

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: **2024-10-23**

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 |
| 1 UVOD | 1 |
| 2 OKVIRNE KONSTRUKCIJE..... | 2 |
| 2.1 Općenito o okvirnim sustavima..... | 2 |
| 2.2 Okviri sa vezovima..... | 3 |
| 2.3 Stupovi | 5 |
| 2.4 Priključci..... | 5 |
| 3 SPREGNUTI I MJEŠOVITI SUSTAVI..... | 8 |
| 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 |
| 4 | KRITERIJI PRORAČUNA | 26 |
| 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 |
| 5 | GLOBALNA ANALIZA KONSTRUKCIJE..... | 41 |
| 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 |
| 6 | ANALIZA OPTEREĆENJA..... | 44 |
| 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 |
| 7 | PRELIMINARNO DIMENZIONIRANJE | 67 |
| 7.1 | Međukatna konstrukcija | 67 |
| 7.2 | Glavni i sekundarni nosač..... | 68 |
| 7.3 | Stup..... | 69 |
| 8 | NUMERIČKO MODELIRANJE..... | 71 |
| 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 |
| 9 | REZULTATI ANALIZE KONSTRUKCIJE..... | 75 |
| 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 |
| 10 | PRORAČUN KONSTRUKCIJE | 87 |
| 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 raspucalonsti 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 |
| 11 | ZAKLJUČAK..... | 169 |
| | POPIS LITERATURE | 170 |
| | Nacrti | 171 |

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.

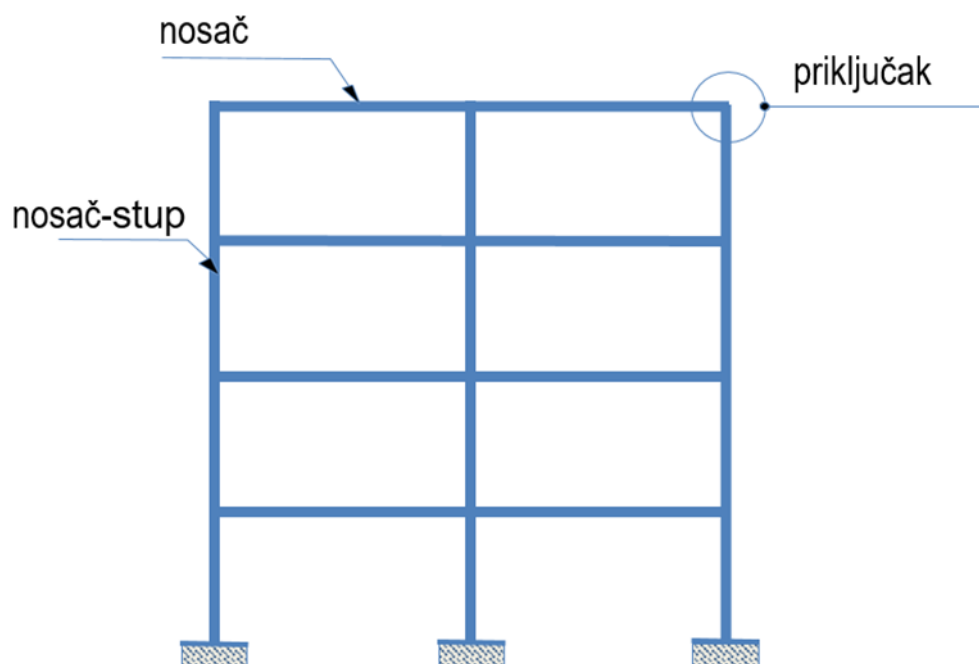
2 OKVIRNE KONSTRUKCIJE

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.

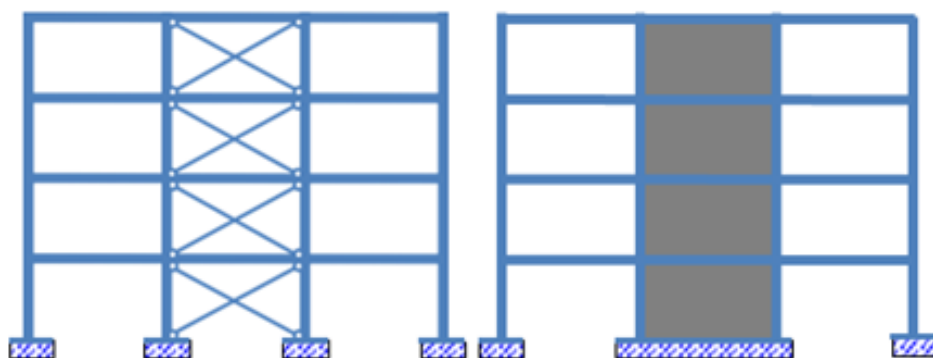
Okviri mogu biti ravninski ili prostorni, jednorasponski ili višerasponski, a po visini prizemni, jednokatni i višekatni. Jednorasponske prizemne okvirne konstrukcije često se koriste za sportske dvorane, hangare te slične konstrukcije, a višerasponski okviri za prodajne i tvorničke hale. Zbog mogućnosti 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]

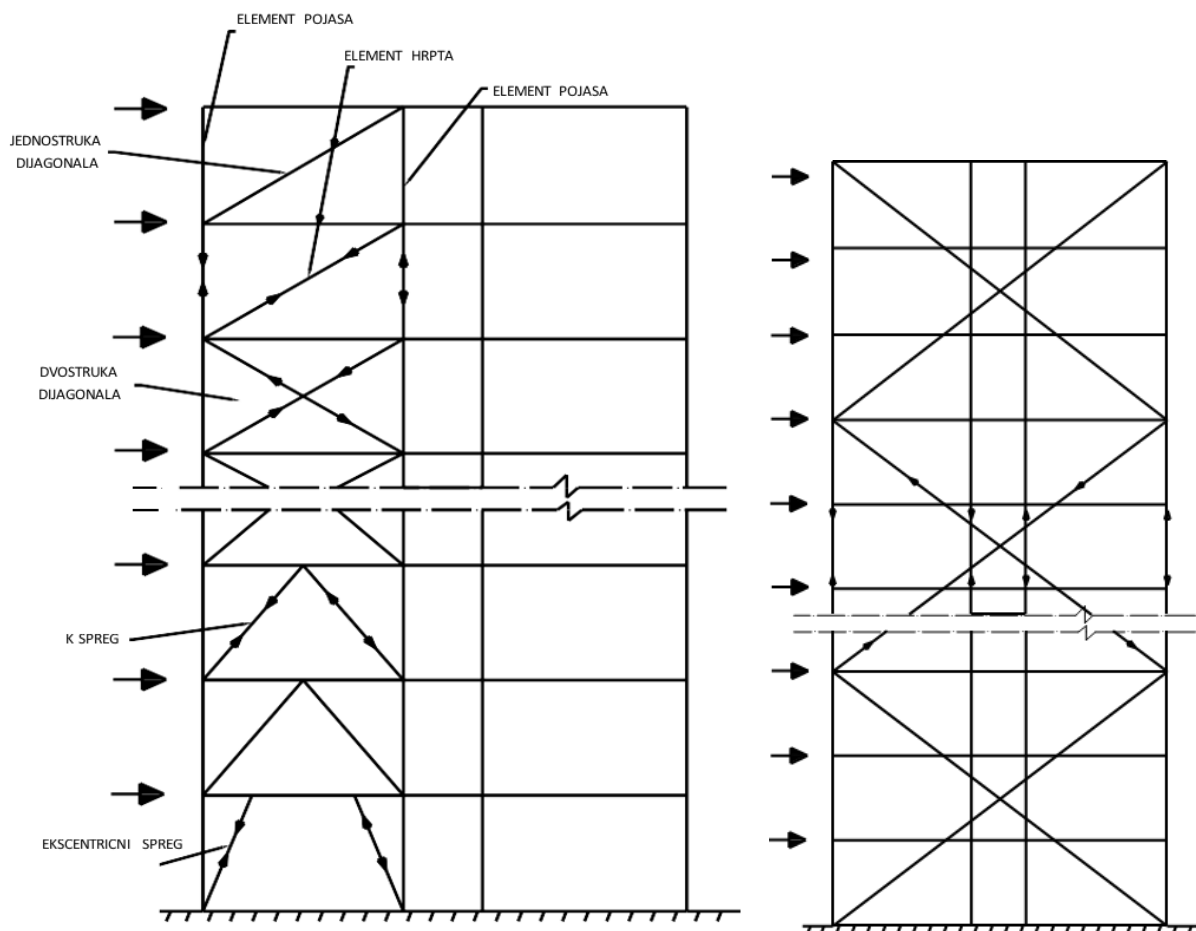
Konstruktivni sustav mora biti sposoban preuzeti horizontalna djelovanja i ograničavati horizontalne deformacije. Kada okvir ne posjeduje zahtijevanu otpornost te krutost da se suprotstavi horizontalnim djelovanjima koja djeluju na njega, dodaje mu se vezni sustav. Kod uobičajene inženjerske prakse za 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

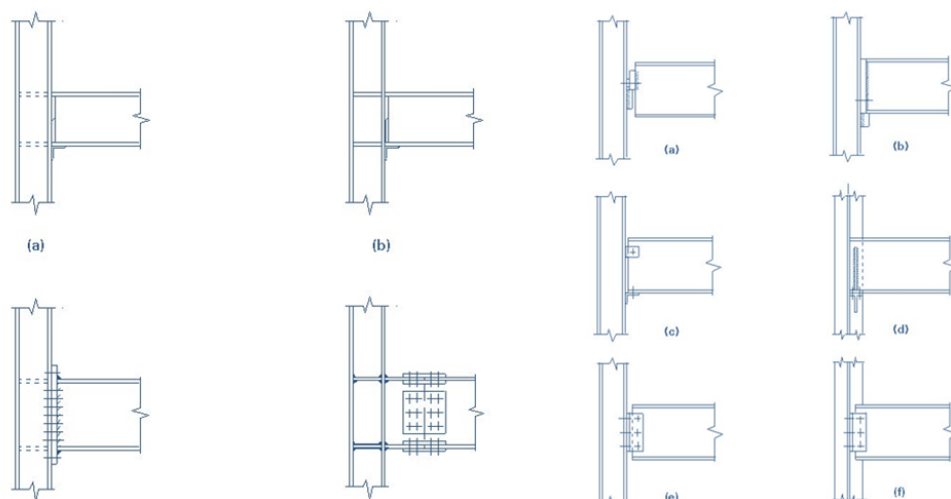
Kada okvirnom sustavu dodamo vez odgovarajuće krutosti u jedno ili više polja sustav se može smatrati poduprtim. Kod poduprtih okvira stupovi i nosači prenose većinom vertikalno opterećenje dok se elementi veza odupiru horizontalnom opterećenju. Vezovi su jako učinkoviti elementi jer savijanje i posmik 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.



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



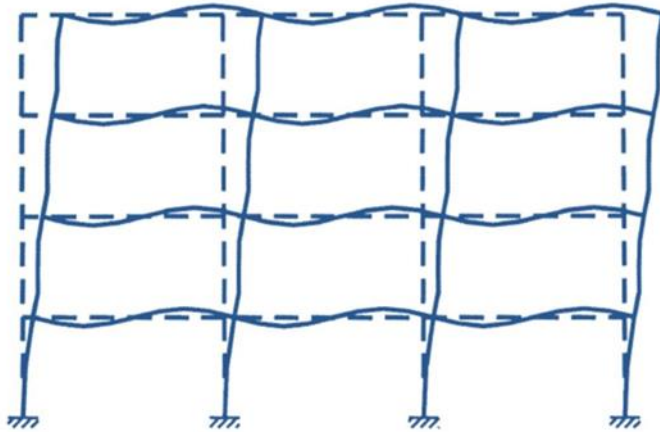
Slika 2.6 Nepopustljivi i djelomično nepopustljivi priključci



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]:

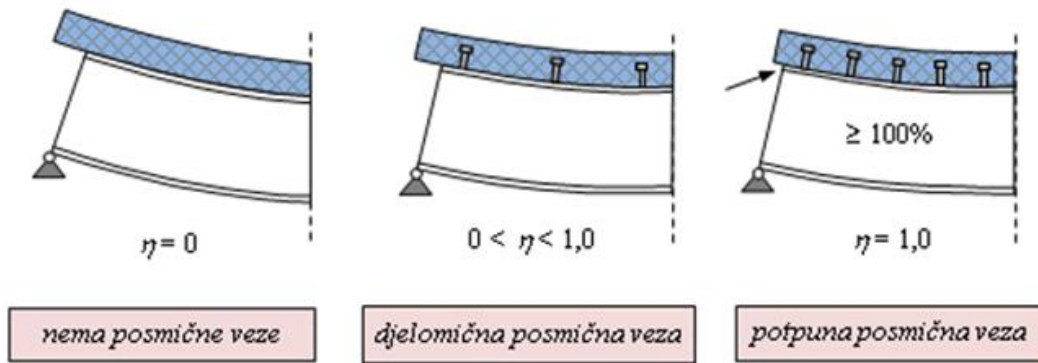
- Želja obaranja visinskih rekorda.
- Nepravilni tlocrti te neobični oblici zgrada kao izraz suvremene arhitekture.
- Pojava mješovitih zahtjeva upotrebe zgrade.
- Racionalnija upotreba materijala, da se kombiniranjem prednosti pojedinih sustava te međusobnom interakcijom što bolje iskoriste pojedine 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.

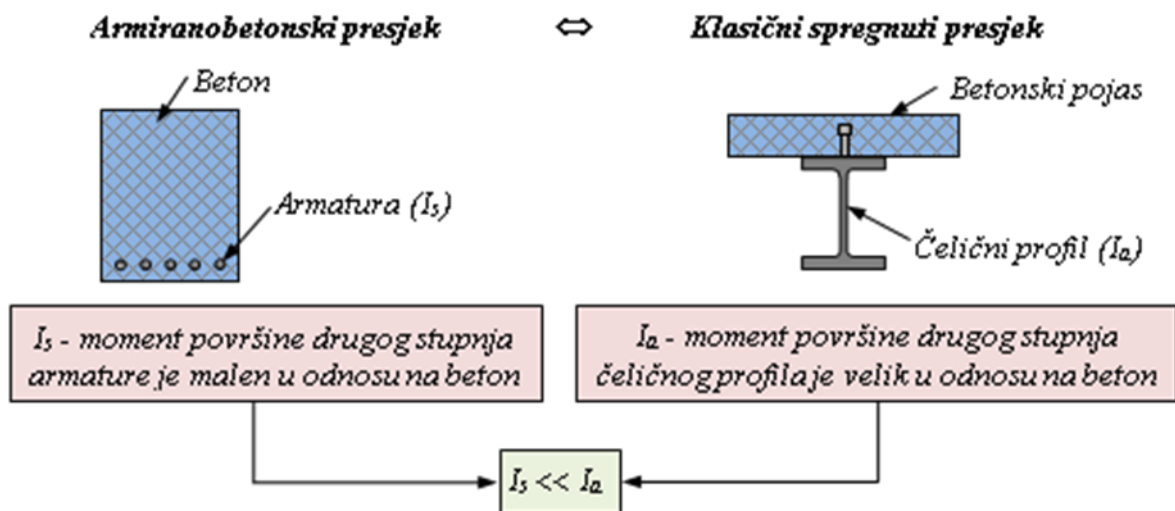
Tradicionalni način građenje čelikom ili armiranim betonom imaju višestruke mogućnosti. Razvoj i primjena konstrukcija sastavljenih od čelika i betona dovela je do nove suradnje čelika i betona kao što je prikazano na slici 3.1.



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.

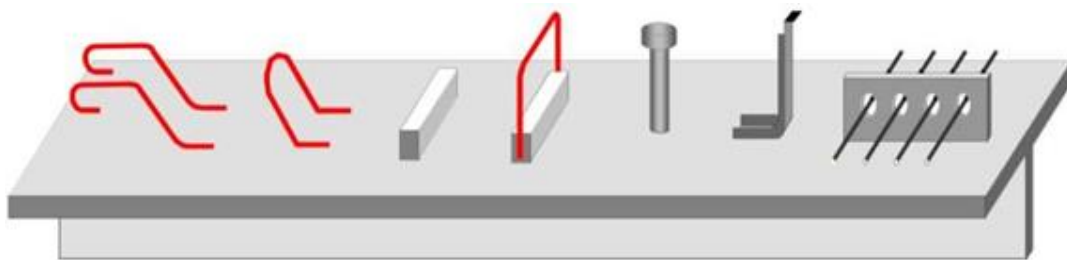
Kod armiranog betona može se reći da je ostvarena suradnja čelika i betona, ali na drugačiji način nego tradicionalno sastavljene konstrukcije koje se obično nazivaju "spregnute konstrukcije". Prema tome armiranobetonske konstrukcije mogu se isto smatrati nekom vrstom spregnute konstrukcije. Razlika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

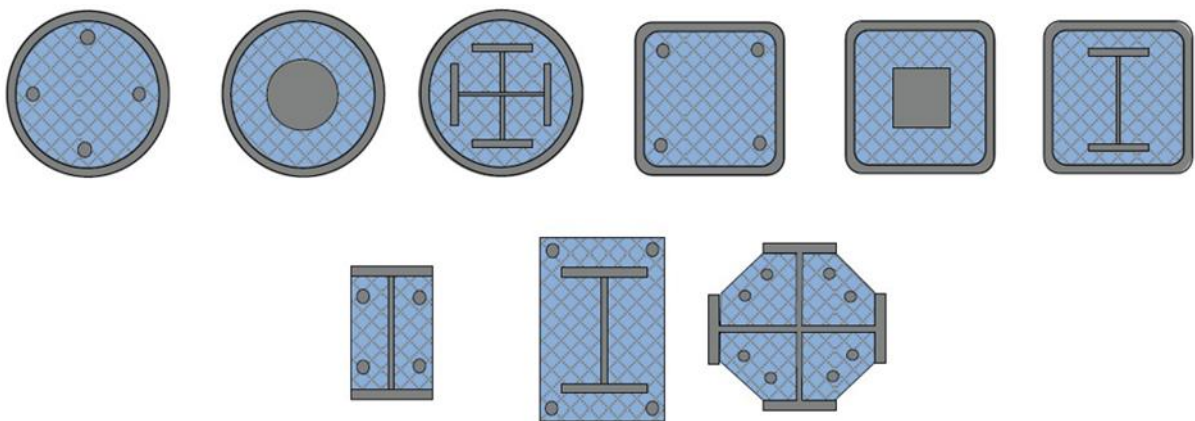
Duktilni moždanici prije otkazivanja ostvaruju znatne pomake između čelika i betona. Duktilni moždanici su oni koji imaju dostatan kapacitet deformacije kako bi se opravdala pojednostavnjena pretpostavka o plastičnom ponašanju posmične veze između čelika i betona.

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.:

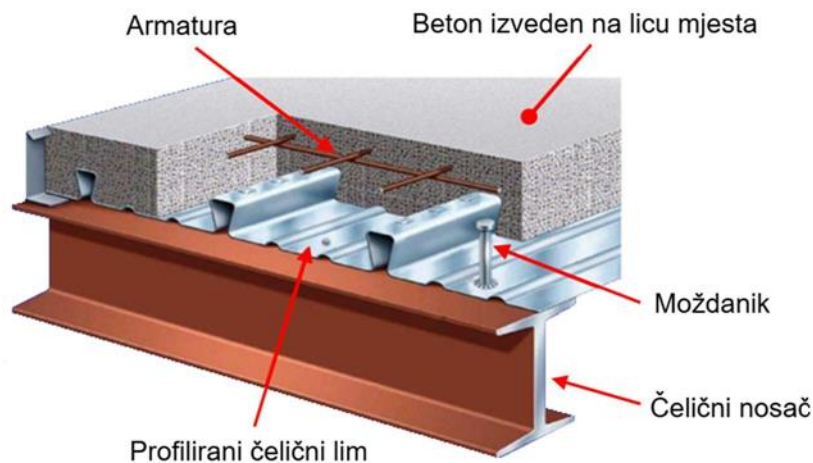
- stupovi s poprečnim presjecima gdje su čelični profili potpuno obloženi betonom
- stupovi s poprečnim presjecima koji su djelomično obloženi betonom
- stupovi s poprečnim presjecima pravokutnih ili kružnih čeličnih cijevi koje su ispunjene betonom



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:

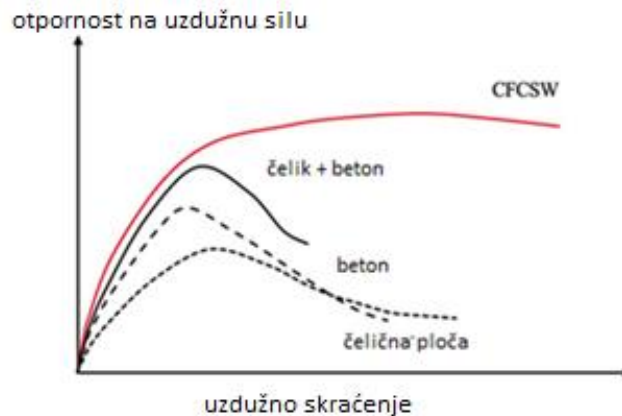
- brza i jednostavna izvedba
- veliki rasponi
- male dimenzije elemenata (manja vlastita težina)
- nema potrebe za oplatom, vlačnom armaturom ni podupiranjem do 3.5 m raspona
- duktilno ponašanje
- povećana otpornost nosača na bočno-torzijsko izvijanje
- mali opseg radova na gradilištu

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 spriječava 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 zbroya 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

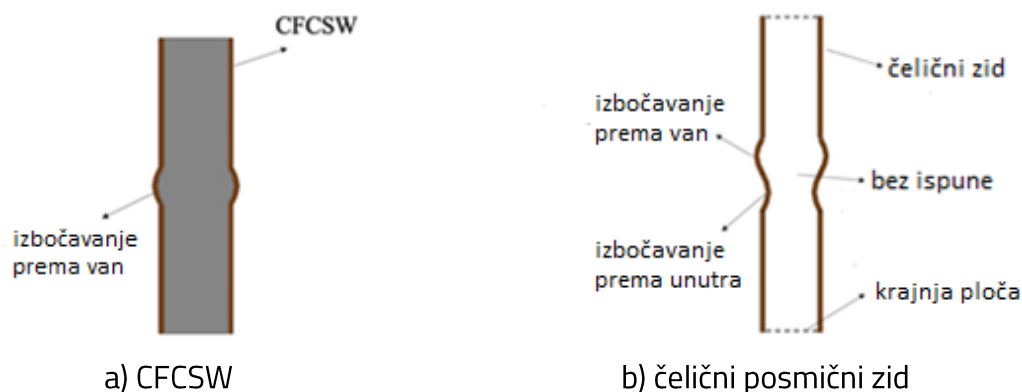
Slika 3.7. Oblici čeličnih ploča CFCSW [4]

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 projektiranja 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.



