_w \cdot f_{yd}} = \frac{3,68 \cdot 43,5}{2 \cdot 2,1 \cdot 35,5} = 1,07 \text{ cm}$$



Slika 10.5. Raspodjela naprezanja za klasifikaciju poprečnog presjeka

Hrbat:

$$c = h - 2(t_f + r) = 432 - 2(40 + 27) = 298 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 21 \text{ mm}$$

Uvjet za klasu I:

$$\alpha = \frac{c_c}{c} = \frac{15,97}{29,8} = 0,54$$

$$\frac{c}{t_w} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,54 - 1} = 53,28$$

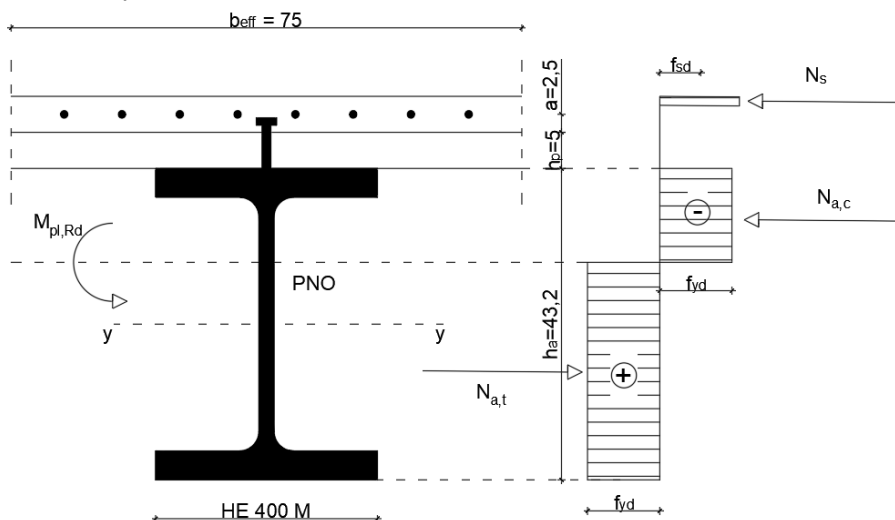
$$\frac{298}{21} = 14,19 < 53,28 \quad \text{Hrbat je klase I!}$$

Pojasnica:

Pojasnica je u fazi izvedbe čeličnog nosača klasificirana u klasu jedan, ona je također i u ovom slučaju klase jedan.

Spregnuti poprečni presjek je klase II!

Plastični moment otpornosti:



Slika 10.6. Određivanje savojne otpornosti u području negativnog momenta

$$M_{pl,Rd} = M_{pl,a,Rd} + A_s \cdot f_{sd}(z + a) - \frac{(A_s \cdot f_{sd})^2}{4 \cdot t_w \cdot f_{yd}}$$

$$M_{pl,Rd} = 5571 \cdot 35,5 + 3,68 \cdot 43,5(21,6 + 7,5) - \frac{(3,68 + 43,5)^2}{4 \cdot 2,1 \cdot 35,5} = 202\,343 \text{ kNm}$$

$$= 2023 \text{ kNm}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{440}{2023} = 0,22 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Posmična otpornost:

Provjera izbočavanja hrpta na posmik u smjeru z:

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

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 432 - 2 \cdot 40 = 352 \text{ mm}$$

za valjane profile  $\eta = 1,2$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{352}{21} = 16,76 < 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,81}{1,2} = 48,6 \quad \text{Ne dolazi do izbočavanja hrpta!}$$

Plastična posmična otpornost:

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{110,2 \cdot (35,5 / \sqrt{3})}{1,0} = 2259 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{220}{2259} = 0,10 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Interakcija M/V:

Smanjena otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu silu i moment savijanja ne dolazi ukoliko je zadovoljen slijedeći uvjet:

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

$$V_{z,Ed} = 220 \text{ kN} < 0,5 \cdot 2259 = 1130 \text{ kN} \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

### 10.1.3.2.3 Proračunska otpornost i raspored moždanika

Otkazivanje preko moždanika:

$$p_{Rd}^s = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / 4}{\gamma_{Va}} = \frac{0,8 \cdot 45 \cdot \pi \cdot 2,2^2 / 4}{1,25} = 110 \text{ kN}$$

Otkazivanje preko betona:

$$p_{Rd}^c = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_{Vc}}$$

$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{70}{22} = 3,18 < 4 \rightarrow \alpha = 0,2 \left( \frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) = 0,2 \left( \frac{70}{22} + 1 \right) = 0,836$$

$$p_{Rd}^c = \frac{0,29 \cdot 0,836 \cdot 2,2^2 \cdot \sqrt{3,0 \cdot 3300}}{1,5} = 77,8 \text{ kN}$$

Rebra profiliranog lima okomita na nosač:

$$p_{t,Rd} = k_t \cdot \min(p_{Rd}^a; p_{Rd}^c)$$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \left( \frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq k_{t,max}$$

$$\text{za: } n_r = 1; b_0 = 11 \text{ cm}; h_p = 5 \text{ cm}; h_{sc} = 7 \text{ cm}; d = 22 \text{ mm}; t_{lim} = 0,85 \text{ cm} \rightarrow k_{t,max} = 0,75$$

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{1}} \cdot \frac{11}{5} \left( \frac{7}{5} - 1 \right) = 0,616 < k_{t,max} = 0,75 \rightarrow k_t = 0,616$$

$$p_{t,Rd} = 0,616 \cdot \min(110; 77,8) = 0,616 \cdot 77,8 = 47,9 \text{ kN}$$

Potreban broj moždanika:

$$n_s = \frac{N_{cf}}{p_{t,Rd}} = \frac{b_{eff} \cdot h_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}}{p_{t,Rd}} = \frac{210 \cdot 5 \cdot 0,85 \cdot 2}{47,9} = 37,3 \approx 38 \text{ moždanika}$$

Broj rebara uzduž nosača:

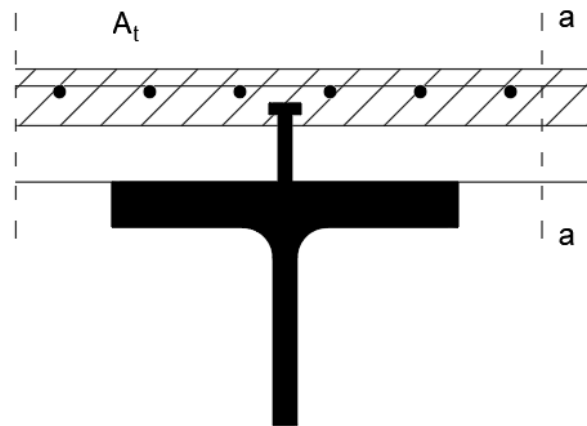
$$n_r = \frac{L}{b_s} = \frac{12\,000}{150} = 80$$

$$n_r(\text{za } L/2) = 40 > n_s = 38$$

Za prijenos pune posmične veze, u svako rebro profiliranog lima uzduž nosača postavlja se po jedan moždanik.

Napomena: *EC4 propisuje mogućnost ostvarenja djelomične posmične veze u području pozitivnog momenta savijanja uz dovoljnu duktilnost armature u području negativnog momenta. Razmatrana građevina nalazi se u seizmički osjetljivom području, te područje pozitivnog odnosno negativnog momenta savijanja varira. Zbog toga se ne razmatra mogućnost ostvarenja djelomične posmične veze.*

## 10.1.3.2.3.4 Provjera na uzdužni posmik betonske pojasnice



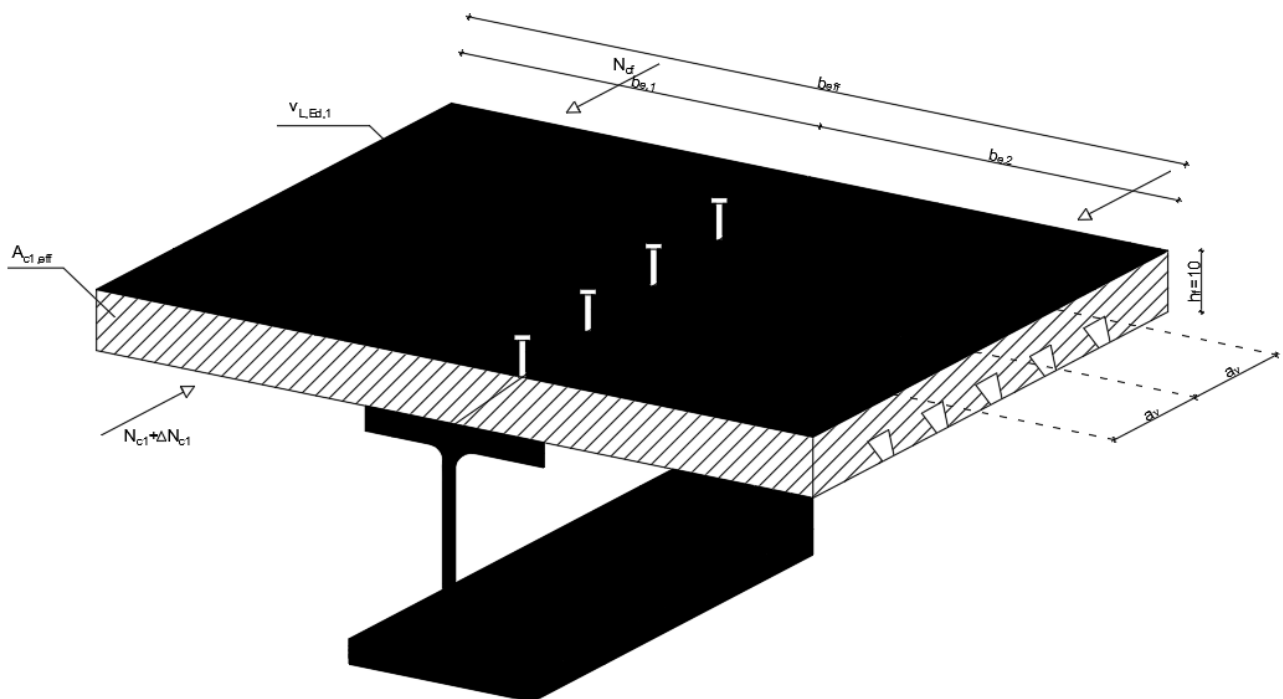
Slika 10.7. Potencijalna posmična površina sloma

Provjera poprečne armature na os nosača:

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \cdot f_{sd} \geq v_{L,Ed} \cdot \frac{h_f}{\cot\theta}$$

Kad je betonska pojasnica u tlaku, uzdužni posmik može se odrediti kao:

$$v_{L,Ed} = \frac{\Delta N_{c1}}{\alpha_v} = \frac{v_{L,Ed} A_{c1,eff}}{\alpha_v A_{c,eff}}$$



Slika 10.8. Određivanje uzdužnog posmika u betonskoj pojasnici

Razmatra se središnje područje nosača, odnosno područje pozitivnog momenta:

$$v_{Ed} = \min(N_{pl,a}; N_c; \sum P_{Rd})$$

$$v_{Ed} = \min(11566; 1785; 1916)$$

$$\alpha_v = 150 \text{ mm}$$

$$v_{L,Ed} = N_{cf} = 1785 \text{ kN}$$

$$v_{L,Ed} = \frac{\Delta N_{c1}}{h_f \cdot \alpha_v} = \frac{v_{L,Ed}}{2 \cdot h_f \cdot \alpha_v} = \frac{44,63 \cdot 10^3}{2 \cdot 50 \cdot 150} = 2,98 \text{ N/mm}^2$$

Kut između betonskog tlačnog štapa i osi grede okomito na poprečnu silu:

$$\theta = 26,5^\circ$$

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{L,Ed}}{f_{sd}} \cdot \frac{h_f}{\cot\theta}$$

$$\frac{v_{L,Ed}}{f_{sd}} \cdot \frac{h_f}{\cot\theta} = \frac{2,98}{435} \cdot \frac{50}{\cot 26,5} \cdot 10^3 = 171 \text{ mm}^2/m$$

Zahtjev minimalne armature izražen preko udjela površine betonskog presjeka:

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yr,k}} = \frac{0,08\sqrt{30}}{500} = 0,000876$$

$$A_c = h_c \cdot b = 50 \cdot 1000 = 50000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = \rho_{w,min} \cdot A_c = 0,000876 \cdot 50000 = 43,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{prov} = 491 \text{ mm}^2 > A_{s,min} 43,8 \text{ mm}^2 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Slom betonske pojasnice:

Kako bi se izbjegao slom betonskih tlačnih dijagonala, treba bit zadovoljeno:

$$v_{L,Ed} \leq V_{Rd}$$

$$v_{L,Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta \quad \text{gdje je } v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

$$v_{Rd} = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) \cdot 20 \cdot \sin 26,5^\circ \cdot \cos 26,5^\circ = 4,22 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{v_{L,Ed}}{v_{Rd}} = \frac{2,98}{4,22} = 0,71 \leq 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

### 10.1.3.3 Granično stanje uporabljivosti

#### 10.1.3.3.1 Proračun progiba za fazu izvedbe

Granične vrijednosti progiba iznose:

$$\delta_{tot} \geq \frac{L}{250} \quad \delta_{var} \geq \frac{L}{300}$$

Progib zbog stalnog i promjenjivog djelovanja:

$$e_d = b \cdot (\gamma_G \cdot g_{k,1} + \gamma_Q \cdot q_{k,1}) = 3 \cdot (1,0 \cdot 3,09 + 1,0 \cdot 0,75) = 11,52 \text{ kN/m}$$

$$E_a I_a = 218610 \text{ kNm}^2$$



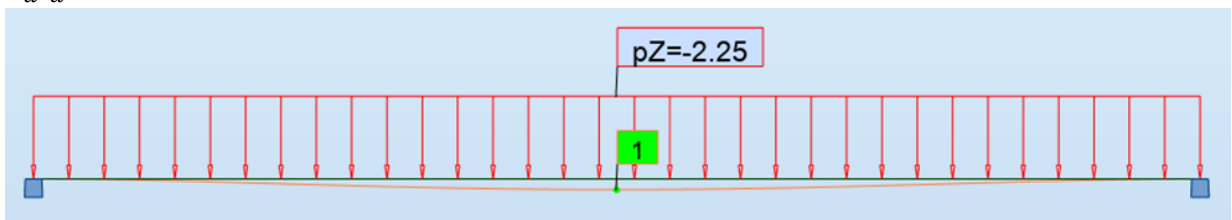
Slika 10.9. Progib tijekom izvedbe za sveukupno opterećenje

$$\delta_{tot} = 3,0 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{12000}{250} = 48 \text{ mm}$$

Progib zbog korisnog djelovanja:

$$e_d = b \cdot (\gamma_Q \cdot q_{k,1}) = 3 \cdot (1,0 \cdot 0,75) = 2,25 \text{ kN/m}$$

$$E_a I_a = 218610 \text{ kNm}^2$$



Slika 10.10. Progib tijekom izvedbe za servisno opterećenje

$$\delta_{var} = 1,0 \text{ mm} < \frac{L}{300} = \frac{12000}{300} = 40 \text{ mm}$$

Oba zahtjeva graničnog progiba tijekom faze izvedbe su ispunjena!

#### 10.1.3.3.2 Proračun progiba za drugu fazu-korištenje

Proračun koeficijenta puzanja:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{b \cdot h_c}{b} = h_c = 50 \text{ mm}$$

Relativna vlažnost RH 50%, razred betona C30/35 i razred cementa S, koeficijenti puzanja je:

$$\varphi_t = \varphi(\infty, t_o = 1 \text{ dan}) = 4,9$$

$$\varphi_t = \varphi(\infty, t_o = 28 \text{ dan}) = 2,8$$

Efektivna krutost spregnutog presjeka:

$$EI = E_a \cdot I_a + E_L \cdot I_c + \frac{E_a \cdot A_a \cdot E_L \cdot A_c}{E_a \cdot A_a + E_L \cdot A_c} \cdot a^2$$

Kratkokrajno opterećenje

$$E_a = 21000 \text{ kN/cm}^2 \quad I_a = 104100 \text{ cm}^4 \quad A_a = 325,8 \text{ cm}^2$$

$$I_c = \frac{b_{eff} \cdot h_c^3}{12} = \frac{210 \cdot 5^3}{12} = 2187,5 \text{ cm}^4$$

$$A_c = b_{eff} \cdot h_c = 210 \cdot 5 = 1050 \text{ cm}^2$$

Udaljenost težišne osi betonske pojasnice i čeličnog nosača:

$$a = \frac{h_a}{2} + h_p + \frac{h_c}{2} = \frac{43,2}{2} + 5 + \frac{5}{2} = 29,10 \text{ cm}$$

$$n_c = 1$$

$$EI_0 = 21000 \cdot 104100 + 3300 \cdot 2187,5 + \frac{21000 \cdot 325,8 \cdot 3300 \cdot 1050}{21000 \cdot 325,8 + 3300 \cdot 1050} \cdot 29,10^2$$

$$EI_0 = 4141080096 \text{ kNcm}^2 = 414109 \text{ kNm}^2$$

Konstantno stalno opterećenje:

$$n_c = 1 + 1,10 \cdot \varphi(\infty, t_o) = 1 + 1,10 \cdot 2,8 = 4,08$$

$$E_p = \frac{E_{cm}}{n_c} = \frac{3300}{4,08} = 809 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad E_L = E_p$$

$$EI_p = 21000 \cdot 104100 + 809 \cdot 2187,5 + \frac{21000 \cdot 325,8 \cdot 809 \cdot 1050}{21000 \cdot 325,8 + 809 \cdot 1050} \cdot 29,10^2$$

$$EI_p = 2827747786 \text{ kNcm}^2 = 282775 \text{ kNm}^2$$

Sekundrani učinci zbog skupljanja:

$$n_c = 1 + 1,10 \cdot \varphi(\infty, t_o) = 1 + 0,55 \cdot 4,9 = 3,70$$

$$E_s = \frac{E_{cm}}{n_c} = \frac{3300}{3,70} = 892 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad E_L = E_p$$

$$EI_s = 21000 \cdot 104100 + 892 \cdot 2187,5 + \frac{21000 \cdot 325,8 \cdot 892 \cdot 1050}{21000 \cdot 325,8 + 892 \cdot 1050} \cdot 29,10^2$$

$$EI_s = 2885673355 \text{ kNcm}^2 = 288567 \text{ kNm}^2$$

Utjecaj raspucavanja betona:

$$A_s = 3,68 \text{ cm}^2 \quad A_a = 325,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = A_s + A_a = 3,68 + 325,8 = 329,48 \text{ cm}^2$$

Udaljenost težišta raspucalog betona i vrha betonske pojasnice:

$$e_{st} = \frac{A_s \cdot z_s + A_s(h_c + h_p + h_s/2)}{A_{st}} = \frac{3,68 \cdot 2,5 + 325,8(5 + 5 + 21,6)}{329,48} = 31,27 \text{ cm}$$

Udaljenost neutralne osi i težišta čeličnog presjeka:

$$a_a = \frac{h_a}{2} + h_p + h_c - e_{st} = \frac{43,2}{2} + 5 + 5 - 31,27 = 0,33 \text{ cm}$$



Udaljenost neutralne osi i težišta armature:

$$a_s = \frac{h_a}{2} + h_p + h_c - e_{st} - z_{si} = \frac{43,2}{2} + 5 + 5 - 0,33 - 2,5 = 28,77 \text{ cm}$$

Moment tromosti efektivnog presjeka zanemarujući beton u vlaknu, a s uzimanjem u obzir armature:

$$I_{st} = I_2 = I_a + A_s \cdot z_s^2 + A_a (h_c + h_p + h_a/2)^2 - A_{st} \cdot e_{st}^2$$

$$I_{st} = I_2 = 104100 + 3,68 \cdot 2,5^2 + 3,25,8(5 + 5 + 43,2/2)^2 - 329,48 \cdot 29,10^2$$

$$I_{st} = 150447 \text{ cm}^4$$

Reducirana savojna krutost:

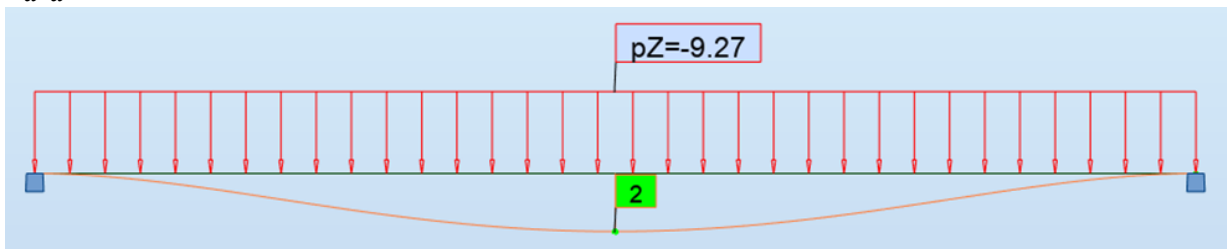
$$EI_{st} = E_a I_2 = 3159387000 \text{ kNcm}^2 = 315939 \text{ kNm}^2$$

Proračun progiba proveden je software-om. Područje raspucanog betona usvaja se na duljini od 15% raspona i to lijevo odnosno desno od svakog ležaja. U tom području primjenjuje se savojna krutost  $E_a I_a$ .

Progib neposredno nakon betoniranja:

$$e_d = b \cdot g_{k,1} = 3,0 \cdot 3,09 = 9,27 \text{ kN/m}$$

$$E_a I_a = 218610 \text{ kNm}^2$$



Slika 10.11. Progib neposredno nakon betoniranja

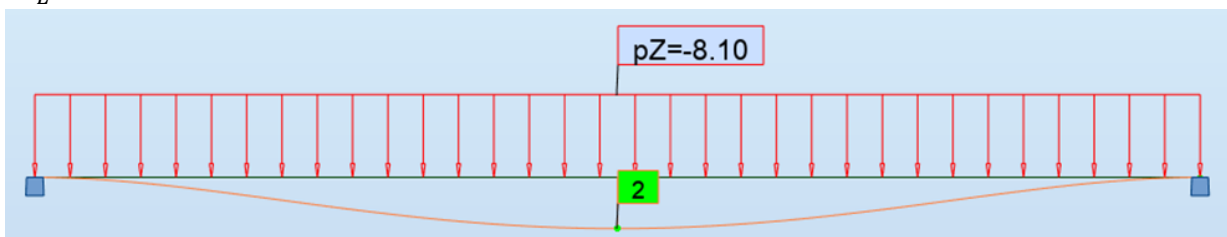
$$\delta_{1,1} = 2,0 \text{ mm}$$

Progib odmah nakon završetka izvođenja spregnutog nosača, tijekom prvog opterećenja:

$$e_d = b \cdot g_{k,3} = 3,0 \cdot 2,7 = 8,1 \text{ kN/m}$$

$$E_a I_2 = 2186100000 \text{ kNcm}^2 = 218610 \text{ kNm}^2$$

$$EI_L = 4141080096 \text{ kNcm}^2 = 414108 \text{ kNm}^2$$



Slika 10.12. Progib tijekom prvog opterećenja

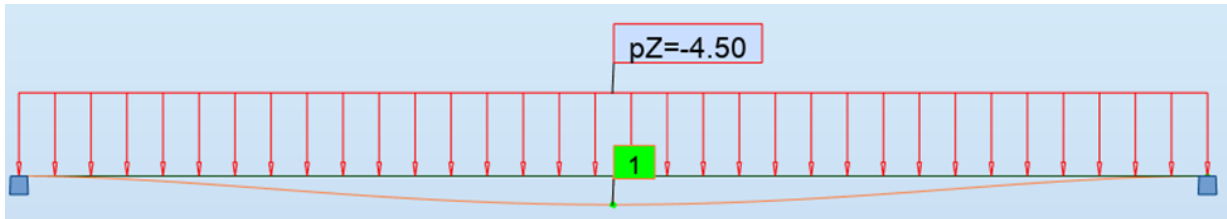
$$\delta_{1,2} = 2,0 \text{ mm}$$

Progib za čestu kombinaciju promjenjivog djelovanja, za kategoriju B, koeficijent  $\psi=0,5$

$$e_d = b \cdot \psi_1 \cdot g_{k,2} = 3,0 \cdot 0,5 \cdot 3,0 = 4,5 \text{ kN/m}$$

$$E_a I_2 = 2186100000 \text{ kNcm}^2 = 218610 \text{ kNm}^2$$

$$EI_L = 4141080096 \text{ kNcm}^2 = 414108 \text{ kNm}^2$$



Slika 10.13. Progib za čestu kombinaciju djelovanja

$$\delta_{2,1} = 1,0 \text{ mm}$$

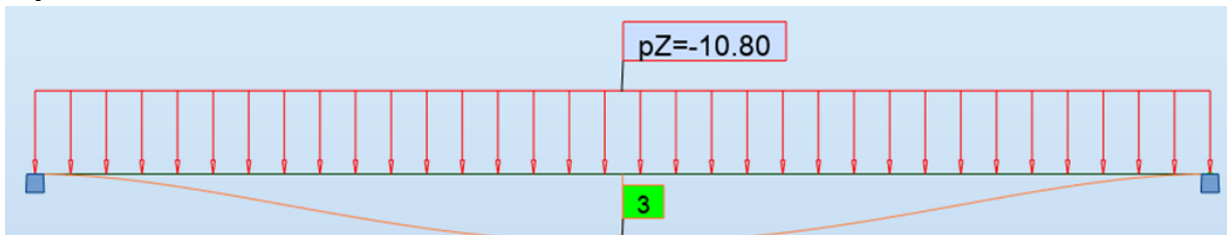
Progib uslijed puzanja pri nazovistalnoj kombinaciji:

$$e_d = b \cdot (g_{k,3} + \psi_2 \cdot g_{k,2}) = 3,0 \cdot (2,7 + 0,3 \cdot 3,0) = 10,8 \text{ kN/m}$$

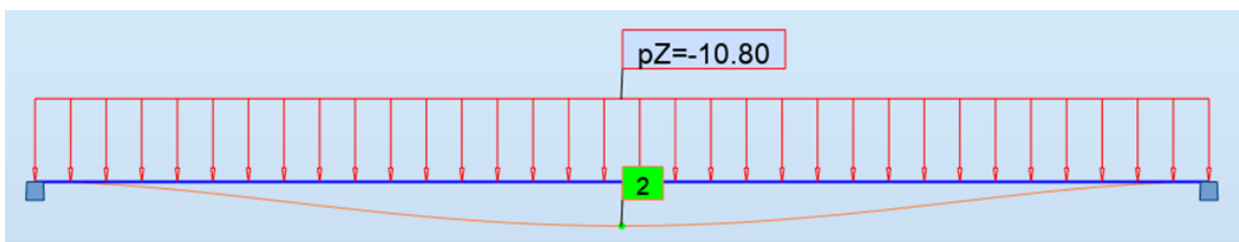
$$E_a I_2 = 2186100000 \text{ kNcm}^2 = 218610 \text{ kNm}^2$$

$$EI_L = 4141080096 \text{ kNcm}^2 = 414108 \text{ kNm}^2$$

$$EI_P = 2827747786 \text{ kNcm}^2 = 282775 \text{ kNm}^2$$



Slika 10.14. Progib zbog puzanja u vremenu  $t=\infty$  ( $E_L=EI_P$ )



Slika 10.15. Progib tijekom prvog opterećenja ( $E_L=EI_0$ )

$$\delta_{2,2} = 3,0 - 2,0 = 1,0 \text{ mm}$$

Progib zbog skupljanja:

$$N_{cs} = \varepsilon_{sc}(\infty) \cdot E_s \cdot A_c = 4,15 \cdot 10^{-4} \cdot 892 \cdot 210 \cdot 5 = 389 \text{ kN}$$

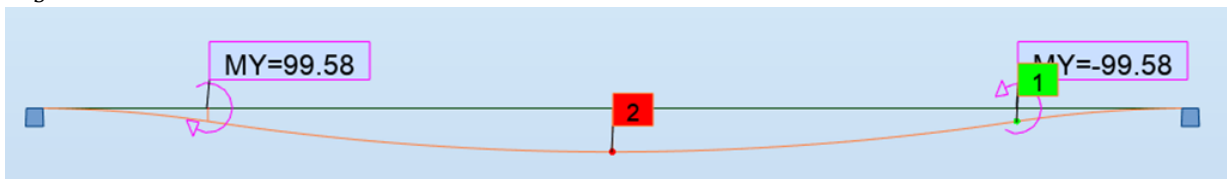
$$a_c = \frac{E_a \cdot A_a}{E_a \cdot A_a + E_s \cdot A_c} \cdot a = \frac{21000 \cdot 325,8}{21000 \cdot 325,8 + 892 \cdot 1050} \cdot 29,10 = 25,60 \text{ cm}$$

$$N_{cs} = \varepsilon_{cs}(\infty) \cdot E_s \cdot A_c = 4,15 \cdot 10^{-4} \cdot 892 \cdot 210 \cdot 5 = 389 \text{ kN}$$

$$M_{cs} = N_{cs} \cdot a_c = 389 \cdot 25,60 = 9958 \text{ kNcm} = 99,58 \text{ kNm}$$

$$E_a I_2 = 2186100000 \text{ kNcm}^2 = 218610 \text{ kNm}^2$$

$$EI_S = 2885673355 \text{ kNcm}^2 = 288567 \text{ kNm}^2$$



Slika 10.16. Progib zbog skupljanja

$$\delta_{2,3} = 2,0 \text{ mm}$$

Progib od stalnog opterećenja:

$$\delta_1 = \sum \delta_{1,i} = 2,0 + 2,0 = 4,0 \text{ mm}$$

Progib od korisnog opterećenja, puzanja i skupljanja:

$$\delta_2 = \sum \delta_{2,i} = 1,0 + 1,0 + 2,0 = 4,0 \text{ mm}$$

Ukupan progib uslijed svih djelovanja:

$$\delta_{tot} = \delta_1 + \delta_2 = 4,0 + 4,0 = 8,0 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{12000}{250} = 48 \text{ mm}$$

Ukupan progib zadovoljava uvjet graničnog progiba!