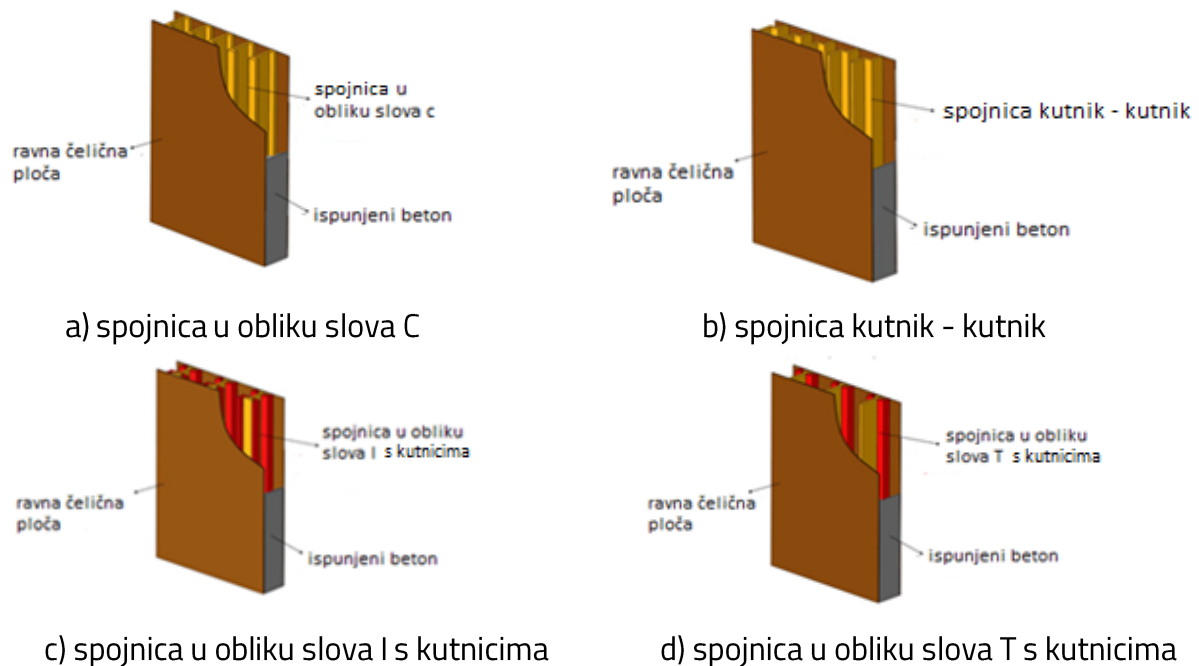
Slika 3.9. Profilirana čelična ploča CFCSW s različitim vrstama spojnih sredstava [4]



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.

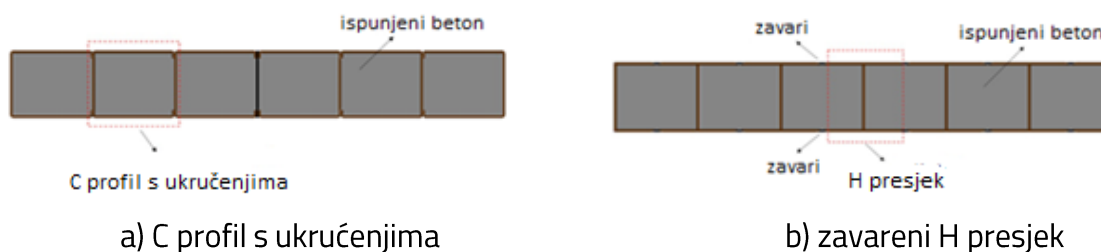


Slika 3.11. Različite vrste spojnih sredstava [4]

3.4.6 Vrste CFCSW-a

3.4.6.1 Opći CFCSW

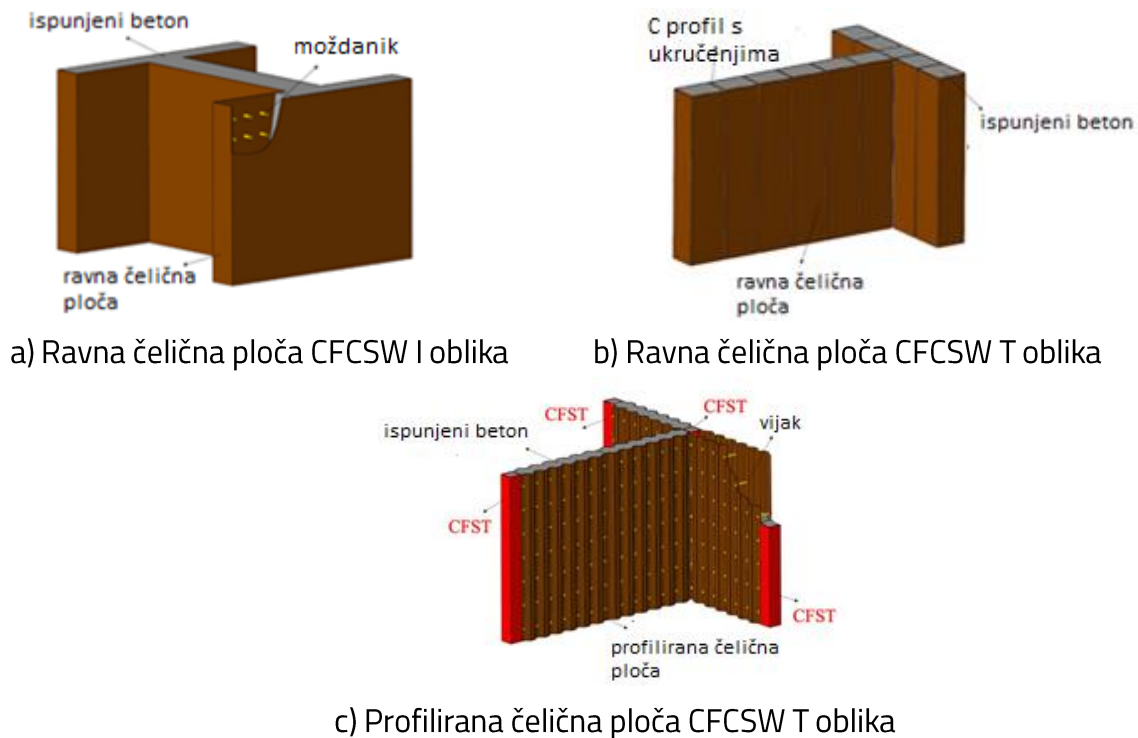
CFCSW se sastojе od vanjskih čeličnih ploča, betonske jezgre i različitih vrsta spojnih sredstava. Čelik i beton djeluju zajedno kako bi se oduprijeli opterećenjima koja djeluju na njih. Kod projektiranja konstrukcija velikih dimenzija, CFCSW je bolji odabir nego betonski zid pošto mu se debljina može 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 poboljšana 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.



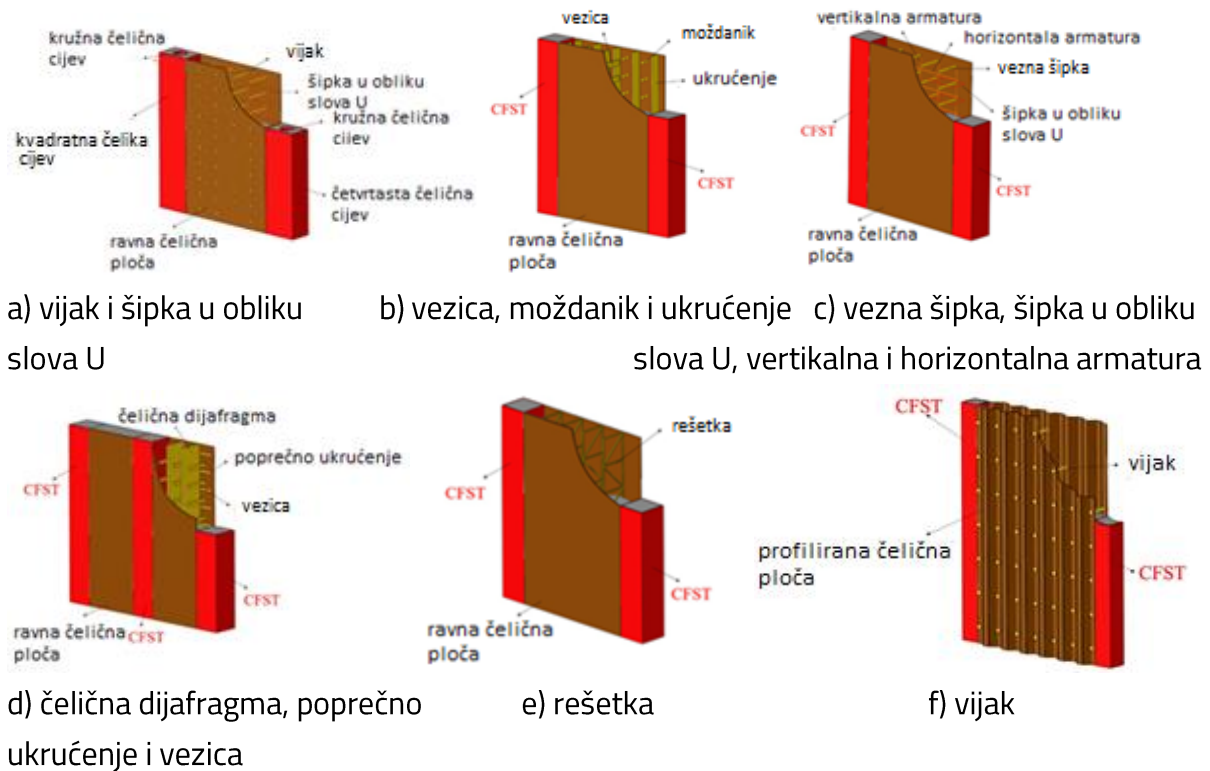
Slika 3.13. Različiti oblici CFCSW [4]

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:

ϕ 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:

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

Otpornost na savijanje u ravnini s plukružnim rubnim elementima:

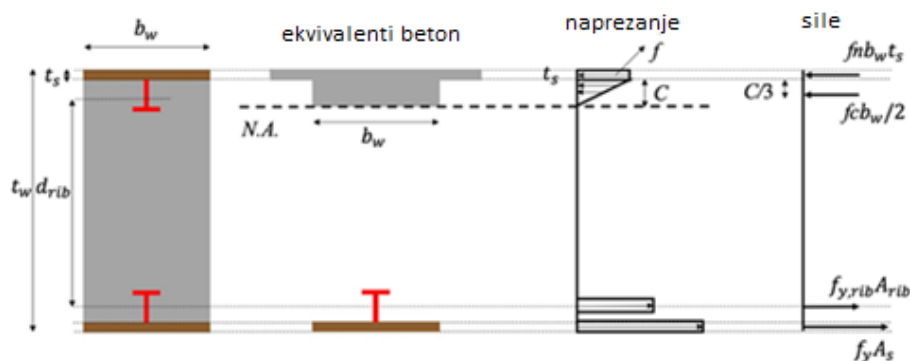
$$M_y = 0,5 \cdot A_{HSS} \cdot f_{y,HSS} \left(\frac{2D_{HSS}}{\pi} + h \right) + (h^2 + 2C_3^2 - 2C_3h) \cdot t_s \cdot f_y \quad (3.9)$$

gdje je:

C_1, C_2, C_3 su dubine poprečnog presjeka u mm

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \frac{2f_y \cdot t_s \cdot L}{0,35 \cdot f_c \cdot t_c + 4f_y \cdot t_s} \\
 C_2 &= \frac{2h_w \cdot t_s \cdot f_y - (0,25\pi \cdot D_{in}^2 - 0,67x \cdot t_c) \cdot f_c}{f_c \cdot t_c + 4f_y \cdot t_s} \\
 C_3 &= \frac{2h_w \cdot t_s \cdot f_y - 0,125(\pi \cdot D_{in}^2) \cdot f_c}{f_c \cdot t_c + 4f_y \cdot t_s} \\
 x &= 0,5 \left(D_{in} - \sqrt{D_{in}^2 - t_c^2} \right)
 \end{aligned}$$

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.



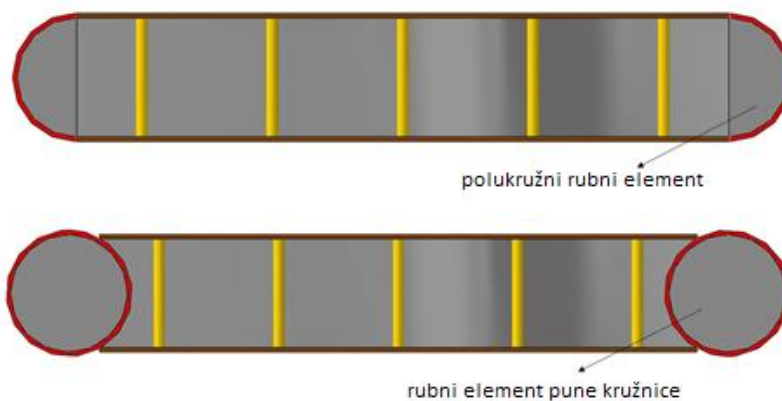
Slika 3.15. Dijagram naprezanja za proračun otpornosti na savijanje izvan ravnine [4]



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.

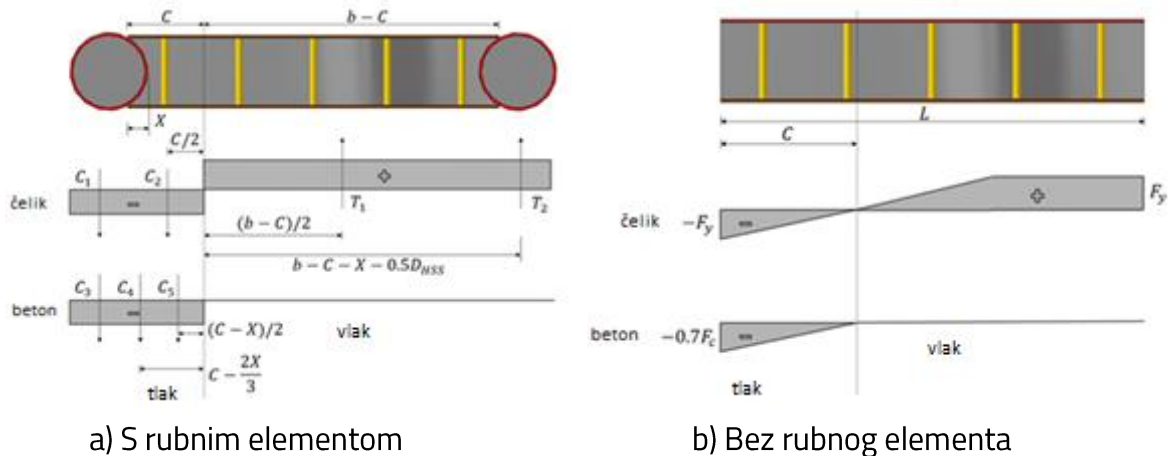
Spregnuti posmični zidovi s polukružnim i punim kružnim rubnim elementima prikazani su na slici 3.17.



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 ψ [5]

| Djelovanje | ψ_0 | ψ_1 | ψ_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 ≤ 30 kN | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Kategorija G: prometna područja, 30 kN \leq težina vozila ≤ 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 ψ 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 φ koeficijenti propisani tablicom 4.1. odnosno 4.7.

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

| Tip promjenjivog djelovanja | Kat | φ |
|--|-------------------------------|-----------|
| 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 α_d/α_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 α_d/α_1 |
| d) obrnuto njihalo | 2 | 2 α_d/α_1 |
| e) konstrukcije s betonskim jezgrama ili betonskim zidovima | vidjeti 5. poglavlje | |
| f) okvir s centričnim ukrućenjem | 4 | 4 α_d/α_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 α_d/α_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 preostalom nosivosti.
- 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

α 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: γ_{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 γ_{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
- γ_{ov} koeficijent povećane čvrstoće
- Ω 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
 γ_{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 Ω . 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 Ω , 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
 γ_{ov} koeficijent povećane čvrstoće
 Ω 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]:

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

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

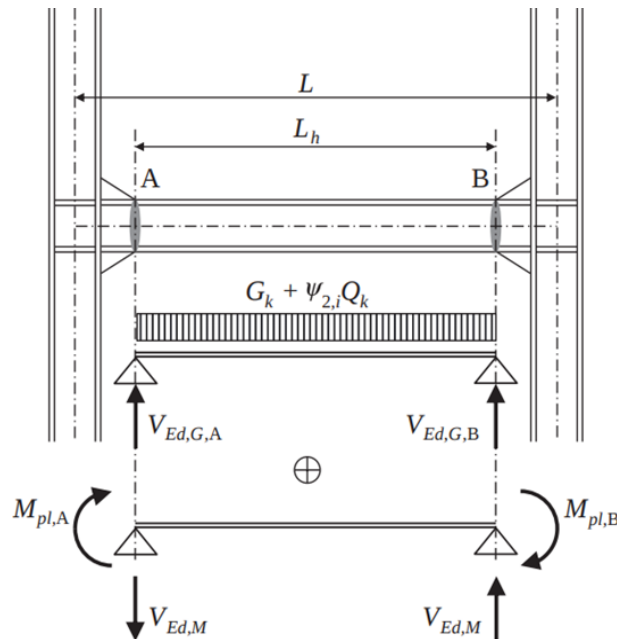
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,15 \quad (4.28)$$

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
 γ_{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
 γ_{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 γ_d (može se pretpostaviti da je jednak kao i za neduktile elemente) gdje je potresno djelovanje dobiveno analizom konstrukcije.

4.2.6 Redukcija pojasnice nosača

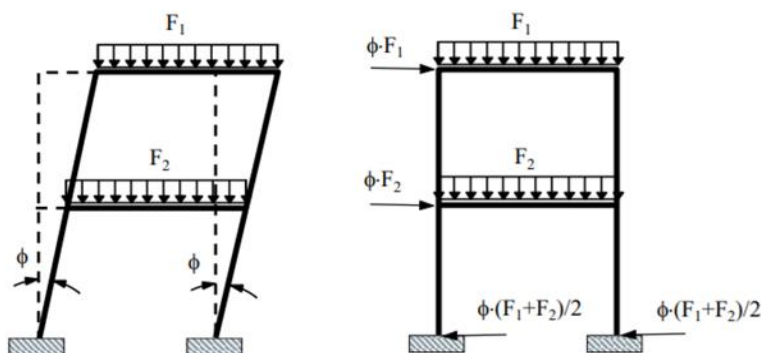
Efikasno i prilično jednostavno rješenje za izbjegavanje plastičnih deformacija u neduktilnim priključcima je smanjenje presjeka nosača na mjestu gdje se predviđa otvaranje plastičnih zglobova.

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 ϕ , 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:

ϕ osnovna vrijednost $\phi_0 = 1/200$

α_h redukcijski faktor za visinu stupova

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

α_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: θ 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 ⁴ /m) | Steel Area (mm ² /m) | Ultimate Moment Capacity (kNm/m) | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|---|--|------------------------------------|-------------------------------------|---------|
| | (kg/m ²) | (kN/m ²) | | | | 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 ³ /m ²) | Weight (kN/m ²) | | | |
|--------------------|--|-----------------------------|------|----------------------|------|
| | | 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 ² |
| Betonska ploča, h=10 cm | | 2,10 kN/m ² |
| Dodatno stalno (slojevi poda) | | 1,50 kN/m ² |
| Instalacije | | 0,50 kN/m ² |
| Pregradni zidovi | | 0,70 kN/m ² |
| Ukupno: | $\Sigma g_{k,i} =$ | 4,91 kN/m² |
| Fasada: | $g_{k,f} =$ | 2,0 kN/m² |

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 ² |
| Betonska ploča, h=10 cm | | 2,10 kN/m ² |
| Dodatno stalno (slojevi) | | 1,50 kN/m ² |
| Šljunak d=18 cm | | 0,50 kN/m ² |
| Instalacije | | 0,50 kN/m ² |
| Ukupno: | $\Sigma g_{k,i} =$ | 4,71 kN/m² |
| Fasada: | $g_{k,f} =$ | 2,0 kN/m² |

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 ²] | 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 ^d | 5 | 4 |

Poslovna građevina kategorije B2 karakteristično uporabno opterećenje iznosi:

$q_{k,i} = 3,0 \text{ kN/m}^2$ (tablica 6.5.)

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

6.1.2.2 Uporabno opterećenje konstrukcije krova

Tablica 6.6. Karakteristična uporabna opterećenja za krov [5]

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

^a Za nagibe između 20° i 40° 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° 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 $c_e=1,0$

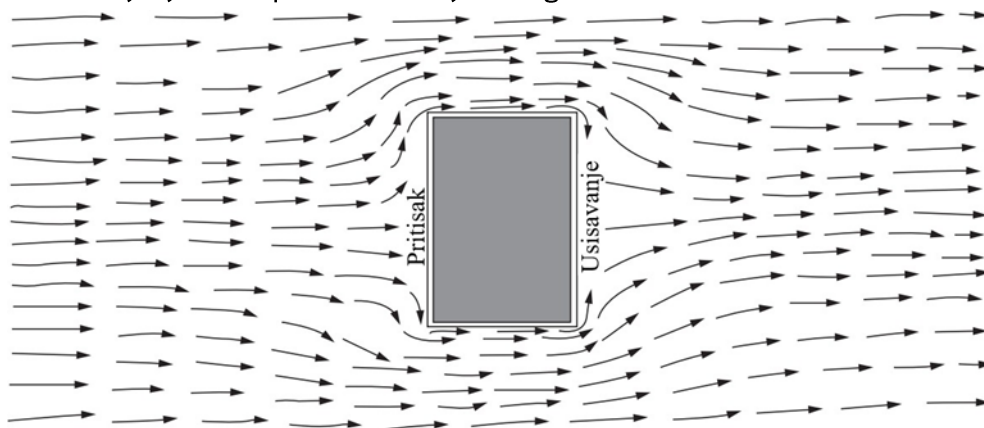
toplinski koeficijent $c_t=1,0$

Karakteristično opterećenje snijega na krov:

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

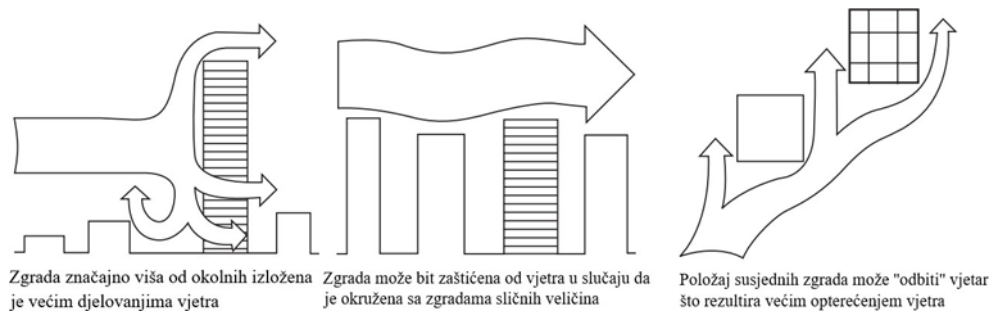
6.1.4 Opterećenje vjetrom

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 zavjetrini 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.

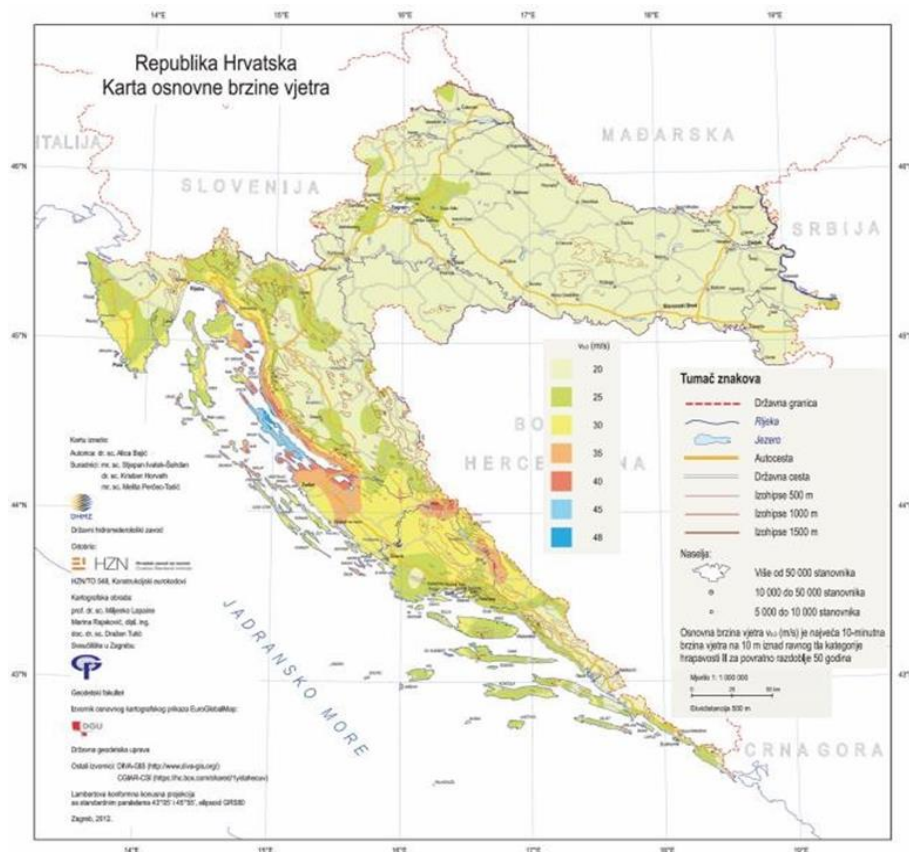
6.1.4.1 Sile vjetra na konstrukciju

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 pokrivene 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

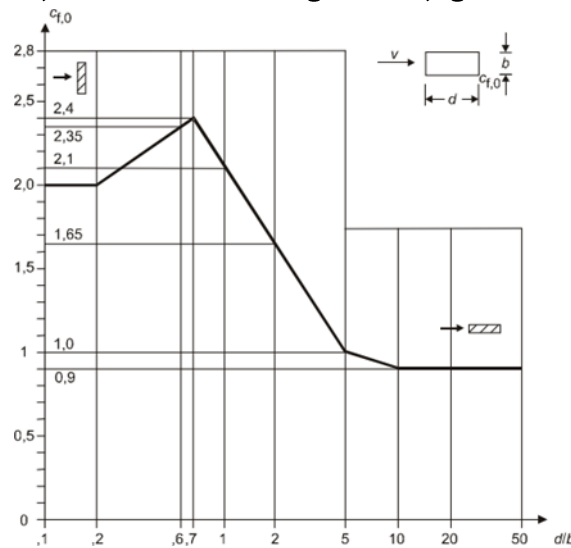
Koeficijent sile daje sveukupni učinak vjetra na konstrukciju, konstrukcijski element ili neki dio kao cjelinu, uključujući trenje [5]. Konstrukcijski elementi pravokutnog profila s vjetrom koji puše okomito na površinu može se odrediti prema sljedećem:

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

gdje je:

| | |
|----------------|--|
| $c_{f,0}$ | osnovna vrijednost koeficijenta sile |
| ψ_r | faktor smanjenja za kvadratne profile, uzima se vrijednost 1,0 |
| ψ_λ | faktor redukcije |

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



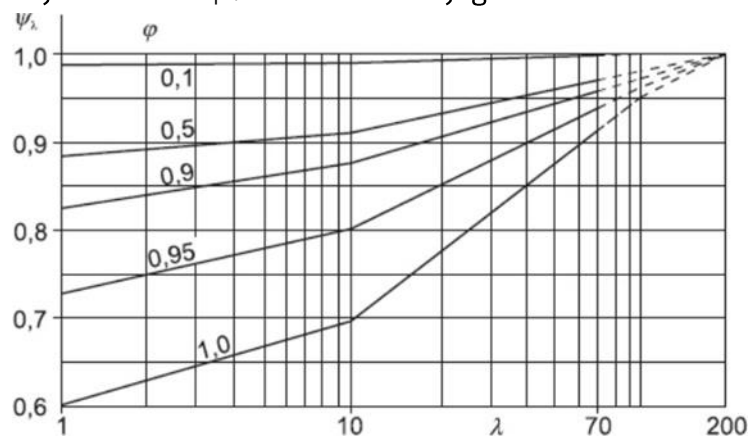
Slika 6.5. Koeficijenti sile $c_{f,0}$ za pravokutne profile s oštrim uglovima [11]

Faktor redukcije uslijed vitkosti ψ_λ treba odrediti kao funkciju vitkosti λ . Proračunsku vitkost λ 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 φ predstavlja omjer zbroja projiciranih ploština elemenata te ukupne omeđene ploštine. U ovom slučaju on iznosi 1,0.

Faktor redukcije uslijed vitkosti ψ_λ 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 λ | 70 | 70 |
| Faktor redukcije uslijed vitkosti ψ_λ | 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):

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

Tablica 6.9. Određivanje faktora konstrukcije

| | vjetar na uzdužnu stranu: | vjetar na poprečnu stranu: |
|--|------------------------------|-------------------------------|
| Faktor pozadine B ² : | 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 ² : | 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 _e | c _s c _d | c _e (z) | q _p (z) | c _s c _d | c _f | q _w | F _w [kN] | |
| (kat) | [m] | [m] | [m] | | | | | | [kN/m ²] | | |
| 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 | |

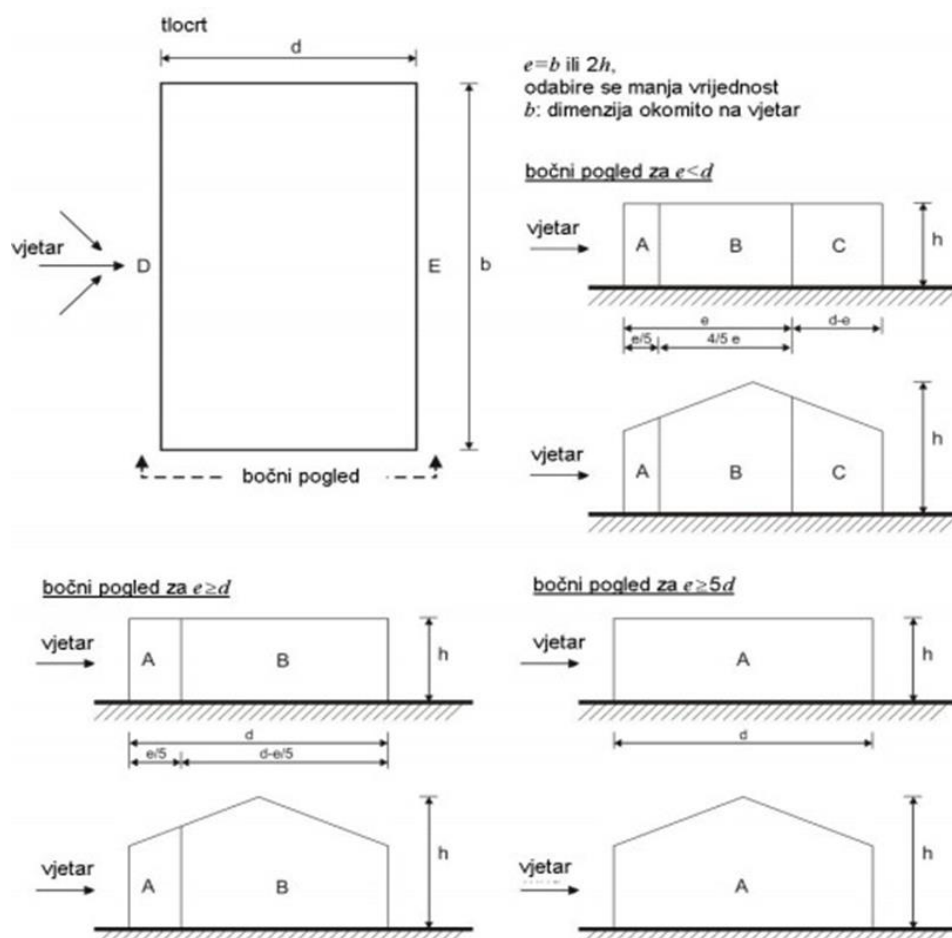
| | | | | | | | | | | |
|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| 19 | 81,7 | 36,0 | 83,3 | 0,907 | 2,123 | 0,531 | 0,806 | 1,89 | 0,809 | 125,23 |
| 20 | 86,0 | 36,0 | 87,6 | 0,917 | 2,156 | 0,539 | 0,806 | 1,89 | 0,821 | 127,09 |
| 21 | 90,3 | 36,0 | 91,9 | 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 | h | b | z _e | c _r (z) | c _e (z) | q _p (z) | c _s c _d | c _f | q _w | F _w [kN] |
| (kat) | [m] | [m] | [m] | | | | | | [kN/m ²] | |
| 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

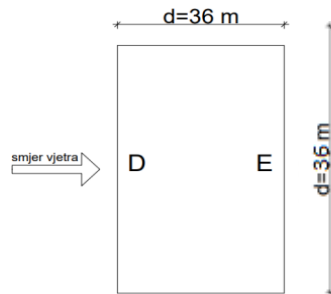
vjetar na uzdužnu stranu:

min (e = b ili e = 2h)

e = b → e = 36 m

e = 2h → e = 387 m

za e = d



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

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

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

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

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

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

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

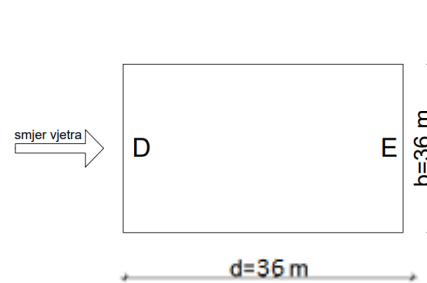
vjetar na poprečnu stranu:

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 ²] | $c_e(z)$ | [kN/m ²] | 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 ²] | $c_e(z)$ | [kN/m ²] | | | | | |
| 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

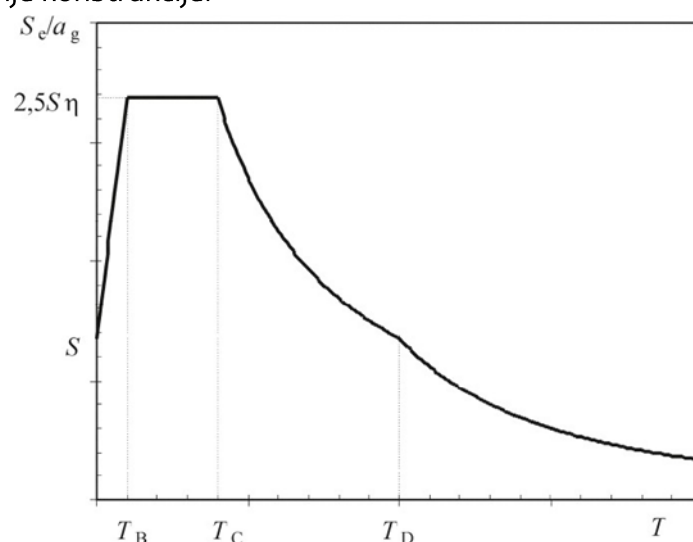
Potresni hazard na lokaciji građevine očituje se preko vršne akceleracije tla. Seizmičko opterećenje može se obuhvatiti statičkim i dinamičkim metodama koje se dijele na linearne i nelinearne. Razmatra se linearna dinamička metoda spektra odziva tj. modalna analiza.

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.

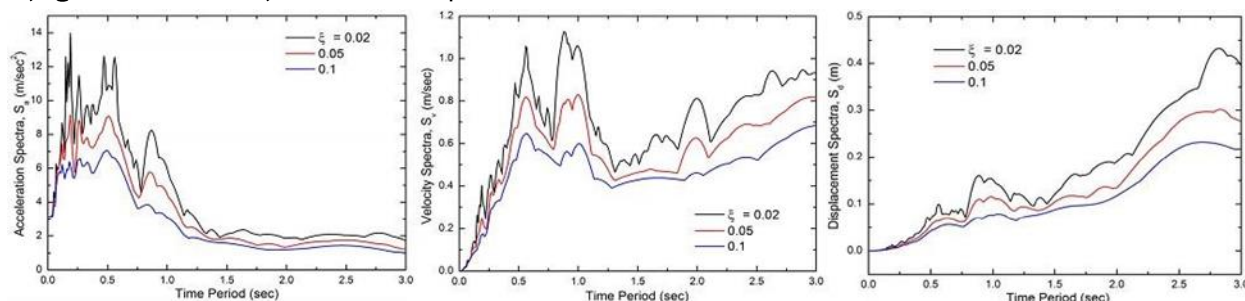
Spektri odziva su krivulje koje predstavljaju maksimalan odziv SDOF-a sustava na određeno ubrzanje tla i njegovo vremensko razdoblje tj. učestalost. Spektar odgovora može se protumačiti kao mjesto maksimalnog odziva SDOF sustava za dano prigušenje. Spektri odziva tako pomažu u dobivanju vršnih vrijednosti 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

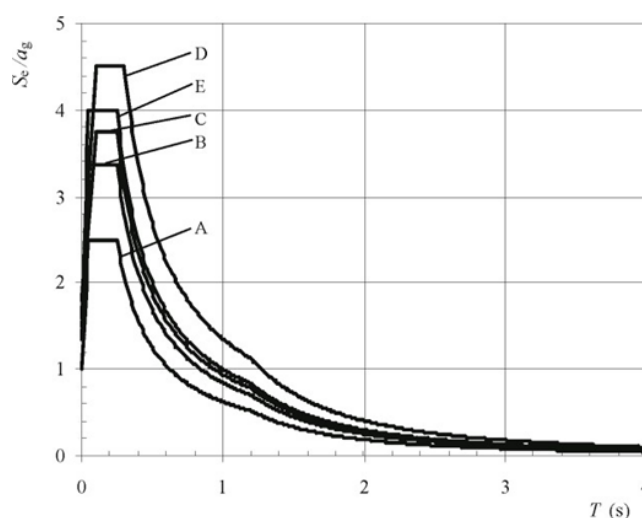
c.)spektar pomaka

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 $a_g = \gamma_i \cdot a_{gR}$ |
| γ_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 |
| β | 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.

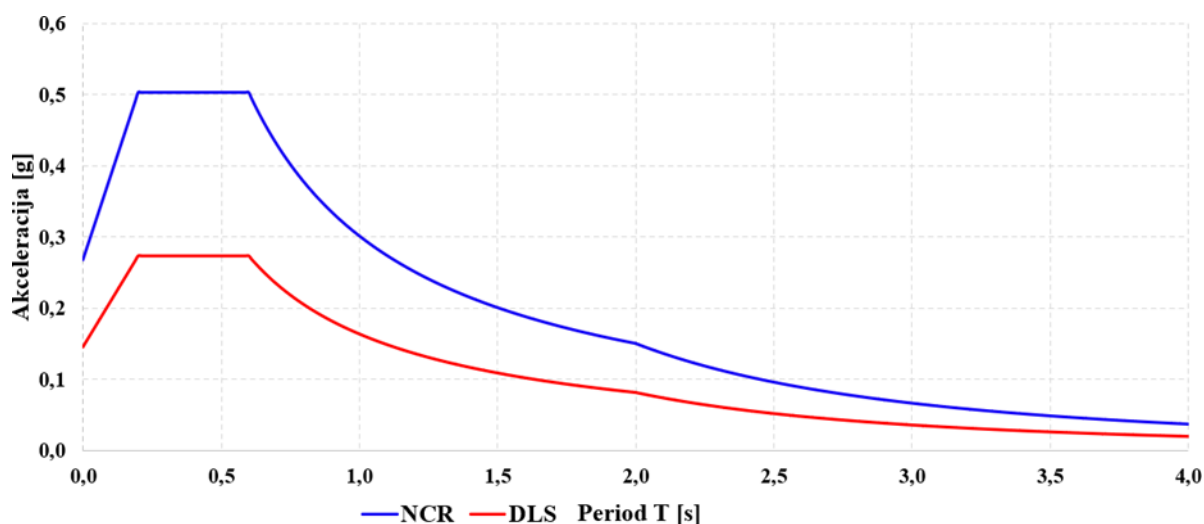
Tablica 6.17. Parametri za vertikalni tip spektra [8]

| 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 |

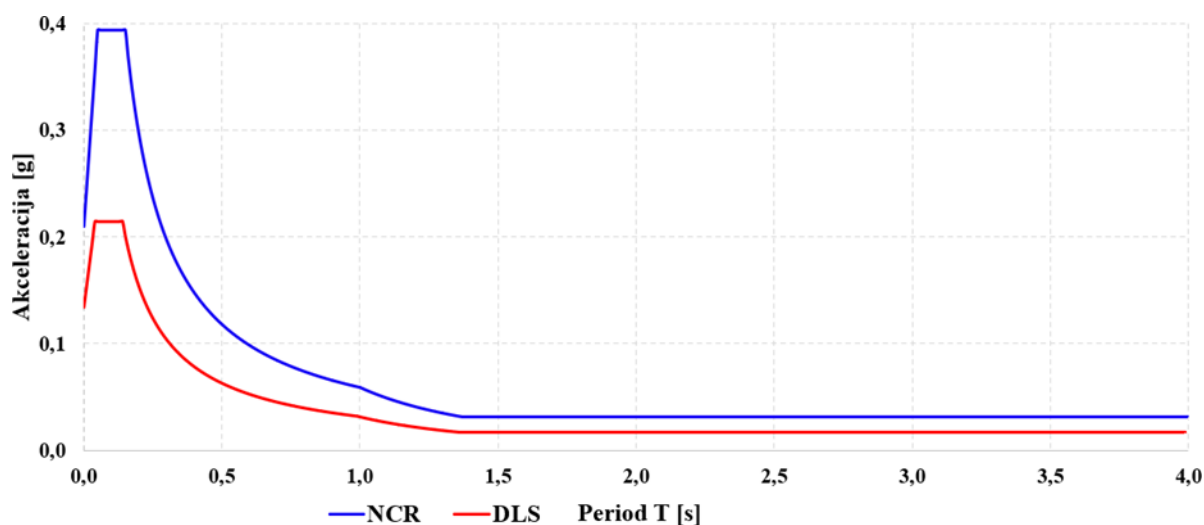
6.2.1.2 Potresno djelovanje

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.