Ukupan progib od korisnog opterećenja:

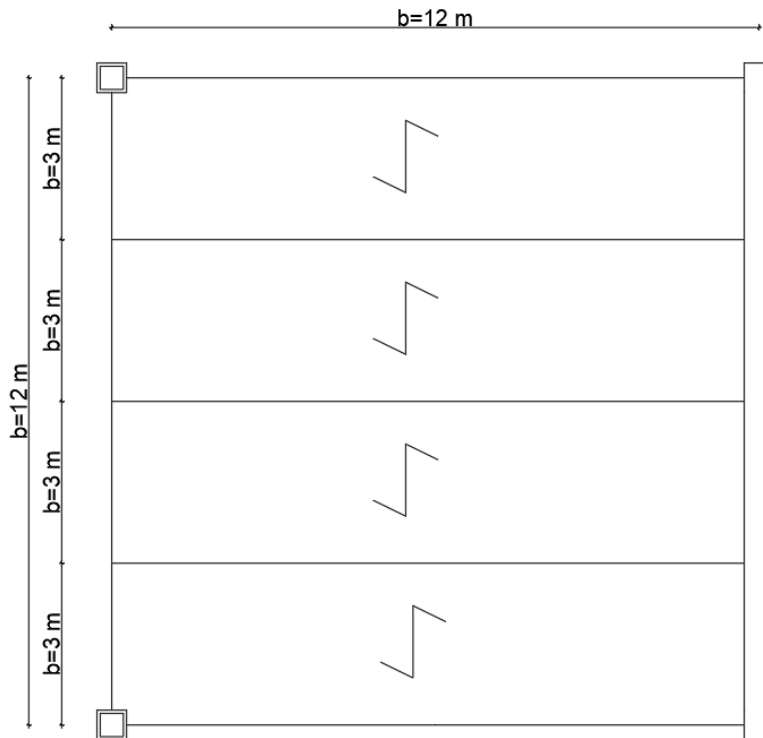
$$\delta_{var} = \delta_2 = 4,0 < \frac{L}{300} = \frac{12000}{300} = 40 \text{ mm}$$

Progib od korisnog opterećenja zadovoljava uvjet graničnog progiba!

USVOJEN PROFIL: HE 400 M

Napomena: Predviđeni nosač proračunski je relativno malo iskorišten, ali usvaja se radi zadovoljenja globalnog ponašanja konstrukcije.

## 10.1.4 Spregnuta ploča



Slika 10.17. Statički sutav i položaj spregnute ploče

## 10.1.4.1 Djelovanja

Faza izvedbe:

Betonska ploča	$g_{c,1}=2,14 \text{ kN/m}^2$
Profilirani lim	$g_p=0,11 \text{ kN/m}^2$
Ukupno:	$\Sigma g_k=2,25 \text{ kN/m}^2$

    Servisno opterećenje  $s_k=0,75 \text{ kN/m}^2$

Druga faza-korištenja

Betonska ploča	$g_{c,1}=2,10 \text{ kN/m}^2$
Profilirani lim	$g_p=0,11 \text{ kN/m}^2$
Slojevi poda	$\Delta g=1,5 \text{ kN/m}^2$
Pregradni zidovi	$g_{preg}=0,70 \text{ kN/m}^2$
Instalacije	$g_{inst}=0,50 \text{ kN/m}^2$
Ukupno:	$\Sigma g_k=4,91 \text{ kN/m}^2$

    Korisno opterećenje  $q_k=3,0 \text{ kN/m}^2$

### 10.1.4.2 Karakteristike materijala

Beton C30/37:

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$0,85 \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 20 = 17 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm} = 33\,000 \text{ N/mm}^2$$

Armatura:

$$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_c} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ N/mm}^2$$

Profilirani čelik lim:

$$t = 0,85 \text{ mm}$$

$$h_p = 50 \text{ mm}$$

$$A_p = A_{pe} = 14,18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I_p = 56,58 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$E_p = E_a = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yp,k} = 450 \text{ N/mm}^2$$

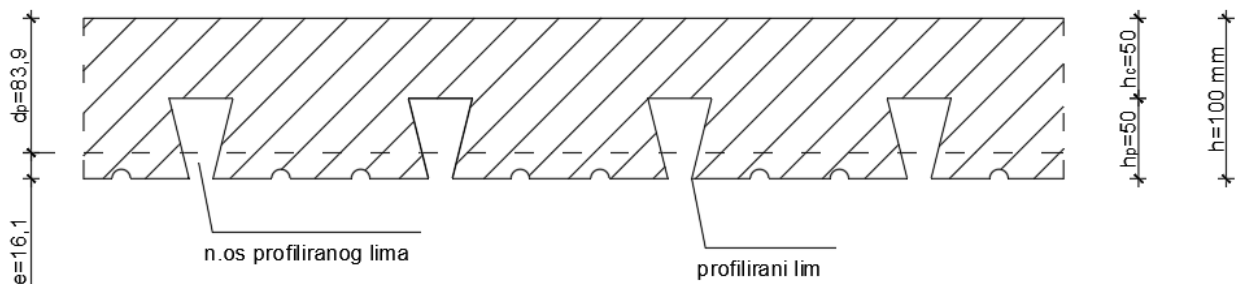
$$f_{yp,d} = \frac{f_{yp,k}}{\gamma_M} = \frac{450}{1,00} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Plastični moment otpora

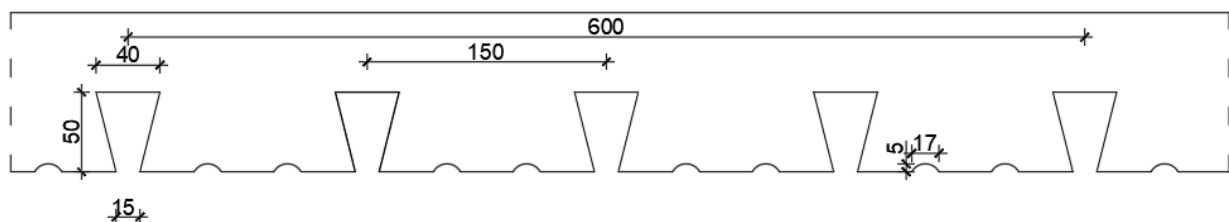
$$M_{pa,rk} = 450 \text{ kNm/m}$$

$$M_{RK} = 6,47 \text{ kNm/m}$$

### 10.1.4.3 Konstrukcijske pojedinosti



Slika 10.18. Poprečni presjek spregnute ploče



Slika 10.19. Profil i dimenzije profiliranog lima "Multideck 50"

### 10.1.4.3.1 Zahtijevana debljina ploče i minimalna armatura

Ukupna visina spregnute ploče:  $h > 80 \text{ mm} \rightarrow h = 100 \text{ mm}$  (zadovoljeno)

Debljina betonske pojasnice iznad gornje točke profiliranog lima:

$h_c > 40 \text{ mm} \rightarrow h_c = 50 \text{ mm}$  (zadovoljeno)

Omjer širine rebara profiliranog lima i razmaka rebara:

$$\frac{b_r}{b_s} \leq 0,6 \rightarrow \frac{40}{150} = 0,27 < 0,6 \text{ (zadovoljeno)}$$

Minimalna armatura u oba smjera ne bi smjela bit manja od:

$$A_{min} = 80 \text{ mm}^2/m$$

$$A_{min} = 0,004 \cdot h_c \cdot b = 0,004 \cdot 50 \cdot 1000 = 200 \text{ mm}^2/m \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Pretpostavka:  $\phi 10/160 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{1^2 \pi}{4} \cdot \frac{1000}{160} = 491 \text{ mm}^2/m > A_{min}$$

Razmak šipki armature:

$$e = 160 \text{ mm} < 2 \cdot h = 2 \cdot 100 = 200 \text{ mm ili } < 350 \text{ mm (zadovoljeno)}$$

### 10.1.4.3.2 Dužine oslanjanja i preklapanja limova

Tablica 10.6. Minimalne duljine oslanjanja profiliranog lima

Duljine ležajeva:	$l_{bs}$ (mm)	$l_{bc}$ (mm)
čelik ili beton	50	75
ostali materijali	70	100

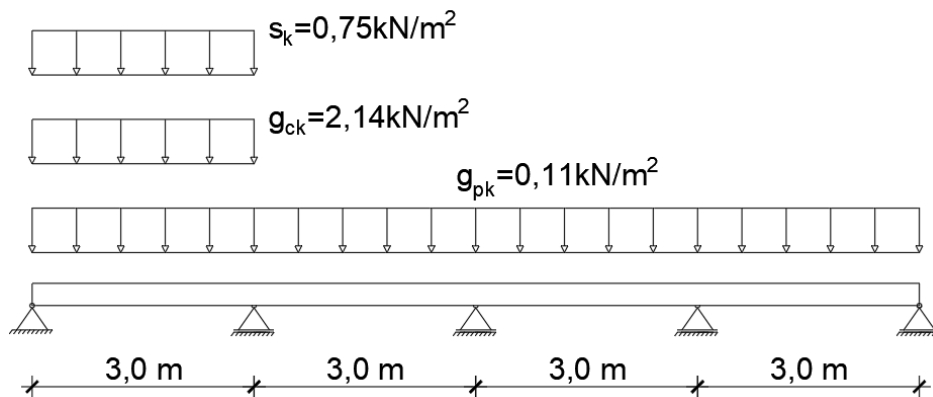
Kod spregnute ploče, minimalna duljina oslanjanja profiliranog lima na čelični ležaj iznosi  $l_{bs} = 50 \text{ mm}$  (tablica 10.6.). Spregnuta ploča se oslanja na čelične nosače HE 400 M, čija je gornja pojasnica ( $b_f = 307 \text{ mm}$ ) šira je od zahtijevanih  $50 \text{ mm}$ , stoga je ovaj uvjet zadovoljen.

### 10.1.4.4 Granično stanje nosivosti

#### 10.1.4.4.1 Faza izvedbe

Profilirani čelični lim djeluje kao oplata i nosi vlastitu težinu, težinu svježeg betona te servisno opterećenje. Statički sustav i djelovanja prikazana su na slici 10.20.

Maksimalni pozitivni moment savijanja:



Slika 10.20. Statički sustav i opterećenja za fazu izvedbe

$$e_{d,p} = \gamma_G \cdot q_{pk} = 1,35 \cdot 0,11 = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,c} = \gamma_G \cdot q_{ck} = 1,35 \cdot 2,14 = 2,89 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,s} = \gamma_Q \cdot s_k = 1,5 \cdot 0,75 = 1,13 \text{ kN/m}^2$$



Slika 10.21. Maksimalan pozitivni moment savijanja

Karakteristična vrijednost momenta otpornosti profiliranog lima propisana je od proizvođača. Dokaz pouzdanosti provodi se u skladu sa EN 1993-1-3, pa stoga vrijedi:

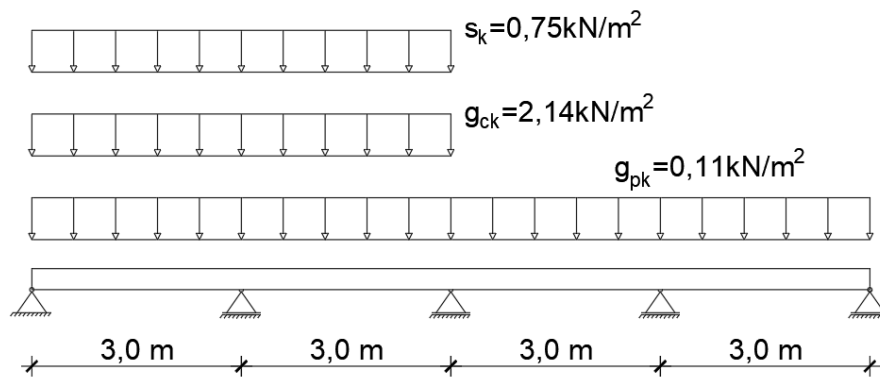
$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{MO}} = \frac{6,47}{1,0} = 6,47 \text{ kNm/m}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{3,50}{6,47} = 0,54 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

Maksimalni negativni moment savijanja:

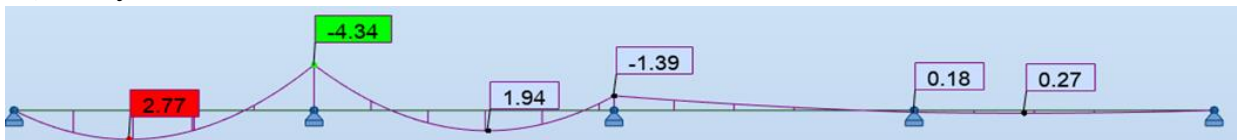


Slika 10.22. Statički sustav i opterećenja za fazu izvedbe

$$e_{d,p} = \gamma_G \cdot q_{pk} = 1,35 \cdot 0,11 = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,c} = \gamma_G \cdot q_{ck} = 1,35 \cdot 2,14 = 2,89 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,s} = \gamma_Q \cdot s_k = 1,5 \cdot 0,75 = 1,13 \text{ kN/m}^2$$



Slika 10.23. Maksimalan negativni moment savijanja

Karakteristična vrijednost momenta otpornosti profiliranog lima propisana je od proizvođača. Dokaz pouzdanosti provodi se u skladu s EN1993-1-3, pa stoga vrijedi:

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{MO}} = \frac{6,30}{1,0} = 6,30 \text{ kNm/m}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

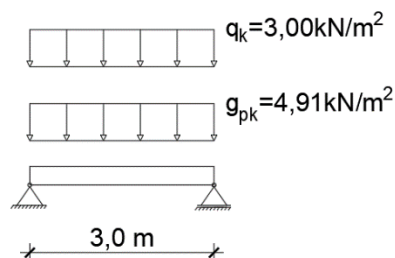
$$\frac{4,34}{6,30} = 0,69 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

#### 10.1.4.4.2 Druga faza-korištenje

Kontinuirana spregnute ploča promatra se kao niz jednostavno oslonjenih nosača.

##### 10.1.4.4.2.1 Djelovanja

Statički sustav i proračunsko opterećenje prikazao je na slici 8.24.



Slika 10.24. Statički sustav za konačno stanje



Proračunske vrijednosti unutarnjih sila:

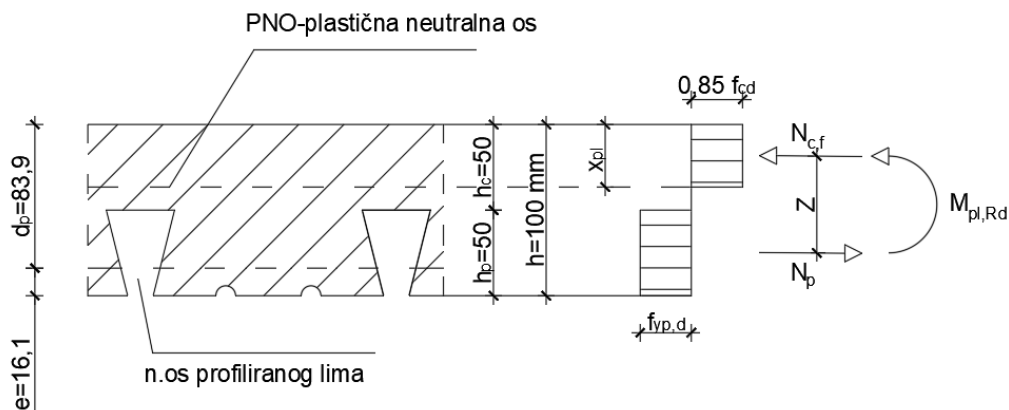
$$M_{ed} = \frac{(\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot L^2}{8}$$

$$M_{ed} = \frac{(1,35 \cdot 4,91 + 1,5 \cdot 3,0) \cdot 3,0^2}{8} = 12,52 \text{ kNm/m}$$

$$V_{ed} = \frac{(\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot L}{2}$$

$$V_{ed} = \frac{(1,35 \cdot 4,91 + 1,5 \cdot 3,0) \cdot 3,0}{2} = 16,69 \text{ kN/m}$$

#### 10.1.4.4.2 Otpornost poprečnog presjeka na savijanje



Slika 10.25. Poprečni presjek i raspodjela naprezanja spregnute ploče

Pretpostavka da se neutralna os nalazi iznad profiliranog čeličnog lima, raspodjela uzdužnih naprezanja prikazana je na slici 10.25. Proračunska vrijednost uzdužne sile  $N_{cf}$  iznosi:

$$N_{cf} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot h_c \cdot b \quad \text{gdje je } b = 1000 \text{ mm}$$

$$N_{cf} = 0,85 \cdot 20 \cdot 50 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} = 850 \text{ kN/m}$$

Proračunska vrijednost vlačne sile u profiliranom limu, koristeći karakteristike efektivne površine  $A_{pe}$  iznosi:

$$N_p = f_{yp,d} \cdot A_{pe}$$

$$N_p = 450 \cdot 1418 \cdot 10^{-3} = 638 \text{ kN/m}$$

Kako se  $N_p < N_{cf}$ , plastična neutralna os leži u betonskoj pojasnici. Proračunski moment otpornosti računa se prema raspodjeli naprezanja prikazanih na slici 10.25.

Položaj plastične neutralne osi u spregnutom presjeku  $x_{pl}$  je:

$$x_{pl} = \frac{A_p \cdot f_{yp,d}}{0,85 \cdot b \cdot f_{cd}} \quad b = 1000 \text{ mm širina ploče}$$

$$x_{pl} = \frac{1418 \cdot 450}{0,85 \cdot 1000 \cdot 20} = 37,5 \text{ mm} < h_c = 50 \text{ mm}$$

Proračunski moment otpornosti  $M_{pl,Rd}$  računa se kao:

$$M_{pl,Rd} = \min(N_{c,f}, N_p) \cdot z$$

$$M_{pl,Rd} = N_p \cdot \left( d_p - \frac{x_{pl}}{2} \right)$$

$$M_{pl,Rd} = 638 \cdot \left( 83,9 - \frac{37,5}{2} \right) \cdot 10^{-3} = 41,56 \text{ kNm/m}$$

Dokaz pouzdanosti:

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

$$\frac{12,52}{41,60} = 0,30 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

#### 10.1.4.4.2.3 Otpornost na uzdužni posmik

Zahtijevana posmična duljina za puno sprezanje određuje se kao:

$$N_c = \tau_{u,Rd} \cdot b \cdot L_x \leq N_{c,f}$$

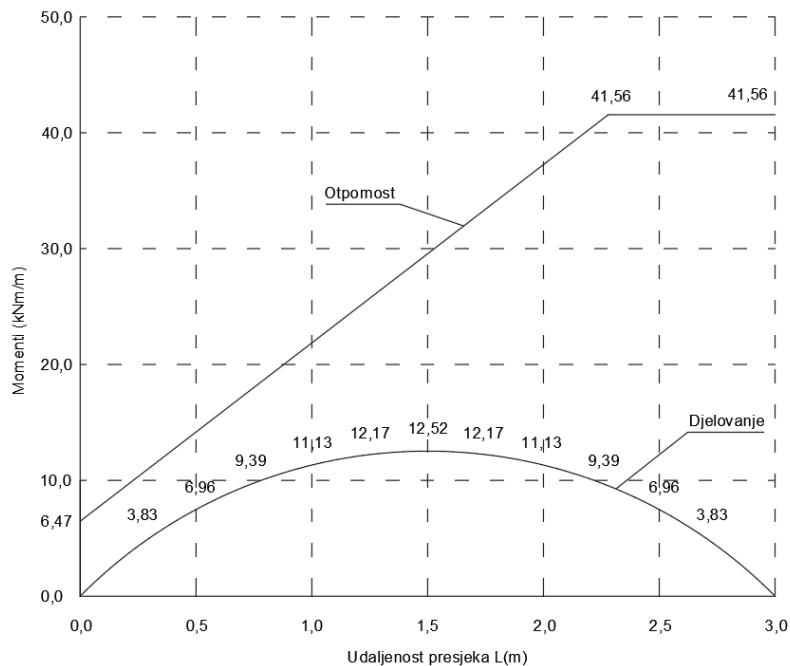
Proračunska posmična čvrstoća:

$$\tau_{u,Rd} = \frac{\tau_{u,Rk}}{\gamma_{vs}} = \frac{0,280}{1,0} = 0,280 \text{ N/mm}^2$$

Udaljenost do najbližeg ležaja,  $L_x$ , za ostavrenje pune posmične veze:

$$L_x = \frac{N_c}{b \cdot \tau_{u,Rd}} = \frac{A_p \cdot f_{yd}}{b \cdot \tau_{u,Rd}}$$

$$L_x = \frac{1418 \cdot 450}{1000 \cdot 0,280} = 2279 \text{ mm} > \frac{L}{2} = 1500 \text{ mm}$$



Slika 10.26. Dokaz nosivosti na uzdužni posmik

Uvjet nosivosti na uzdužni posmik je zadovoljen što se vidi na slici 10.26.

#### 10.1.4.4.2.4 Otpornost vertikalni posmik

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} \cdot k(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}) \cdot b_w \cdot d \geq v_{min} \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$V_{I,Rd} = I_{bs} \cdot \tau_{u,Rd} = 0,15 \cdot 280 = 42,0 \text{ kN/m}$$

Efektivna površina profiliranog lima:

$$A_{p*} = A_{pe} \cdot \frac{V_{I,Rd}}{A_{pe} \cdot f_{yd}} = \frac{V_{I,Rd}}{f_{yd}} = \frac{42,0}{45,0} = 0,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Statička visina spregnute ploče:

$$d = \frac{A_s \cdot f_{sd} \cdot e_s + A_{p*} \cdot f_{y,pd} \cdot (h_p + h_c - e)}{A_s \cdot f_{sd} + A_{p*} \cdot f_{y,pd}}$$

$$A_s = \phi 10/16 = \frac{1^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{100}{16} = 4,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$d = \frac{4,91 \cdot 43,5 \cdot 2,5 + 0,93 \cdot 45,0 \cdot (5,0 + 5,0 - 1,61)}{4,91 \cdot 43,5 + 0,93 \cdot 45,0} = 3,50 \text{ cm}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_p}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{35,0}} = 3,39 \quad k \leq 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

$$A_{s1} = A_s + A_{p*} = 4,91 + 0,93 = 5,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$b_w = (150 - 40) \cdot \frac{1000}{150} = 733 \text{ mm}$$

$$\rho_1 = \frac{584}{733 \cdot 35,0} = 0,0228 > 0,02 \rightarrow \rho_1 = 0,02$$

Proračunska vrijednost otpornosti na vertikalni posmik:

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2,0^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,542$$

$$v_{min} \cdot b_w \cdot d = 0,542 \cdot 733 \cdot 35,0 = 13905 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = (0,12 \cdot 2(100 \cdot 0,02 \cdot 30)^{1/3}) \cdot 733 \cdot 35,0 = 24105 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = 24105 \text{ N} > v_{min} \cdot b_w \cdot d = 13905 \text{ N}$$

Proračunska poprečna sila

$$V_{z,Ed} = g_d \cdot (0,5 \cdot L - x - d) = 11,13 \cdot (0,5 \cdot 3 - 0,15 - 0,035) = 14,64 \text{ kN}$$

Dokaz pouzdanosti:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} \leq 1,0$$

$$\frac{14,64}{24,11} = 0,61 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

### 10.1.4.5 Granično stanje uporabljivosti

#### 10.1.4.5.1 Provjera raspucalonsti betona

Minimalna armatura protiv raspucavanja betona mora biti najmanje 0,4 % poprečnog presjeka betona iznad čeličnog lima za nepoduprt način gradnje.

$$\min A_s = 0,004 \cdot b \cdot h_c = 0,004 \cdot 100 \cdot 5 = 2,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_s = \phi 10/16 = 4,91 \text{ cm}^2/\text{m} > \min A_s = 2,0 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

#### 10.1.4.5.2 Provjera veličine progiba

Proračun progiba može se zanemariti ako su ispunjena oba uvjeta:

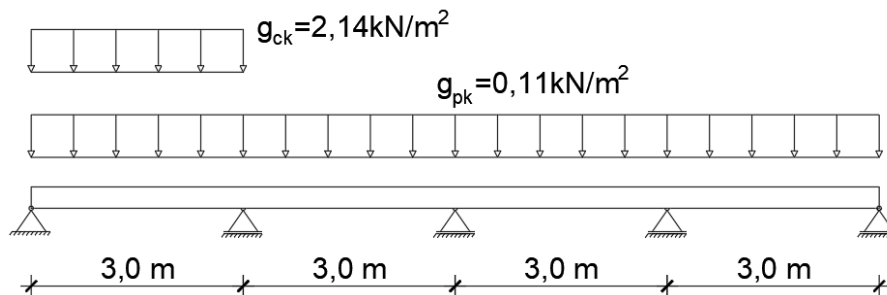
- Za kontinuiranu gredu, omjer raspona i statičke visine treba biti:  
 $L \leq 26 \cdot d$  za krajnji raspon  
 $L \leq 30 \cdot d$  za unutarnji raspon
- Uzdužni pomak između betona i čeličnog lima je manji od 0,5 mm kod 20% većeg opterećenja od uporabnog

$$\frac{L}{D} = \frac{3000}{83,9} = 36 > 26$$

$$\frac{L}{D} = \frac{3000}{83,9} = 36 > 30$$

Omjer raspona/statičke visine prelazi granične vrijednosti te je stoga potrebna provjera veličine progiba.

#### 10.1.4.5.2.1 Faza izvedbe:



Slika 10.27. Statički sustav i opterećenja za fazu izvedbe

$$e_{d,p} = \gamma_G \cdot q_{pk} = 1,00 \cdot 0,11 = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,c} = \gamma_G \cdot q_{ck} = 1,00 \cdot 2,14 = 2,14 \text{ kN/m}^2$$



Slika 10.28. Deformacija za fazu izvedbe iz opterećenja prema slici

Tijekom izvedbe, progib profiliranog lima ne smije bit veći od:

$$\delta_{max} = \frac{L}{180} \leq 2,0 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} = 13 \text{ mm} < \frac{3000}{180} = 16,7 \text{ mm uvjet zadovoljen}$$

#### 10.1.4.5.2.2 Druga faza-korištenje:

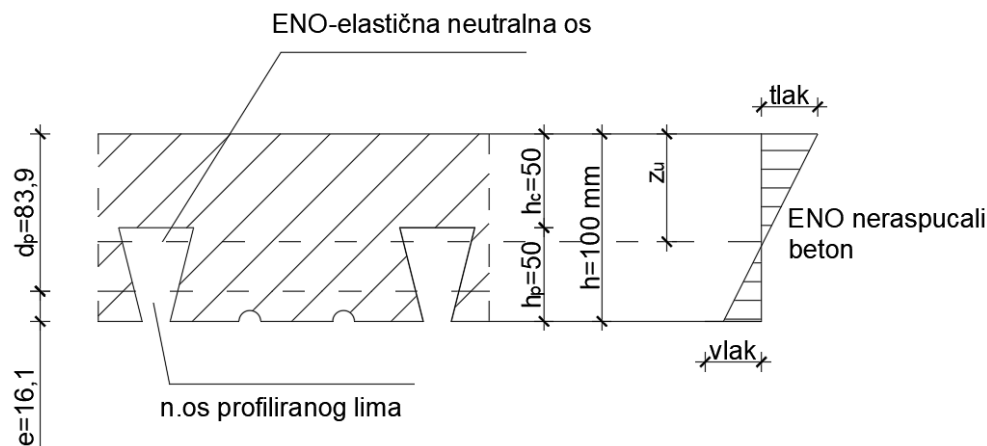
$$n = \frac{E_a}{E_{cm}/2} = \frac{210\,000}{33\,000/2} = 12,73$$

Krutost na savijanje za neraspucali beton:

$$b_{m1} = (150 - 40) \cdot \frac{1000}{150} = 733 \text{ mm}$$

$$b_{m2} = (150 - 15) \cdot \frac{1000}{150} = 900 \text{ mm}$$

$$b_m = \frac{b_{m1} + b_{m2}}{2} = \frac{733 + 900}{2} = 817 \text{ mm}$$



Slika 10.29. Položaj elastične neutralne osi za neraspucali beton

$$z_u = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h_c^2 + b_m \cdot h_p (h - 0,5 \cdot h_p) + n \cdot A_p \cdot d_p}{b \cdot h_c + b_m \cdot h_p + n \cdot A_p}$$

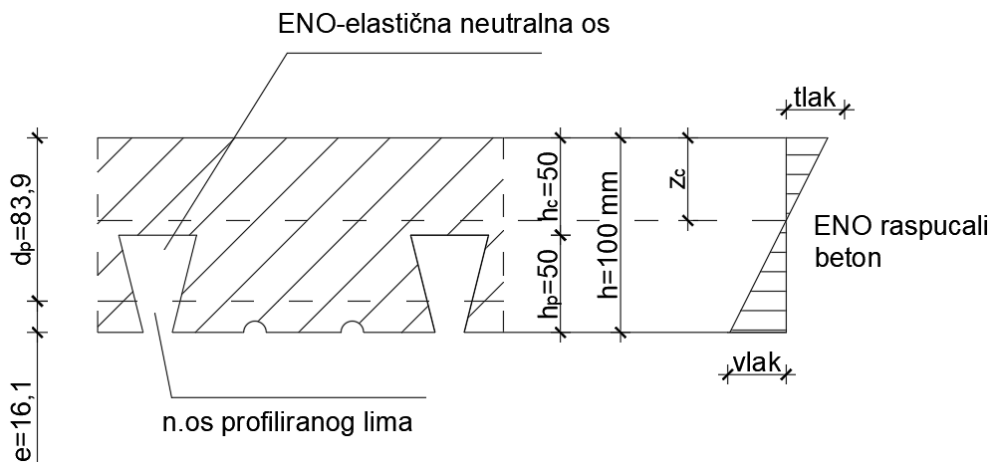
$$z_u = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{0,5 \cdot 100 \cdot 5^2 + 81,7 \cdot 5(10 - 0,5 \cdot 5) + 12,73 \cdot 14,18 \cdot 8,39}{100 \cdot 5 + 81,7 \cdot 5 + 12,73 \cdot 14,18} = 5,35 \text{ cm}$$

Krutost na savijanje za neraspucali beton:

$$I_{eff,u} = \frac{b \cdot h_c^3}{12 \cdot n} + \frac{b \cdot h_c}{b} \left( z_u - \frac{h_c}{2} \right)^2 + \frac{b_m \cdot h_p^3}{12 \cdot n} + \frac{b_m \cdot h_p}{n} \left( h - z_u - \frac{h_p}{2} \right)^2 + A_p (d_p - z_u)^2 + I_p$$

$$I_{eff,u} = \frac{100 \cdot 5^3}{12 \cdot 12,73} + \frac{100 \cdot 5}{12,73} \left( 5,35 - \frac{5}{2} \right)^2 + \frac{81,7 \cdot 5^3}{12 \cdot 12,73} + \frac{81,7 \cdot 5}{12,73} \left( 10 - 5,35 - \frac{5}{2} \right)^2 + 14,18(8,39 - 5,35)^2 + 56,58 = 803,7 \text{ cm}^4/m$$

Krutost na savijanje za raspucali beton:



Slika 10.30. Položaj elastične neutralne osi za raspucali beton

$$z_u = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{n \cdot A_p}{b} \left( \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d_p}{n \cdot A_p}} - 1 \right)$$

$$z_c = \frac{12,73 \cdot 14,18}{100} \left( \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 83,9}{12,73 \cdot 14,18}} - 1 \right) = 3,99 \text{ cm}$$

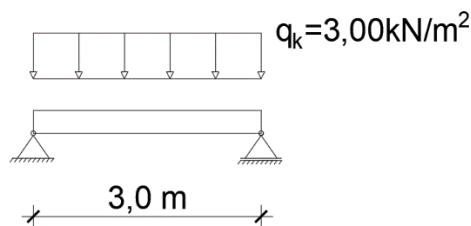
Krutost na savijanje za raspucali beton:

$$I_{eff,c} = \frac{b \cdot z_c^3}{3 \cdot n} + A_p (d_p - z_c)^2 + I_p$$

$$I_{eff,c} = \frac{100 \cdot 3,99^3}{3 \cdot 12,73} + 14,18(8,39 - 3,99)^2 + 56,58 = 497,4 \text{ cm}^4/m$$

$$I_{eff} = \frac{I_{eff,u} + I_{eff,c}}{2} = \frac{803,7 + 497,4}{2} = 650,6 \text{ cm}^4/m$$

Progib za korisno opterećenje:

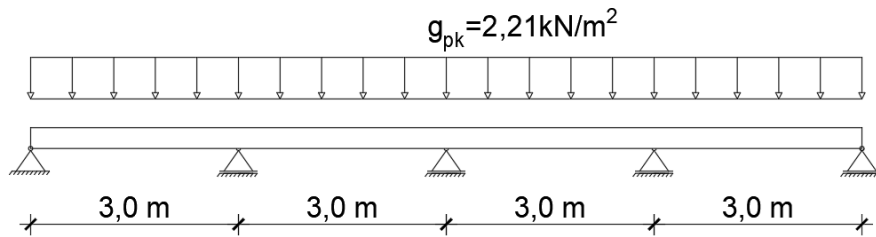


Slika 10.31. Statički sustav i opterećenje za konačno stanje

$$\delta_p = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E_a \cdot I_{eff}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,03 \cdot 3,0^4}{21000 \cdot 650,6} = 0,23 \text{ cm}$$

$$\delta_p = 0,23 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{300}{300} = 1 \text{ cm} \quad \text{uvjet zadovoljen!}$$

Progib za stalno opterećenje:



Slika 10.32. Statički sustav i opterećenja za konačno stanje

$$e_d = \gamma_G \cdot q_{ck} = 1,00 \cdot 2,21 = 2,21 \text{ kN/m}^2$$



Slika 10.33. Deformacija za konačno stanje iz opterećenja prema slici

$$\delta_g = 0,90 < \frac{L}{180} = \frac{300}{180} = 1,7 \text{ cm} \quad \text{uvjet zadovoljen!}$$

Ukupan progib:

$$\delta_{max} = \delta_g + \delta_p = 0,90 + 0,23 = 1,13 \text{ cm} < \frac{L}{250} = \frac{300}{250} = 1,2 \text{ cm} \quad \text{uvjet zadovoljen!}$$

Zadovoljeni su svi uvjeti vezani za granično stanje uporabljivosti!