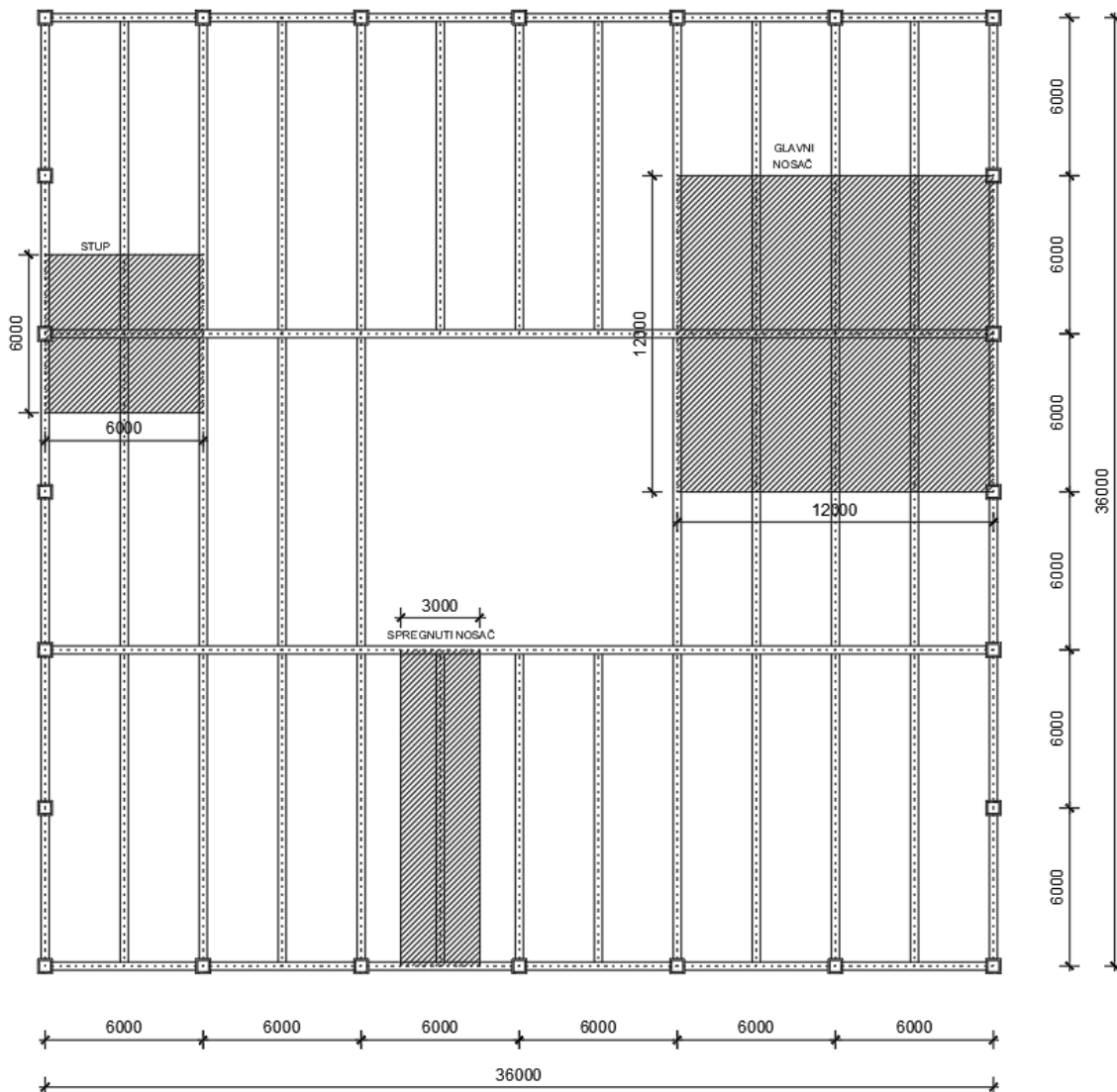
Slika 6.11. Horizontalni proračunski spektari odziva ($q=2,0$ i $\xi=5\%$)



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 ²) 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 $\alpha = 0,34$

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

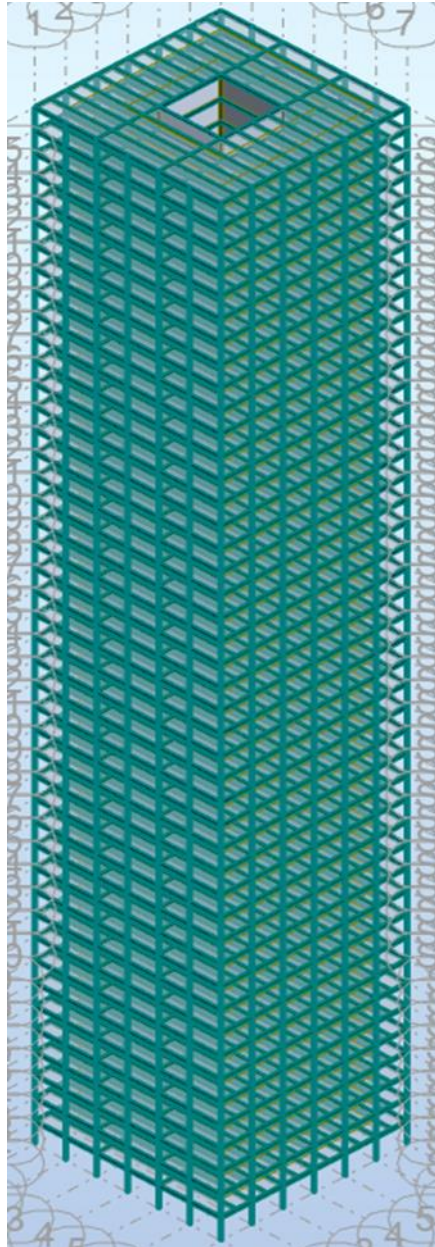
$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,50^2}} = 0,877$$

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

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

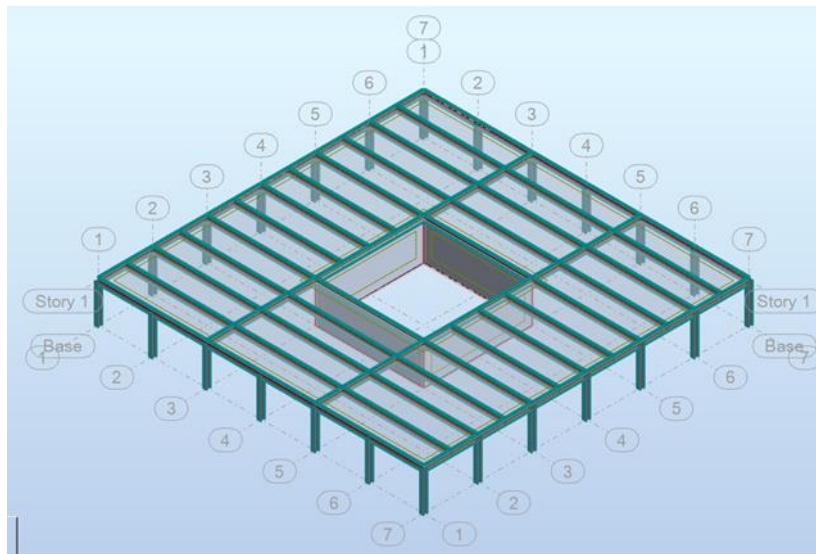
Preliminarno odabrani profil: HD 400x744

8 NUMERIČKO MODELIRANJE



Slika 8.1. 3D model konstrukcije

8.1 Oblikovanje posmične jezgre



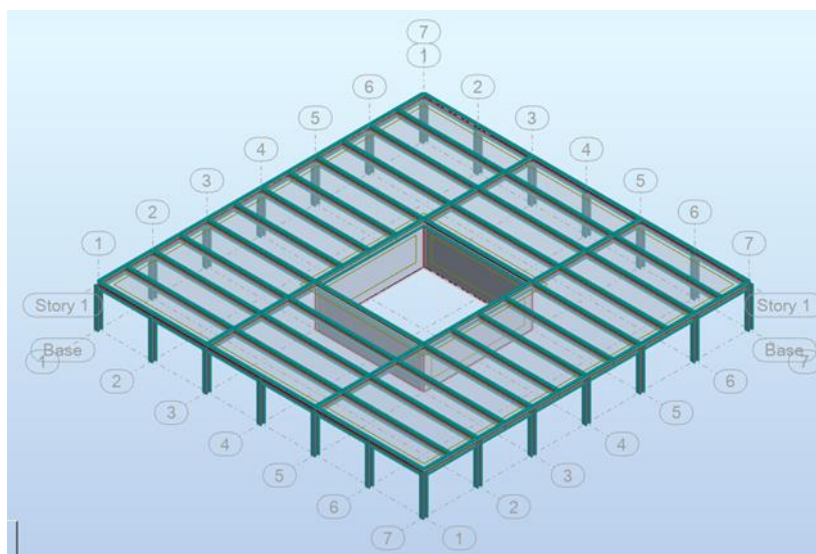
Slika 8.2. *Mogućnost oblikovanja posmične jezgre*

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.



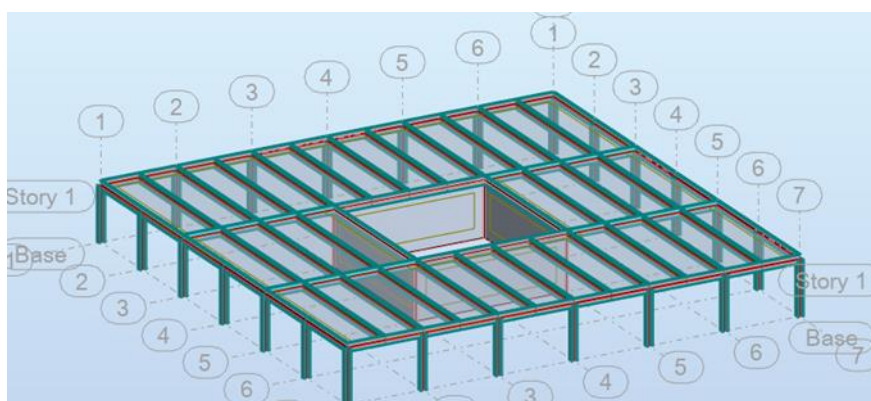
Slika 8.3. *Položaj sekundarnih nosača*

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 6×6 . 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 α_{cr} provedeno je za stalnu ili prolaznu proračunsku situaciju - KGS.

Vrijednosti elastičnog kritičnog opterećenja mogu se dobiti prema izrazu:

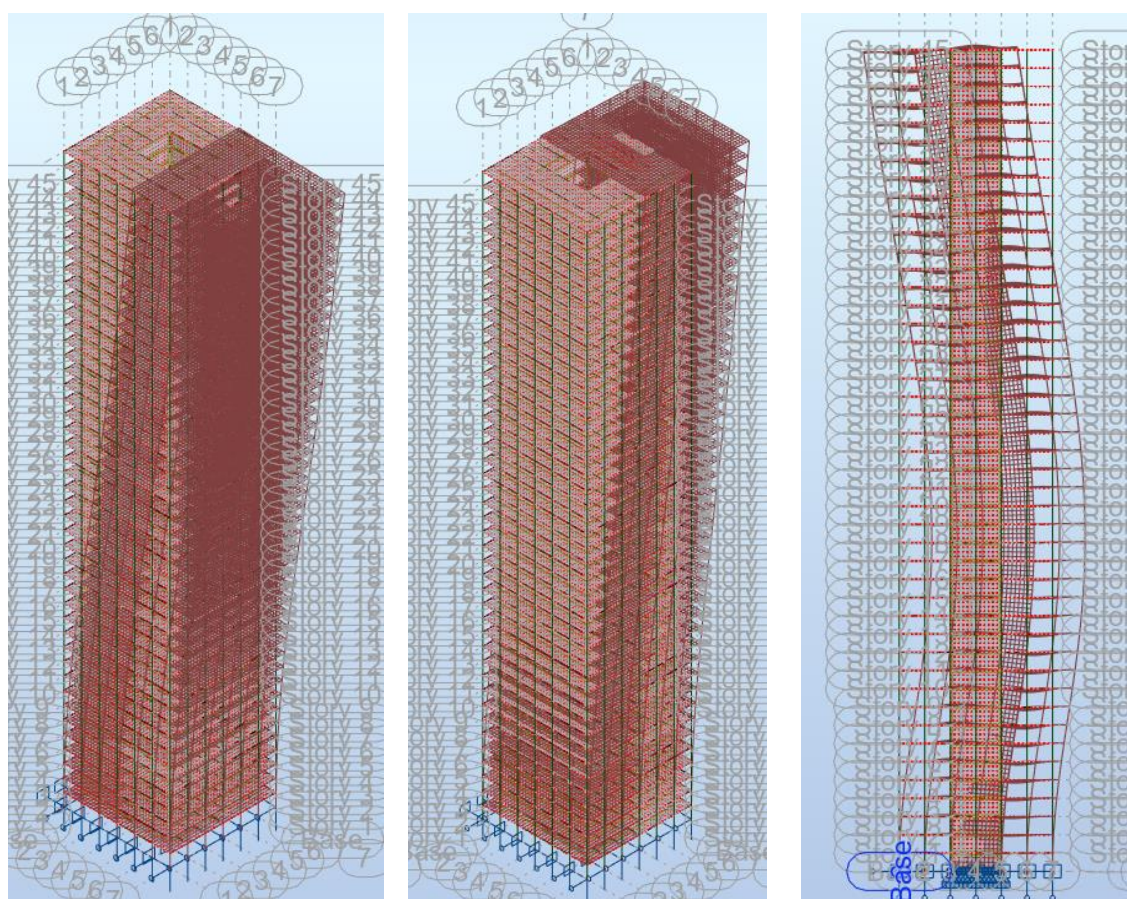
$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \quad (9.2)$$

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- Δ 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

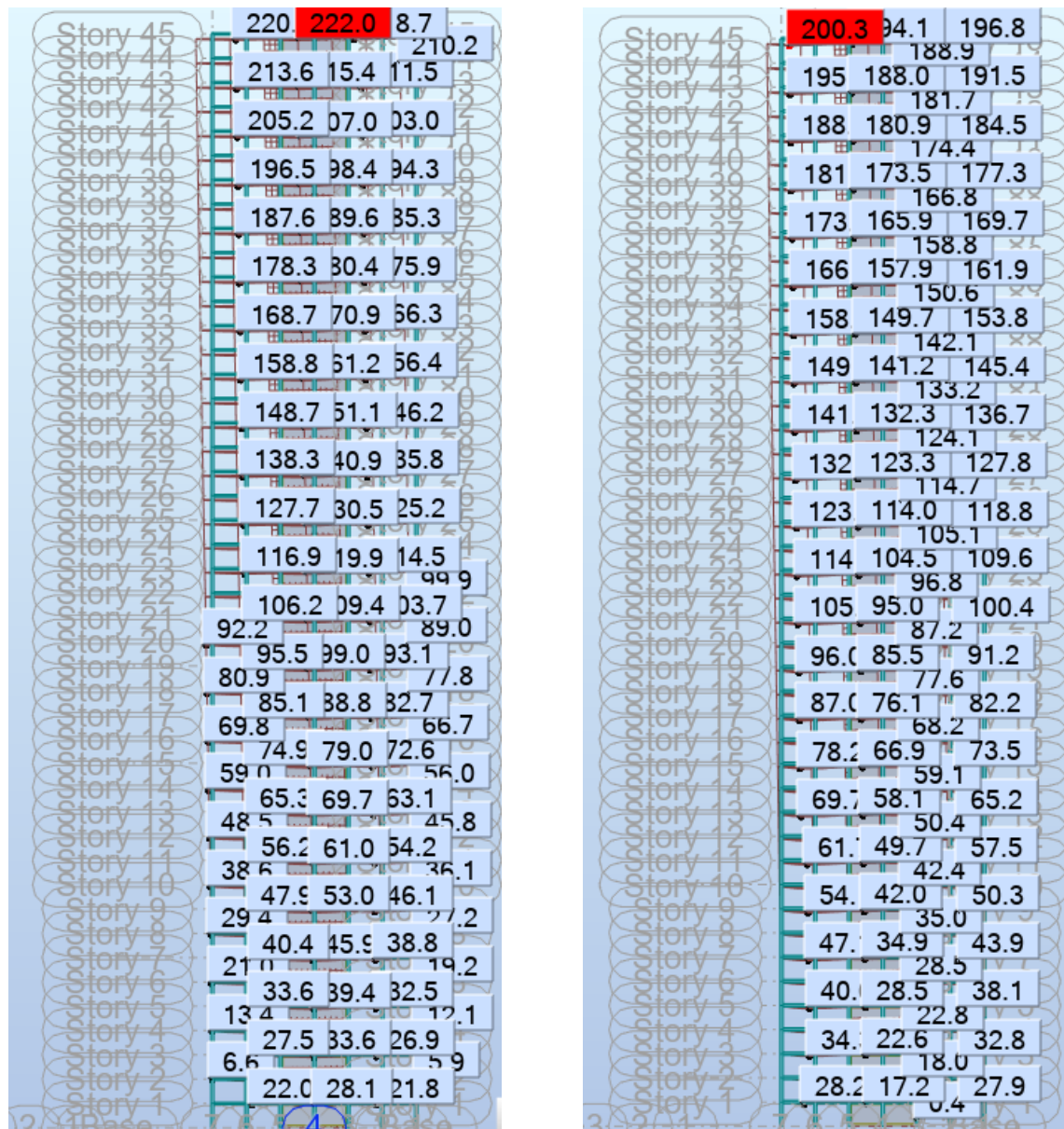
| K 550x550x60 | | |
|----------------------|---------|---------|
| | max N | max M |
| N [kN] | -27 563 | -27 510 |
| M _y [kNm] | 0 | 6 |
| V _z [kN] | 262 | 262 |
| M _z [kNm] | 438 | 689 |
| V _y [kN] | 0 | 0 |

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 _y [kNm] | 1516 | 1925 |
| V _z [kN] | -674 | -689 |
| M _z [kNm] | zanemarivo | zanemarivo |
| V _y [kN] | zanemarivo | zanemarivo |

9.1.4 Granično stanje uporabljivosti



a.) smjer x

b.) smjer y

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

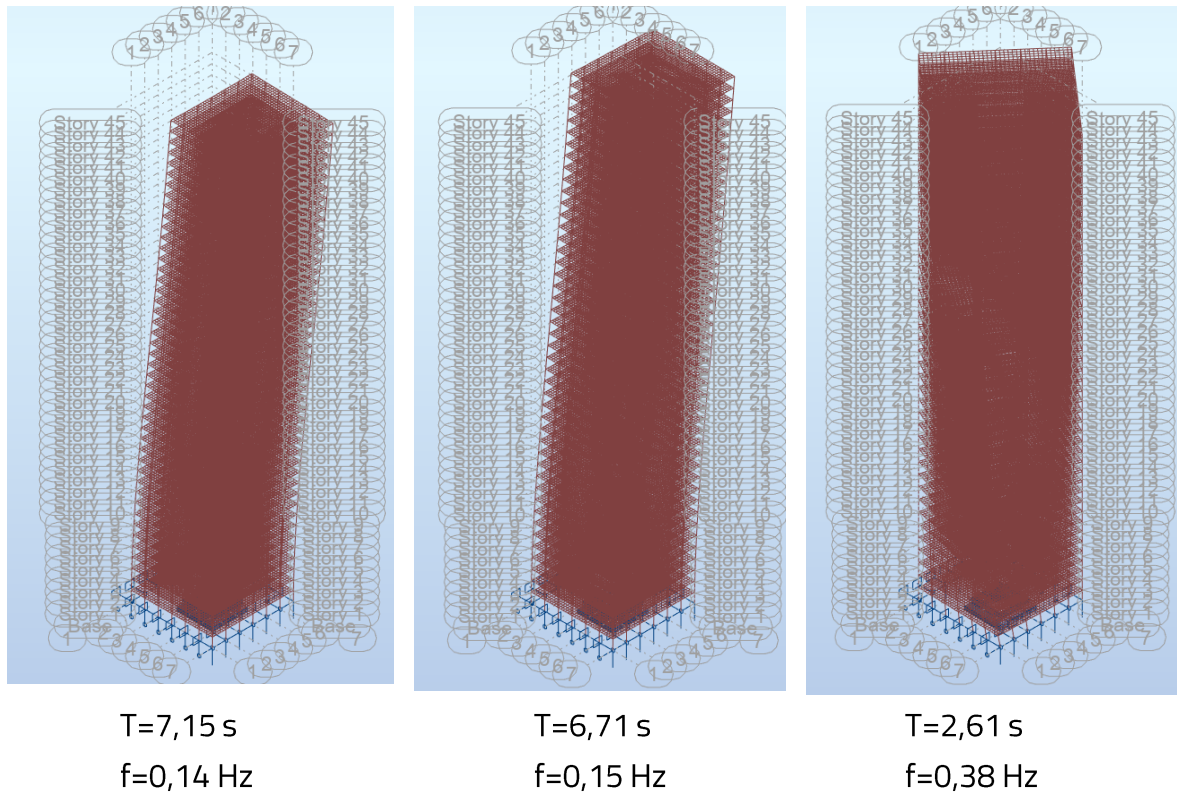
Tablica 9.3. Prirodni periodi i frekvencije modova odziva

| 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)

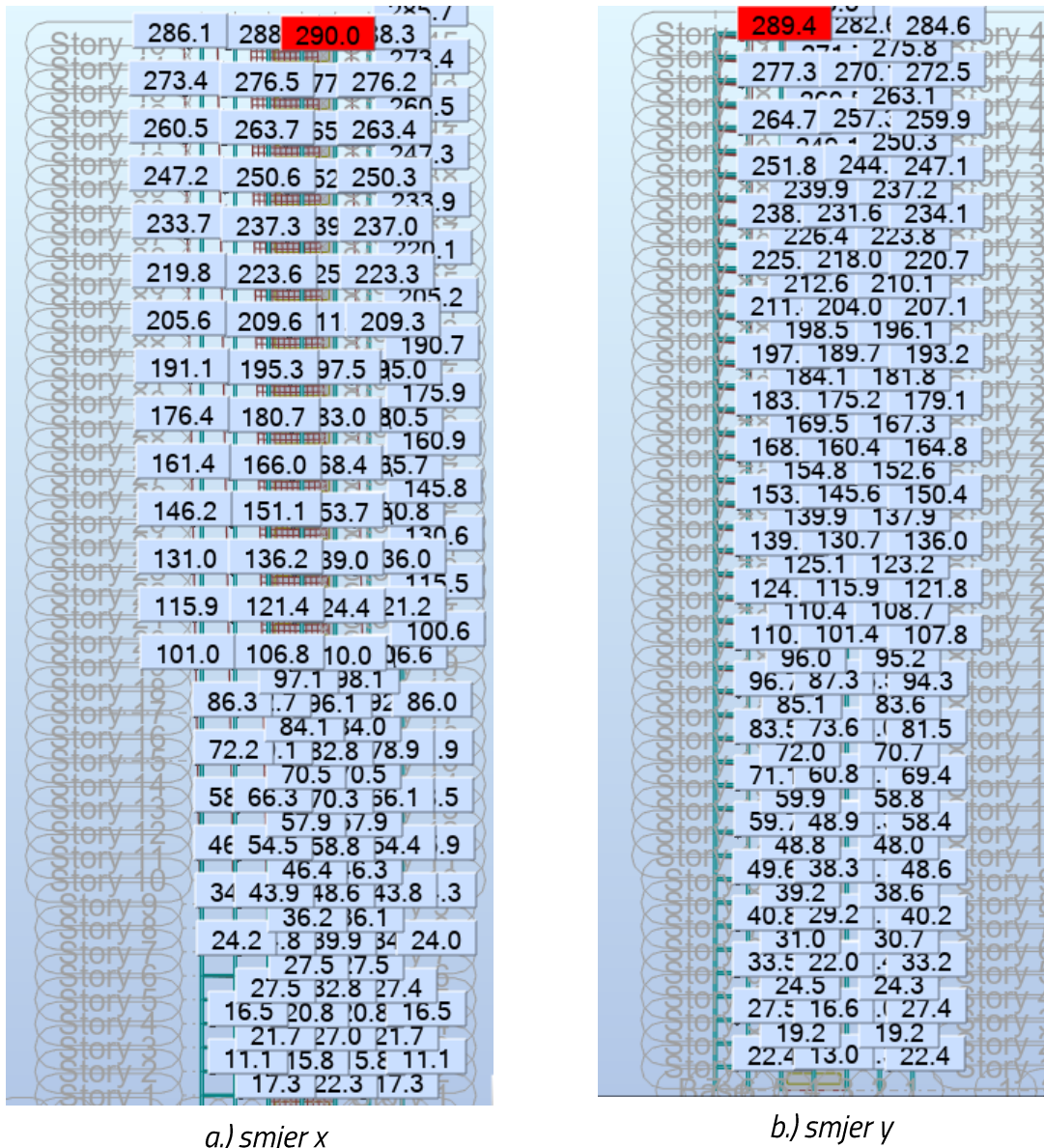
9.2.2.1 Klasifikacija čelične konstrukcije prema EC-8

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:

| | |
|-----------|---|
| θ | 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] | θ | 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] | θ | Rezultat | Uvjet |
|----------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|---------------|-------------|----------|--------------------|-------|
| 1 | 602770 | 14716 | 0 | 2,2 | 2,2 | 430 | 0,222 | 0,2< θ <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 θ 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- Δ) 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 _y [kNm] | 0 | 0 |
| V _z [kN] | 139 | 110 |
| M _z [kNm] | 243 | 356 |
| V _y [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 _y [kNm] | 825 | 1102 |
| V _z [kN] | -353 | -375 |
| M _z [kNm] | zanemarivo | zanemarivo |
| V _y [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

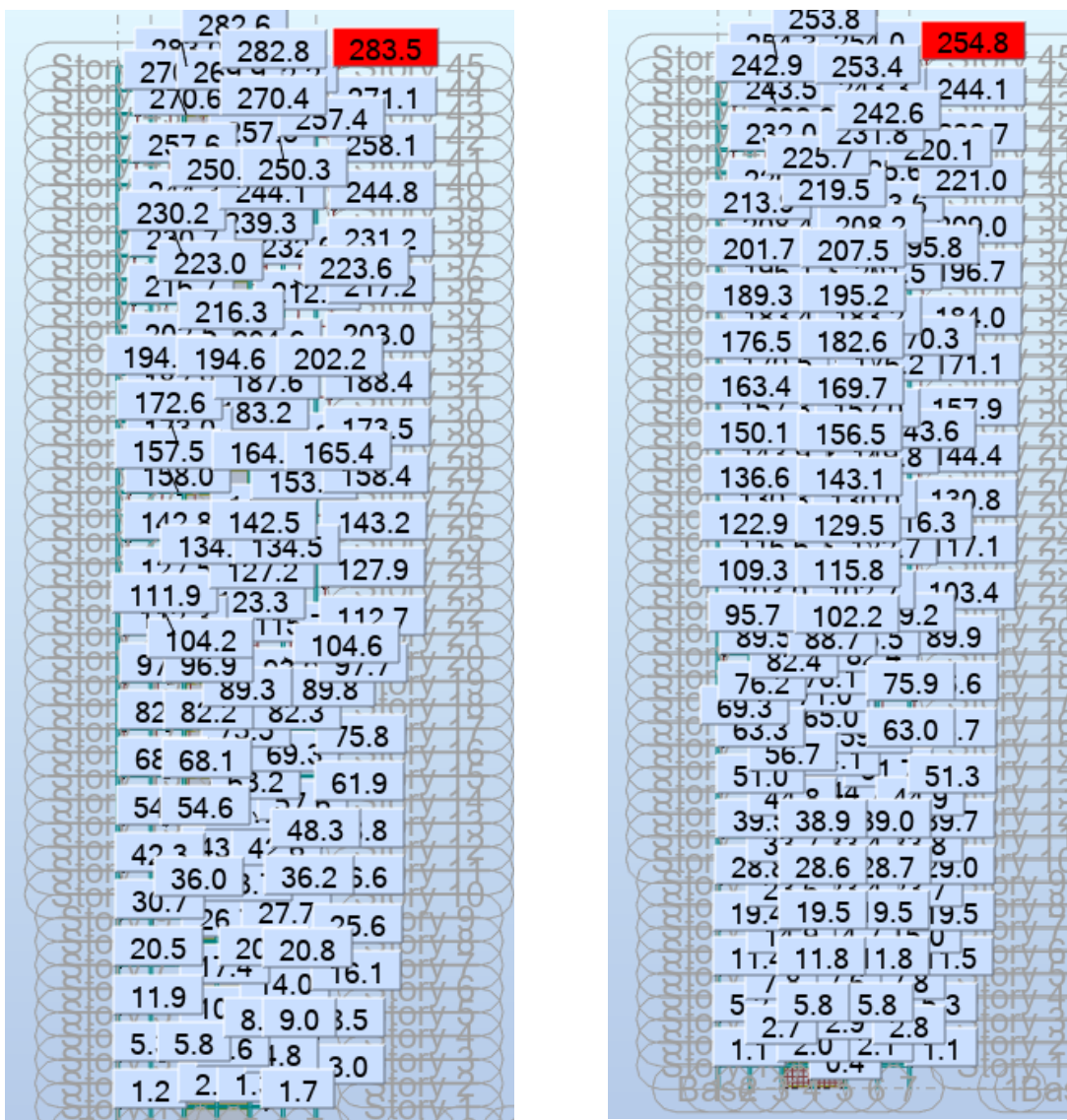
v Faktor smanjenja

Ograničenje za etažu zgrade:

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

Prema hrvatskom nacionalnom dodatku, vrijednost faktora smanjenja iznosi:

$$v = 1,0$$



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 | cm ² |
| | $h=$ | 550 | mm |
| | $b=$ | 550 | mm |
| | $t_w=$ | 60 | mm |
| | $t_f=$ | 60 | mm |
| | $r=$ | 0 | mm |
| | $I_y=$ | 477 652 | cm ⁴ |
| | $W_{pl,y}=$ | 17400 | cm ³ |
| | $I_z=$ | 477 652 | cm ⁴ |
| $W_{pl,z}=$ | 17400 | 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 | cm^2 | |
| | $h=$ | 572 | mm | |
| | $b=$ | 306 | mm | |
| | $t_w=$ | 21 | mm | |
| | $t_f=$ | 40 | mm | |
| | $r=$ | 27 | mm | |
| | $I_y=$ | 198 000 | cm^4 | |
| | $W_{pl,y}=$ | 7933 | cm^3 | |
| | $I_z=$ | 19 160 | cm^4 | |
| | $W_{pl,z}=$ | 1937 | cm^3 | |
| $A_{v,z}=$ | 139,6 | cm^2 | | |
| $I_t=$ | 1554 | cm^4 | | |
| $I_w=$ | $13,520 \cdot 10^6$ | cm^6 | | |

Tablica 10.4. Proračunski učinci djelovanja

Vrijednosti proračunskih učinaka djelovanja prema mjerodavnoj kombinaciji iz tablice 9.2.

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

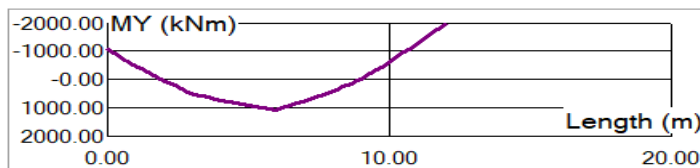
$$\psi = \frac{1084}{-1925} = -0,563$$

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

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

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

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



| | 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.

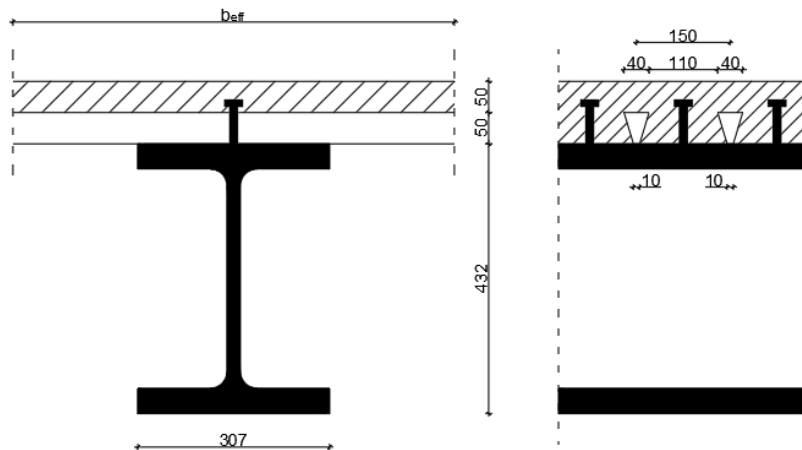
$$\delta_{tot} = 82,0 \text{ mm} > \frac{L}{250} = \frac{12000}{250} = 48 \text{ mm}$$

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

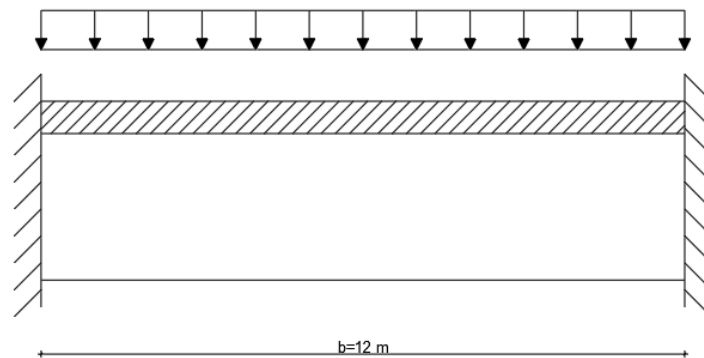
10.1.3 Spregnuti nosač



Slika 10.1. Poprečni presjek spregnutog nosača

Tablica 10.5. Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka

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



Slika 10.2. Statički sustav spregnutog nosača

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:

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

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

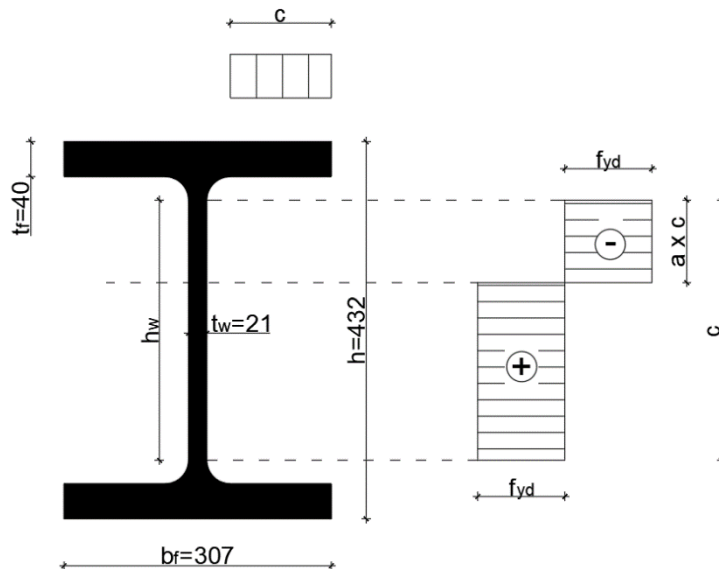
Plastična neutralna os ne nalazi se u betonskoj pojasnici.

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:

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

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

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

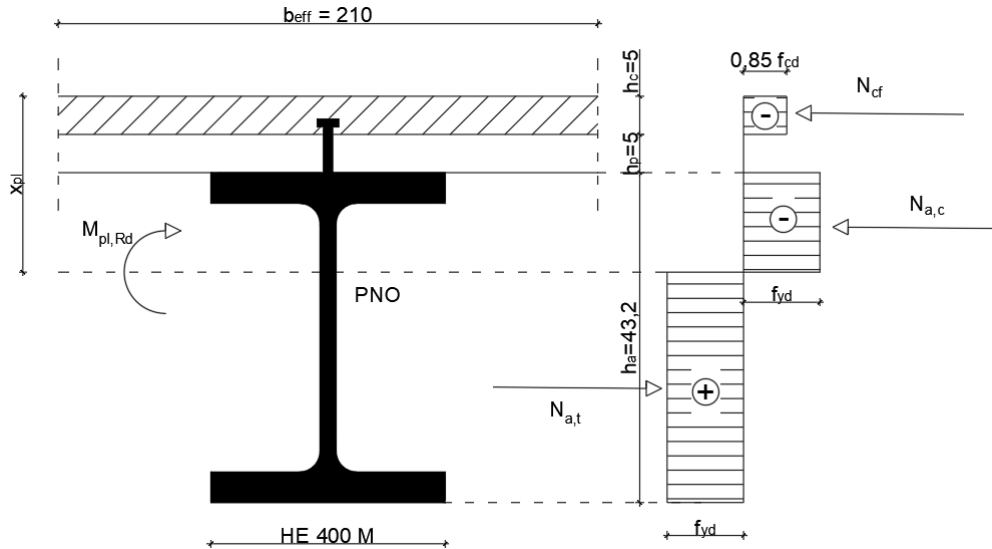
Hrbat je klase I!

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:

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

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:

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

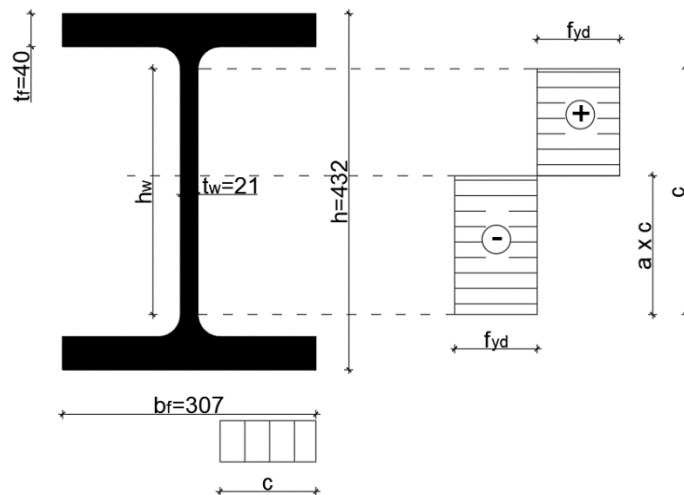
$$\rho_s = \delta \cdot \frac{f_y}{235} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{sk}} \sqrt{k_c} = 1,0 \cdot \frac{355}{235} \cdot \frac{2,9}{500} \sqrt{0,908} = 0,00835 \rightarrow 0,835\%$$

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

Klasifikacija poprečnog presjeka:

Pomak neutralne osi iz težišta čeličnog profila za iznos Δ :

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



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:

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

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

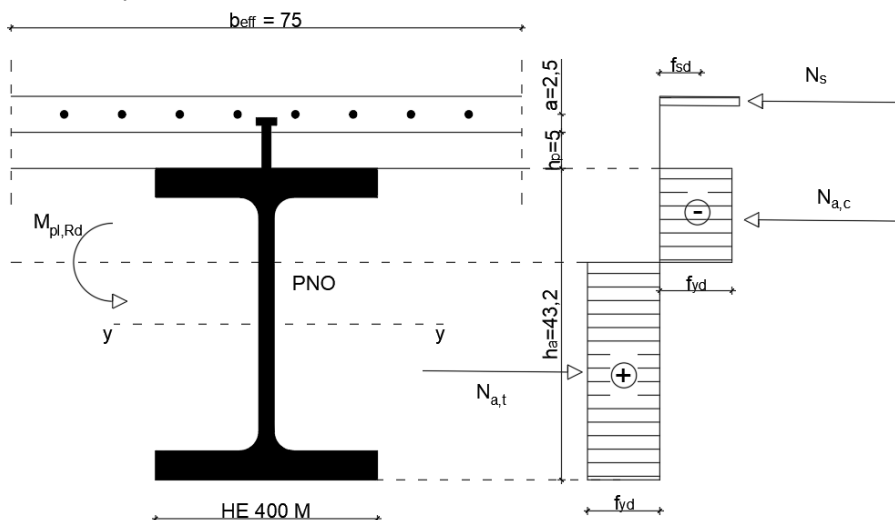
$$\frac{298}{21} = 14,19 < 53,28 \quad \text{Hrbat je klase I!}$$

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:

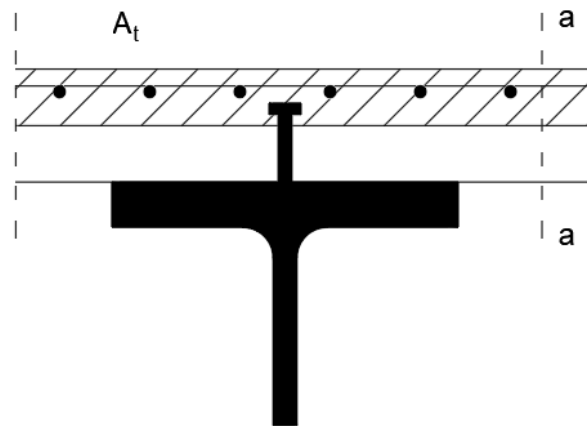
$$n_r = \frac{L}{b_s} = \frac{12\,000}{150} = 80$$

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

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



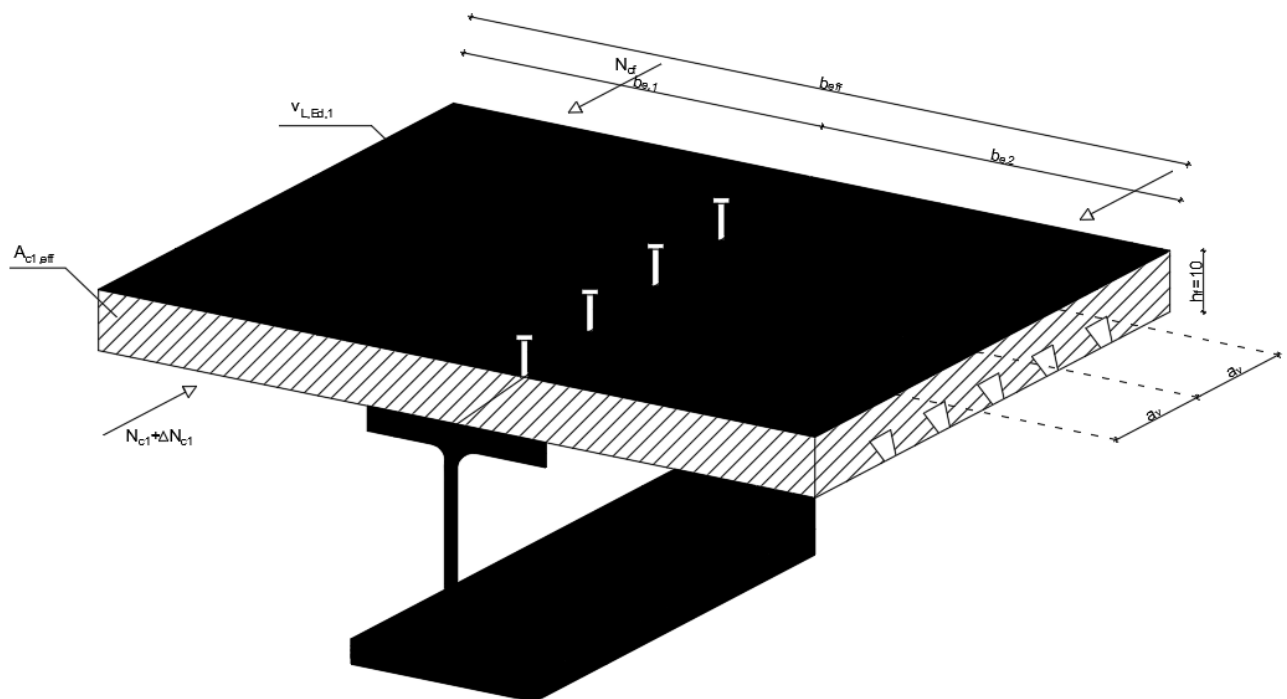
Slika 10.7. Potencijalna posmična površina sloma

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

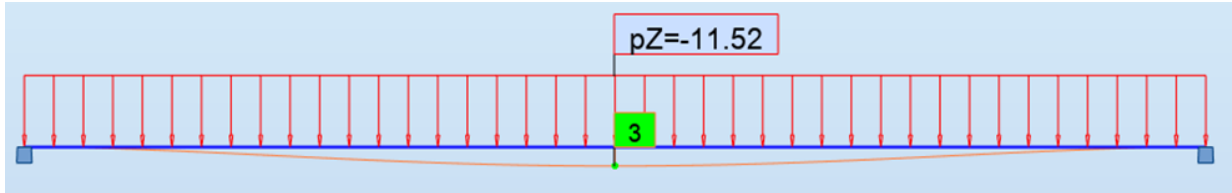
Granične vrijednosti progiba iznose:

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

Progib zbog stalnog i promjenjivog djelovanja:

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

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



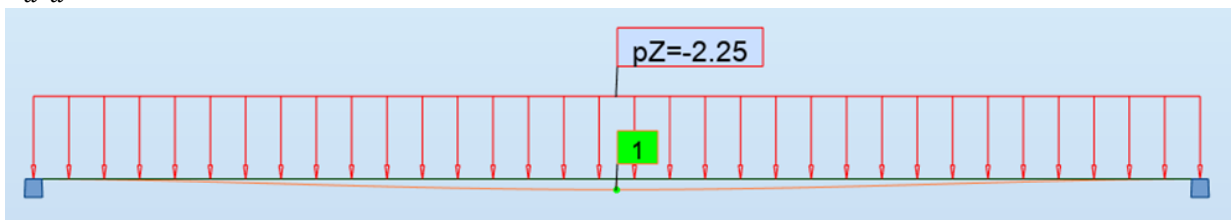
Slika 10.9. Progib tijekom izvedbe za sveukupno opterećenje