USVOJENA SPREGNUTA PLOČA: Multideck 50 debljine 10 cm

#### 10.1.4.6 Granično stanje uporabljivosti

Tablica 10.7. Provjera ukupnog horizontalnog pomaka konstrukcije

$u_{x,uk}$	22,2	cm	<	$H/500 =$	38,70	cm	Ispunjen uvjet bočnog pomaka
$u_{y,uk}$	20,0	cm	<	$H/500 =$	38,70	cm	Ispunjen uvjet bočnog pomaka

Tablica 10.8. Provjera katnog horizontalnog pomaka konstrukcije

Etaža (kat)	X smjer					Y smjer				
	$u_{x,uk}$ [cm]	$u_{x,i}$ [cm]	$H_i$ [cm]	$u_i < H_i/300$	Uvjet?	$u_{y,uk}$ [cm]	$u_{y,i}$ [cm]	$H_i$ [cm]	$u_i < H_i/300$	Uvjet?
1	2,8	2,8	430	1,43	OK	2,8	2,8	430	1,43	OK
2	3,1	0,3	430	1,43	OK	3,1	0,3	430	1,43	OK
3	3,4	0,3	430	1,43	OK	3,4	0,3	430	1,43	OK
4	3,7	0,3	430	1,43	OK	3,7	0,3	430	1,43	OK
5	4,0	0,3	430	1,43	OK	4,0	0,3	430	1,43	OK
6	4,3	0,3	430	1,43	OK	4,3	0,3	430	1,43	OK
7	4,6	0,3	430	1,43	OK	4,7	0,4	430	1,43	OK
8	4,9	0,3	430	1,43	OK	5,0	0,3	430	1,43	OK
9	5,3	0,4	430	1,43	OK	5,4	0,4	430	1,43	OK

---

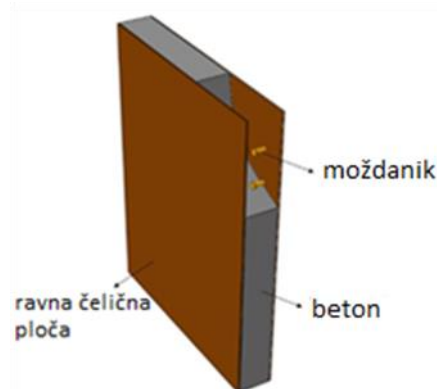
10	5,7	0,4	430	1,43	OK	5,7	0,3	430	1,43	OK
11	6,1	0,4	430	1,43	OK	6,1	0,4	430	1,43	OK
12	6,5	0,4	430	1,43	OK	6,5	0,4	430	1,43	OK
13	7,0	0,5	430	1,43	OK	7,0	0,5	430	1,43	OK
14	7,4	0,4	430	1,43	OK	7,4	0,4	430	1,43	OK
15	7,9	0,5	430	1,43	OK	7,8	0,4	430	1,43	OK
16	8,4	0,5	430	1,43	OK	8,3	0,5	430	1,43	OK
17	8,9	0,5	430	1,43	OK	8,7	0,4	430	1,43	OK
18	9,4	0,5	430	1,43	OK	9,1	0,4	430	1,43	OK
19	9,9	0,5	430	1,43	OK	9,6	0,5	430	1,43	OK
20	10,4	0,5	430	1,43	OK	10,0	0,4	430	1,43	OK
21	10,9	0,5	430	1,43	OK	10,5	0,5	430	1,43	OK
22	11,5	0,6	430	1,43	OK	10,9	0,4	430	1,43	OK
23	12,0	0,5	430	1,43	OK	11,4	0,5	430	1,43	OK
24	12,6	0,6	430	1,43	OK	11,8	0,4	430	1,43	OK
25	13,1	0,5	430	1,43	OK	12,3	0,5	430	1,43	OK
26	13,6	0,5	430	1,43	OK	12,7	0,4	430	1,43	OK
27	14,1	0,5	430	1,43	OK	13,2	0,5	430	1,43	OK
28	14,6	0,5	430	1,43	OK	13,6	0,4	430	1,43	OK
29	15,1	0,5	430	1,43	OK	14,1	0,5	430	1,43	OK
30	15,6	0,5	430	1,43	OK	14,5	0,4	430	1,43	OK
31	16,1	0,5	430	1,43	OK	14,9	0,4	430	1,43	OK
32	16,6	0,5	430	1,43	OK	15,4	0,5	430	1,43	OK
33	17,1	0,5	430	1,43	OK	15,8	0,4	430	1,43	OK
34	17,6	0,5	430	1,43	OK	16,2	0,4	430	1,43	OK
35	18,1	0,5	430	1,43	OK	16,6	0,4	430	1,43	OK
36	18,6	0,5	430	1,43	OK	17,0	0,4	430	1,43	OK
37	19,0	0,4	430	1,43	OK	17,4	0,4	430	1,43	OK
38	19,4	0,4	430	1,43	OK	17,7	0,3	430	1,43	OK
39	19,8	0,4	430	1,43	OK	18,1	0,4	430	1,43	OK
40	20,2	0,4	430	1,43	OK	18,4	0,3	430	1,43	OK
41	20,7	0,5	430	1,43	OK	18,8	0,4	430	1,43	OK
42	21,1	0,4	430	1,43	OK	19,1	0,3	430	1,43	OK
43	21,5	0,4	430	1,43	OK	19,5	0,4	430	1,43	OK
44	21,9	0,4	430	1,43	OK	19,8	0,3	430	1,43	OK
45	22,2	0,3	430	1,43	OK	20,0	0,2	430	1,43	OK

---



## 10.1.5 Posmični zid

### 10.1.5.1 Općenito



Slika 10.34. Posmični zid s ravnom čeličnom pločom

Izrazi za izračun otpornosti na uzdužnu tlačnu silu, otpornosti na posmičnu silu i otpornosti na savijanje u ravnini su dani u nastavku.

Otpornost na uzdužnu tlačnu silu:

$$N_u = N_{us} + N_{uc} = A_s \cdot f_y + A_c \cdot f_c$$

Otpornost na posmičnu silu:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_s$$

Otpornost na savijanje u ravnini:

$$M_y = \frac{0,7}{3} \cdot f_c \cdot t_c \cdot C_1^2 + f_y \cdot t_s \left( \frac{4}{3} \cdot C_1^2 - 2L \cdot C_1 + L^2 \right)$$

$$C_1 = \frac{2f_y \cdot t_s \cdot L}{0,35f_c \cdot t_c + 4f_y \cdot t_s}$$

Korišten je pojednostavljeni preliminarni proračun za izračun otpornosti na uzdužnu tlačnu silu, otpornosti na savijanje i otpornosti na posmičnu silu. Korišteni su izrazi iz američkih normi koji se spominju u poglavlju 3. Konstrukcija se sastoji od jezgre spregnutih zidova koji su postavljeni u kvadratnom obliku. Konstrukcija jezgre se sastoji od 4 spregnuta zida pa je konzervativna pretpostavka da moment savijanja preuzimaju 2 spregnuta zida gdje u ravnini savijanja, dok se doprinos zidova u tlaku i vlaku zanemarije.

## 10.1.5.2 Dokaz posmičnog zida za djelovanje potresa

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

Smjer x

$$S_d(T_1 = 7,15 \text{ sec}) = 0,025$$

Smjer y

$$S_d(T_1 = 6,71 \text{ sec}) = 0,026$$

$$m_x = m_y = 60\,277\,039 \text{ kg} \quad \lambda = 1,00$$

Pretpostavka: masa jedanko raspodijeljena na svim katovima

Raspodjela sila potresa po katovima za smjer x i smjer y

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j}$$

Tablica 10.9. Dokaz posmičnog zida za djelovanje potresa u smjeru x

Sd(T)=	0.025	m=	60277039	kg	λ=	1		
Etaža [m]	Visina [m]				Seizmička sila po etaži		Moment po etaži seizmika	
1	4.3	zj mj=	5759806	kgm	1	kN	6	kNm
2	8.6	zj mj=	11519612	kgm	3	kN	25	kNm
3	12.9	zj mj=	17279418	kgm	4	kN	56	kNm
4	17.2	zj mj=	23039224	kgm	6	kN	100	kNm
5	21.5	zj mj=	28799030	kgm	7	kN	156	kNm
6	25.8	zj mj=	34558836	kgm	9	kN	225	kNm
7	30.8	zj mj=	41256284	kgm	10	kN	321	kNm
8	34.4	zj mj=	46078448	kgm	12	kN	401	kNm
9	38.7	zj mj=	51838254	kgm	13	kN	507	kNm
10	43	zj mj=	57598059	kgm	15	kN	626	kNm
11	47.3	zj mj=	63357865	kgm	16	kN	757	kNm
12	51.6	zj mj=	69117671	kgm	17	kN	901	kNm
13	55.9	zj mj=	74877477	kgm	19	kN	1058	kNm
14	60.2	zj mj=	80637283	kgm	20	kN	1227	kNm
15	64.5	zj mj=	86397089	kgm	22	kN	1408	kNm
16	68.8	zj mj=	92156895	kgm	23	kN	1602	kNm
17	73.1	zj mj=	97916701	kgm	25	kN	1809	kNm

18	77.4	zj mj=	103676507	kgm	26	kN	2028	kNm
19	81.7	zj mj=	109436313	kgm	28	kN	2260	kNm
20	86	zj mj=	115196119	kgm	29	kN	2504	kNm
21	90.3	zj mj=	120955925	kgm	31	kN	2761	kNm
22	94.6	zj mj=	126715731	kgm	32	kN	3030	kNm
23	98.9	zj mj=	132475537	kgm	33	kN	3311	kNm
24	103.2	zj mj=	138235343	kgm	35	kN	3606	kNm
25	107.5	zj mj=	143995149	kgm	36	kN	3912	kNm
26	111.8	zj mj=	149754955	kgm	38	kN	4232	kNm
27	116.1	zj mj=	155514761	kgm	39	kN	4563	kNm
28	120.4	zj mj=	161274567	kgm	41	kN	4908	kNm
29	124.7	zj mj=	167034373	kgm	42	kN	5264	kNm
30	129	zj mj=	172794178	kgm	44	kN	5634	kNm
31	133.3	zj mj=	178553984	kgm	45	kN	6016	kNm
32	137.6	zj mj=	184313790	kgm	47	kN	6410	kNm
33	141.9	zj mj=	190073596	kgm	48	kN	6817	kNm
34	146.2	zj mj=	195833402	kgm	49	kN	7236	kNm
35	150.5	zj mj=	201593208	kgm	51	kN	7668	kNm
36	154.8	zj mj=	207353014	kgm	52	kN	8113	kNm
37	159.1	zj mj=	213112820	kgm	54	kN	8569	kNm
38	163.4	zj mj=	218872626	kgm	55	kN	9039	kNm
39	167.7	zj mj=	224632432	kgm	57	kN	9521	kNm
40	172	zj mj=	230392238	kgm	58	kN	10015	kNm
41	176.3	zj mj=	236152044	kgm	60	kN	10523	kNm
42	180.6	zj mj=	241911850	kgm	61	kN	11042	kNm
43	184.9	zj mj=	247671656	kgm	63	kN	11574	kNm
44	189.2	zj mj=	253431462	kgm	64	kN	12119	kNm
45	193.5	zj mj=	259191268	kgm	66	kN	12676	kNm
		Σ=	5962336800	kgm	1507	kN	196537	kNm
Ukupna seizmička sila		Fb=	1507	kN				

Tablica 10.10. Dokaz posmičnog zida za djelovanje potresa u smjeru y

Sd(T)=	0.026	m=	60277039	kg	$\lambda$ =	1		
Etaža [m]	Visina [m]				Seizmička sila po etaži		Moment po etaži seizmika	
1	4.3	zj mj=	5759806	kgm	2	kN	7	kNm
2	8.6	zj mj=	11519612	kgm	3	kN	26	kNm
3	12.9	zj mj=	17279418	kgm	5	kN	59	kNm
4	17.2	zj mj=	23039224	kgm	6	kN	104	kNm
5	21.5	zj mj=	28799030	kgm	8	kN	163	kNm
6	25.8	zj mj=	34558836	kgm	9	kN	234	kNm
7	30.8	zj mj=	41256284	kgm	11	kN	334	kNm
8	34.4	zj mj=	46078448	kgm	12	kN	417	kNm
9	38.7	zj mj=	51838254	kgm	14	kN	527	kNm
10	43	zj mj=	57598059	kgm	15	kN	651	kNm
11	47.3	zj mj=	63357865	kgm	17	kN	788	kNm
12	51.6	zj mj=	69117671	kgm	18	kN	937	kNm
13	55.9	zj mj=	74877477	kgm	20	kN	1100	kNm
14	60.2	zj mj=	80637283	kgm	21	kN	1276	kNm
15	64.5	zj mj=	86397089	kgm	23	kN	1465	kNm
16	68.8	zj mj=	92156895	kgm	24	kN	1667	kNm
17	73.1	zj mj=	97916701	kgm	26	kN	1881	kNm
18	77.4	zj mj=	103676507	kgm	27	kN	2109	kNm
19	81.7	zj mj=	109436313	kgm	29	kN	2350	kNm
20	86	zj mj=	115196119	kgm	30	kN	2604	kNm
21	90.3	zj mj=	120955925	kgm	32	kN	2871	kNm
22	94.6	zj mj=	126715731	kgm	33	kN	3151	kNm
23	98.9	zj mj=	132475537	kgm	35	kN	3444	kNm
24	103.2	zj mj=	138235343	kgm	36	kN	3750	kNm
25	107.5	zj mj=	143995149	kgm	38	kN	4069	kNm
26	111.8	zj mj=	149754955	kgm	39	kN	4401	kNm
27	116.1	zj mj=	155514761	kgm	41	kN	4746	kNm
28	120.4	zj mj=	161274567	kgm	42	kN	5104	kNm
29	124.7	zj mj=	167034373	kgm	44	kN	5475	kNm
30	129	zj mj=	172794178	kgm	45	kN	5859	kNm
31	133.3	zj mj=	178553984	kgm	47	kN	6256	kNm
32	137.6	zj mj=	184313790	kgm	48	kN	6666	kNm

33	141.9	zj mj=	190073596	kgm	50	kN	7089	kNm
34	146.2	zj mj=	195833402	kgm	51	kN	7526	kNm
35	150.5	zj mj=	201593208	kgm	53	kN	7975	kNm
36	154.8	zj mj=	207353014	kgm	55	kN	8437	kNm
37	159.1	zj mj=	213112820	kgm	56	kN	8912	kNm
38	163.4	zj mj=	218872626	kgm	58	kN	9401	kNm
39	167.7	zj mj=	224632432	kgm	59	kN	9902	kNm
40	172	zj mj=	230392238	kgm	61	kN	10416	kNm
41	176.3	zj mj=	236152044	kgm	62	kN	10943	kNm
42	180.6	zj mj=	241911850	kgm	64	kN	11484	kNm
43	184.9	zj mj=	247671656	kgm	65	kN	12037	kNm
44	189.2	zj mj=	253431462	kgm	67	kN	12603	kNm
45	193.5	zj mj=	259191268	kgm	68	kN	13183	kNm
		Σ=	5962336800	kgm	1567	kN	204398	kNm
Ukupna seizmička sila		Fb=	1567	kN				

Dokazi:

Uzdužna tlačna sila:

$$250\,255\text{ kN} > \frac{602770}{4} = 150692,5\text{ kN}$$

Posmična sila:

$$51\,120\text{ kN} > \frac{1567}{2} = 783,5\text{ kN}$$

Moment savijanja:

$$289\,171\text{ kNm} > \frac{204398}{2} = 102199\text{ kNm}$$

## 10.1.5.3 Dokaz posmičnog zida za djelovanje vjetra

Tablica 10.11. Dokaz posmičnog zida za djelovanje vjetra

Etaža [m]	Visina [m]	Vjetar po etaži		Moment po etaži vjetar	
1	4.3	94	kN	405	kNm
2	8.6	94	kN	809	kNm
3	12.9	94	kN	1214	kNm
4	17.2	94	kN	1619	kNm
5	21.5	94	kN	2024	kNm
6	25.8	94	kN	2428	kNm
7	30.8	94	kN	2899	kNm
8	34.4	94	kN	3238	kNm
9	38.7	98	kN	3798	kNm
10	43	102	kN	4373	kNm
11	47.3	105	kN	4964	kNm
12	51.6	108	kN	5575	kNm
13	55.9	111	kN	6204	kNm
14	60.2	113	kN	6831	kNm
15	64.5	116	kN	7498	kNm
16	68.8	119	kN	8169	kNm
17	73.1	121	kN	8838	kNm
18	77.4	123	kN	9537	kNm
19	81.7	125	kN	10231	kNm
20	86	127	kN	10930	kNm
21	90.3	129	kN	11644	kNm
22	94.6	131	kN	12404	kNm
23	98.9	133	kN	13166	kNm
24	103.2	134	kN	13867	kNm
25	107.5	136	kN	14628	kNm
26	111.8	138	kN	15403	kNm
27	116.1	139	kN	16158	kNm
28	120.4	141	kN	16923	kNm
29	124.7	142	kN	17701	kNm
30	129	143	kN	18491	kNm
31	133.3	145	kN	19301	kNm

32	137.6	146	kN	20087	kNm
33	141.9	147	kN	20889	kNm
34	146.2	148	kN	21681	kNm
35	150.5	149	kN	22459	kNm
36	154.8	150	kN	23268	kNm
37	159.1	160	kN	25466	kNm
38	163.4	160	kN	26154	kNm
39	167.7	160	kN	26842	kNm
40	172	160	kN	27530	kNm
41	176.3	160	kN	28219	kNm
42	180.6	160	kN	28907	kNm
43	184.9	160	kN	29595	kNm
44	189.2	160	kN	30283	kNm
45	193.5	160	kN	30972	kNm
		5814	kN	633621	kNm

Posmična sila:

$$51\,120\text{ kN} > \frac{5814}{2} = 2907\text{ kN}$$

Moment savijanja:

$$289\,171\text{ kNm} < \frac{633621}{2} = 316810,5\text{ kNm}$$

U tablicama 10.9. do 10.11. izračunate su sile i momenti savijanja prema konzervativnoj metodi gdje ispada da sav moment savijanja i posmičnu silu kod dokaza za djelovanja vjetra i potresa preuzimaju samo posmični zidovi a u stvarnosti dio momenta savijanja i posmične sile preuzimaju i stupovi.

#### 10.1.5.4 Dokaz posmičnog zida za mjerodavnu kombinaciju iz računalnog modela

Zid  $t_c=50$  cm

Čelik  $t_s=10$  mm

Beton 45/55

$$f_c = \frac{45}{1,5} = 30 \text{ N/mm}^2$$

Čelik  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Otpornost na uzdužnu tlačnu silu:

$$N_u = N_{us} + N_{uc} = A_s \cdot f_y + A_c \cdot f_c = (1 + 1) \cdot 1200 \cdot \frac{35,5}{1,1} + 48 \cdot 1200 \cdot 3 = 250\,255 \text{ kN}$$

Otpornost na posmičnu silu:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_s = 0,6 \cdot 35,5 \cdot (1 + 1) \cdot 1200 = 51\,120 \text{ kN}$$

Otpornost na savijanje u ravnini:

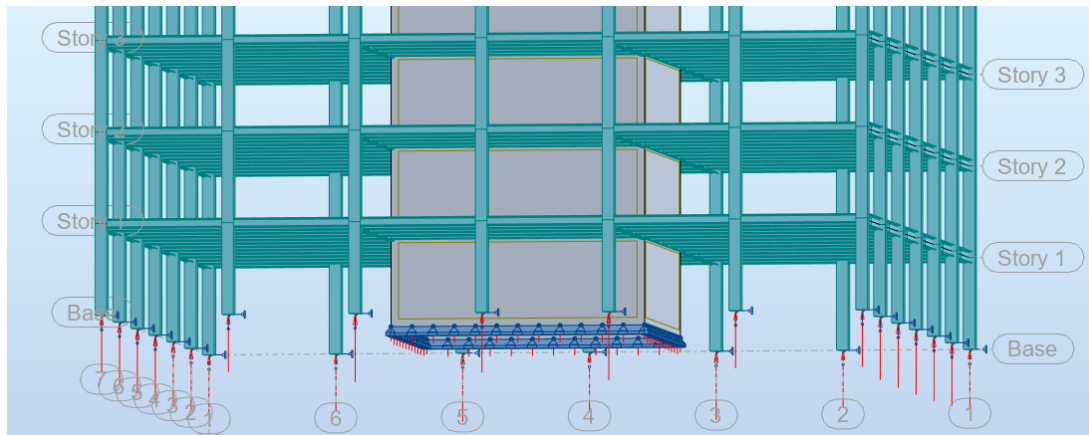
$$M_y = \frac{0,7}{3} \cdot f_c \cdot t_c \cdot C_1^2 + f_y \cdot t_s \left( \frac{4}{3} \cdot C_1^2 - 2L \cdot C_1 + L^2 \right)$$

$$C_1 = \frac{2f_y \cdot t_s \cdot L}{0,35f_c \cdot t_c + 4f_y \cdot t_s} = \frac{2 \cdot 35,5 \cdot 1 \cdot 1200}{0,35 \cdot 3 \cdot 46 + 4 \cdot 35,5 \cdot 1} = 447,71$$

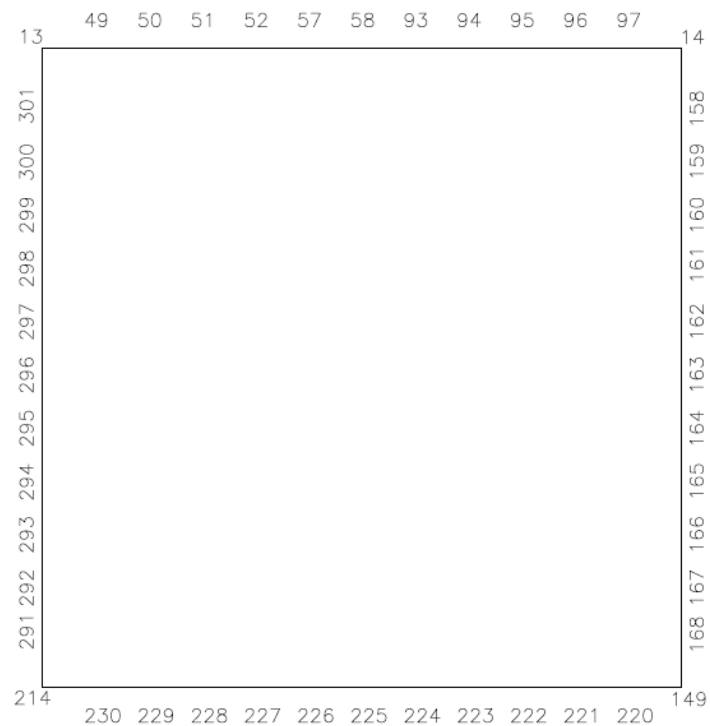
$$M_y = \frac{0,7}{3} \cdot 3 \cdot 46 \cdot 447,71^2 + 35,5 \cdot 1 \left( \frac{4}{3} \cdot 447,71^2 - 2 \cdot 1200 \cdot 447,71 + 1200^2 \right) = 28\,917\,106 \text{ kNcm} = 289\,171 \text{ kNm}$$

Izračunate otpornosti odnose se na jedan posmični zid.