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

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:

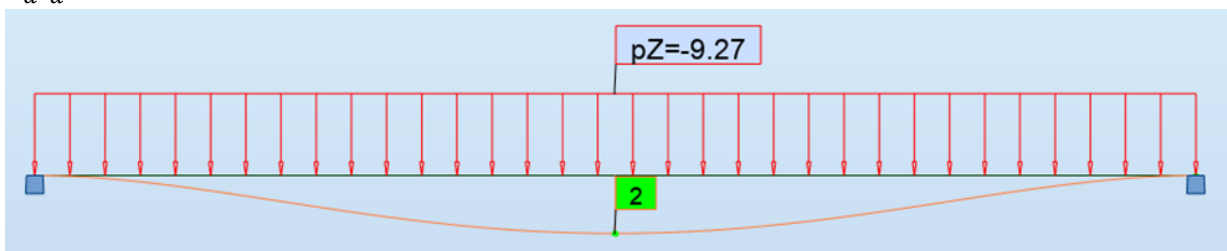
$$EI_{st} = E_a I_2 = 3159387000 \text{ kNcm}^2 = 315939 \text{ kNm}^2$$

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

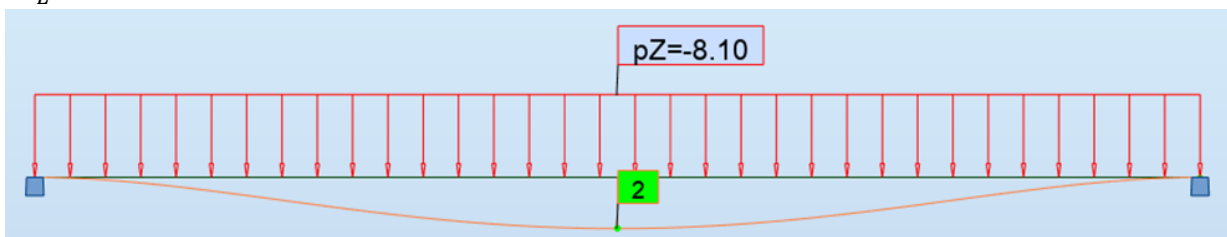
$$\delta_{1,1} = 2,0 \text{ mm}$$

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

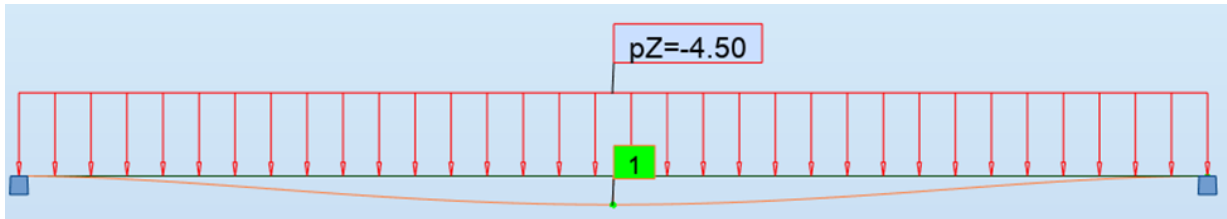
$$\delta_{1,2} = 2,0 \text{ mm}$$

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

$$\delta_{2,1} = 1,0 \text{ mm}$$

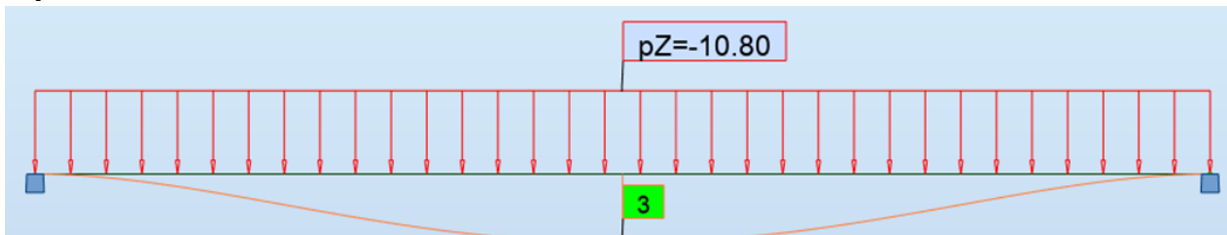
Progib uslijed puzanja pri nazovistalnoj kombinaciji:

$$e_d = b \cdot (g_{k,3} + \psi_2 \cdot g_{k,2}) = 3,0 \cdot (2,7 + 0,3 \cdot 3,0) = 10,8 \text{ kN/m}$$

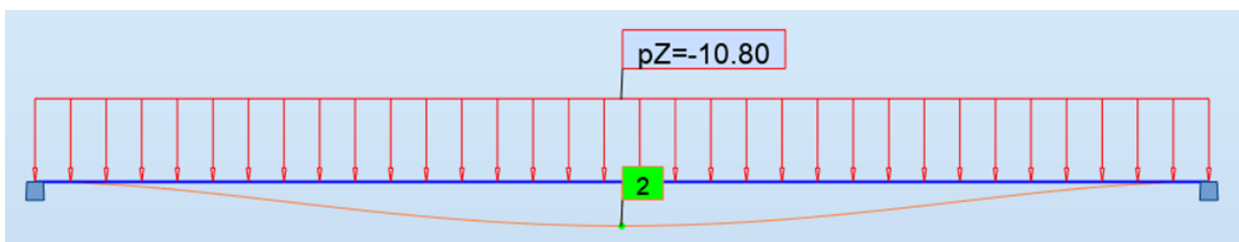
$$E_a I_2 = 2186100000 \text{ kNcm}^2 = 218610 \text{ kNm}^2$$

$$EI_L = 4141080096 \text{ kNcm}^2 = 414108 \text{ kNm}^2$$

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



Slika 10.14. Progib zbog puzanja u vremenu $t=\infty$ ($E_L=EI_P$)



Slika 10.15. Progib tijekom prvog opterećenja ($E_L=E_I$)

$$\delta_{2,2} = 3,0 - 2,0 = 1,0 \text{ mm}$$

Progib zbog skupljanja:

$$N_{cs} = \varepsilon_{sc}(\infty) \cdot E_s \cdot A_c = 4,15 \cdot 10^{-4} \cdot 892 \cdot 210 \cdot 5 = 389 \text{ kN}$$

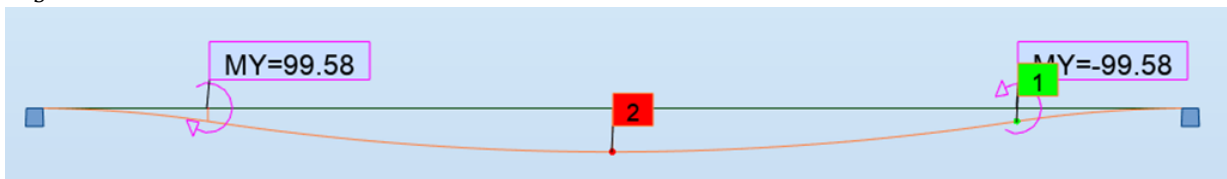
$$a_c = \frac{E_a \cdot A_a}{E_a \cdot A_a + E_s \cdot A_c} \cdot a = \frac{21000 \cdot 325,8}{21000 \cdot 325,8 + 892 \cdot 1050} \cdot 29,10 = 25,60 \text{ cm}$$

$$N_{cs} = \varepsilon_{cs}(\infty) \cdot E_s \cdot A_c = 4,15 \cdot 10^{-4} \cdot 892 \cdot 210 \cdot 5 = 389 \text{ kN}$$

$$M_{cs} = N_{cs} \cdot a_c = 389 \cdot 25,60 = 9958 \text{ kNcm} = 99,58 \text{ kNm}$$

$$E_a I_2 = 2186100000 \text{ kNcm}^2 = 218610 \text{ kNm}^2$$

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



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:

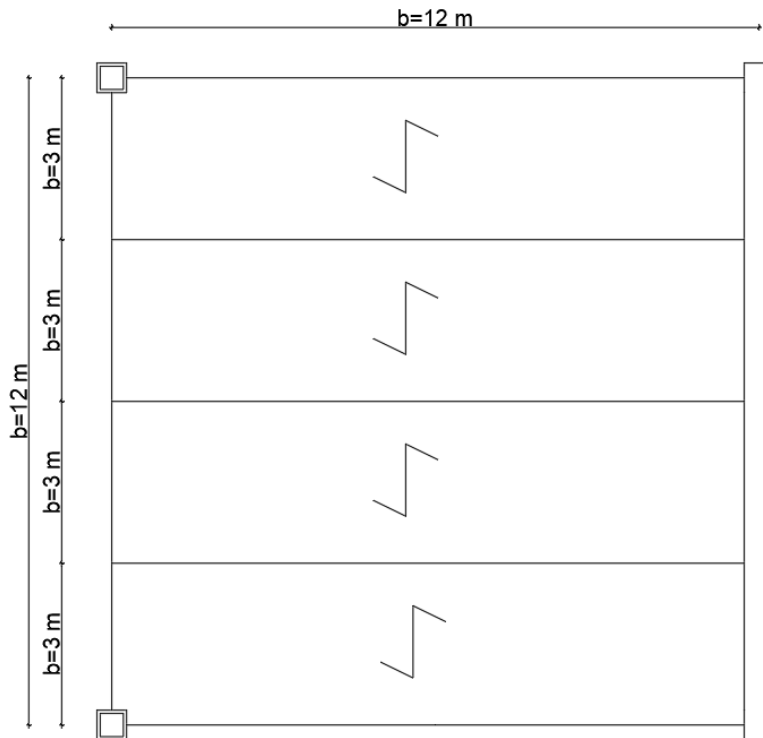
$$\delta_{var} = \delta_2 = 4,0 < \frac{L}{300} = \frac{12000}{300} = 40 \text{ mm}$$

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:

$$t = 0,85 \text{ mm}$$

$$h_p = 50 \text{ mm}$$

$$A_p = A_{pe} = 14,18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I_p = 56,58 \text{ cm}^4/\text{m}$$

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

$$f_{yp,k} = 450 \text{ N/mm}^2$$

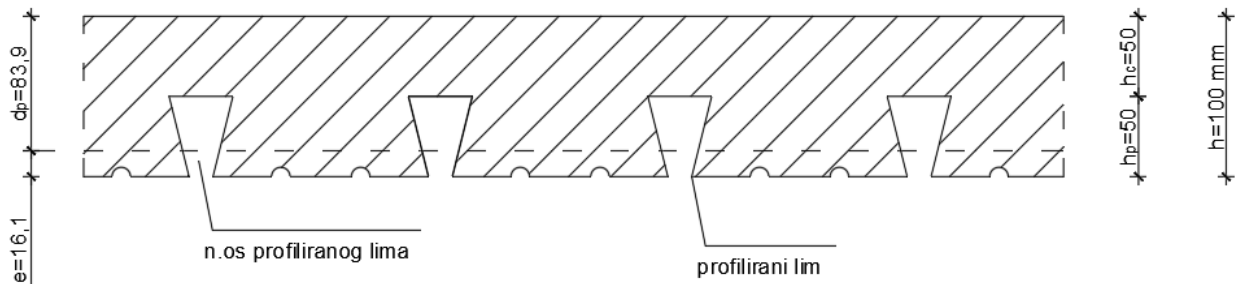
$$f_{yp,d} = \frac{f_{yp,k}}{\gamma_M} = \frac{450}{1,00} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Plastični moment otpora

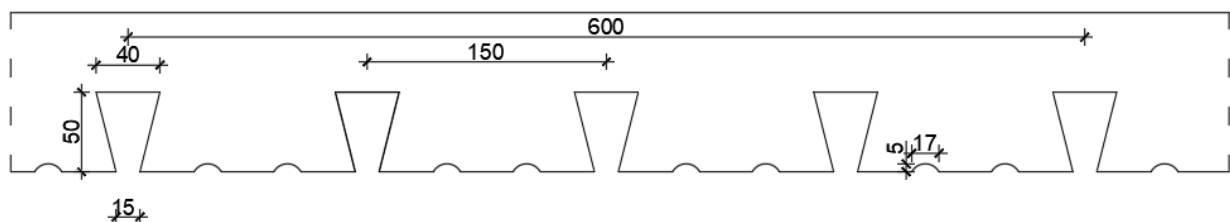
$$M_{pa,rk} = 450 \text{ kNm/m}$$

$$M_{RK} = 6,47 \text{ kNm/m}$$

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:

$$A_{min} = 80 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{min} = 0,004 \cdot h_c \cdot b = 0,004 \cdot 50 \cdot 1000 = 200 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

Pretpostavka: $\phi 10/160 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{1^2 \pi}{4} \cdot \frac{1000}{160} = 491 \text{ mm}^2/\text{m} > A_{min}$$

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 |

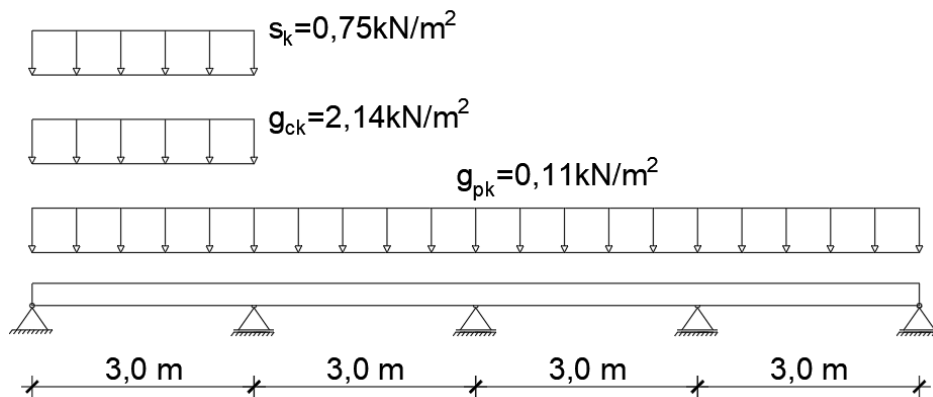
Kod spregnute ploče, minimalna duljina oslanjanja profiliranog lima na čelični ležaj iznosi $l_{bs} = 50 \text{ mm}$ (tablica 10.6.). Spregnuta ploča se oslanja na čelične nosače HE 400 M, čija je gornja pojasnica ($b_f = 307 \text{ mm}$) šira je od zahtijevanih 50 mm , stoga je ovaj uvjet zadovoljen.

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:

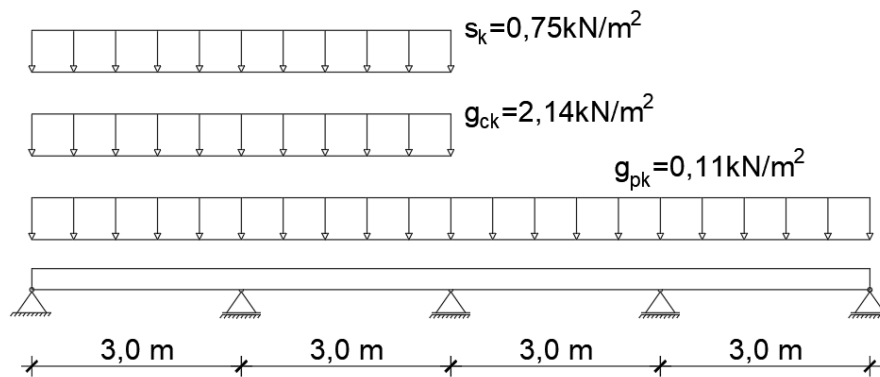
$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{MO}} = \frac{6,47}{1,0} = 6,47 \text{ kNm/m}$$

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:

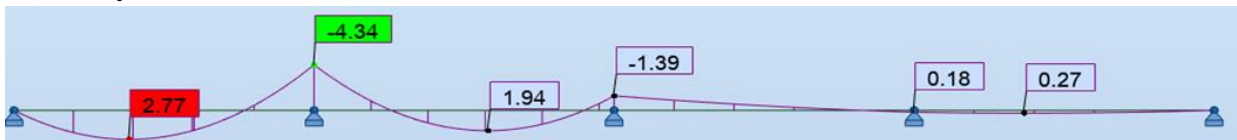


Slika 10.22. Statički sustav i opterećenja za fazu izvedbe

$$e_{d,p} = \gamma_G \cdot q_{pk} = 1,35 \cdot 0,11 = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,c} = \gamma_G \cdot q_{ck} = 1,35 \cdot 2,14 = 2,89 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{d,s} = \gamma_Q \cdot s_k = 1,5 \cdot 0,75 = 1,13 \text{ kN/m}^2$$



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:

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

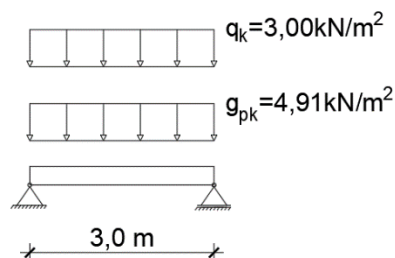
$$\frac{4,34}{6,30} = 0,69 < 1,0 \quad \text{Uvjet zadovoljen!}$$

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:

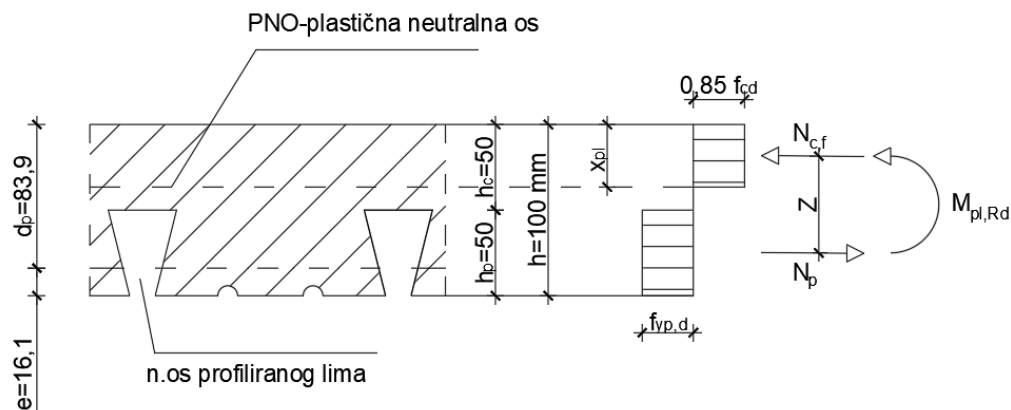
$$M_{ed} = \frac{(\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot L^2}{8}$$

$$M_{ed} = \frac{(1,35 \cdot 4,91 + 1,5 \cdot 3,0) \cdot 3,0^2}{8} = 12,52 \text{ kNm/m}$$

$$V_{ed} = \frac{(\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k) \cdot L}{2}$$

$$V_{ed} = \frac{(1,35 \cdot 4,91 + 1,5 \cdot 3,0) \cdot 3,0}{2} = 16,69 \text{ kN/m}$$

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:

$$N_c = \tau_{u,Rd} \cdot b \cdot L_x \leq N_{c,f}$$

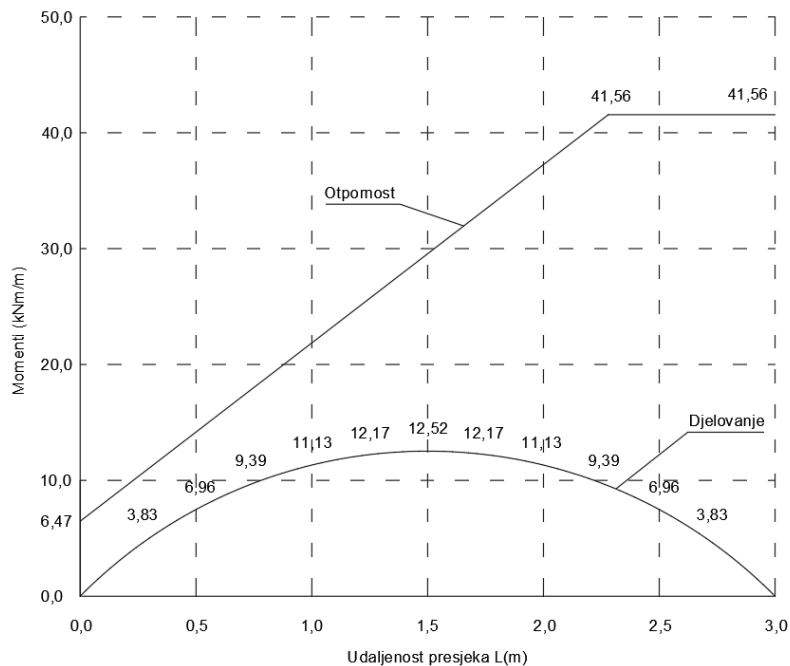
Proračunska posmična čvrstoća:

$$\tau_{u,Rd} = \frac{\tau_{u,Rk}}{\gamma_{vs}} = \frac{0,280}{1,0} = 0,280 \text{ N/mm}^2$$

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

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} \cdot k(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}) \cdot b_w \cdot d \geq v_{min} \cdot b_w \cdot b$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$V_{I,Rd} = I_{bs} \cdot \tau_{u,Rd} = 0,15 \cdot 280 = 42,0 \text{ kN/m}$$

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:

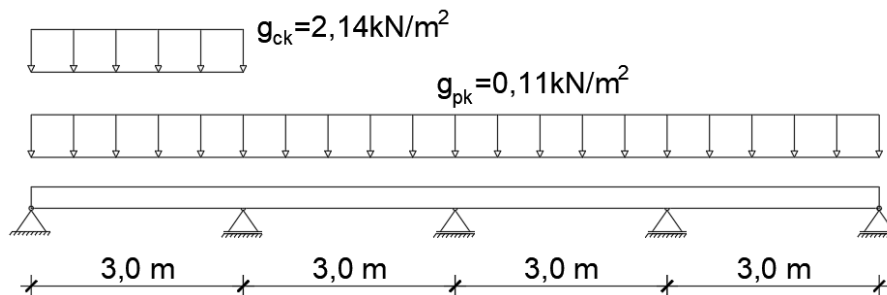
- Za kontinuiranu gredu, omjer raspona i statičke visine treba biti:
 $L \leq 26 \cdot d$ za krajnji raspon
 $L \leq 30 \cdot d$ za unutarnji raspon
- Uzdužni pomak između betona i čeličnog lima je manji od 0,5 mm kod 20% većeg opterećenja od uporabnog

$$\frac{L}{D} = \frac{3000}{83,9} = 36 > 26$$

$$\frac{L}{D} = \frac{3000}{83,9} = 36 > 30$$

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:

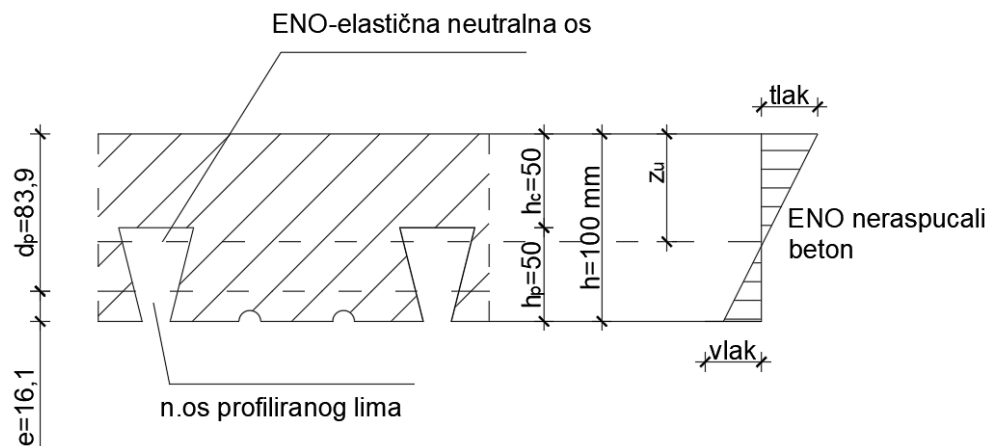
$$n = \frac{E_a}{E_{cm}/2} = \frac{210\,000}{33\,000/2} = 12,73$$

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

$$z_u = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{0,5 \cdot b \cdot h_c^2 + b_m \cdot h_p (h - 0,5 \cdot h_p) + n \cdot A_p \cdot d_p}{b \cdot h_c + b_m \cdot h_p + n \cdot A_p}$$

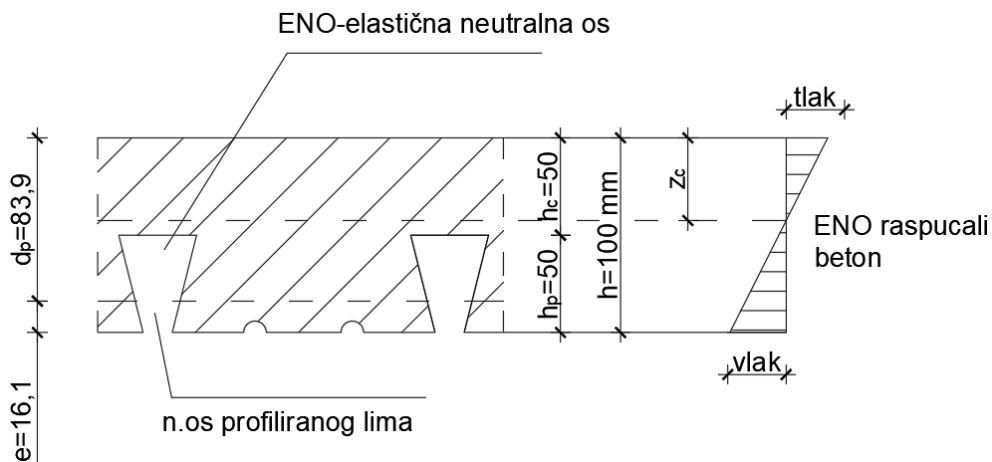
$$z_u = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{0,5 \cdot 100 \cdot 5^2 + 81,7 \cdot 5(10 - 0,5 \cdot 5) + 12,73 \cdot 14,18 \cdot 8,39}{100 \cdot 5 + 81,7 \cdot 5 + 12,73 \cdot 14,18} = 5,35 \text{ cm}$$

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

$$z_u = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{n \cdot A_p}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d_p}{n \cdot A_p}} - 1 \right)$$

$$z_c = \frac{12,73 \cdot 14,18}{100} \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot 100 \cdot 83,9}{12,73 \cdot 14,18}} - 1 \right) = 3,99 \text{ cm}$$

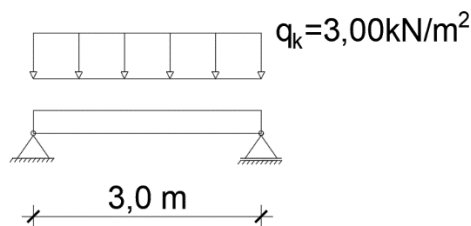
Krutost na savijanje za raspucali beton:

$$I_{eff,c} = \frac{b \cdot z_c^3}{3 \cdot n} + A_p (d_p - z_c)^2 + I_p$$

$$I_{eff,c} = \frac{100 \cdot 3,99^3}{3 \cdot 12,73} + 14,18 (8,39 - 3,99)^2 + 56,58 = 497,4 \text{ cm}^4 / \text{m}$$

$$I_{eff} = \frac{I_{eff,u} + I_{eff,c}}{2} = \frac{803,7 + 497,4}{2} = 650,6 \text{ cm}^4 / \text{m}$$

Progib za korisno opterećenje:

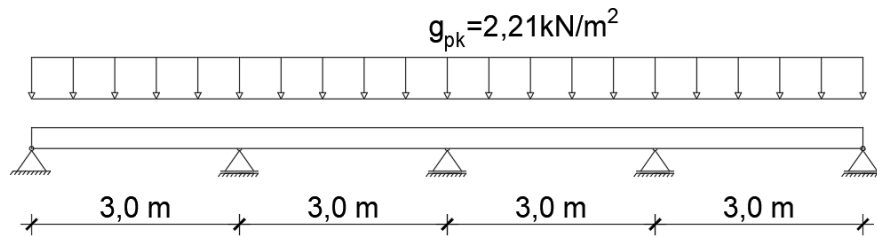


Slika 10.31. Statički sustav i opterećenje za konačno stanje

$$\delta_p = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E_a \cdot I_{eff}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,03 \cdot 3,0^4}{21000 \cdot 650,6} = 0,23 \text{ cm}$$

$$\delta_p = 0,23 \text{ cm} < \frac{L}{300} = \frac{300}{300} = 1 \text{ cm} \quad \text{uvjet zadovoljen!}$$

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 |

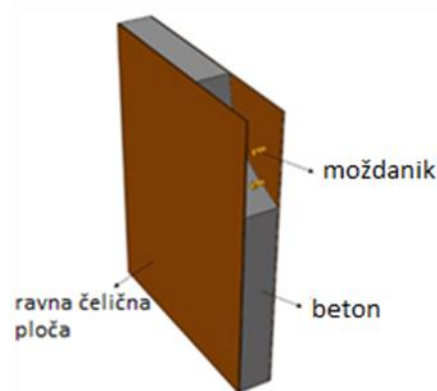
Tablica 10.8. Provjera katnog horizontalnog pomaka konstrukcije

| 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 | λ = | 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:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_s = 0,6 \cdot 35,5 \cdot (1 + 1) \cdot 1200 = 51\,120 \text{ kN}$$

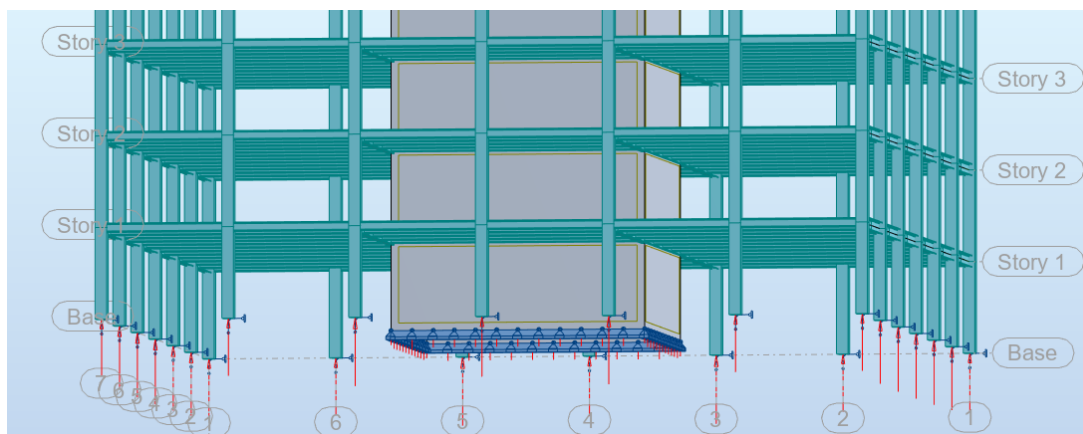
Otpornost na savijanje u ravnini:

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

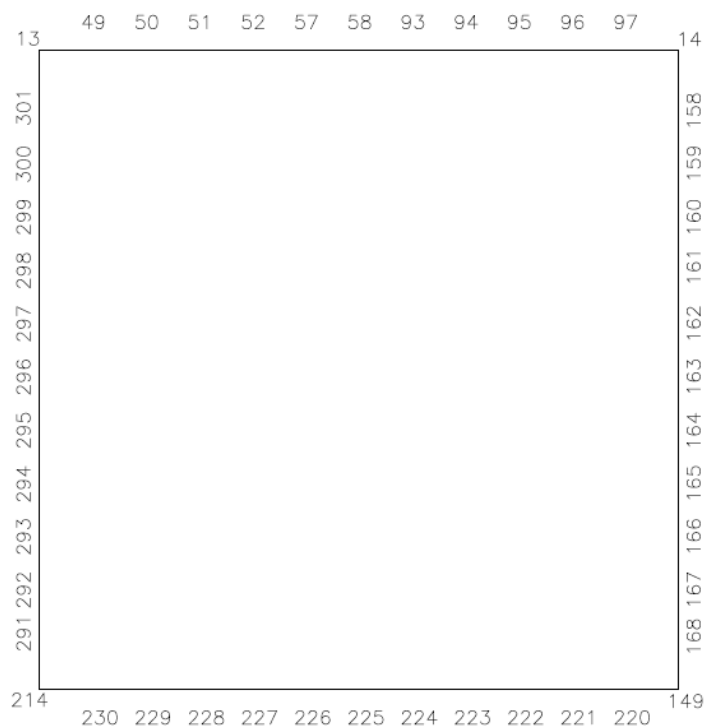
$$C_1 = \frac{2f_y \cdot t_s \cdot L}{0,35f_c \cdot t_c + 4f_y \cdot t_s} = \frac{2 \cdot 35,5 \cdot 1 \cdot 1200}{0,35 \cdot 3 \cdot 46 + 4 \cdot 35,5 \cdot 1} = 447,71$$

$$M_y = \frac{0,7}{3} \cdot 3 \cdot 46 \cdot 447,71^2 + 35,5 \cdot 1 \left(\frac{4}{3} \cdot 447,71^2 - 2 \cdot 1200 \cdot 447,71 + 1200^2 \right) = 28\,917\,106 \text{ kNcm} = 289\,171 \text{ kNm}$$

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

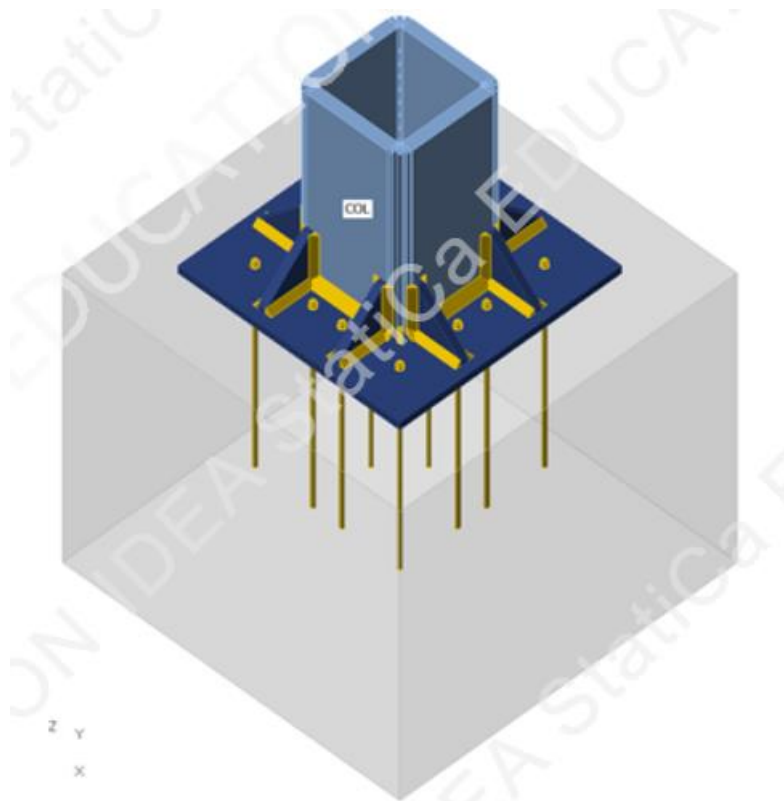
$289\,171\text{ kNm} > 161\,178\text{ kNm}$

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 | β - Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - 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 ²] |
|----------|---------------|------------------|----------------|----------------------------------|
| M20 10.9 | M20 10.9 | 20 | 1000.0 | 314 |

Tablica 10.17. Karakteristike postavljene temeljne stope

| Item | Value | Unit |
|----------------------|-------------|------|
| CB 1 | | |
| 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

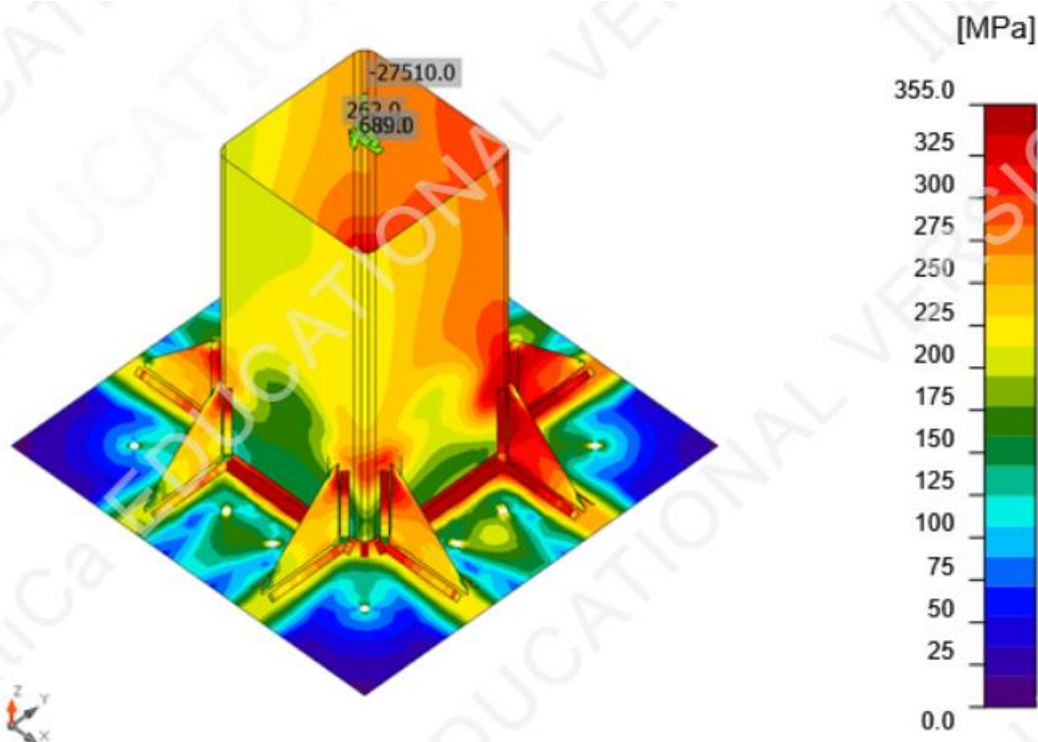
| Name | X [kN] | Y [kN] | Z [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| LE1 | -262.0 | 0.0 | -27510.0 | -689.0 | 6.0 | 0.0 |

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

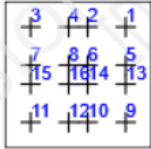
| Name | Material | t_p [mm] | Loads | σ_{Ed} [MPa] | ϵ_{pl} [%] | $\sigma_{c,Ed}$ [MPa] | Status |
|------------|-----------|---------------|-------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------|
| COL-w 1 | S 355 | 60.0 | LE1 | 335.1 | 0.1 | 0.0 | OK |
| COL-arc 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] | ϵ_{pl} [%] | σ_{\perp} [MPa] | τ_{\perp} [MPa] | τ_{\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 |

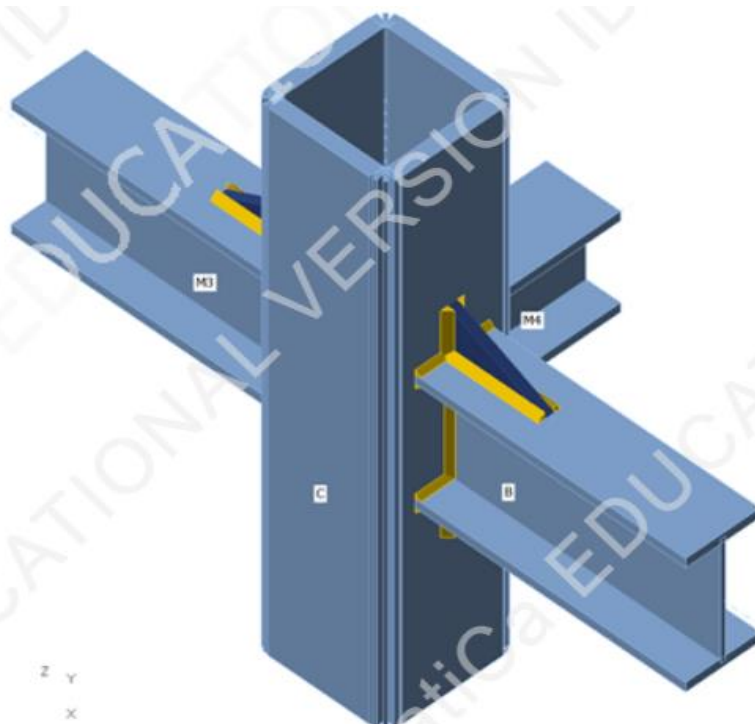
Tablica 10.23. Dokaz nosivosti pretpostavljene temeljne stope

| Item | Loads | c [mm] | A_{eff} [mm ²] | σ [MPa] | k_j [-] | f_{jd} [MPa] | U_t [%] | 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_y [kN] | V_z [kN] | $V_{Rd,y}$ [kN] | $V_{Rd,z}$ [kN] | U_t [%] | 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 | β - Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - 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

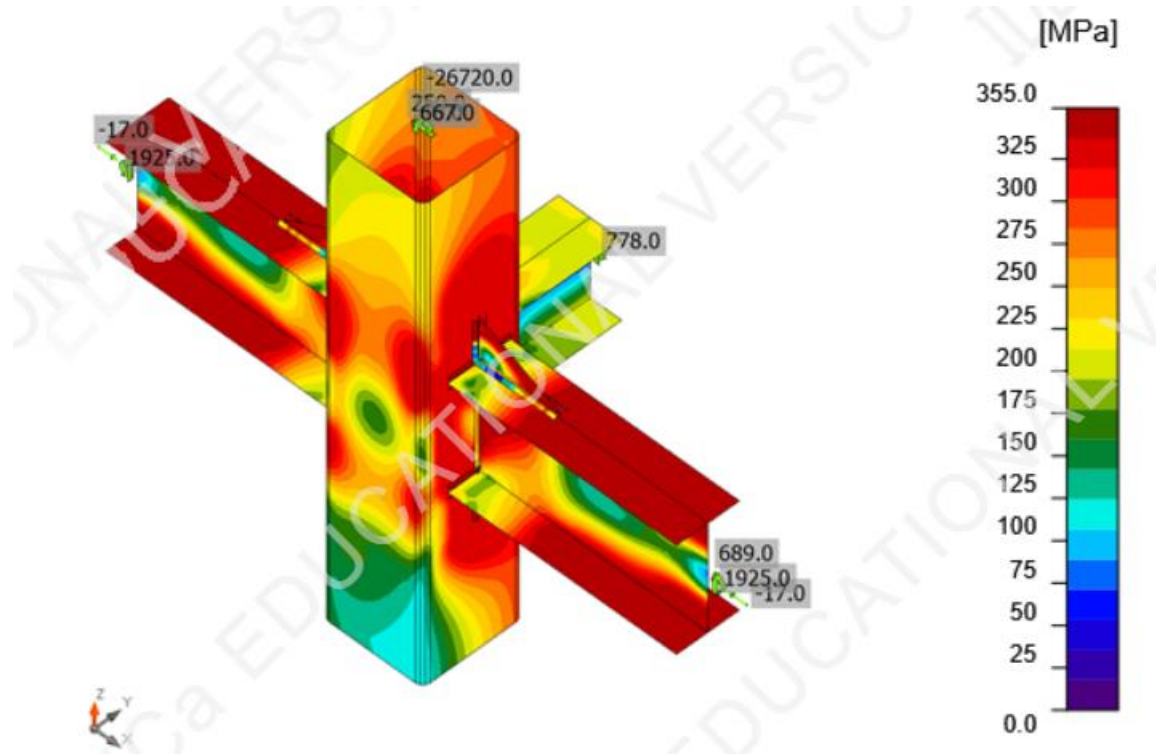
| Name | Member | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|------|-----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE1 | C / Begin | -26720.0 | 0.0 | 250.0 | 0.0 | 6.0 | 667.0 |
| | C / End | -26720.0 | 0.0 | 250.0 | 0.0 | 6.0 | 667.0 |
| | B / End | -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 | σ_{Ed} [MPa] | ϵ_{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 |