Slika 10.35. Sile na ležajevima



Slika 10.36. Raspored točaka iz robota na ležajevima posmičnog zida

Tablica 10.12. Dokaz posmičnog zida za mjerodavnu kombinaciju

Točke	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	L (m)	M (kNm)
13/ 13 (C)	783.52	-892.15	6332.37	8.49	53761.82
49/ 13 (C)	-798.96	-71.53	7459.16	7.81	58256.04
50/ 13 (C)	-254.99	25.51	7351.44	7.21	53003.88
51/ 13 (C)	-133.38	-0.16	7240.49	6.71	48583.69
52/ 13 (C)	-77.32	4.77	7176.66	6.32	45356.49
57/ 13 (C)	-35.43	3.64	7140.71	6.08	43415.52
58/ 13 (C)	0	3.99	7129.35	6	42776.1
93/ 13 (C)	35.43	3.64	7140.71	6.08	43415.52
94/ 13 (C)	77.32	4.77	7176.65	6.32	45356.43

95/ 13 (C)	133.37	-0.14	7240.48	6.71	48583.62
96/ 13 (C)	254.99	25.53	7351.43	7.21	53003.81
97/ 13 (C)	798.97	-71.53	7459.16	7.81	58256.04
14/ 13 (C)	-783.51	-892.18	6332.38	8.49	53761.91
158/ 13 (C)	-75.37	571.27	7241.8	7.81	56558.46
159/ 13 (C)	25.22	18.98	6933.04	7.21	49987.22
160/ 13 (C)	0.03	-106.81	6628.83	6.71	44479.45
161/ 13 (C)	8.32	-160.08	6373.48	6.32	40280.39
162/ 13 (C)	11.37	-192.64	6141.46	6.08	37340.08
163/ 13 (C)	13.71	-214.25	5923.71	6	35542.26
164/ 13 (C)	11.49	-232.8	5713.98	-6.08	-34741
165/ 13 (C)	7.96	-255.22	5511.77	-6.32	-34834.4
166/ 13 (C)	1.28	-286.18	5315.83	-6.71	-35669.2
167/ 13 (C)	15.66	-353.12	5129.23	-7.21	-36981.7
168/ 13 (C)	-51.7	-649.02	4891.27	-7.81	-38200.8
149/ 13 (C)	-531.5	394.56	3822.52	-8.49	-32453.2
220/ 13 (C)	388.82	56.37	4716.55	-7.81	-36836.3
221/ 13 (C)	105.82	-15.52	4772.94	-7.21	-34412.9
222/ 13 (C)	51.74	1.16	4763.63	-6.71	-31964
223/ 13 (C)	29.58	-2.33	4754.45	-6.32	-30048.1
224/ 13 (C)	12.88	-1.56	4746.66	-6.08	-28859.7
225/ 13 (C)	0	-1.8	4744.1	-6	-28464.6
226/ 13 (C)	-12.88	-1.56	4746.67	-6.08	-28859.8
227/ 13 (C)	-29.59	-2.32	4754.46	-6.32	-30048.2
228/ 13 (C)	-51.74	1.18	4763.64	-6.71	-31964
229/ 13 (C)	-105.82	-15.5	4772.95	-7.21	-34413
230/ 13 (C)	-388.81	56.37	4716.55	-7.81	-36836.3
214/ 13 (C)	531.52	394.52	3822.51	-8.49	-32453.1
291/ 13 (C)	51.68	-649.02	4891.21	-7.81	-38200.4
292/ 13 (C)	-15.67	-353.12	5129.15	-7.21	-36981.2
293/ 13 (C)	-1.29	-286.17	5315.74	-6.71	-35668.6
294/ 13 (C)	-7.96	-255.22	5511.68	-6.32	-34833.8
295/ 13 (C)	-11.49	-232.8	5713.9	-6.08	-34740.5
296/ 13 (C)	-13.71	-214.25	5923.63	-6	-35541.8
297/ 13 (C)	-11.37	-192.65	6141.38	6.08	37339.59
298/ 13 (C)	-8.32	-160.08	6373.4	6.32	40279.89
299/ 13 (C)	-0.03	-106.82	6628.75	6.71	44478.91
300/ 13 (C)	-25.23	18.97	6932.96	7.21	49986.64
301/ 13 (C)	75.36	571.27	7241.74	7.81	56557.99
=	-0.03	-4712.03	284036.6	0	326355.3

Tablica 10.13. Dokaz stupova za mjerodavnu kombinaciju

Točke	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	L (m)	M (kNm)
1/ 13 (C)	10.3	11.09	17064.84	-25.46	-434471
3/ 13 (C)	69.92	-21.93	22283.74	-21.63	-481997
5/ 13 (C)	58.73	-26.27	23643.88	-18.97	-448524
7/ 13 (C)	57.97	-29.01	24207.12	-18	-435728
9/ 13 (C)	59.57	-31.49	24326.74	18.97	461478.3
11/ 13 (C)	70.22	-34.7	23716.42	21.63	512986.2
56/ 13 (C)	9.89	-52.49	20364.76	25.46	518486.8
54/ 13 (C)	3.82	-26.28	20314.91	21.63	439411.5
17/ 13 (C)	1.5	-262.2	27563.02	18.97	522870.5
19/ 13 (C)	0	-29.73	22032.6	18	396586.8
21/ 13 (C)	-1.49	-262.19	27562.69	18.97	522864.2
23/ 13 (C)	-3.83	-26.29	20314.99	21.63	439413.2
25/ 13 (C)	-9.89	-52.49	20365.06	25.46	518494.4
27/ 13 (C)	-70.22	-34.71	23716.26	21.63	512982.7
29/ 13 (C)	-59.57	-31.49	24326.68	18.97	461477.1
31/ 13 (C)	-57.97	-29.01	24207.08	18	435727.4
33/ 13 (C)	-58.74	-26.27	23643.76	-18.97	-448522
35/ 13 (C)	-69.91	-21.92	22283.5	-21.63	-481992
37/ 13 (C)	-10.3	11.09	17065.01	-25.46	-434475
39/ 13 (C)	-4.16	1.27	18530.14	-21.63	-400807
41/ 13 (C)	-1.51	224.07	25565.45	-18.97	-484977
43/ 13 (C)	0	3.78	20646.84	-18	-371643
45/ 13 (C)	1.51	224.08	25565.82	-18.97	-484984
47/ 13 (C)	4.16	1.26	18530.1	-21.63	-400806
	0	-521.83	537841.4	0	433852.8

Posmična otpornost

$51\,120\text{ kN} > 2356\text{ kN}$

Otpornost na savijanje

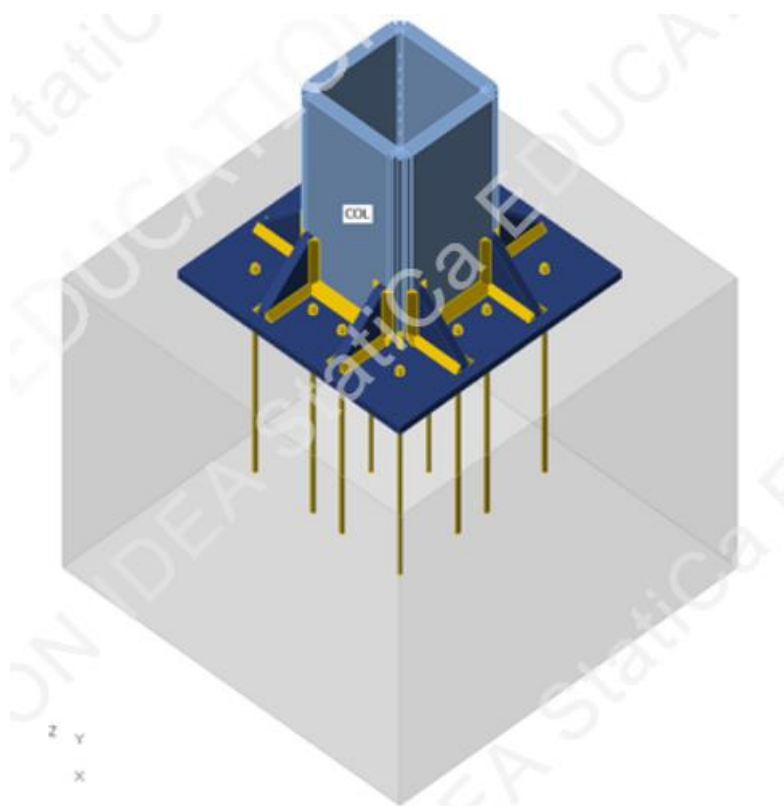
$289\,171\text{ kNm} > 161\,178\text{ kNm}$

Otpornost na uzdužnu silu:

$250\,255\text{ kN} > 71\,009\text{ kN}$

## 10.2 Dimenzioniranje priključaka

### 10.2.1 Priključak temeljne stope stupa



Slika 10.37. Priključak temeljne stope stupa

Tablica 10.14. Poprečni presjek

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
COL	2 - RHS550x550	0.0	90.0	0.0	0	0	0

Tablica 10.15. Materijal poprečnog presjeka

Name	Material
2 - RHS550x550	S 355

Tablica 10.16. Karakteristike sidrenih vijaka

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M20 10.9	M20 10.9	20	1000.0	314

Tablica 10.17. Karakteristike postavljene temeljne stope

Item	Value	Unit
<b>CB 1</b>		
Dimensions	1750 x 1750	mm
Depth	1500	mm
Anchor	M20 10.9	
Anchoring length	1000	mm
Shear force transfer	Friction	

Tablica 10.18. Djelovanja na stopu stupa

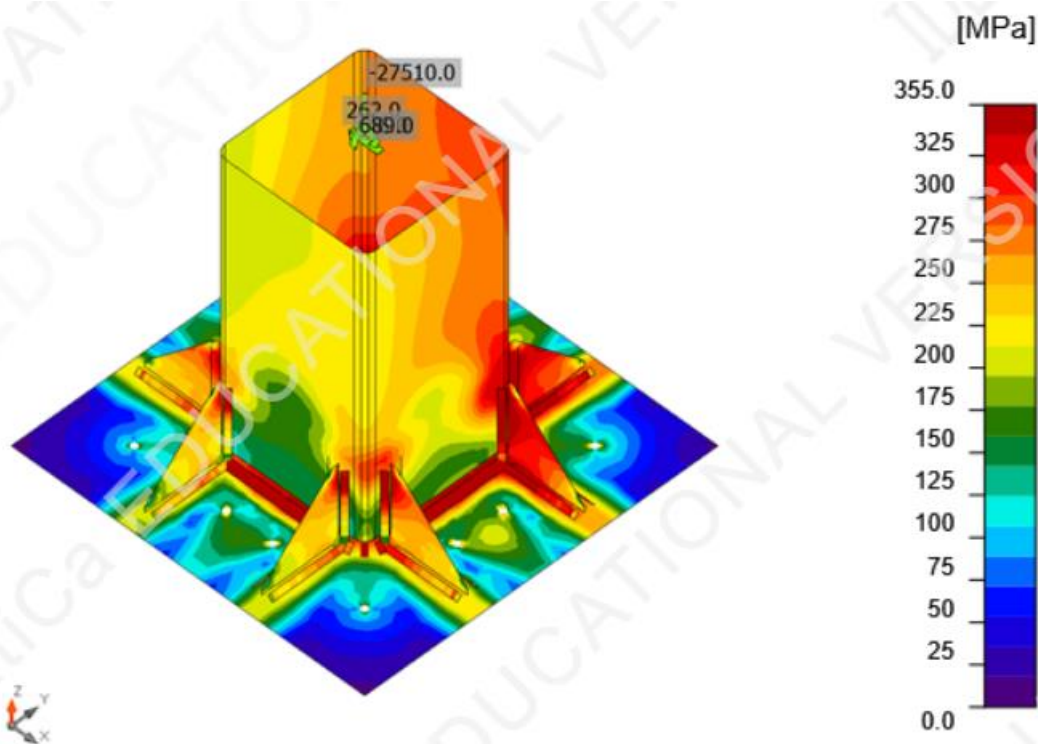
Name	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	-262.0	0.0	-27510.0	-689.0	6.0	0.0

Tablica 10.19. Dokaz nosivosti i stabilnosti

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	1.4 < 5.0%	OK
Anchors	0.0 < 100%	OK
Welds	98.6 < 100%	OK
Concrete block	93.5 < 100%	OK
Shear	3.8 < 100%	OK

Tablica 10.20. Dokaz nosivosti čvornih limova

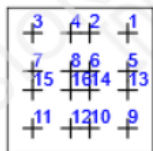
Name	Material	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
COL-w 1	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
COL-arc 1	S 355	60.0	LE1	335.2	0.1	0.0	OK
COL-arc 2	S 355	60.0	LE1	335.2	0.1	0.0	OK
COL-arc 3	S 355	60.0	LE1	335.2	0.1	0.0	OK
COL-w 2	S 355	60.0	LE1	335.2	0.1	0.0	OK
COL-arc 4	S 355	60.0	LE1	335.2	0.1	0.0	OK
COL-arc 5	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
COL-arc 6	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
COL-w 3	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
COL-arc 7	S 355	60.0	LE1	309.2	0.0	0.0	OK
COL-arc 8	S 355	60.0	LE1	292.9	0.0	0.0	OK
COL-arc 9	S 355	60.0	LE1	286.1	0.0	0.0	OK
COL-w 4	S 355	60.0	LE1	269.5	0.0	0.0	OK
COL-arc 10	S 355	60.0	LE1	297.6	0.0	0.0	OK
COL-arc 11	S 355	60.0	LE1	303.8	0.0	0.0	OK
COL-arc 12	S 355	60.0	LE1	319.1	0.0	0.0	OK
BP1	S 355 - 1	40.0	LE1	355.1	0.1	0.0	OK
RIB1a	S 355 - 1	40.0	LE1	357.2	1.0	0.0	OK
RIB1b	S 355 - 1	40.0	LE1	353.4	0.5	0.0	OK
RIB2a	S 355 - 1	40.0	LE1	357.9	1.4	0.0	OK
RIB2b	S 355 - 1	40.0	LE1	358.0	1.4	0.0	OK
RIB3a	S 355 - 1	40.0	LE1	352.8	0.5	0.0	OK
RIB3b	S 355 - 1	40.0	LE1	357.1	1.0	0.0	OK
RIB4a	S 355 - 1	40.0	LE1	345.3	0.3	0.0	OK
RIB4b	S 355 - 1	40.0	LE1	344.3	0.3	0.0	OK



Slika 10.38. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.21. Dokaz nosivosti sidrenih vijaka

Shape	Item	Loads	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Ed}$ [kN]	$V_{Rd,cp}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	A1	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A2	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A3	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A4	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A5	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A6	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A7	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A8	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A9	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A10	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A11	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A12	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A13	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A14	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A15	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK
	A16	LE1	0.0	0.0	1353.0	0.0	0.0	0.0	OK



Tablica 10.22. Dokaz nosivosti varova

Item	Edge	$T_w$ [mm]	L [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$T_{\perp}$ [MPa]	$T_{\parallel}$ [MPa]	$U_t$ [%]	$U_{t_c}$ [%]	Status
BP1	COL-w 1	▲ 30.0	419	LE1	411.1	1.0	-191.7	208.6	-24.0	98.4	95.5	OK
BP1	COL-arc 1	▲ 30.0	18	LE1	409.5	0.1	-288.2	163.2	39.7	98.0	98.0	OK
BP1	COL-arc 2	▲ 30.0	18	LE1	409.6	0.1	-316.9	148.5	-19.8	98.0	98.0	OK
BP1	COL-arc 3	▲ 30.0	18	LE1	409.6	0.1	-280.3	162.4	-58.0	98.0	98.0	OK
BP1	COL-w 2	▲ 30.0	419	LE1	412.0	1.6	-190.0	210.9	8.3	98.6	98.4	OK
BP1	COL-arc 4	▲ 30.0	18	LE1	409.5	0.1	-283.3	158.8	62.7	98.0	98.0	OK
BP1	COL-arc 5	▲ 30.0	18	LE1	409.5	0.1	-327.0	140.9	20.3	98.0	98.0	OK
BP1	COL-arc 6	▲ 30.0	18	LE1	409.5	0.0	-300.6	159.0	-22.6	98.0	98.0	OK
BP1	COL-w 3	▲ 30.0	419	LE1	411.0	1.0	-192.0	208.4	24.2	98.4	95.0	OK
BP1	COL-arc 7	▲ 30.0	18	LE1	305.9	0.0	-217.1	106.0	65.3	73.2	73.2	OK
BP1	COL-arc 8	▲ 30.0	18	LE1	329.9	0.0	-277.3	100.6	23.3	81.9	79.0	OK
BP1	COL-arc 9	▲ 30.0	18	LE1	278.0	0.0	-215.8	97.3	-27.8	66.5	66.5	OK
BP1	COL-w 4	▲ 30.0	419	LE1	410.1	0.4	-196.1	207.9	-2.7	98.2	88.2	OK
BP1	COL-arc 10	▲ 30.0	18	LE1	283.0	0.0	-220.0	98.6	28.7	67.7	67.7	OK
BP1	COL-arc 11	▲ 30.0	18	LE1	339.8	0.0	-279.2	107.0	-32.5	82.5	81.3	OK
BP1	COL-arc 12	▲ 30.0	18	LE1	323.3	0.0	-217.3	114.2	-77.7	77.4	77.4	OK
BP1	RIB1a	▲ 20.0 ▼	249	LE1	382.7	0.0	-150.0	-185.4	83.4	87.9	77.1	OK
		▲ 20.0 ▼	249	LE1	414.8	0.0	-158.9	121.2	-185.0	95.2	79.3	OK
COL-w 1	RIB1a	▲ 20.0 ▼	249	LE1	409.8	0.2	-148.1	-147.1	-164.4	98.1	87.0	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	409.9	0.3	-143.5	144.3	168.2	98.1	86.7	OK

BP1	RIB1b	▲ 20.0 ▼	249	LE1	314.0	0.0	-130.7	-46.8	158.1	72.1	62.6	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	322.0	0.0	-89.2	114.0	-137.5	73.9	66.0	OK
COL-w 1	RIB1b	▲ 20.0 ▼	248	LE1	409.5	0.1	-139.8	-137.5	-174.6	98.0	71.9	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	409.5	0.0	-136.9	139.5	173.8	98.0	70.9	OK
BP1	RIB2a	▲ 20.0 ▼	249	LE1	426.9	0.0	-147.2	-224.9	54.5	98.0	82.4	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	427.0	0.1	-161.7	91.3	-209.1	98.0	82.0	OK
COL-w 2	RIB2a	▲ 20.0 ▼	249	LE1	410.4	0.6	-149.0	-149.1	-162.8	98.2	93.2	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	410.4	0.6	-148.0	147.9	164.2	98.2	89.7	OK
BP1	RIB2b	▲ 20.0 ▼	249	LE1	426.9	0.1	-163.2	-103.6	202.9	98.0	81.7	OK
		▲ 20.0 ▼	249	LE1	426.9	0.0	-153.5	219.2	-69.7	98.0	83.0	OK
COL-w 2	RIB2b	▲ 20.0 ▼	248	LE1	410.5	0.6	-148.2	-148.2	-164.0	98.3	90.5	OK
		▲ 20.0 ▼	249	LE1	410.4	0.6	-149.1	149.1	162.8	98.2	92.8	OK
BP1	RIB3a	▲ 20.0 ▼	248	LE1	316.9	0.0	-109.8	-99.5	139.8	72.8	66.0	OK
		▲ 20.0 ▼	249	LE1	317.4	0.0	-129.5	49.6	-159.8	72.9	62.4	OK
COL-w 3	RIB3a	▲ 20.0 ▼	248	LE1	409.5	0.0	-136.7	-139.1	-174.1	98.0	70.4	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	409.5	0.1	-139.4	137.3	174.9	98.0	71.8	OK
BP1	RIB3b	▲ 20.0 ▼	249	LE1	421.9	0.0	-137.2	-109.8	202.5	96.9	79.5	OK
		▲ 20.0 ▼	249	LE1	379.2	0.0	-115.4	126.2	-166.0	87.1	77.3	OK
COL-w 3	RIB3b	▲ 20.0 ▼	248	LE1	409.9	0.3	-143.2	-144.6	-168.0	98.1	86.8	OK
		▲ 20.0 ▼	249	LE1	409.8	0.2	-148.3	146.8	164.6	98.1	86.6	OK
BP1	RIB4a	▲ 20.0 ▼	248	LE1	283.4	0.0	-89.6	-98.0	120.3	65.1	58.8	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	289.1	0.0	-106.2	72.2	-137.5	66.4	57.8	OK
COL-w 4	RIB4a	▲ 20.0 ▼	248	LE1	401.1	0.0	-133.6	-129.3	-175.9	96.0	63.3	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	406.1	0.0	-135.6	143.7	167.9	97.2	64.0	OK
BP1	RIB4b	▲ 20.0 ▼	248	LE1	293.7	0.0	-108.9	-76.7	137.5	67.4	57.5	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	293.8	0.0	-85.9	97.5	-129.7	67.5	57.9	OK
COL-w 4	RIB4b	▲ 20.0 ▼	248	LE1	403.9	0.0	-135.0	-142.7	-167.2	96.7	62.9	OK
		▲ 20.0 ▼	248	LE1	399.9	0.0	-132.4	128.4	176.0	95.7	63.0	OK

Tablica 10.23. Dokaz nosivosti pretpostavljene temeljne stope

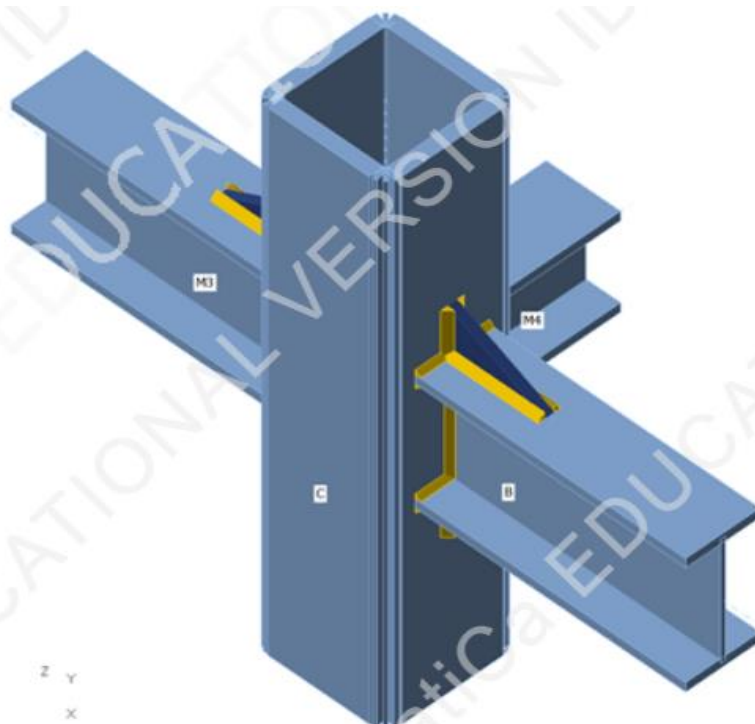
Item	Loads	c [mm]	A <sub>eff</sub> [mm <sup>2</sup> ]	σ [MPa]	k <sub>j</sub> [-]	f <sub>jd</sub> [MPa]	U <sub>t</sub> [%]	Status
CB 1	LE1	67	691891	39.9	1.91	42.6	93.5	OK

Tablica 10.24. Dokaz posmične nosivosti na kontaktnoj ravnini

Name	Loads	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	V <sub>Rd,y</sub> [kN]	V <sub>Rd,z</sub> [kN]	U <sub>t</sub> [%]	Status
BP1	LE1	0.0	261.9	6894.2	6894.2	3.8	OK



## 10.2.2 Priključak 2 glavna i sekundarnog nosača na stup



Slika 10.39. Prikaz priključka

Tablica 10.25. Poprečni presjeci priključka

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	7 - RHS550x550	0.0	90.0	0.0	0	0	0
B	6 - HEM550	0.0	0.0	0.0	0	0	0
M3	6 - HEM550	180.0	0.0	0.0	0	0	0
M4	8 - HEM400	90.0	0.0	0.0	0	0	0

Tablica 10.26. Materijali poprečnih presjeka

Name	Material
7 - RHS550x550	S 355
6 - HEM550	S 355
8 - HEM400	S 355

Tablica 10.27. Djelovanja u čvoru priključka

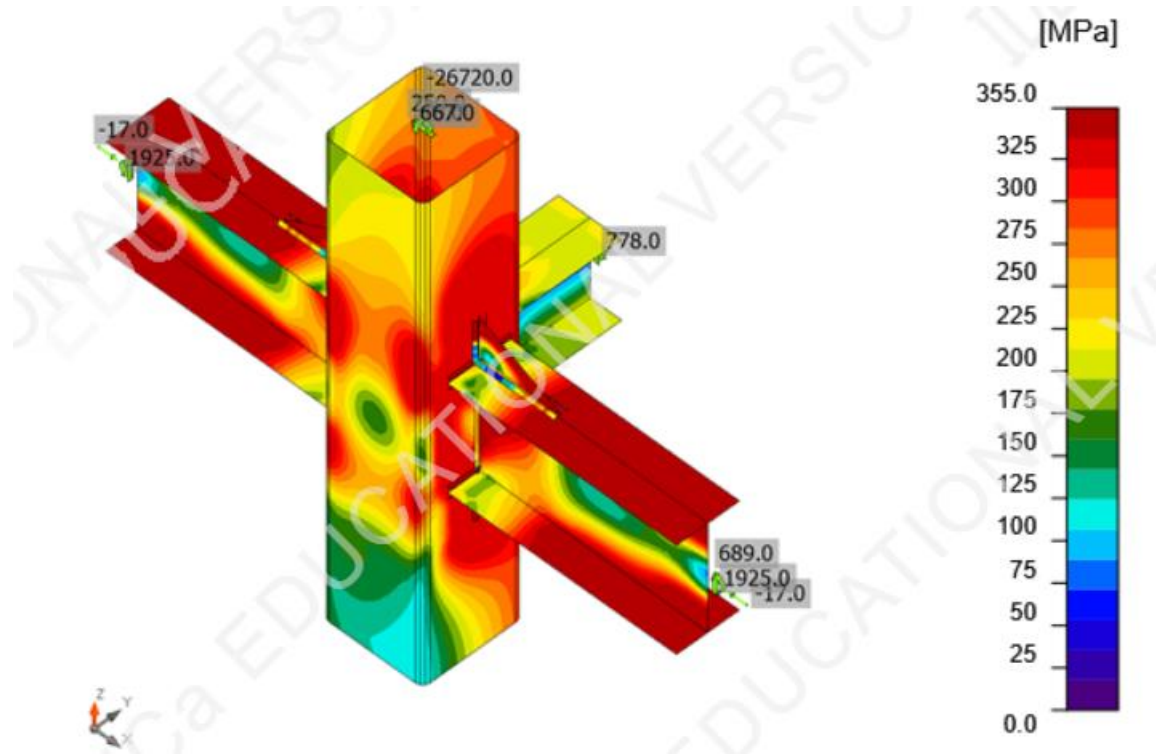
Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	C / Begin	-26720.0	0.0	250.0	0.0	6.0	667.0
	C / End	-26720.0	0.0	250.0	0.0	6.0	667.0
	B / End	-17.0	0.0	689.0	0.0	1925.0	0.0
	M3 / End	-17.0	0.0	689.0	0.0	1925.0	0.0
	M4 / End	0.0	0.0	321.0	0.0	778.0	0.0

Tablica 10.28. Dokaz nosivosti i stabilnosti

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	1.5 < 5.0%	OK
Welds	99.8 < 100%	OK

Tablica 10.29. Dokaz nosivosti čvornih limova

Name	Material	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
C-w 1	S 355	60.0	LE1	336.5	0.7	0.0	OK
C-arc 1	S 355	60.0	LE1	335.8	0.4	0.0	OK
C-arc 2	S 355	60.0	LE1	336.0	0.5	0.0	OK
C-arc 3	S 355	60.0	LE1	335.9	0.4	0.0	OK
C-w 2	S 355	60.0	LE1	336.8	0.9	0.0	OK
C-arc 4	S 355	60.0	LE1	335.8	0.4	0.0	OK
C-arc 5	S 355	60.0	LE1	335.9	0.4	0.0	OK
C-arc 6	S 355	60.0	LE1	335.7	0.3	0.0	OK
C-w 3	S 355	60.0	LE1	336.4	0.7	0.0	OK
C-arc 7	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
C-arc 8	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
C-arc 9	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
C-w 4	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
C-arc 10	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
C-arc 11	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
C-arc 12	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
B-bfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	355.6	0.3	0.0	OK
B-tfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	355.8	0.4	0.0	OK
B-w 1	S 355 - 1	21.0	LE1	355.5	0.2	0.0	OK
M3-bfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	355.6	0.3	0.0	OK
M3-tfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	355.8	0.4	0.0	OK
M3-w 1	S 355 - 1	21.0	LE1	355.5	0.2	0.0	OK
M4-bfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	260.3	0.0	0.0	OK
M4-tfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	288.6	0.0	0.0	OK
M4-w 1	S 355 - 1	21.0	LE1	336.8	0.0	0.0	OK
WID1a	S 355 - 1	40.0	LE1	355.8	0.4	0.0	OK
WID1b	S 355 - 1	40.0	LE1	358.0	1.4	0.0	OK
WID2a	S 355 - 1	40.0	LE1	355.8	0.4	0.0	OK
WID2b	S 355 - 1	40.0	LE1	358.2	1.5	0.0	OK

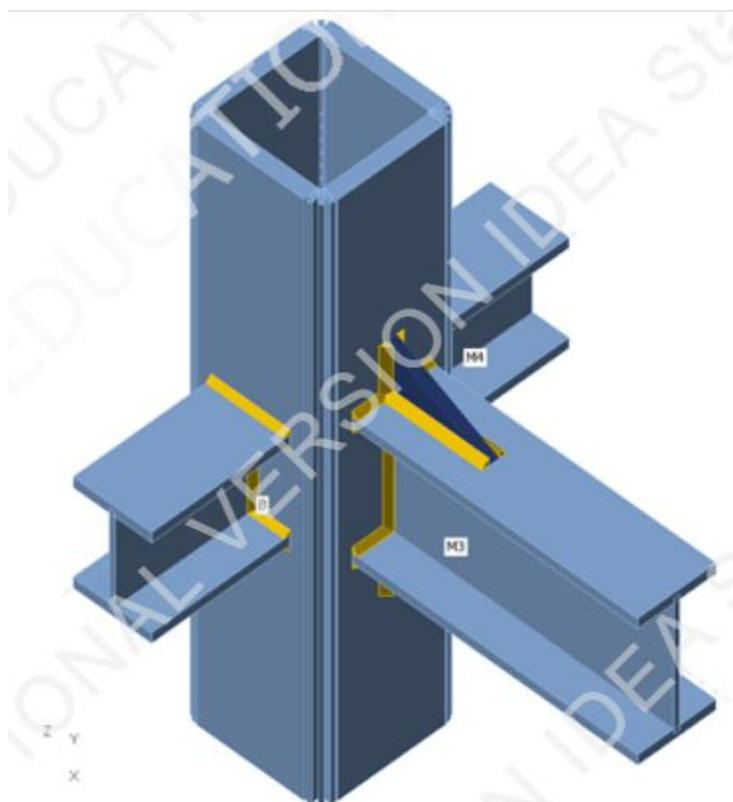


Slika 10.40. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.30. *Dokaz nosivosti varova*

Item	Edge	$T_w$ [mm]	L [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{PI}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$T_{\perp}$ [MPa]	$T_{\parallel}$ [MPa]	Ut [%]	Ut <sub>c</sub> [%]	Status
C-w 1	B-bfl 1	▲ 15.0 ▼	306	LE1	415.6	3.7	-181.9	-191.4	99.5	99.5	81.0	OK
		▲ 15.0 ▼	306	LE1	416.8	4.4	-184.2	192.4	-98.0	99.8	88.3	OK
C-w 1	B-tfl 1	▲ 15.0 ▼	306	LE1	416.9	4.5	187.2	170.7	130.8	99.8	90.5	OK
		▲ 15.0 ▼	305	LE1	416.7	4.4	177.0	-176.9	-127.1	99.8	92.7	OK
C-w 1	B-w 1	▲ 15.0 ▼	531	LE1	293.6	0.0	-21.2	-7.9	168.9	70.3	52.3	OK
		▲ 15.0 ▼	531	LE1	262.5	0.0	-25.6	38.9	-145.7	62.8	56.2	OK
C-w 1	WID1a	▲ 20.0 ▼	199	LE1	410.3	0.5	201.1	196.0	-65.0	98.2	63.5	OK
		▲ 20.0 ▼	199	LE1	410.2	0.5	196.5	-198.7	61.1	98.2	61.4	OK
B-tfl 1	WID1a	▲ 20.0 ▼	398	LE1	307.4	0.0	49.2	48.2	168.4	70.6	41.5	OK
		▲ 20.0 ▼	398	LE1	296.8	0.0	47.9	-48.8	-161.9	68.1	39.9	OK
C-w 1	WID1b	▲ 20.0 ▼	199	LE1	413.9	2.7	-171.7	-175.9	127.9	99.1	83.8	OK
		▲ 20.0 ▼	199	LE1	413.7	2.5	-167.3	172.9	-133.5	99.0	81.0	OK
B-bfl 1	WID1b	▲ 20.0 ▼	398	LE1	272.1	0.0	-40.5	-42.2	-149.5	62.5	41.1	OK
		▲ 20.0 ▼	398	LE1	293.6	0.0	-43.4	41.7	162.4	67.4	45.6	OK
C-w 3	M3-bfl 1	▲ 15.0 ▼	306	LE1	415.7	3.7	-181.7	-191.7	-99.1	99.5	81.1	OK
		▲ 15.0 ▼	306	LE1	417.0	4.5	-184.5	192.5	97.7	99.8	88.3	OK
C-w 3	M3-tfl 1	▲ 15.0 ▼	306	LE1	416.7	4.4	187.1	171.3	-129.8	99.8	90.5	OK
		▲ 15.0 ▼	305	LE1	416.5	4.3	177.7	-177.2	126.1	99.7	92.6	OK
C-w 3	M3-w 1	▲ 15.0 ▼	531	LE1	263.7	0.0	-24.4	-36.6	147.1	63.1	56.3	OK
		▲ 15.0 ▼	531	LE1	294.6	0.0	-21.6	9.4	-169.4	70.5	53.0	OK
C-w 3	WID2a	▲ 20.0 ▼	199	LE1	410.2	0.5	196.5	197.9	-63.6	98.2	61.9	OK
		▲ 20.0 ▼	199	LE1	410.3	0.5	200.2	-195.9	66.2	98.2	63.7	OK
M3-tfl 1	WID2a	▲ 20.0 ▼	398	LE1	297.1	0.0	47.9	48.8	162.1	68.2	39.9	OK
		▲ 20.0 ▼	398	LE1	307.3	0.0	49.2	-48.2	-168.4	70.6	41.4	OK
C-w 2	M4-bfl 1	▲ 15.0 ▼	307	LE1	410.4	0.6	-205.7	-171.1	-113.0	98.2	90.9	OK
		▲ 15.0 ▼	306	LE1	413.4	2.4	-183.8	200.5	74.3	98.9	98.5	OK
C-w 2	M4-tfl 1	▲ 15.0 ▼	306	LE1	413.7	2.6	166.4	176.6	129.0	99.0	98.4	OK
		▲ 15.0 ▼	307	LE1	412.7	2.0	178.7	-156.3	-147.3	98.8	89.8	OK
C-w 2	M4-w 1	▲ 15.0 ▼	391	LE1	259.1	0.0	-29.7	-29.8	145.6	62.0	31.9	OK
		▲ 15.0 ▼	391	LE1	258.9	0.0	-30.3	30.1	-145.4	62.0	31.6	OK

## 10.2.3 Priključak glavnog i 2 sekundarna nosača na stup



Slika 10.41. Prikaz priključka

Tablica 10.31. Poprečni presjeci priključka

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	7 - RHS550x550	0.0	90.0	0.0	0	0	0
B	8 - HEM400	-90.0	0.0	0.0	0	0	0
M3	6 - HEM550	0.0	0.0	0.0	0	0	0
M4	8 - HEM400	90.0	0.0	0.0	0	0	0

Tablica 10.32. Materijali poprečnih presjeka

Name	Material
7 - RHS550x550	S 355
8 - HEM400	S 355
6 - HEM550	S 355

Tablica 10.33. Djelovanja u čvoru priključka

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	C / Begin	-26720.0	0.0	250.0	0.0	6.0	667.0
	C / End	-26720.0	0.0	250.0	0.0	6.0	667.0
	B / End	0.0	0.0	321.0	0.0	778.0	0.0
	M3 / End	-17.0	0.0	689.0	0.0	1925.0	0.0
	M4 / End	0.0	0.0	321.0	0.0	778.0	0.0

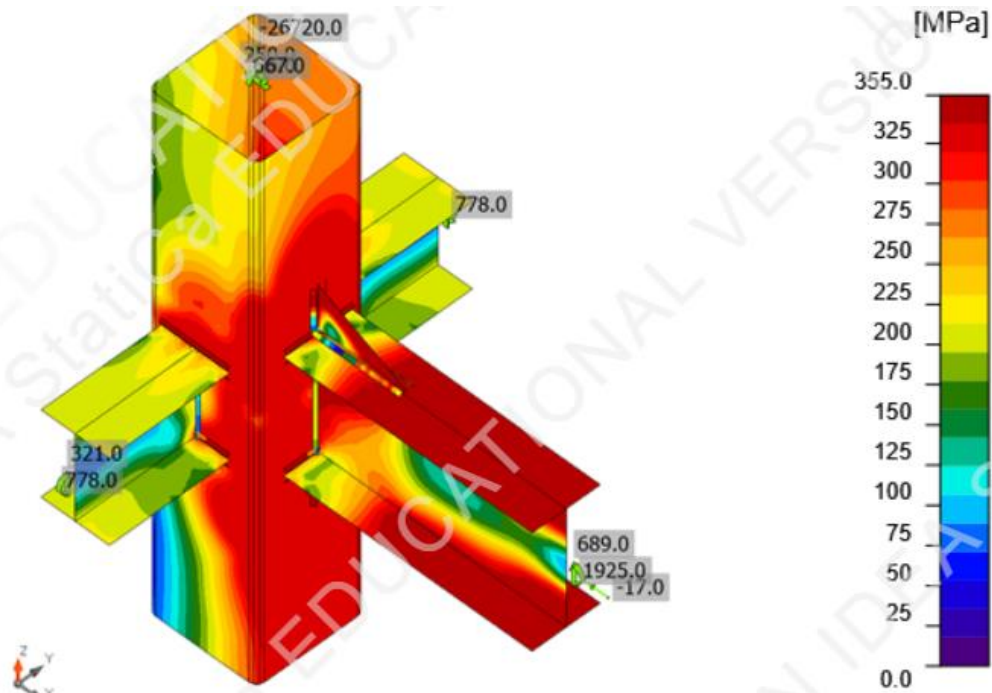
Tablica 10.34. Dokaz nosivosti i stabilnosti

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	2.3 < 5.0%	OK
Welds	99.8 < 100%	OK

Tablica 10.35. Dokaz nosivosti čvornih limova

Name	Material	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
C-w 1	S 355	60.0	LE1	338.0	1.4	0.0	OK
C-arc 1	S 355	60.0	LE1	336.1	0.5	0.0	OK
C-arc 2	S 355	60.0	LE1	336.6	0.8	0.0	OK
C-arc 3	S 355	60.0	LE1	336.2	0.6	0.0	OK
C-w 2	S 355	60.0	LE1	337.7	1.3	0.0	OK
C-arc 4	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
C-arc 5	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
C-arc 6	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
C-w 3	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
C-arc 7	S 355	60.0	LE1	298.3	0.0	0.0	OK
C-arc 8	S 355	60.0	LE1	303.0	0.0	0.0	OK
C-arc 9	S 355	60.0	LE1	292.3	0.0	0.0	OK
C-w 4	S 355	60.0	LE1	335.6	0.3	0.0	OK
C-arc 10	S 355	60.0	LE1	336.0	0.5	0.0	OK
C-arc 11	S 355	60.0	LE1	336.3	0.6	0.0	OK
C-arc 12	S 355	60.0	LE1	335.7	0.3	0.0	OK
B-bfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	260.8	0.0	0.0	OK
B-tfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	241.0	0.0	0.0	OK
B-w 1	S 355 - 1	21.0	LE1	312.1	0.0	0.0	OK
M3-bfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	355.6	0.3	0.0	OK
M3-tfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	355.7	0.3	0.0	OK
M3-w 1	S 355 - 1	21.0	LE1	355.7	0.3	0.0	OK
M4-bfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	262.9	0.0	0.0	OK
M4-tfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	234.6	0.0	0.0	OK
M4-w 1	S 355 - 1	21.0	LE1	354.3	0.1	0.0	OK
WID2a	S 355 - 1	40.0	LE1	355.4	0.2	0.0	OK
WID2b	S 355 - 1	40.0	LE1	359.9	2.3	0.0	OK



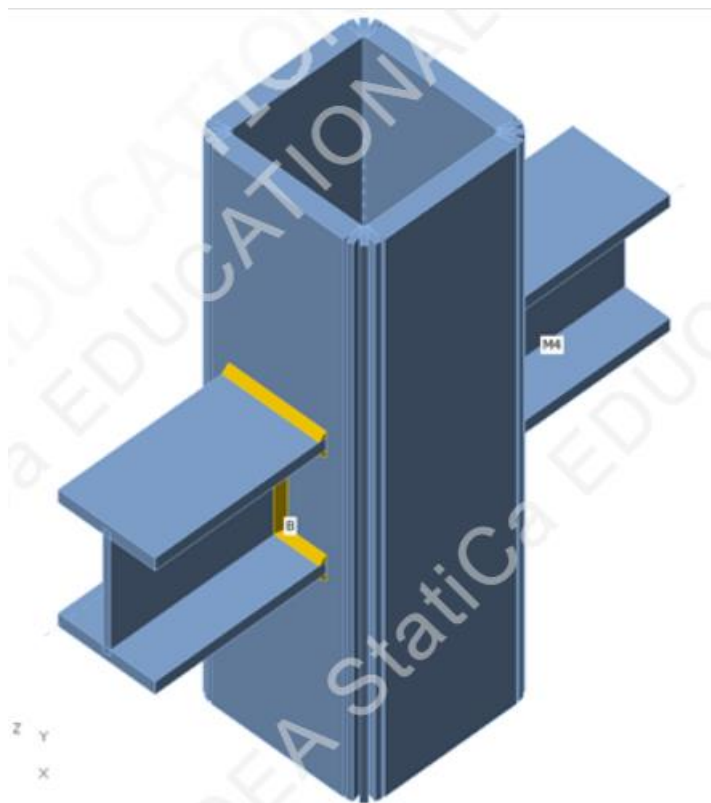


Slika 10.42. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.36. Dokaz nosivosti varova

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
C-w 4	B-bfl 1	▲ 15.0 ▼	307	LE1	410.8	0.8	-197.6	-168.7	121.5	98.3	85.2	OK
		▲ 15.0 ▼	306	LE1	413.3	2.3	-186.5	199.4	74.9	98.9	98.4	OK
C-w 4	B-tfl 1	▲ 15.0 ▼	306	LE1	413.2	2.2	182.0	188.1	102.4	98.9	98.3	OK
		▲ 15.0 ▼	307	LE1	411.7	1.4	187.4	-167.5	-129.4	98.6	86.5	OK
C-w 4	B-w 1	▲ 15.0 ▼	391	LE1	188.4	0.0	15.1	5.1	108.3	45.1	28.5	OK
		▲ 15.0 ▼	391	LE1	183.5	0.0	-12.1	13.5	-104.8	43.9	34.0	OK
C-w 1	M3-bfl 1	▲ 16.0 ▼	305	LE1	414.7	3.2	-173.2	-189.1	107.5	99.3	79.6	OK
		▲ 16.0 ▼	306	LE1	416.0	3.9	-187.0	187.6	-104.1	99.6	88.9	OK
C-w 1	M3-tfl 1	▲ 16.0 ▼	306	LE1	417.0	4.5	165.7	159.1	153.2	99.8	90.4	OK
		▲ 16.0 ▼	305	LE1	417.0	4.5	171.3	-163.4	-146.6	99.8	94.6	OK
C-w 1	M3-w 1	▲ 16.0 ▼	531	LE1	319.9	0.0	-68.1	-46.4	174.4	76.6	51.3	OK
		▲ 16.0 ▼	531	LE1	316.3	0.0	-39.2	60.9	-170.7	75.7	47.7	OK
C-w 1	WID2a	▲ 20.0 ▼	199	LE1	409.6	0.1	205.1	198.2	-51.2	98.0	60.8	OK
		▲ 20.0 ▼	199	LE1	409.5	0.1	196.8	-202.9	42.5	98.0	60.1	OK
M3-tfl 1	WID2a	▲ 20.0 ▼	398	LE1	298.3	0.0	48.2	49.4	162.6	68.5	45.0	OK
		▲ 20.0 ▼	398	LE1	309.8	0.0	49.7	-48.5	-169.8	71.1	46.4	OK
C-w 1	WID2b	▲ 20.0 ▼	199	LE1	414.6	3.1	-163.5	-167.9	142.1	99.2	82.7	OK
		▲ 20.0 ▼	199	LE1	414.5	3.0	-160.7	166.6	-144.6	99.2	80.9	OK
M3-bfl 1	WID2b	▲ 20.0 ▼	398	LE1	273.6	0.0	-38.5	-38.1	-151.7	62.8	43.3	OK
		▲ 20.0 ▼	398	LE1	276.5	0.0	-143.2	136.4	7.9	63.5	42.7	OK
C-w 2	M4-bfl 1	▲ 15.0 ▼	307	LE1	411.7	1.3	-185.1	-185.4	103.4	98.5	92.0	OK
		▲ 15.0 ▼	306	LE1	415.8	3.8	-189.5	199.4	-76.8	99.5	98.7	OK
C-w 2	M4-tfl 1	▲ 15.0 ▼	306	LE1	415.7	3.8	175.1	178.1	-125.1	99.5	98.6	OK
		▲ 15.0 ▼	307	LE1	414.1	2.8	177.2	-158.9	146.4	99.1	89.7	OK
C-w 2	M4-w 1	▲ 15.0 ▼	391	LE1	285.5	0.0	-30.2	-41.9	158.5	68.3	34.9	OK
		▲ 15.0 ▼	391	LE1	258.3	0.0	-28.1	16.4	-147.3	61.8	32.1	OK

## 10.2.4 Priključak 2 sekundarna nosača na stup



Slika 10.43. Prikaz priključka

Tablica 10.37. Poprečni presjeci priključka

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
C	7 - RHS550x550	0.0	90.0	0.0	0	0	0
B	8 - HEM400	-90.0	0.0	0.0	0	0	0
M4	8 - HEM400	90.0	0.0	0.0	0	0	0

Tablica 10.38. Materijali poprečnih presjeka

Name	Material
7 - RHS550x550	S 355
8 - HEM400	S 355

Tablica 10.39. Djelovanja u čvoru priključka

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	C / Begin	-26720.0	0.0	250.0	0.0	6.0	667.0
	C / End	-26720.0	0.0	250.0	0.0	6.0	667.0
	B / End	0.0	0.0	321.0	0.0	778.0	0.0
	M4 / End	0.0	0.0	321.0	0.0	778.0	0.0

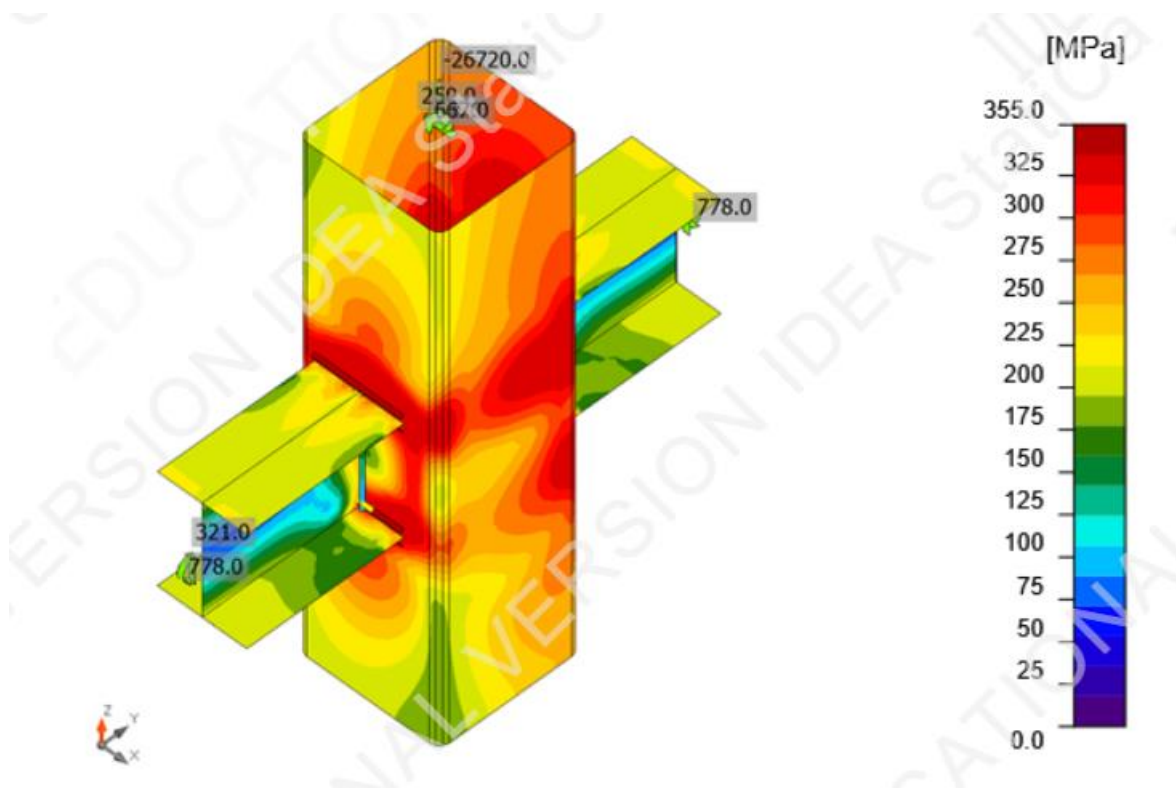


Tablica 10.40. Dokaz nosivosti i stabilnosti

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	1.1 < 5.0%	OK
Welds	99.3 < 100%	OK

Tablica 10.41. Dokaz nosivosti čvornih limova

Name	Material	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
C-w 1	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
C-arc 1	S 355	60.0	LE1	335.2	0.1	0.0	OK
C-arc 2	S 355	60.0	LE1	335.2	0.1	0.0	OK
C-arc 3	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
C-w 2	S 355	60.0	LE1	337.3	1.1	0.0	OK
C-arc 4	S 355	60.0	LE1	335.2	0.1	0.0	OK
C-arc 5	S 355	60.0	LE1	335.2	0.1	0.0	OK
C-arc 6	S 355	60.0	LE1	335.1	0.1	0.0	OK
C-w 3	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
C-arc 7	S 355	60.0	LE1	335.0	0.0	0.0	OK
C-arc 8	S 355	60.0	LE1	335.0	0.0	0.0	OK
C-arc 9	S 355	60.0	LE1	335.0	0.0	0.0	OK
C-w 4	S 355	60.0	LE1	335.8	0.4	0.0	OK
C-arc 10	S 355	60.0	LE1	335.0	0.0	0.0	OK
C-arc 11	S 355	60.0	LE1	335.0	0.0	0.0	OK
C-arc 12	S 355	60.0	LE1	335.0	0.0	0.0	OK
B-bfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	254.6	0.0	0.0	OK
B-tfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	241.7	0.0	0.0	OK
B-w 1	S 355 - 1	21.0	LE1	264.6	0.0	0.0	OK
M4-bfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	260.5	0.0	0.0	OK
M4-tfl 1	S 355 - 1	40.0	LE1	238.8	0.0	0.0	OK
M4-w 1	S 355 - 1	21.0	LE1	313.9	0.0	0.0	OK

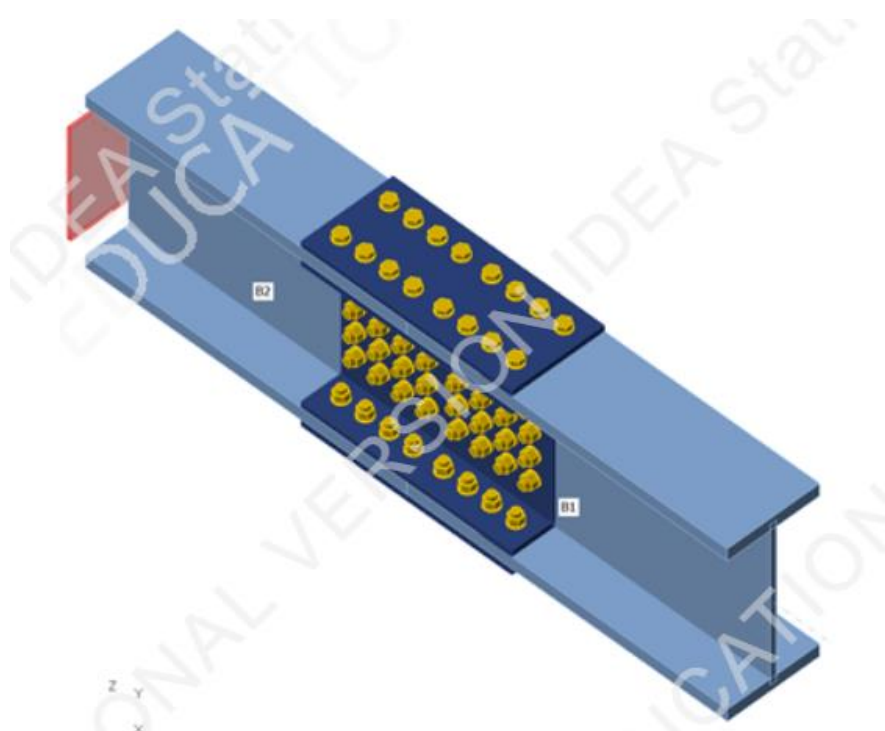


Slika 10.44. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.42. Dokaz nosivosti varova

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
C-w 4	B-bfl 1	▲ 15.0 ▼	307	LE1	411.4	1.2	-192.4	-179.2	109.4	98.5	83.5	OK
		▲ 15.0 ▼	306	LE1	413.9	2.7	-183.5	197.3	-83.3	99.1	98.5	OK
C-w 4	B-tfl 1	▲ 15.0 ▼	306	LE1	413.9	2.7	183.4	187.0	-104.4	99.1	98.5	OK
		▲ 15.0 ▼	307	LE1	412.2	1.7	186.6	-168.8	128.6	98.7	85.0	OK
C-w 4	B-w 1	▲ 15.0 ▼	391	LE1	191.0	0.0	-9.8	-9.8	109.7	45.7	31.8	OK
		▲ 15.0 ▼	391	LE1	190.1	0.0	-10.2	10.2	-109.1	45.5	31.7	OK
C-w 2	M4-bfl 1	▲ 15.0 ▼	307	LE1	411.8	1.4	-184.1	-185.4	-104.1	98.6	85.9	OK
		▲ 15.0 ▼	306	LE1	414.9	3.3	-189.0	197.5	80.4	99.3	98.6	OK
C-w 2	M4-tfl 1	▲ 15.0 ▼	306	LE1	414.7	3.2	182.1	185.3	-109.2	99.3	98.6	OK
		▲ 15.0 ▼	307	LE1	413.0	2.1	184.9	-167.1	-132.4	98.8	87.1	OK
C-w 2	M4-w 1	▲ 15.0 ▼	391	LE1	221.1	0.0	-5.8	-6.1	127.5	52.9	30.5	OK
		▲ 15.0 ▼	391	LE1	222.3	0.0	-5.3	5.0	-128.2	53.2	30.4	OK

## 10.2.5 Nastavak glavnog nosača



Slika 10.45. Prikaz priključka

Tablica 10.43. Poprečni presjeci priključka

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B1	2 - HEM550	0.0	0.0	0.0	0	0	0
B2	2 - HEM550	180.0	0.0	0.0	0	0	0

Tablica 10.44. Materijali poprečnih presjeka

Name	Material
2 - HEM550	S 355

Tablica 10.45. Djelovanja u čvoru priključka

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B1 / End	-17.0	0.0	592.0	0.0	1722.0	0.0
	B2 / End	-17.0	0.0	592.0	0.0	1722.0	0.0

Tablica 10.46. Karakteristike vijaka

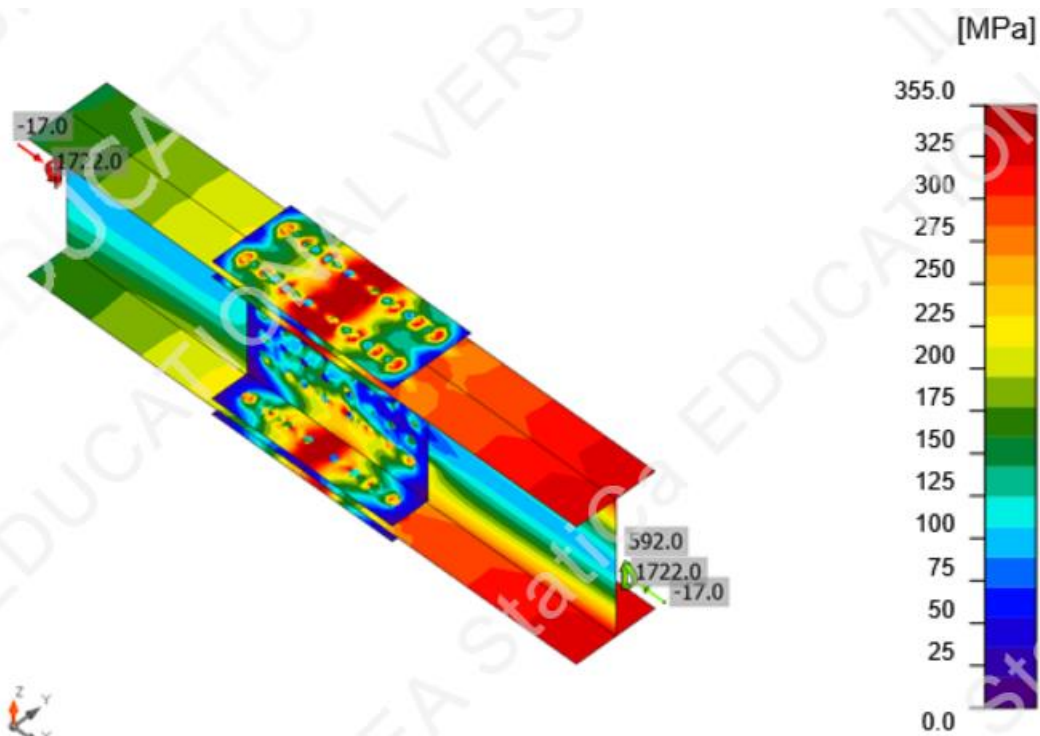
Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M27 10.9	M27 10.9	27	1000.0	573

Tablica 10.47. Dokaz nosivosti i stabilnosti

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.4 < 5.0%	OK
Bolts	99.9 < 100%	OK

Tablica 10.48. Dokaz nosivosti čvornih limova

Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B1-bfl 1	40.0	LE1	347.6	0.0	90.0	OK
B1-tfl 1	40.0	LE1	355.5	0.2	127.2	OK
B1-w 1	21.0	LE1	355.4	0.2	68.3	OK
B2-bfl 1	40.0	LE1	329.9	0.0	34.3	OK
B2-tfl 1	40.0	LE1	355.2	0.1	45.0	OK
B2-w 1	21.0	LE1	301.3	0.0	21.4	OK
SPL1a	20.0	LE1	355.9	0.4	57.6	OK
SPL1b	20.0	LE1	355.9	0.4	45.0	OK
SPL1c	20.0	LE1	355.9	0.4	44.5	OK
SPL2a	20.0	LE1	355.4	0.2	34.3	OK
SPL2b	20.0	LE1	355.5	0.2	28.8	OK
SPL2c	20.0	LE1	355.5	0.2	30.6	OK
SPL3a	10.0	LE1	355.5	0.2	31.2	OK
SPL3b	10.0	LE1	355.5	0.2	31.2	OK



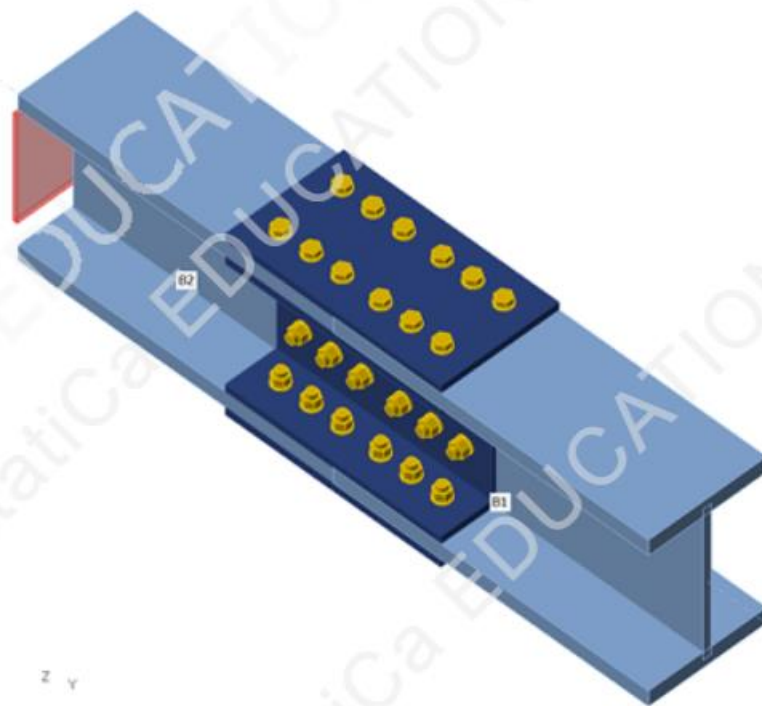
Slika 10.46. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.49. Dokaz nosivosti vijaka

Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	Status
	B1	M27 10.9 - 1	LE1	26.1	172.0	588.0	7.9	93.7	99.3	OK
	B2	M27 10.9 - 1	LE1	13.9	177.3	338.1	4.2	96.6	99.6	OK
	B3	M27 10.9 - 1	LE1	3.5	181.9	338.1	1.1	99.1	99.8	OK
	B4	M27 10.9 - 1	LE1	47.6	162.7	676.2	14.4	88.6	98.9	OK
	B5	M27 10.9 - 1	LE1	26.6	171.8	588.0	8.0	93.6	99.3	OK
	B6	M27 10.9 - 1	LE1	13.1	177.7	338.1	4.0	96.8	99.6	OK
	B7	M27 10.9 - 1	LE1	3.5	181.9	338.1	1.1	99.1	99.8	OK
	B8	M27 10.9 - 1	LE1	47.7	162.6	676.2	14.4	88.6	98.9	OK
	B9	M27 10.9 - 1	LE1	33.5	169.4	588.0	10.1	92.3	99.5	OK
	B10	M27 10.9 - 1	LE1	14.3	177.5	338.1	4.3	96.7	99.8	OK
	B11	M27 10.9 - 1	LE1	3.5	182.1	338.1	1.1	99.2	99.9	OK
	B12	M27 10.9 - 1	LE1	44.7	164.7	676.2	13.5	89.7	99.4	OK
	B13	M27 10.9 - 1	LE1	33.4	169.4	588.0	10.1	92.3	99.5	OK
	B14	M27 10.9 - 1	LE1	14.5	177.4	338.1	4.4	96.6	99.8	OK
	B15	M27 10.9 - 1	LE1	3.3	182.1	338.1	1.0	99.2	99.9	OK
	B16	M27 10.9 - 1	LE1	44.7	164.7	676.2	13.5	89.7	99.4	OK
	B17	M27 10.9 - 1	LE1	60.1	157.4	676.2	18.2	85.7	98.7	OK
	B18	M27 10.9 - 1	LE1	9.2	179.4	338.1	2.8	97.7	99.7	OK
	B19	M27 10.9 - 1	LE1	8.5	179.7	338.1	2.6	97.9	99.7	OK
	B20	M27 10.9 - 1	LE1	6.7	180.5	338.1	2.0	98.3	99.8	OK
	B21	M27 10.9 - 1	LE1	60.0	157.4	676.2	18.2	85.7	98.7	OK
	B22	M27 10.9 - 1	LE1	9.5	179.3	338.1	2.9	97.7	99.7	OK
	B23	M27 10.9 - 1	LE1	8.3	179.9	338.1	2.5	98.0	99.7	OK
	B24	M27 10.9 - 1	LE1	6.9	180.5	338.1	2.1	98.3	99.8	OK
	B25	M27 10.9 - 1	LE1	60.7	157.9	676.2	18.4	86.0	99.1	OK
	B26	M27 10.9 - 1	LE1	15.1	177.1	338.1	4.6	96.5	99.7	OK
	B27	M27 10.9 - 1	LE1	6.2	180.9	338.1	1.9	98.5	99.9	OK
	B28	M27 10.9 - 1	LE1	5.5	181.2	338.1	1.7	98.7	99.9	OK
	B29	M27 10.9 - 1	LE1	60.8	157.9	676.2	18.4	86.0	99.1	OK
	B30	M27 10.9 - 1	LE1	15.7	176.8	338.1	4.8	96.3	99.7	OK
	B31	M27 10.9 - 1	LE1	6.0	181.0	338.1	1.8	98.6	99.9	OK
	B32	M27 10.9 - 1	LE1	5.3	181.3	338.1	1.6	98.7	99.9	OK
	B33	M27 10.9 - 2	LE1	9.2	72.1	137.5	2.9	52.4	41.2	OK
	B34	M27 10.9 - 2	LE1	4.4	33.9	264.6	1.4	18.5	19.4	OK
	B35	M27 10.9 - 2	LE1	3.5	24.7	137.5	1.1	18.0	14.2	OK
	B36	M27 10.9 - 2	LE1	11.2	51.9	206.1	3.5	28.3	30.7	OK
	B37	M27 10.9 - 2	LE1	20.6	104.2	314.9	6.5	66.2	61.2	OK
	B38	M27 10.9 - 2	LE1	13.2	78.2	137.5	4.1	56.9	45.5	OK
	B39	M27 10.9 - 2	LE1	9.3	73.6	137.5	2.9	53.6	42.1	OK
	B40	M27 10.9 - 2	LE1	21.8	89.6	176.6	6.8	50.7	53.5	OK
	B41	M27 10.9 - 2	LE1	11.4	72.9	137.5	3.6	53.1	42.2	OK
	B42	M27 10.9 - 2	LE1	4.0	34.3	264.6	1.3	18.7	19.5	OK
	B43	M27 10.9 - 2	LE1	3.1	22.9	137.5	1.0	16.6	13.1	OK
	B44	M27 10.9 - 2	LE1	6.2	50.5	264.6	1.9	27.5	28.9	OK
	B45	M27 10.9 - 2	LE1	20.7	108.3	264.6	6.5	59.0	63.5	OK
	B46	M27 10.9 - 2	LE1	10.0	80.2	137.5	3.1	58.3	45.8	OK

B47	M27 10.9 - 2	LE1	10.2	74.0	137.5	3.2	53.8	42.5	OK	
B48	M27 10.9 - 2	LE1	15.5	90.5	264.6	4.9	49.3	52.6	OK	
B49	M27 10.9 - 2	LE1	3.9	30.0	345.2	1.2	17.4	17.2	OK	
B50	M27 10.9 - 2	LE1	1.9	14.0	137.5	0.6	10.2	8.0	OK	
B51	M27 10.9 - 2	LE1	3.0	23.3	264.6	0.9	12.7	13.3	OK	
B52	M27 10.9 - 2	LE1	8.2	49.6	137.5	2.6	36.1	28.8	OK	
B53	M27 10.9 - 2	LE1	10.2	55.7	308.8	3.2	36.1	32.5	OK	
B54	M27 10.9 - 2	LE1	6.2	43.5	137.5	1.9	31.7	25.0	OK	
B55	M27 10.9 - 2	LE1	5.9	47.1	264.6	1.8	25.7	26.9	OK	
B56	M27 10.9 - 2	LE1	13.7	67.0	185.2	4.3	36.5	39.4	OK	
B57	M27 10.9 - 2	LE1	6.0	27.7	264.6	1.9	15.1	16.4	OK	
B58	M27 10.9 - 2	LE1	1.6	12.8	137.5	0.5	9.3	7.3	OK	
B59	M27 10.9 - 2	LE1	3.2	24.3	264.6	1.0	13.2	13.9	OK	
B60	M27 10.9 - 2	LE1	6.0	49.8	137.5	1.9	36.3	28.5	OK	
B61	M27 10.9 - 2	LE1	13.7	55.3	264.6	4.3	30.1	33.1	OK	
B62	M27 10.9 - 2	LE1	5.5	43.8	137.5	1.7	31.8	25.0	OK	
B63	M27 10.9 - 2	LE1	9.1	48.3	264.6	2.8	26.3	28.2	OK	
B64	M27 10.9 - 2	LE1	14.3	67.8	264.6	4.5	36.9	40.0	OK	

### 10.2.6 Nastavak sekundarnog nosača



Slika 10.47. Prikaz priključka

Tablica 10.50. Poprečni presjeci priključka

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B1	3 - HEM400	0.0	0.0	0.0	0	0	0
B2	3 - HEM400	180.0	0.0	0.0	0	0	0



Tablica 10.51. Materijali poprečnih presjeka

Name	Material
3 - HEM400	S 355

Tablica 10.52. Djelovanja u čvoru priključka

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B1 / End	0.0	0.0	283.0	0.0	711.0	0.0
	B2 / End	0.0	0.0	283.0	0.0	711.0	0.0

Tablica 10.53. Karakteristike vijaka

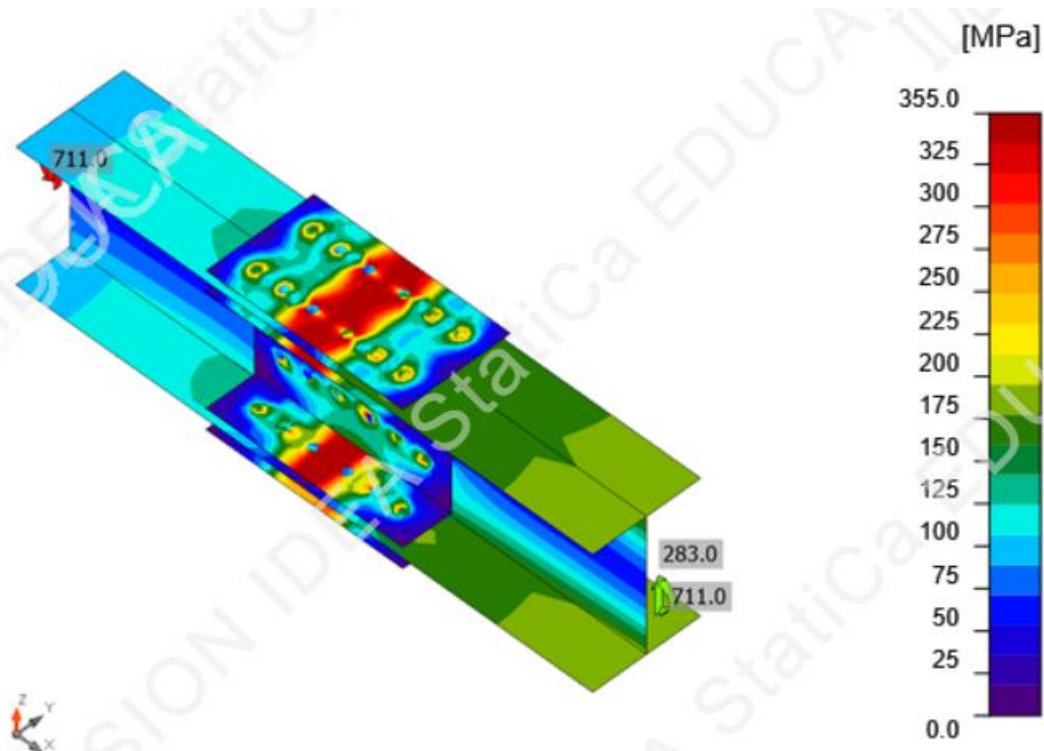
Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M24 10.9	M24 10.9	24	1000.0	452

Tablica 10.54. Dokaz nosivosti i stabilnosti

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	$0.2 < 5.0\%$	OK
Bolts	$99.9 < 100\%$	OK

Tablica 10.55. Dokaz nosivosti čvornih limova

Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B1-bfl 1	40.0	LE1	276.2	0.0	59.3	OK
B1-tfl 1	40.0	LE1	327.2	0.0	116.8	OK
B1-w 1	21.0	LE1	343.9	0.0	95.7	OK
B2-bfl 1	40.0	LE1	267.1	0.0	26.0	OK
B2-tfl 1	40.0	LE1	283.4	0.0	36.5	OK
B2-w 1	21.0	LE1	250.3	0.0	26.0	OK
SPL1a	20.0	LE1	355.4	0.2	50.6	OK
SPL1b	20.0	LE1	355.5	0.2	36.5	OK
SPL1c	20.0	LE1	355.4	0.2	31.9	OK
SPL2a	20.0	LE1	355.2	0.1	26.0	OK
SPL2b	20.0	LE1	355.3	0.1	31.7	OK
SPL2c	20.0	LE1	355.3	0.1	31.8	OK
SPL3a	10.0	LE1	355.1	0.1	32.2	OK
SPL3b	10.0	LE1	355.1	0.1	32.9	OK



Slika 10.48. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.56. Dokaz nosivosti vijaka

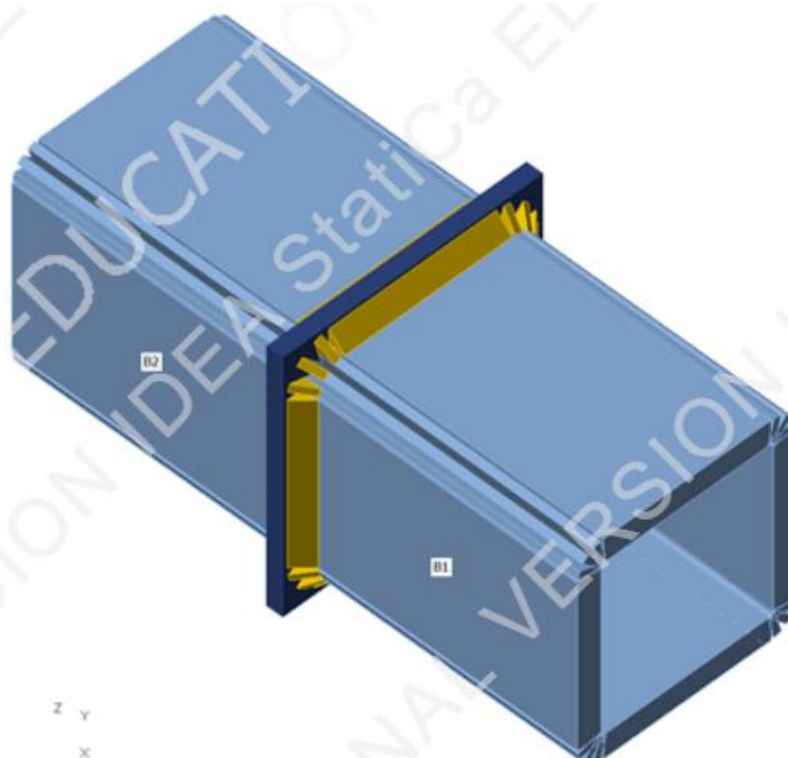
Shape	Item	Grade	Loads	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$U_{t_t}$ [%]	$U_{t_s}$ [%]	$U_{t_{ts}}$ [%]	Status
	B1	M24 10.9 - 1	LE1	22.7	131.6	603.1	8.9	93.2	99.5	OK
	B2	M24 10.9 - 1	LE1	14.8	134.9	364.9	5.8	95.6	99.7	OK
	B3	M24 10.9 - 1	LE1	33.9	127.0	729.7	13.3	89.9	99.4	OK
	B4	M24 10.9 - 1	LE1	20.7	132.4	603.1	8.2	93.7	99.6	OK
	B5	M24 10.9 - 1	LE1	14.5	135.1	364.9	5.7	95.7	99.7	OK
	B6	M24 10.9 - 1	LE1	34.3	126.8	729.7	13.5	89.8	99.4	OK
	B7	M24 10.9 - 1	LE1	24.1	131.3	603.1	9.5	93.0	99.7	OK
	B8	M24 10.9 - 1	LE1	17.5	134.0	364.9	6.9	94.9	99.8	OK
	B9	M24 10.9 - 1	LE1	31.5	128.3	729.7	12.4	90.8	99.7	OK
	B10	M24 10.9 - 1	LE1	23.2	131.6	603.1	9.1	93.2	99.8	OK
	B11	M24 10.9 - 1	LE1	17.3	134.1	364.9	6.8	95.0	99.8	OK
	B12	M24 10.9 - 1	LE1	31.4	128.3	729.7	12.4	90.9	99.7	OK
	B13	M24 10.9 - 1	LE1	47.1	121.4	729.7	18.5	86.0	99.3	OK
	B14	M24 10.9 - 1	LE1	14.6	135.0	364.9	5.8	95.6	99.7	OK
	B15	M24 10.9 - 1	LE1	4.8	139.2	364.9	1.9	98.6	99.9	OK
	B16	M24 10.9 - 1	LE1	47.1	121.4	729.7	18.5	86.0	99.3	OK
	B17	M24 10.9 - 1	LE1	14.6	135.0	364.9	5.8	95.6	99.7	OK
	B18	M24 10.9 - 1	LE1	4.8	139.2	364.9	1.9	98.6	99.9	OK
	B19	M24 10.9 - 1	LE1	44.1	123.1	729.7	17.4	87.1	99.6	OK
	B20	M24 10.9 - 1	LE1	18.6	133.5	364.9	7.3	94.6	99.8	OK
	B21	M24 10.9 - 1	LE1	5.1	139.1	364.9	2.0	98.5	99.9	OK



	B22	M24 10.9 - 1	LE1	44.2	123.1	729.7	17.4	87.1	99.6	OK
	B23	M24 10.9 - 1	LE1	18.6	133.5	364.9	7.3	94.6	99.8	OK
	B24	M24 10.9 - 1	LE1	5.1	139.1	364.9	2.0	98.5	99.9	OK
	B25	M24 10.9 - 2	LE1	18.0	86.6	339.7	7.1	61.3	66.4	OK
	B26	M24 10.9 - 2	LE1	8.2	53.4	182.4	3.2	37.8	40.1	OK
	B27	M24 10.9 - 2	LE1	18.7	77.8	220.5	7.4	55.1	60.3	OK
	B28	M24 10.9 - 2	LE1	20.1	86.9	235.2	7.9	61.6	67.2	OK
	B29	M24 10.9 - 2	LE1	7.4	51.9	182.4	2.9	36.8	38.9	OK
	B30	M24 10.9 - 2	LE1	14.7	76.4	235.2	5.8	54.1	58.2	OK
	B31	M24 10.9 - 2	LE1	12.3	60.7	331.8	4.9	43.0	46.5	OK
	B32	M24 10.9 - 2	LE1	5.7	39.9	182.4	2.2	28.3	29.9	OK
	B33	M24 10.9 - 2	LE1	16.1	68.6	232.3	6.3	48.6	53.1	OK
	B34	M24 10.9 - 2	LE1	14.7	59.1	235.2	5.8	41.9	46.0	OK
	B35	M24 10.9 - 2	LE1	6.3	38.7	182.4	2.5	27.4	29.2	OK
	B36	M24 10.9 - 2	LE1	14.6	68.2	235.2	5.7	48.3	52.4	OK

272625 313233  
302928 343536

### 10.2.7 Nastavak stupa



Slika 10.49. Prikaz priključka

Tablica 10.57. Poprečni presjeci priključka

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B1	3 - RHS550x550	0.0	0.0	0.0	0	0	0
B2	3 - RHS550x550	180.0	0.0	0.0	0	0	0

Tablica 10.58. Materijali poprečnih presjeka

Name	Material
3 - RHS550x550	S 355

Tablica 10.59. Djelovanja u čvoru priključka

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B1 / End	-26210.0	0.0	232.0	0.0	589.0	0.0
	B2 / End	-26110.0	0.0	232.0	0.0	589.0	0.0

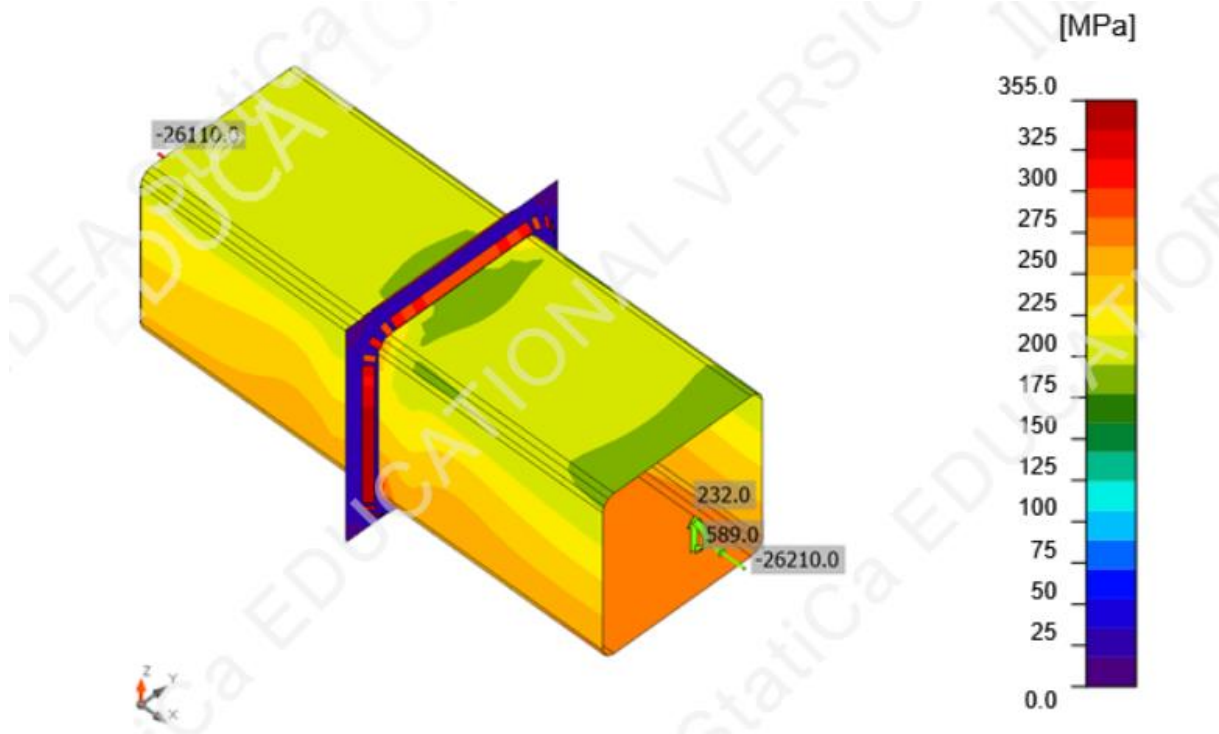
Tablica 10.60. Dokaz nosivosti i stabilnosti

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	0.0 < 5.0%	OK
Welds	98.0 < 100%	OK

Tablica 10.61. Dokaz nosivosti čvornih limova

Name	Material	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B1-w 1	S 355	60.0	LE1	291.5	0.0	0.0	OK
B1-arc 1	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
B1-arc 2	S 355	60.0	LE1	320.4	0.0	0.0	OK
B1-arc 3	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
B1-w 2	S 355	60.0	LE1	283.4	0.0	0.0	OK
B1-arc 4	S 355	60.0	LE1	286.0	0.0	0.0	OK
B1-arc 5	S 355	60.0	LE1	217.6	0.0	0.0	OK
B1-arc 6	S 355	60.0	LE1	277.8	0.0	0.0	OK
B1-w 3	S 355	60.0	LE1	213.0	0.0	0.0	OK
B1-arc 7	S 355	60.0	LE1	277.8	0.0	0.0	OK
B1-arc 8	S 355	60.0	LE1	217.6	0.0	0.0	OK
B1-arc 9	S 355	60.0	LE1	285.9	0.0	0.0	OK
B1-w 4	S 355	60.0	LE1	283.4	0.0	0.0	OK
B1-arc 10	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
B1-arc 11	S 355	60.0	LE1	320.5	0.0	0.0	OK
B1-arc 12	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
B2-w 1	S 355	60.0	LE1	292.2	0.0	0.0	OK
B2-arc 1	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
B2-arc 2	S 355	60.0	LE1	318.9	0.0	0.0	OK
B2-arc 3	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
B2-w 2	S 355	60.0	LE1	283.2	0.0	0.0	OK
B2-arc 4	S 355	60.0	LE1	287.8	0.0	0.0	OK
B2-arc 5	S 355	60.0	LE1	217.9	0.0	0.0	OK
B2-arc 6	S 355	60.0	LE1	276.9	0.0	0.0	OK
B2-w 3	S 355	60.0	LE1	213.2	0.0	0.0	OK
B2-arc 7	S 355	60.0	LE1	276.9	0.0	0.0	OK
B2-arc 8	S 355	60.0	LE1	217.9	0.0	0.0	OK

B2-arc 9	S 355	60.0	LE1	287.8	0.0	0.0	OK
B2-w 4	S 355	60.0	LE1	283.2	0.0	0.0	OK
B2-arc 10	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
B2-arc 11	S 355	60.0	LE1	318.9	0.0	0.0	OK
B2-arc 12	S 355	60.0	LE1	335.1	0.0	0.0	OK
PP1	S 355 - 1	40.0	LE1	55.2	0.0	0.0	OK



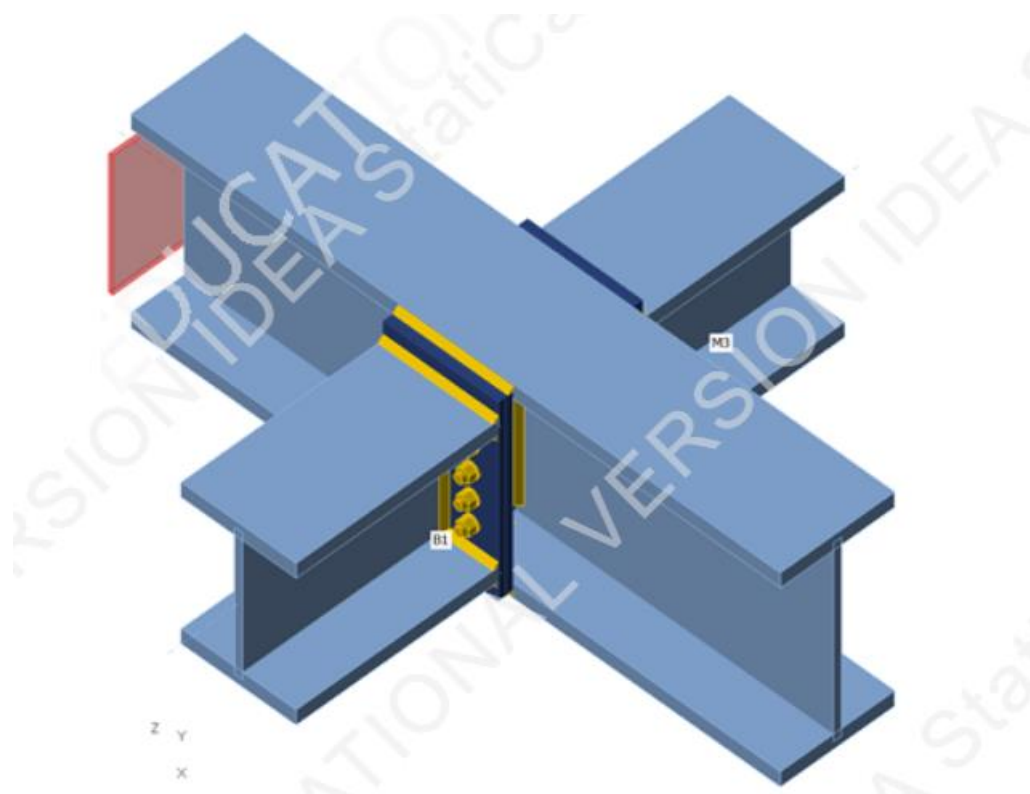
Slika 10.50. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.62. Dokaz nosivosti vara

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
PP1	B1-w 1	▲ 28.0 ▼	419	LE1	409.4	0.0	-193.3	-207.5	19.3	98.0	94.3	OK
		▲ 28.0 ▼	419	LE1	409.5	0.0	-212.9	201.9	-4.6	98.0	98.0	OK
PP1	B1-arc 1	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-188.0	-209.8	-11.6	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	391.4	0.0	-219.6	185.8	-21.1	93.7	93.7	OK
PP1	B1-arc 2	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-173.1	-214.3	-2.3	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	397.2	0.0	-244.3	180.7	5.1	95.1	95.1	OK
PP1	B1-arc 3	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-185.5	-210.7	8.2	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	377.0	0.0	-215.3	176.7	26.8	90.2	90.2	OK
PP1	B1-w 2	▲ 28.0 ▼	419	LE1	406.1	0.0	-190.7	-206.7	10.7	97.2	81.7	OK
		▲ 28.0 ▼	419	LE1	409.4	0.0	-228.1	196.3	5.0	98.0	85.7	OK
PP1	B1-arc 4	▲ 28.0 ▼	18	LE1	392.2	0.0	-173.4	-202.9	-7.7	93.9	93.9	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	298.8	0.0	-170.3	141.4	-10.2	71.5	71.5	OK
PP1	B1-arc 5	▲ 28.0 ▼	18	LE1	366.0	0.0	-144.2	-194.2	-2.5	87.6	87.6	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	305.9	0.0	-188.4	139.1	3.7	73.2	73.2	OK
PP1	B1-arc 6	▲ 28.0 ▼	18	LE1	386.5	0.0	-168.7	-200.8	3.7	92.5	92.5	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	293.3	0.0	-169.0	137.5	15.4	70.2	70.2	OK
PP1	B1-w 3	▲ 28.0 ▼	419	LE1	307.0	0.0	-145.6	-155.7	-10.4	73.5	68.8	OK
		▲ 28.0 ▼	419	LE1	310.0	0.0	-171.2	149.2	-1.3	74.2	71.8	OK
PP1	B1-arc 7	▲ 28.0 ▼	18	LE1	386.6	0.0	-168.7	-200.8	-3.7	92.5	92.5	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	293.3	0.0	-169.0	137.5	-15.5	70.2	70.2	OK
PP1	B1-arc 8	▲ 28.0 ▼	18	LE1	366.0	0.0	-144.2	-194.2	2.5	87.6	87.6	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	305.8	0.0	-188.4	139.0	-3.7	73.2	73.2	OK
PP1	B1-arc 9	▲ 28.0 ▼	18	LE1	392.2	0.0	-173.5	-203.0	7.7	93.9	93.9	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	298.7	0.0	-170.3	141.4	10.2	71.5	71.5	OK
PP1	B1-w 4	▲ 28.0 ▼	419	LE1	406.1	0.0	-190.7	-206.7	-10.7	97.2	81.7	OK
		▲ 28.0 ▼	419	LE1	409.4	0.0	-228.0	196.3	-4.9	98.0	85.7	OK
PP1	B1-arc 10	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-185.5	-210.7	-8.2	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	376.9	0.0	-215.3	176.6	-26.8	90.2	90.2	OK
PP1	B1-arc 11	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-173.1	-214.3	2.3	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	397.1	0.0	-244.2	180.7	-5.1	95.0	95.0	OK
PP1	B1-arc 12	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-188.0	-209.8	11.6	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	391.4	0.0	-219.6	185.8	21.1	93.7	93.7	OK
PP1	B2-w 1	▲ 28.0 ▼	419	LE1	409.4	0.0	-192.8	-208.1	14.3	98.0	93.6	OK
		▲ 28.0 ▼	419	LE1	409.5	0.0	-225.9	197.1	2.4	98.0	98.0	OK
PP1	B2-arc 1	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-186.4	-210.4	-8.3	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	386.7	0.0	-219.3	182.3	-24.2	92.6	92.6	OK
PP1	B2-arc 2	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-172.5	-214.5	1.4	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	395.5	0.0	-243.9	179.8	-0.3	94.7	94.7	OK
PP1	B2-arc 3	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-186.1	-210.4	11.2	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	375.9	0.0	-214.0	177.1	21.5	90.0	90.0	OK
PP1	B2-w 2	▲ 28.0 ▼	419	LE1	406.8	0.0	-191.5	-206.5	17.8	97.4	81.7	OK
		▲ 28.0 ▼	419	LE1	409.4	0.0	-226.6	196.9	-1.8	98.0	85.7	OK
PP1	B2-arc 4	▲ 28.0 ▼	18	LE1	393.0	0.0	-172.8	-203.7	-3.3	94.1	94.1	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	300.3	0.0	-171.7	141.5	-15.1	71.9	71.9	OK

PP1	B2-arc 5	▲ 28.0 ▼	18	LE1	366.6	0.0	-144.8	-194.5	1.9	87.8	87.8	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	306.5	0.0	-188.6	139.5	-1.5	73.4	73.4	OK
PP1	B2-arc 6	▲ 28.0 ▼	18	LE1	387.8	0.0	-170.7	-200.9	7.3	92.8	92.8	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	293.2	0.0	-168.0	138.3	11.2	70.2	70.2	OK
PP1	B2-w 3	▲ 28.0 ▼	419	LE1	309.7	0.0	-147.3	-156.6	-14.3	74.1	69.3	OK
		▲ 28.0 ▼	419	LE1	311.3	0.0	-170.7	150.2	-5.9	74.5	72.1	OK
PP1	B2-arc 7	▲ 28.0 ▼	18	LE1	387.9	0.0	-170.7	-201.0	-7.3	92.8	92.8	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	293.2	0.0	-168.0	138.3	-11.2	70.2	70.2	OK
PP1	B2-arc 8	▲ 28.0 ▼	18	LE1	366.7	0.0	-144.8	-194.5	-1.9	87.8	87.8	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	306.5	0.0	-188.5	139.5	1.5	73.4	73.4	OK
PP1	B2-arc 9	▲ 28.0 ▼	18	LE1	392.9	0.0	-172.8	-203.7	3.3	94.0	94.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	300.4	0.0	-171.7	141.5	15.1	71.9	71.9	OK
PP1	B2-w 4	▲ 28.0 ▼	419	LE1	406.8	0.0	-191.5	-206.5	-17.8	97.4	81.7	OK
		▲ 28.0 ▼	419	LE1	409.4	0.0	-226.6	196.9	1.8	98.0	85.7	OK
PP1	B2-arc 10	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-186.1	-210.4	-11.2	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	375.9	0.0	-214.0	177.2	-21.5	90.0	90.0	OK
PP1	B2-arc 11	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-172.5	-214.5	-1.4	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	395.5	0.0	-243.9	179.8	0.3	94.7	94.7	OK
PP1	B2-arc 12	▲ 28.0 ▼	18	LE1	409.6	0.1	-186.4	-210.4	8.3	98.0	98.0	OK
		▲ 28.0 ▼	18	LE1	386.7	0.0	-219.3	182.3	24.2	92.6	92.6	OK

### 10.2.8 Spoj sekundarnih nosača na glavni nosač



Slika 10.51. Prikaz priključka

Tablica 10.63. *Poprečni presjeci priključka*

Name	Cross-section	$\beta$ - Direction [°]	$\gamma$ - Pitch [°]	$\alpha$ - Rotation [°]	Offset ex [mm]	Offset ey [mm]	Offset ez [mm]
B	3 - HEM550	0.0	0.0	0.0	0	0	0
B1	4 - HEM400	-90.0	0.0	0.0	0	0	0
M3	4 - HEM400	90.0	0.0	0.0	0	0	0

Tablica 10.64. *Materijali poprečnih presjeka*

Name	Material
3 - HEM550	S 355
4 - HEM400	S 355

Tablica 10.65. *Djelovanja u čvoru priključka*

Name	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
LE1	B / Begin	-17.0	0.0	689.0	0.0	1925.0	0.0
	B / End	-17.0	0.0	689.0	0.0	1925.0	0.0
	B1 / End	0.0	0.0	321.0	0.0	180.0	0.0
	M3 / End	0.0	0.0	321.0	0.0	180.0	0.0

Tablica 10.66. *Karakteristike vijaka*

Name	Bolt assembly	Diameter [mm]	$f_u$ [MPa]	Gross area [mm <sup>2</sup> ]
M24 10.9	M24 10.9	24	1000.0	452

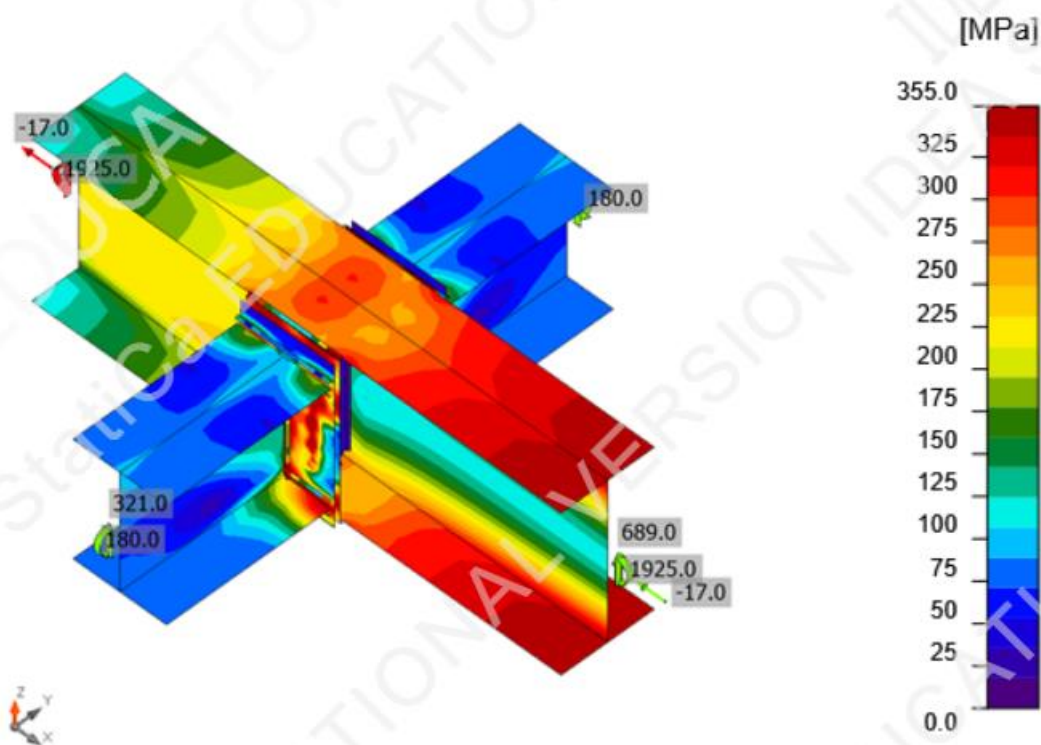
Tablica 10.67. *Dokaz nosivosti i stabilnosti*

Name	Value	Check status
Analysis	100.0%	OK
Plates	1.6 < 5.0%	OK
Bolts	96.2 < 100%	OK
Welds	98.8 < 100%	OK



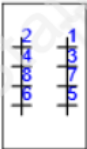
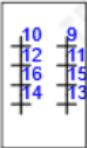
Tablica 10.68. Dokaz nosivosti čvornih limova

Name	$t_p$ [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Status
B-bfl 1	40.0	LE1	355.0	0.0	0.0	OK
B-tfl 1	40.0	LE1	355.0	0.0	0.0	OK
B-w 1	21.0	LE1	319.4	0.0	0.0	OK
B1-bfl 1	40.0	LE1	349.6	0.0	0.0	OK
B1-tfl 1	40.0	LE1	192.5	0.0	0.0	OK
B1-w 1	21.0	LE1	190.0	0.0	0.0	OK
M3-bfl 1	40.0	LE1	349.6	0.0	0.0	OK
M3-tfl 1	40.0	LE1	192.5	0.0	0.0	OK
M3-w 1	21.0	LE1	190.0	0.0	0.0	OK
SEP1a	20.0	LE1	358.4	1.6	110.4	OK
SEP1b	20.0	LE1	356.3	0.6	110.4	OK
STIFF	20.0	LE1	204.2	0.0	0.0	OK
STIFF1	14.0	LE1	40.6	0.0	0.0	OK
SEP2a	20.0	LE1	358.4	1.6	110.5	OK
SEP2b	20.0	LE1	356.3	0.6	110.5	OK
STIFF	20.0	LE1	203.9	0.0	0.0	OK



Slika 10.52. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.69. Dokaz nosivosti vijaka

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 10.9 - 1	LE1	244.5	22.9	470.4	96.2	16.2	84.9	OK
	B2	M24 10.9 - 1	LE1	242.5	26.3	470.4	95.4	18.6	86.8	OK
	B3	M24 10.9 - 1	LE1	201.6	50.2	304.6	79.3	35.5	92.2	OK
	B4	M24 10.9 - 1	LE1	198.5	51.8	304.6	78.1	36.7	92.5	OK
	B5	M24 10.9 - 1	LE1	87.3	41.9	304.6	34.4	29.7	54.2	OK
	B6	M24 10.9 - 1	LE1	85.0	42.7	304.6	33.4	30.2	54.1	OK
	B7	M24 10.9 - 1	LE1	155.2	46.5	304.6	61.1	32.9	76.5	OK
	B8	M24 10.9 - 1	LE1	157.9	47.0	304.6	62.1	33.3	77.6	OK
	B9	M24 10.9 - 1	LE1	244.5	22.9	470.4	96.2	16.2	84.9	OK
	B10	M24 10.9 - 1	LE1	242.5	26.3	470.4	95.4	18.7	86.8	OK
	B11	M24 10.9 - 1	LE1	201.6	50.2	304.6	79.3	35.5	92.2	OK
	B12	M24 10.9 - 1	LE1	198.5	51.8	304.6	78.1	36.7	92.5	OK
	B13	M24 10.9 - 1	LE1	87.4	41.8	304.6	34.4	29.6	54.2	OK
	B14	M24 10.9 - 1	LE1	85.1	42.6	304.6	33.5	30.2	54.1	OK
	B15	M24 10.9 - 1	LE1	155.3	46.5	304.6	61.1	32.9	76.5	OK
	B16	M24 10.9 - 1	LE1	158.0	47.0	304.6	62.2	33.3	77.7	OK

Tablica 10.70. Dokaz nosivosti vara

Item	Edge	$T_w$ [mm]	L [mm]	Loads	$\sigma_{w,Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{pl}$ [%]	$\sigma_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\perp}$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [MPa]	$U_t$ [%]	$U_{t_c}$ [%]	Status
SEP1a	B-tfl 1	▲ 10.0	306	LE1	427.1	0.2	242.2	-23.2	201.8	98.1	50.2	OK
SEP1a	B-bfl 1	▲ 10.0	306	LE1	427.6	0.4	-100.1	216.3	104.0	98.2	62.9	OK
SEP1b	B1-bfl 1	▲ 10.0 ▲	306	LE1	332.2	0.0	2.0	-189.4	-30.5	76.3	48.6	OK
		▲ 10.0 ▲	306	LE1	430.2	1.9	-228.8	210.3	1.0	98.8	98.5	OK
SEP1b	B1-tfl 1	▲ 10.0 ▲	306	LE1	137.8	0.0	-57.1	-50.9	51.5	31.6	20.5	OK
		▲ 10.0 ▲	306	LE1	285.7	0.0	200.0	-112.2	35.8	65.6	42.4	OK
SEP1b	B1-w 1	▲ 10.0 ▲	391	LE1	426.9	0.0	-163.2	-163.3	-158.7	98.0	49.8	OK
		▲ 10.0 ▲	391	LE1	426.9	0.0	-163.6	163.5	158.3	98.0	49.9	OK
B-bfl 1	STIFF	▲ 10.0 ▲	115	LE1	259.7	0.0	5.0	7.0	-149.7	59.6	43.4	OK
		▲ 10.0 ▲	115	LE1	295.3	0.0	3.7	-1.7	170.4	67.8	42.8	OK
B-w 1	STIFF	▲ 10.0 ▲	437	LE1	184.8	0.0	90.3	89.8	-24.5	42.4	28.1	OK
		▲ 10.0 ▲	437	LE1	183.6	0.0	89.0	-89.5	24.2	42.1	27.2	OK
B-tfl 1	STIFF	▲ 10.0 ▲	115	LE1	63.2	0.0	-19.4	-20.9	-27.7	14.5	11.7	OK
		▲ 10.0 ▲	115	LE1	91.2	0.0	-18.2	16.6	48.9	20.9	12.5	OK
SEP1a	STIFF	▲ 10.0 ▲	490	LE1	426.9	0.0	-208.2	-201.8	-74.6	98.0	48.4	OK
		▲ 10.0 ▲	491	LE1	426.9	0.0	-197.5	203.8	78.9	98.0	48.4	OK
B-bfl 1	STIFF1	▲ 10.0 ▲	115	LE1	34.5	0.0	25.6	13.0	-2.7	7.9	5.8	OK
		▲ 10.0 ▲	115	LE1	34.0	0.0	2.8	-15.4	12.0	7.8	6.6	OK
B-w 1	STIFF1	▲ 10.0 ▲	438	LE1	37.0	0.0	-7.9	-10.6	-18.0	8.5	4.2	OK
		▲ 10.0 ▲	438	LE1	37.7	0.0	-15.9	13.2	14.6	8.6	4.2	OK
B-tfl 1	STIFF1	▲ 10.0 ▲	115	LE1	52.5	0.0	-31.0	-15.6	18.8	12.1	9.6	OK
		▲ 10.0 ▲	115	LE1	54.1	0.0	-1.3	-11.0	29.2	12.4	10.7	OK



SEP2a	B-tfl 1	▲ 10.0	306	LE1	427.1	0.2	242.4	-23.3	-201.7	98.1	50.1	OK
SEP2a	B-bfl 1	▲ 10.0	306	LE1	427.6	0.4	-100.1	216.4	-103.8	98.2	62.9	OK
SEP2b	M3-bfl 1	▲ 10.0 ▼	306	LE1	332.4	0.0	2.1	-189.5	30.6	76.3	48.7	OK
		▲ 10.0 ▼	306	LE1	430.2	1.9	-228.8	210.3	-0.9	98.8	98.5	OK
SEP2b	M3-tfl 1	▲ 10.0 ▼	306	LE1	137.7	0.0	-57.1	-50.9	-51.4	31.6	20.5	OK
		▲ 10.0 ▼	306	LE1	285.6	0.0	200.0	-112.1	-35.7	65.6	42.4	OK
SEP2b	M3-w 1	▲ 10.0 ▼	391	LE1	426.9	0.0	-163.8	-163.6	-158.3	98.0	49.9	OK
		▲ 10.0 ▼	391	LE1	426.9	0.0	-163.3	163.4	158.6	98.0	49.8	OK
B-bfl 1	STIFF	▲ 10.0 ▼	115	LE1	294.2	0.0	5.5	1.7	-169.8	67.6	42.8	OK
		▲ 10.0 ▼	115	LE1	256.2	0.0	4.4	-8.3	147.7	58.8	43.2	OK
B-w 1	STIFF	▲ 10.0 ▼	437	LE1	189.8	0.0	93.9	92.6	-22.4	43.6	27.1	OK
		▲ 10.0 ▼	437	LE1	188.3	0.0	91.2	-92.5	22.1	43.2	27.9	OK
B-tfl 1	STIFF	▲ 10.0 ▼	115	LE1	102.2	0.0	-19.3	-15.6	-55.8	23.5	14.3	OK
		▲ 10.0 ▼	115	LE1	70.2	0.0	-17.7	21.4	32.9	16.1	13.5	OK
SEP2a	STIFF	▲ 10.0 ▼	491	LE1	426.9	0.0	-197.5	-203.8	-78.9	98.0	48.3	OK
		▲ 10.0 ▼	490	LE1	426.9	0.0	-208.1	201.7	74.9	98.0	48.3	OK

## 11 ZAKLJUČAK

Rad obrađuje konstrukciju visine 193,5 m koja se sastoji od 45 katova. Jezgra je izvedena od spregnutih zidova (čeličnih ploča i betona), stupovi su zavareni u obliku šuplje kvadratne cijevi, glavni nosači su izvedeni od profila HEM 550 a sekundarni HEM 400.

Nosivi sustav konstrukcije čine čelični okviri i jezgra izvedena sustvom spregnutog posmičnog zida ispunjenog betonom. Rad se sastoji od dva dijela. U prvom dijelu je obrađena teorija vezana za primijenjen nosive sustave u konstrukciji dok je u drugom dijelu provedena analiza i dimenzioniranje osnovnih elemenata konstrukcije na mjerodavna djelovanja. Kada okvir ne posjeduju zahtijevanu otpornost te krutost da se suprotstavi horizontalnim djelovanjima koja djeluju na njega, dodaje mu se vezni sustav u ovom slučaju je to spregnuta posmična jezgra.

Spregnuti zidovi pokazali su brojne konstrukcijske prednosti, uključujući zadovoljavajuću sposobnost razgradnje energije, visoku otpornost na posmik i sposobnost deformacije u usporedbi s tradicionalnim AB zidovima. U radu je prikazan pregled karakteristika spregnutih zidova sastavljenih od čeličnih ploča, betona i spojnih sredstava. Prikazan je razvoj spregnutih zidova. Prikazani su utjecaji ključnih parametara, uključujući omjer uzdužnog opterećenja, omjer armature i razmak moždanika, na izvedbu konstrukcije spregnutog zida. Spregnuti zidovi se još uvijek istražuju, imat će široku primjenu u zgradarstvu ako se riješe svi tehnički i građevinski problemi.

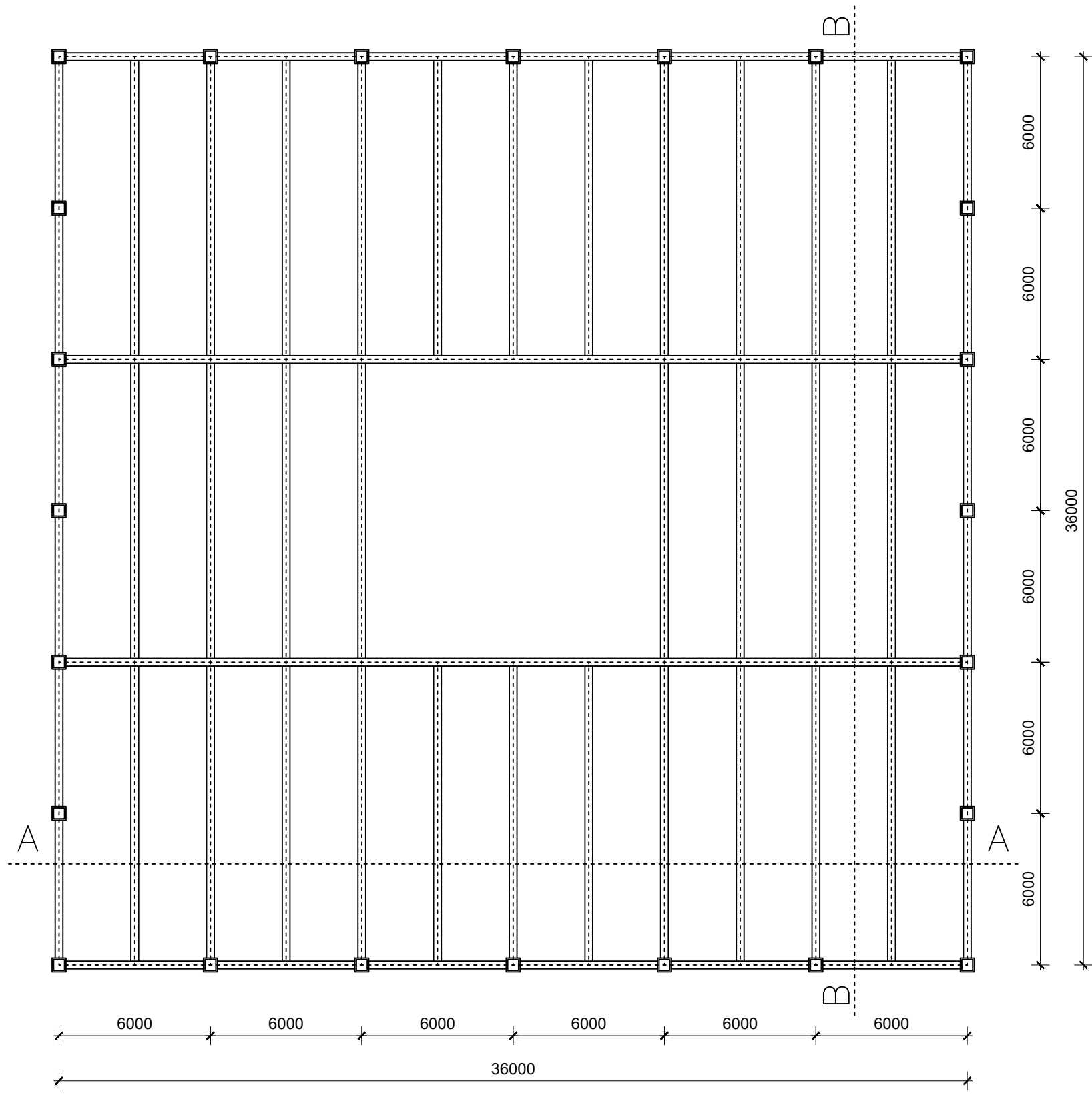
Spregnuti zidovi pokazali su zadovoljavajuću nosivost i jednostavnost kod izvedbe, nisu potrebne oplata za izvođenje betoniranja, čelične ploče kod spregnutih zidova služe kao oplata i zamjenjuju armaturu. Korištenjem spregnutih zidova povećana je krutost konstrukcije, nisu se morali koristiti vezovi za ograničenje horizontalnih pomaka koji se najčešće koriste kod okvirnih konstrukcija.

---

## POPIS LITERATURE

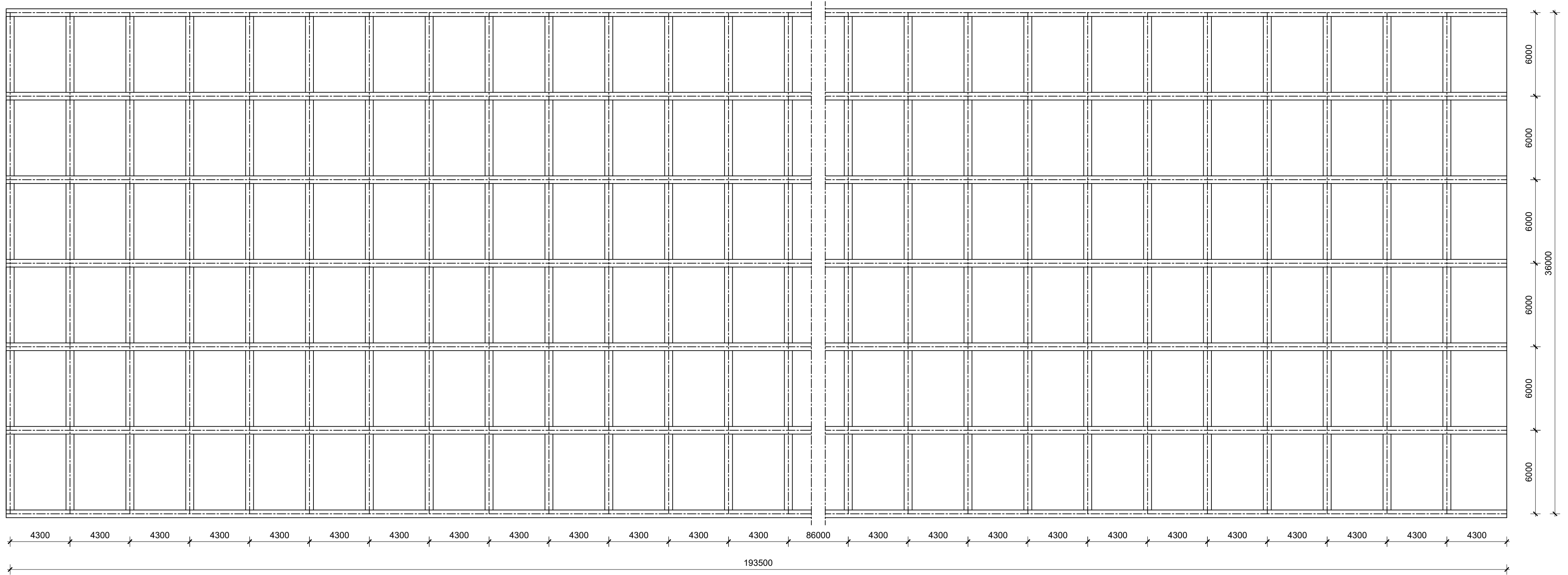
- [1] Lukačević I.; *Okvirne konstrukcije visokih zgrada izvedene u čeliku*; Predavanje iz kolegija: Visoke građevine; Ak.god. 2023/2024.
- [2] Vlašić A., Puž G. Skokandić D.; *Skripta iz kolegija Visoke građevine*; 2018
- [3] Androić B., Dujmović D., Lukačević I.; *Projektiranje spregnutih konstrukcija prema Eurocode 4*; Zagreb: IA Projektiranje; 2012
- [4] Jun Mo, Brian Uy, Dongxu Li, Huu-Tai Thai, Hau Tran; Članak: *A review of the behaviour and design of steel–concrete composite shear walls*; Structures Elsevier Science; 2021
- [5] HRN EN 1991
- [6] HRN EN 1993
- [7] HRN EN 1994
- [8] HRN EN 1998
- [9] Landolfo R., Mazzolani F., Dubina D., Silva L.S., D'Aniello M.; *Design of Steel Structures for Buildings in Seismic Areas*; ECCS Press, Ernst&Sohn, Wiley; 2017
- [10] Skejić D.; Predavanja iz kolegija: *Metalne konstrukcije 3*; Ak.god. 2023/2024.
- [11] Silva L.S., Simoes R., Gervasio H., Couchman G.; *Design of Steel Structures*; ECCS Press, Ernst&Sohn, Wiley; 2014
- [12] Androić B., Dujmović D., Lukačević I.; *Primjeri proračuna spregnutih konstrukcija prema Eurocode 4*; Zagreb: IA Projektiranje; 2014
- [13] Biškup D.; *Nelinearna seizmička analiza visoke čelične građevine s konstrukcijskim sustavima potpornih rešetki*; 2021

## NACRTI



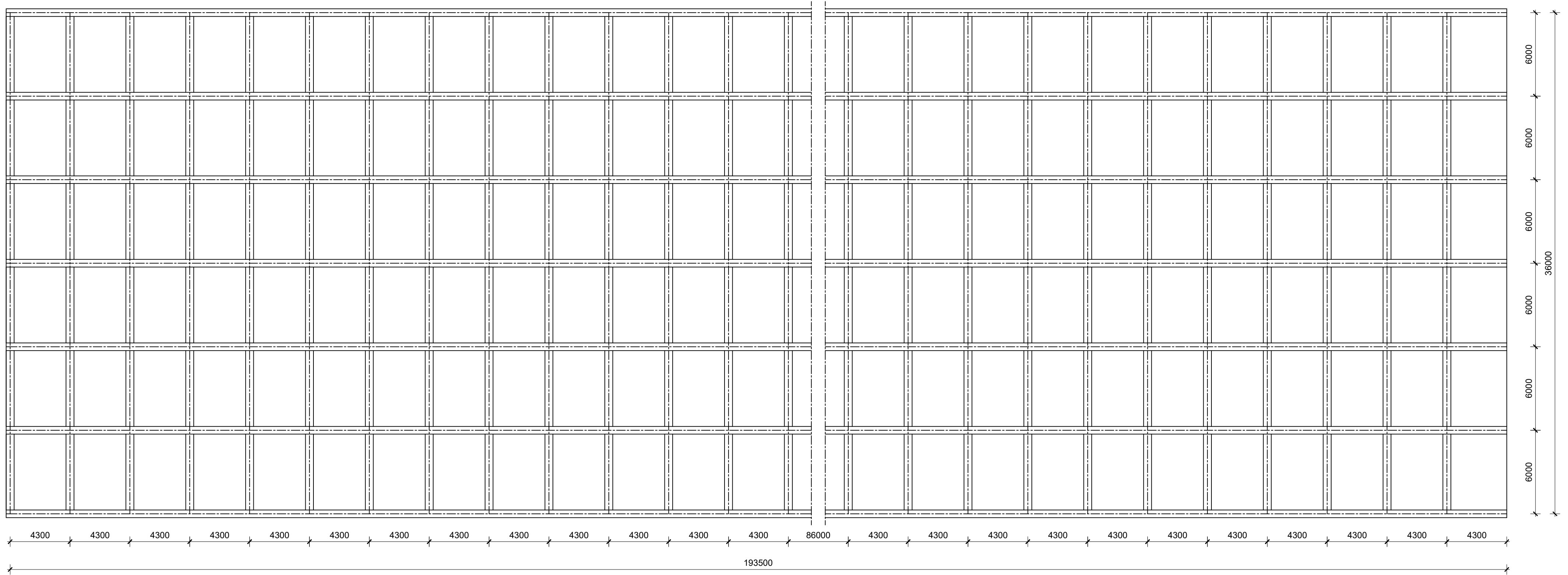
TLOCRT ZGRADE MJ 1:200

GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Mjerilo:	1:200
Sadržaj:	DISPOZICIJA
Student:	TONI BENE
Godina	4.6.2024



PRESJEK A-A MJ 1:200

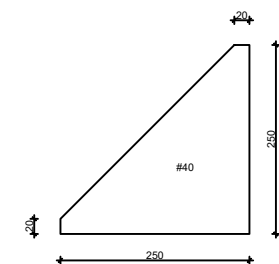
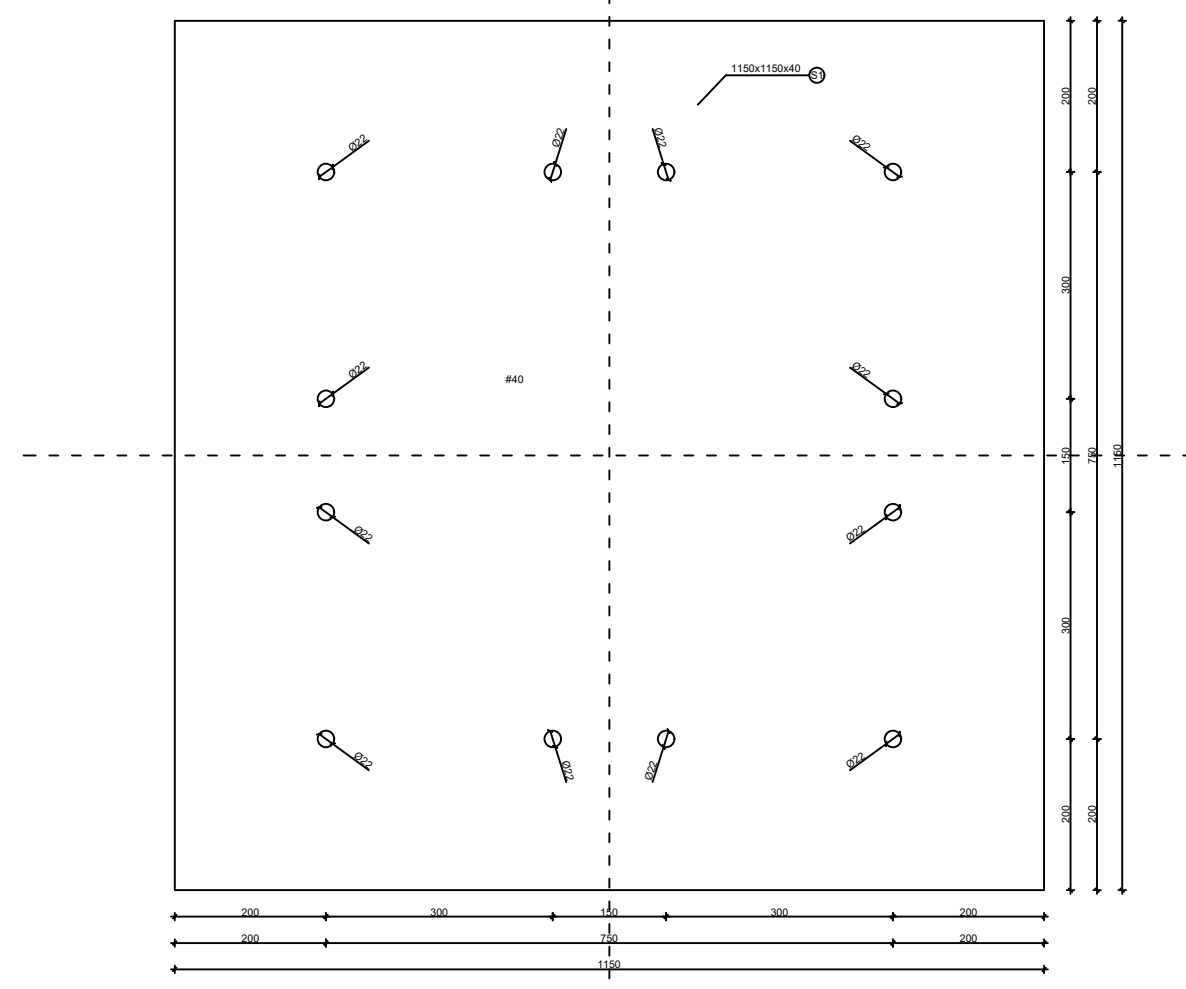
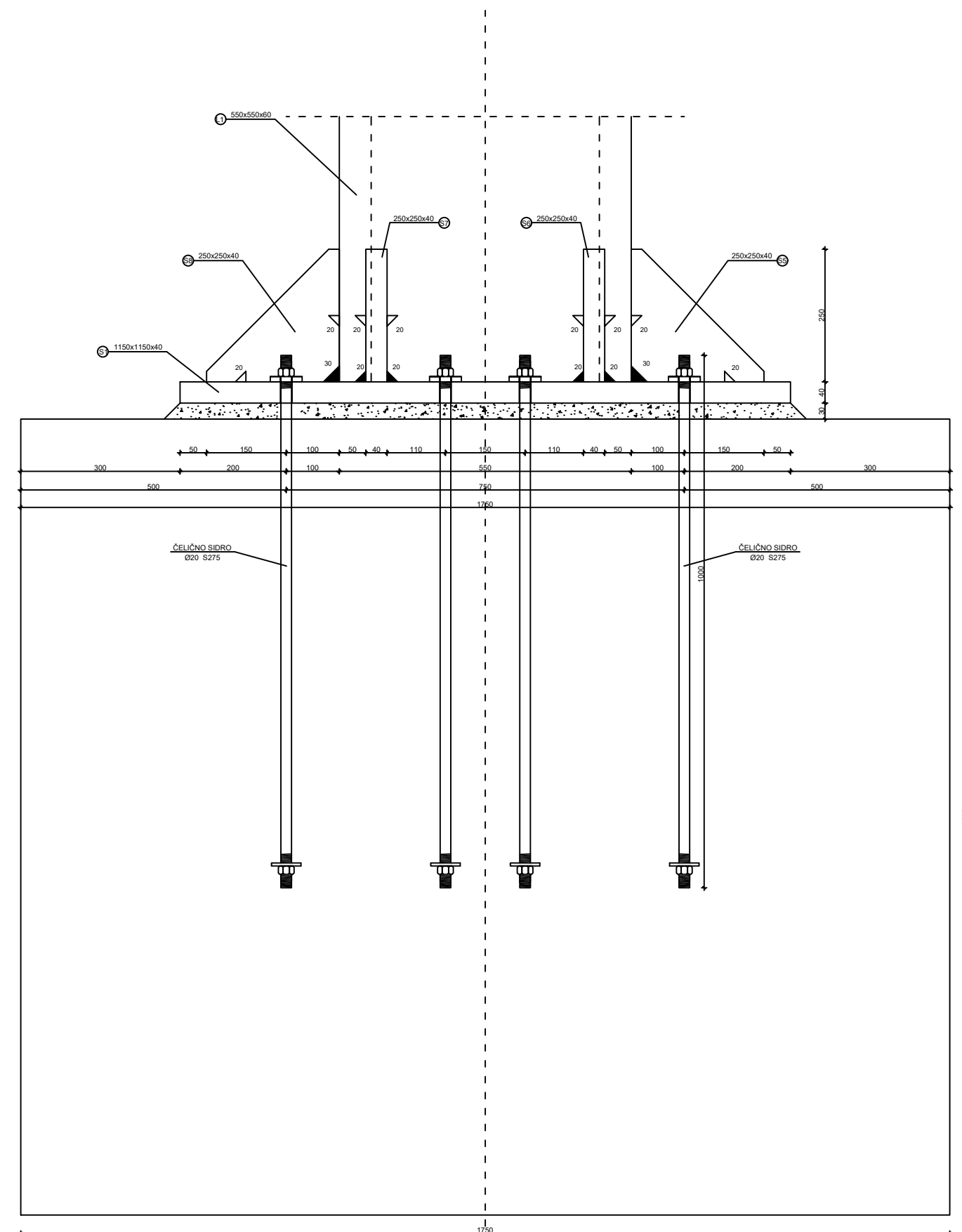
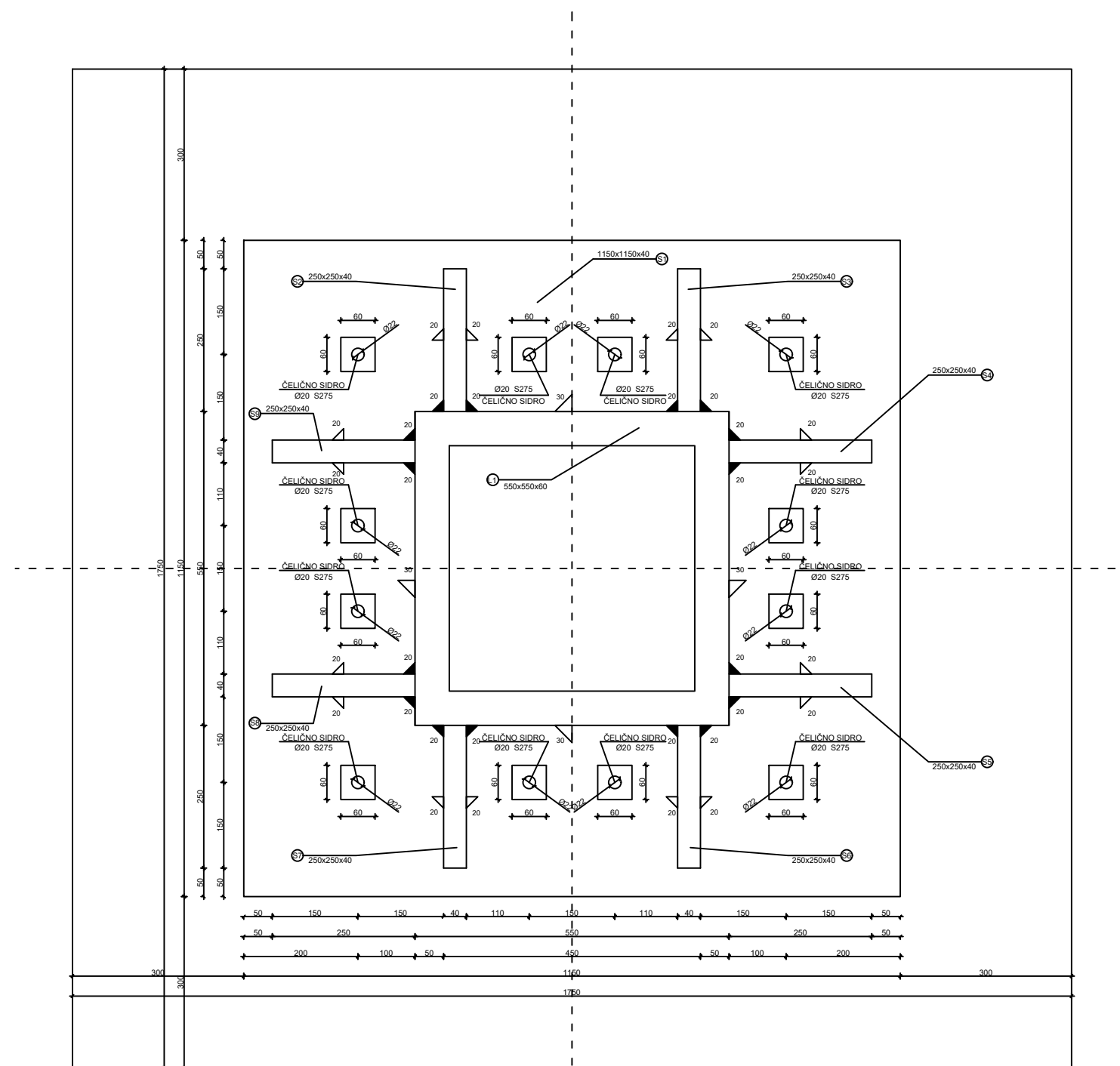
GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Mjerilo:	1:200
Sadržaj:	DISPOZICIJA
Student:	TONI BENE
Godina:	4.6.2024



PRESJEK B-B MJ 1:200

GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Mjerilo:	1:200
Sadržaj:	DISPOZICIJA
Student:	TONI BENE
Godina:	4.6.2024

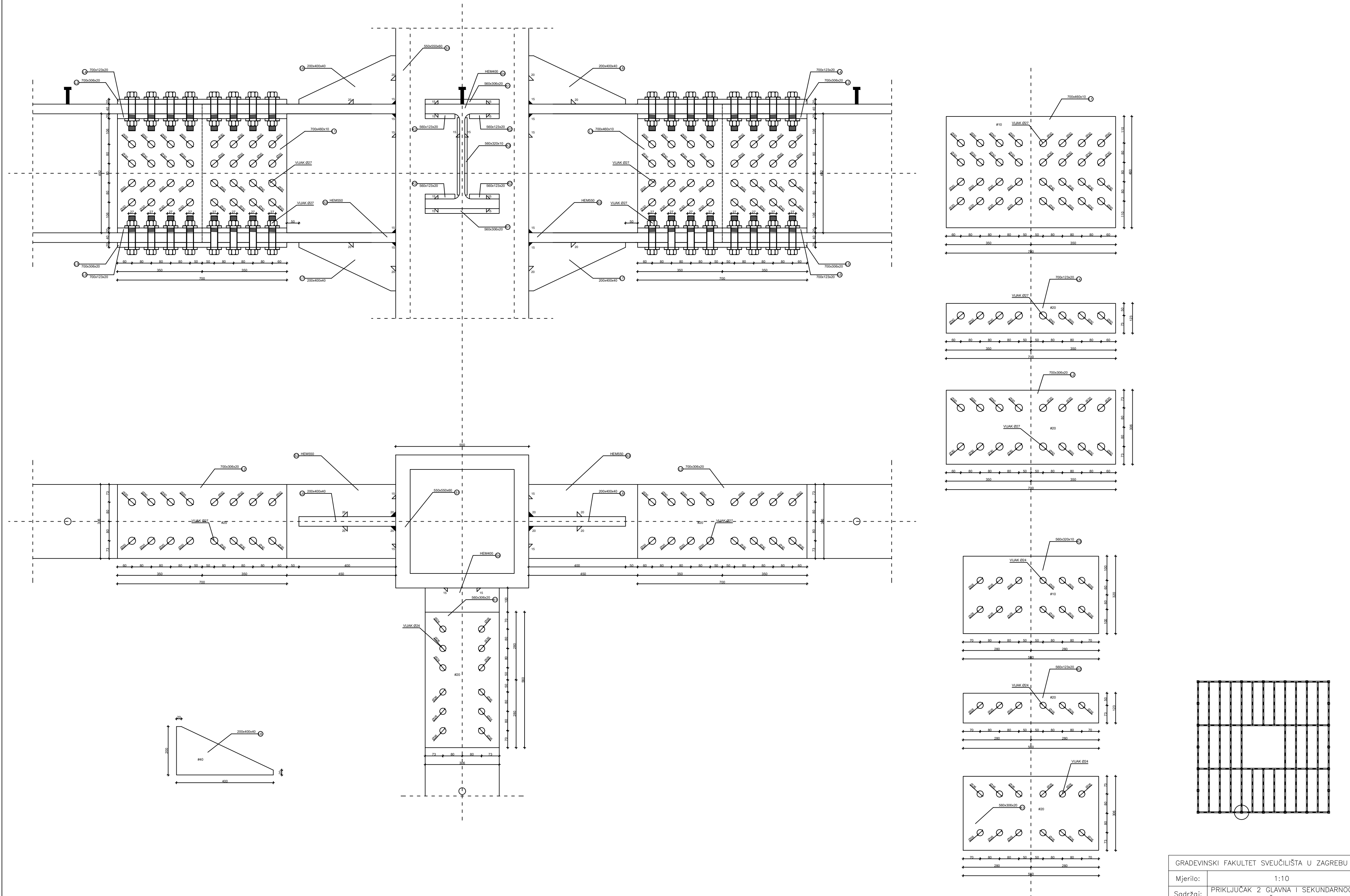
# NACRT TEMELJNE STOPE MJ 1:10



GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Mjerilo:	1:10
Sadržaj:	TEMELJNA STOPA
Student:	TONI BENE
Codina	4.6.2024

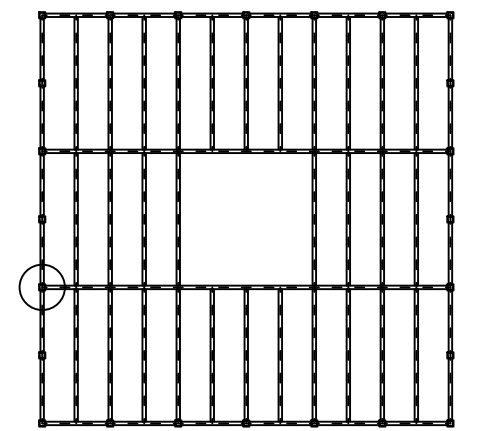
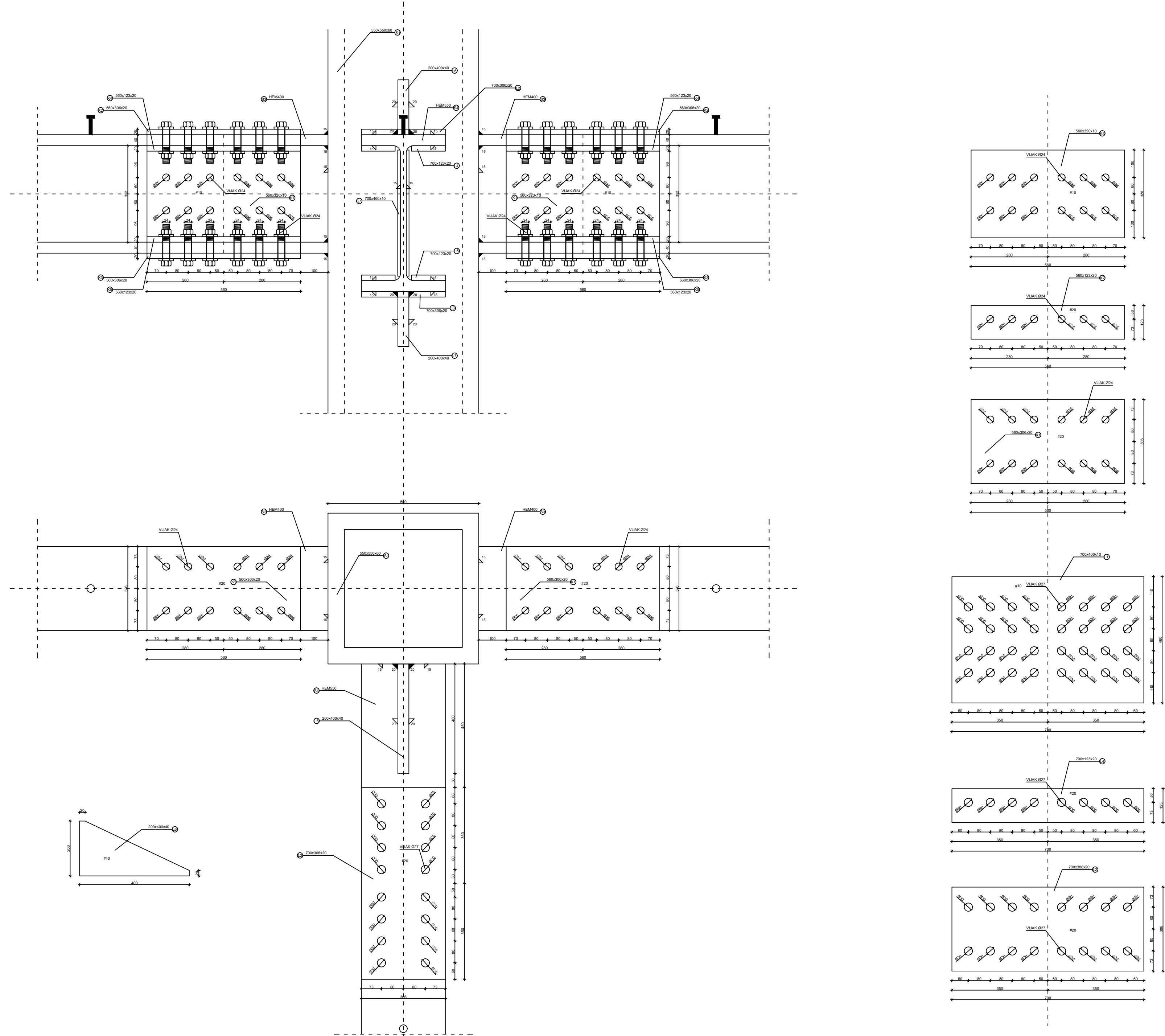


# NACRT PRIKLJUČKA 2 GLAVNA I SEKUNDARNOG NOSAČA NA STUP MJ 1:10



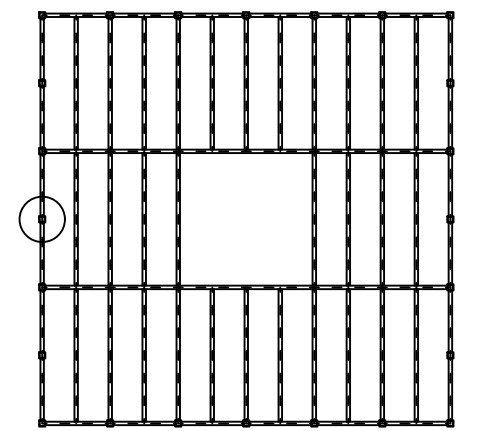
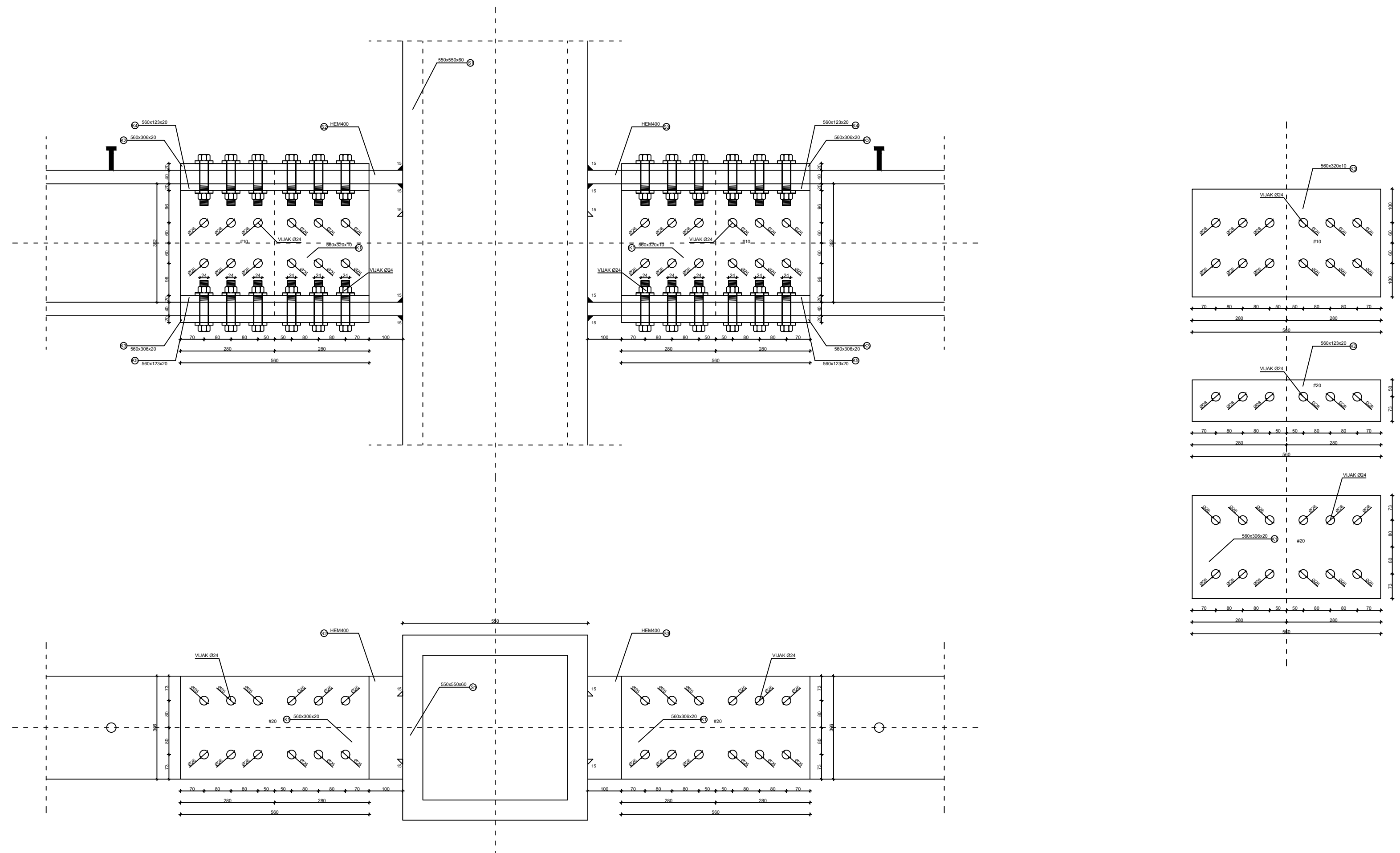
GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Mjerilo:	1:10
Sadržaj:	PRIKLJUČAK 2 GLAVNA I SEKUNDARNOG NOSAČA NA STUP
Student:	TONI BENE
Codina:	4.6.2024

# NACRT PRIKLJUČKA 2 SEKUNDARNA I GLAVNOG NOSAČA NA STUP MJ 1:10



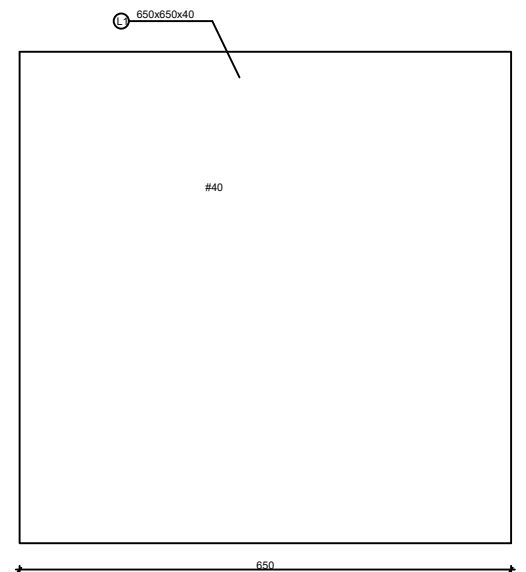
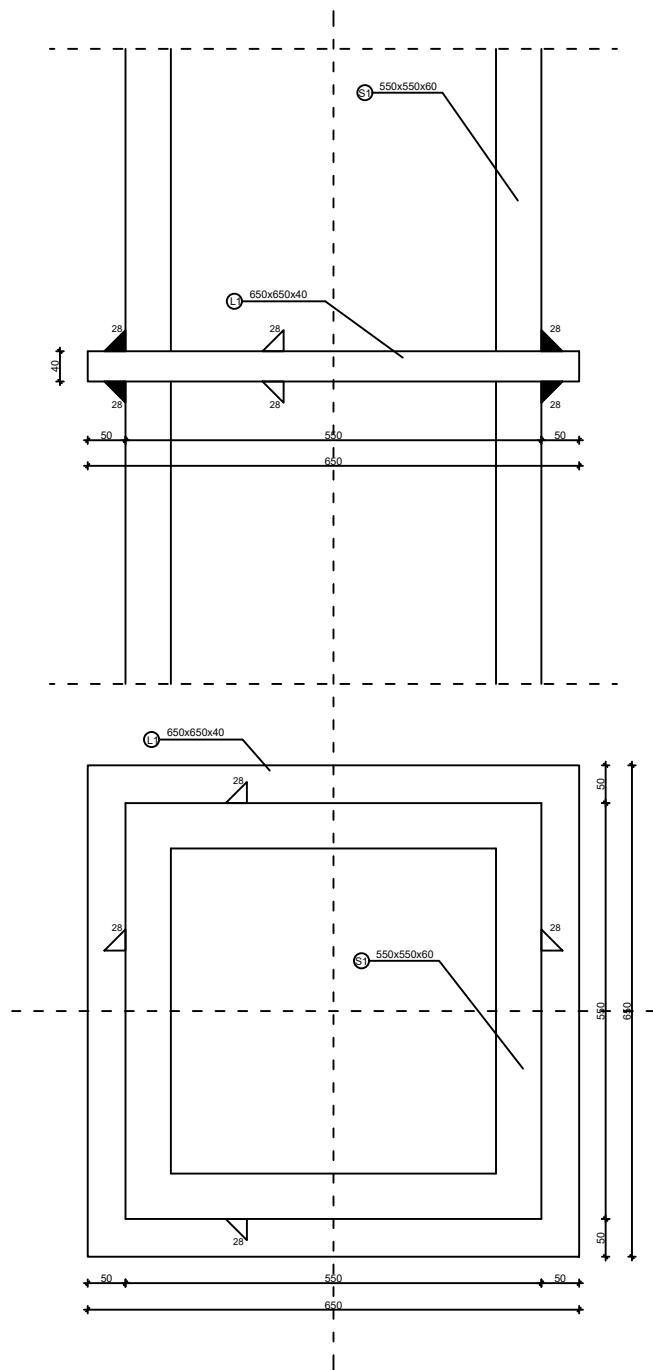
GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Mjerilo:	1:10
Sadržaj:	PRIKLJUČAK 2 SEKUNDARNA I GLAVNOG NOSAČA NA STUP
Student:	TONI BENE
Codina:	4.6.2024

# NACRT PRIKLJUČKA 2 SEKUNDARNA NOSAČA NA STUP MJ 1:10



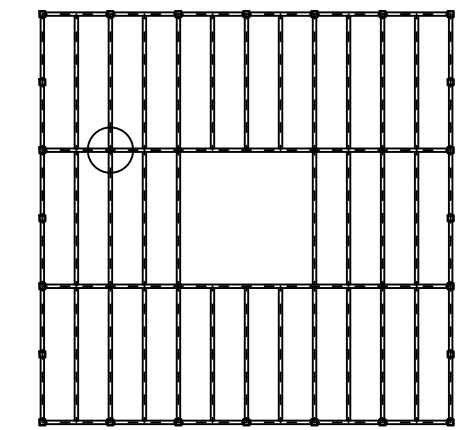
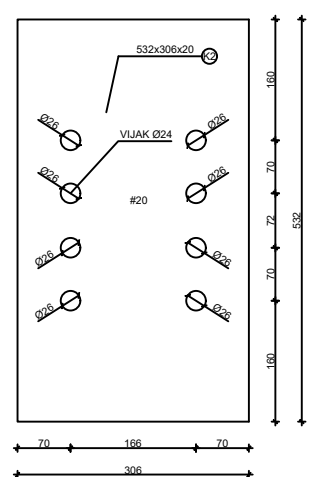
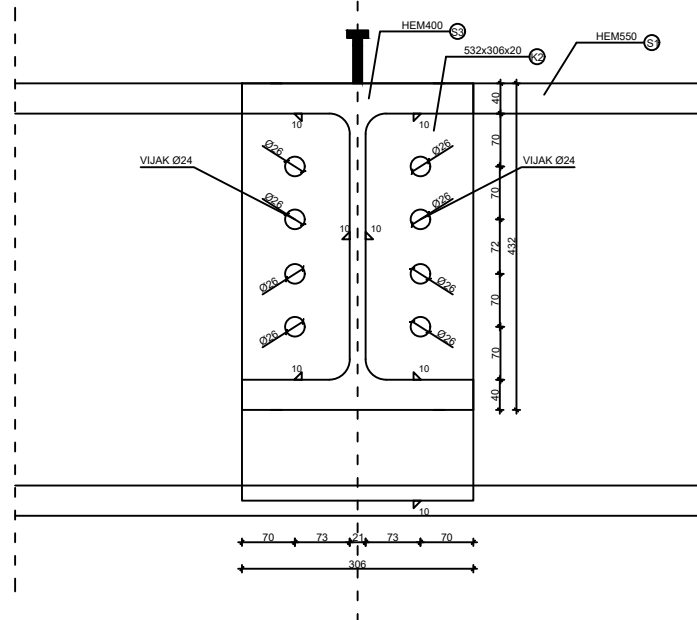
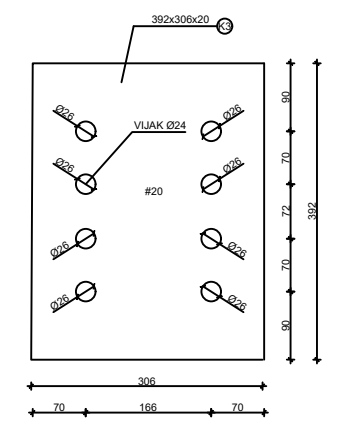
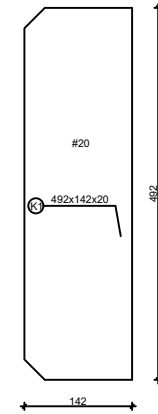
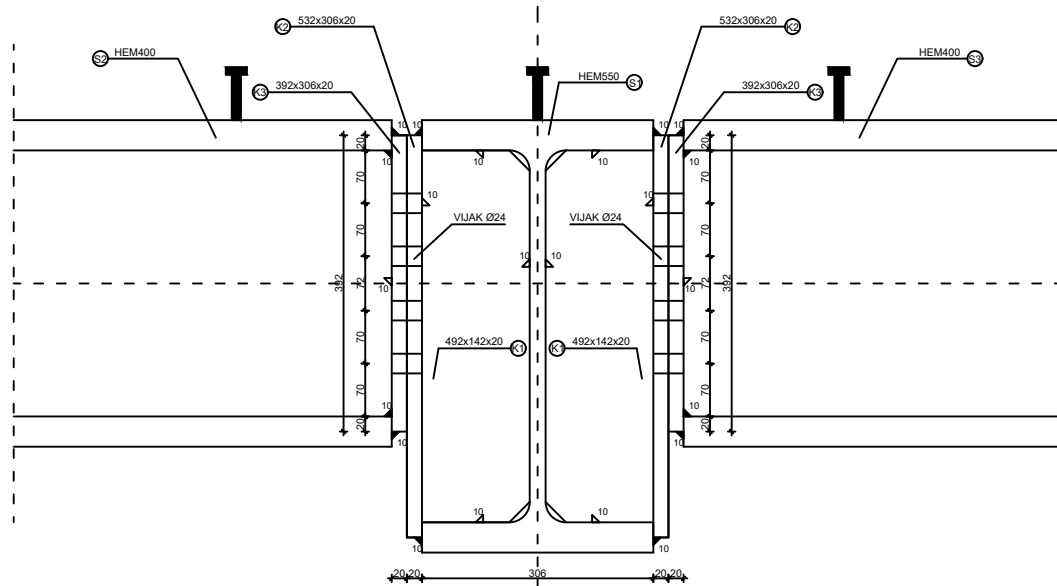
GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Mjerilo:	1:10
Sadržaj:	PRIKLJUČAK 2 SEKUNDARNA NOSAČA NA STUP
Student:	TONI BENE
Codina:	4.6.2024

# NACRT NASTAVKA STUPA MJ 1:10



GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Mjerilo:	1:10
Sadržaj:	NASTAVAK STUPA
Student:	TONI BENE
Godina	4.6.2024

# NACRT SPOJA SEKUNDARNIH NOSAČA NA GLAVNI NOSAČ MJ 1:10



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Mjerilo:	1:10
Sadržaj:	SPOJ SEKUNDARNIH NOSAČA NA GLAVNI NOSAČ
Student:	TONI BENE
Godina	4.6.2024