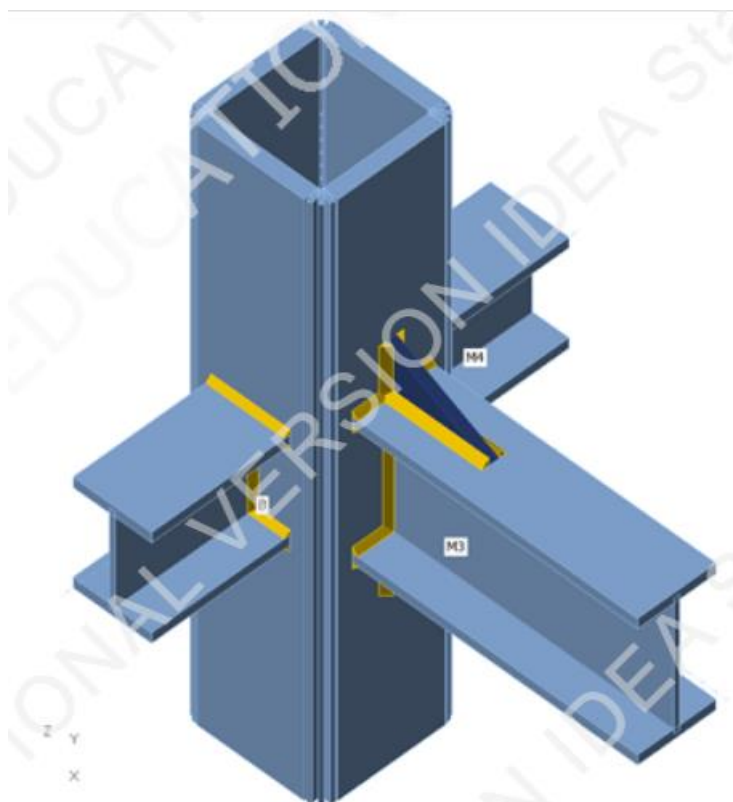


Slika 10.40. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.30. *Dokaz nosivosti varova*

| Item | Edge | T_w [mm] | L [mm] | Loads | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | ϵ_{pl} [%] | σ_{\perp} [MPa] | T_{\perp} [MPa] | T_{\parallel} [MPa] | Ut [%] | Ut _c [%] | 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 | β - Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - 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

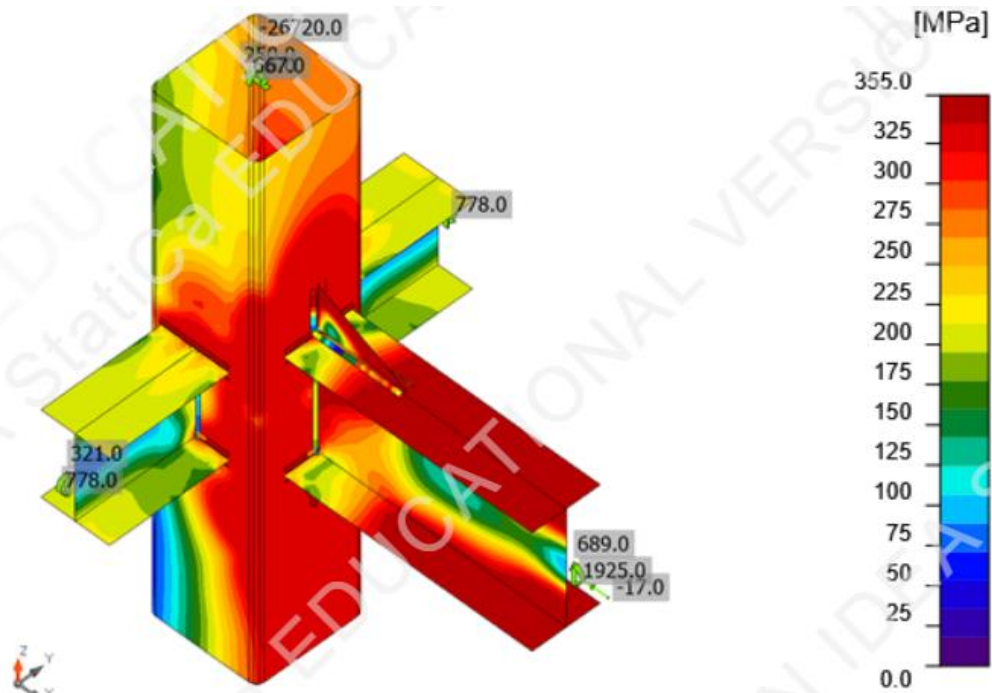
| Name | Member | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|------|-----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE1 | C / Begin | -26720.0 | 0.0 | 250.0 | 0.0 | 6.0 | 667.0 |
| | C / End | -26720.0 | 0.0 | 250.0 | 0.0 | 6.0 | 667.0 |
| | B / End | 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 | σ_{Ed} [MPa] | ϵ_{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 |

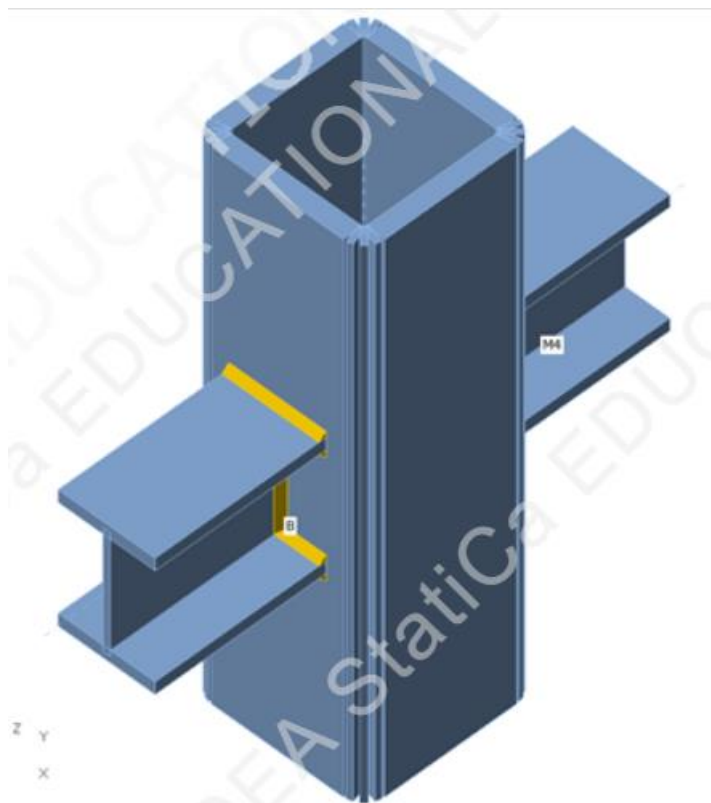


Slika 10.42. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.36. Dokaz nosivosti varova

| Item | Edge | T_w [mm] | L [mm] | Loads | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | ϵ_{pl} [%] | σ_{\perp} [MPa] | τ_{\perp} [MPa] | τ_{\parallel} [MPa] | Ut [%] | Ut _c [%] | 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 | β - Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - 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

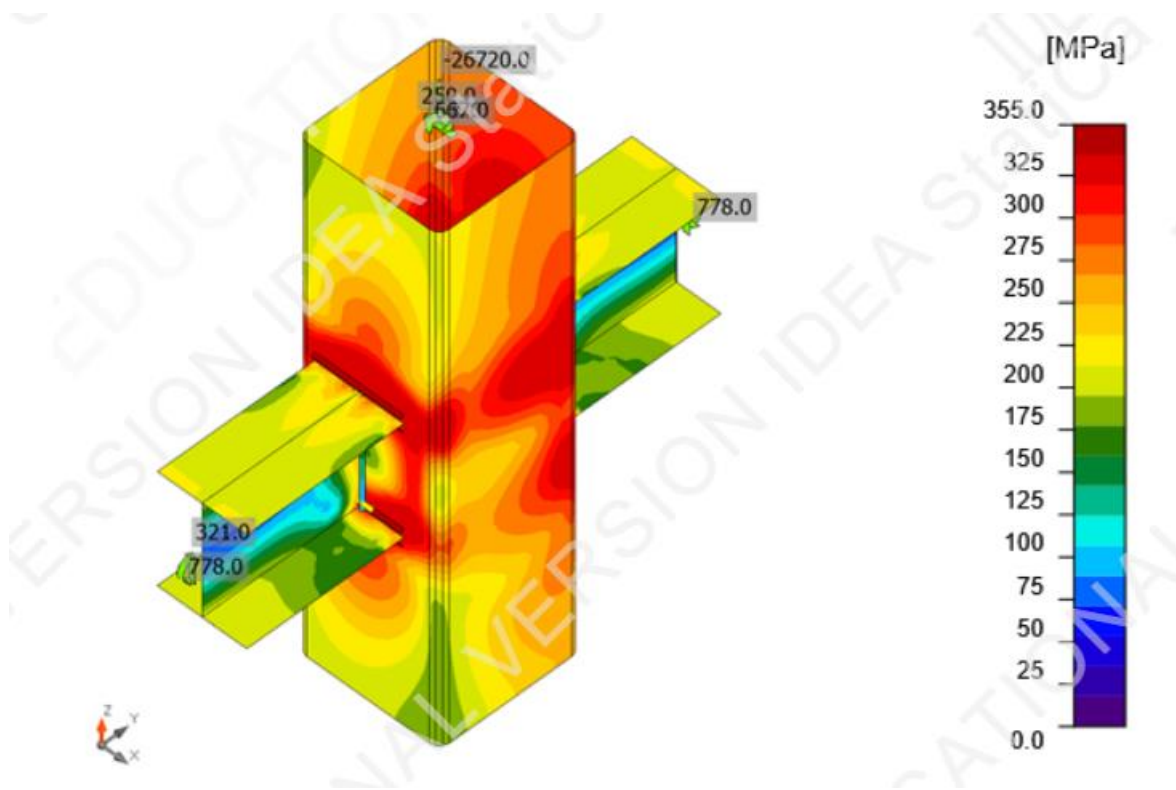
| Name | Member | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| LE1 | C / Begin | -26720.0 | 0.0 | 250.0 | 0.0 | 6.0 | 667.0 |
| | C / End | -26720.0 | 0.0 | 250.0 | 0.0 | 6.0 | 667.0 |
| | 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 | σ_{Ed} [MPa] | ϵ_{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 |

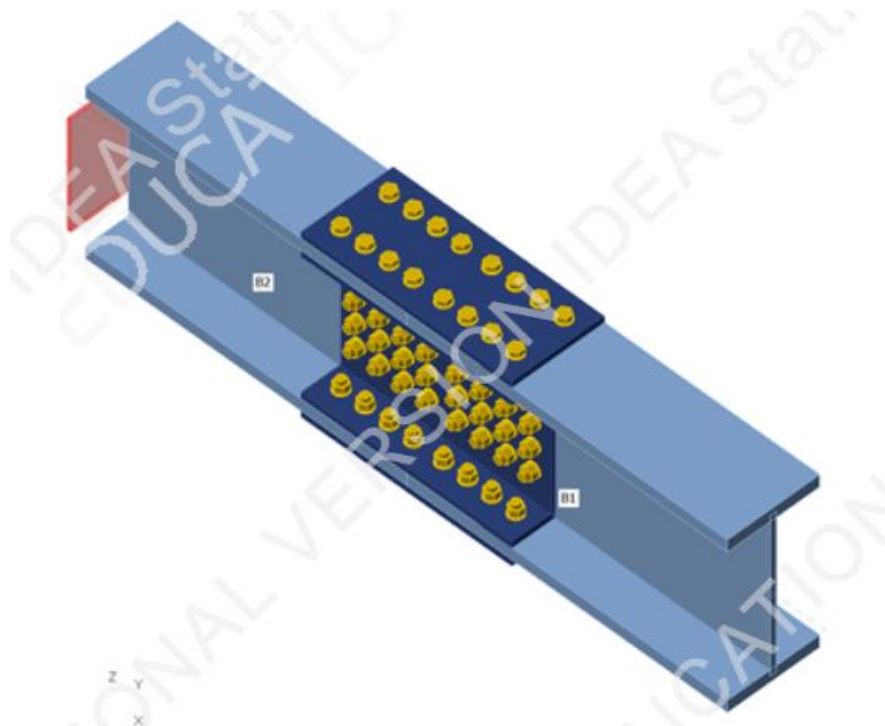


Slika 10.44. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.42. Dokaz nosivosti varova

| Item | Edge | T_w [mm] | L [mm] | Loads | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | ϵ_{pl} [%] | σ_{\perp} [MPa] | τ_{\perp} [MPa] | τ_{\parallel} [MPa] | Ut [%] | Ut _c [%] | 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 | β - Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - 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

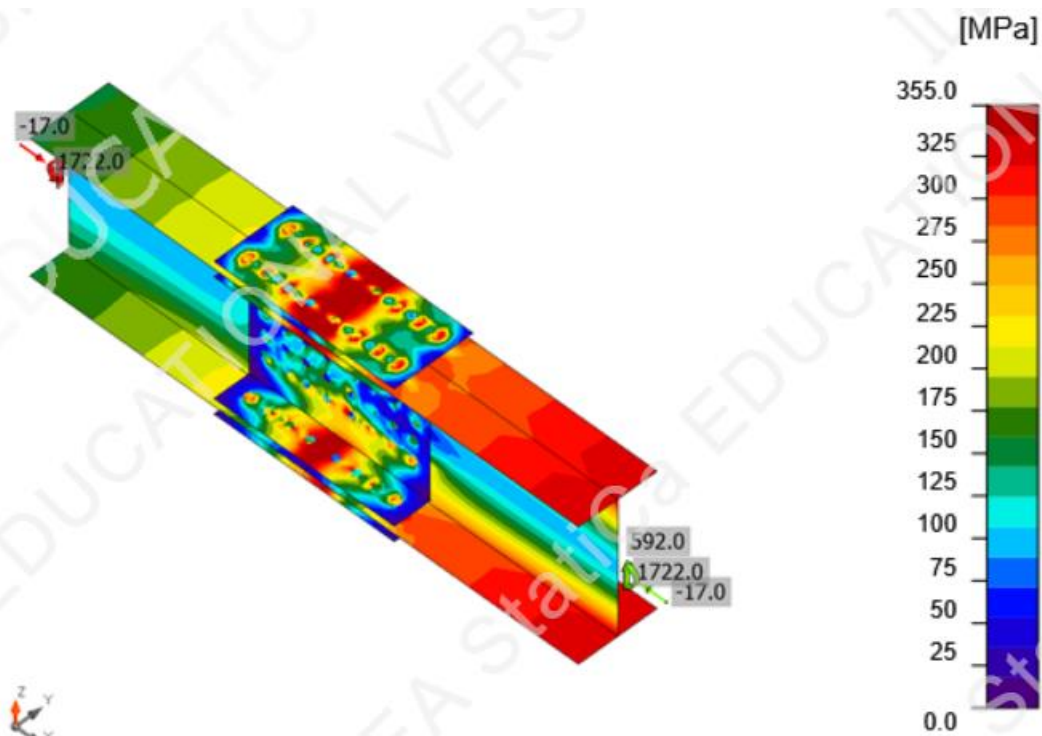
| Name | Bolt assembly | Diameter [mm] | f_u [MPa] | Gross area [mm ²] |
|----------|---------------|------------------|----------------|----------------------------------|
| M27 10.9 | M27 10.9 | 27 | 1000.0 | 573 |

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 | σ_{Ed} [MPa] | ϵ_{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 |



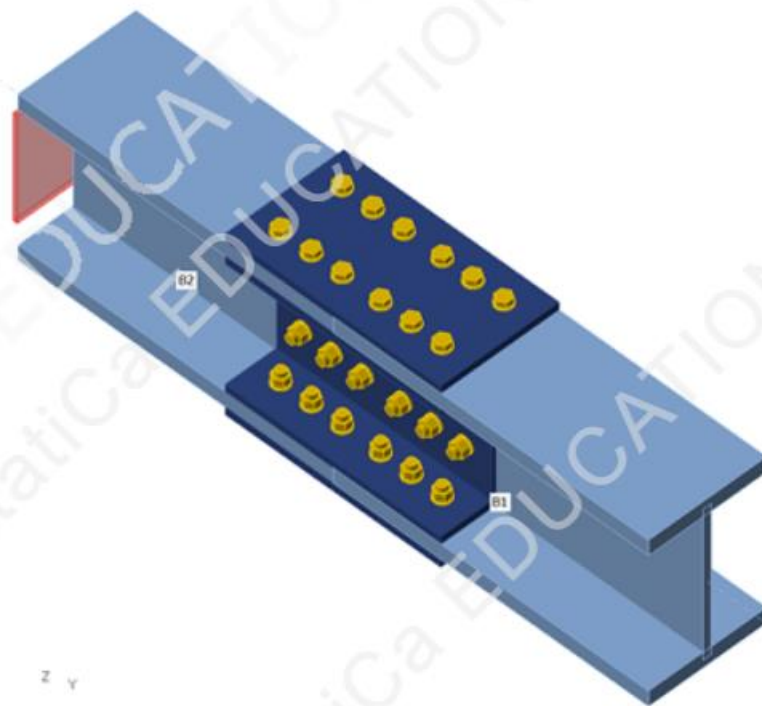
Slika 10.46. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.49. Dokaz nosivosti vijaka

| Shape | Item | Grade | Loads | $F_{t,Ed}$ [kN] | $F_{v,Ed}$ [kN] | $F_{b,Rd}$ [kN] | U_t [%] | U_s [%] | U_{ts} [%] | 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 | β - Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - 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

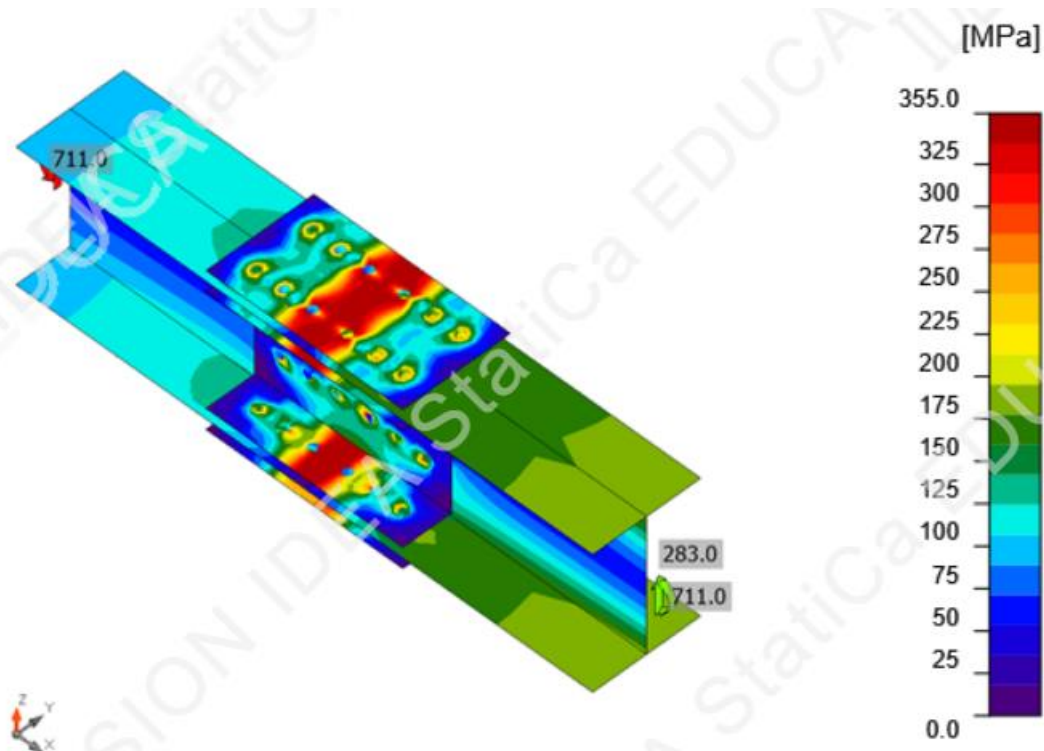
| Name | Bolt assembly | Diameter [mm] | f_u [MPa] | Gross area [mm ²] |
|----------|---------------|---------------|-------------|-------------------------------|
| M24 10.9 | M24 10.9 | 24 | 1000.0 | 452 |

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 | σ_{Ed} [MPa] | ϵ_{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 |



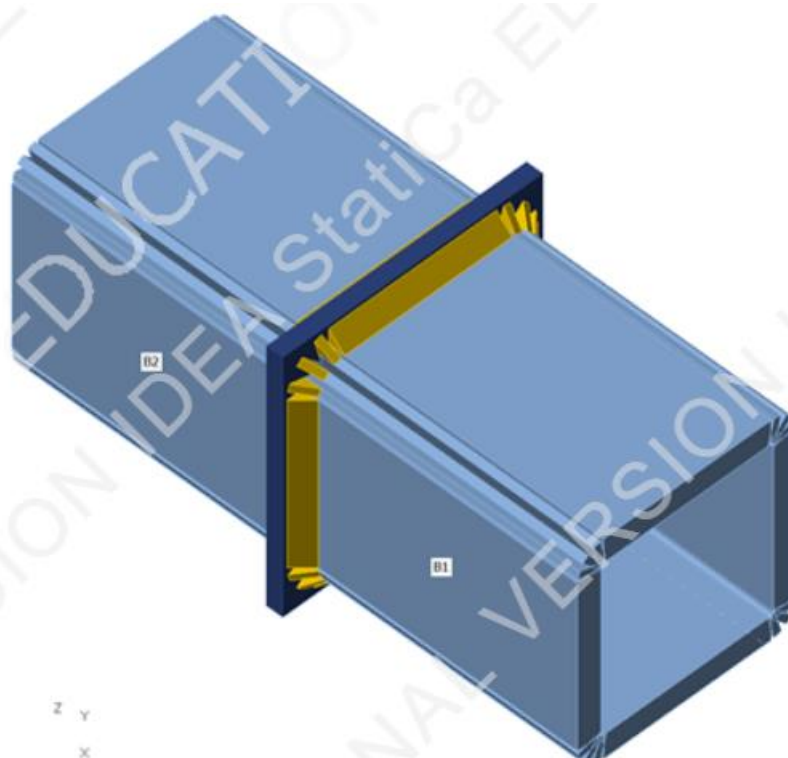
Slika 10.48. Raspodjela naprezanja priključka

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 |

10.2.7 Nastavak stupa



Slika 10.49. Prikaz priključka

Tablica 10.57. Poprečni presjeci priključka

| Name | Cross-section | β - Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - 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 |

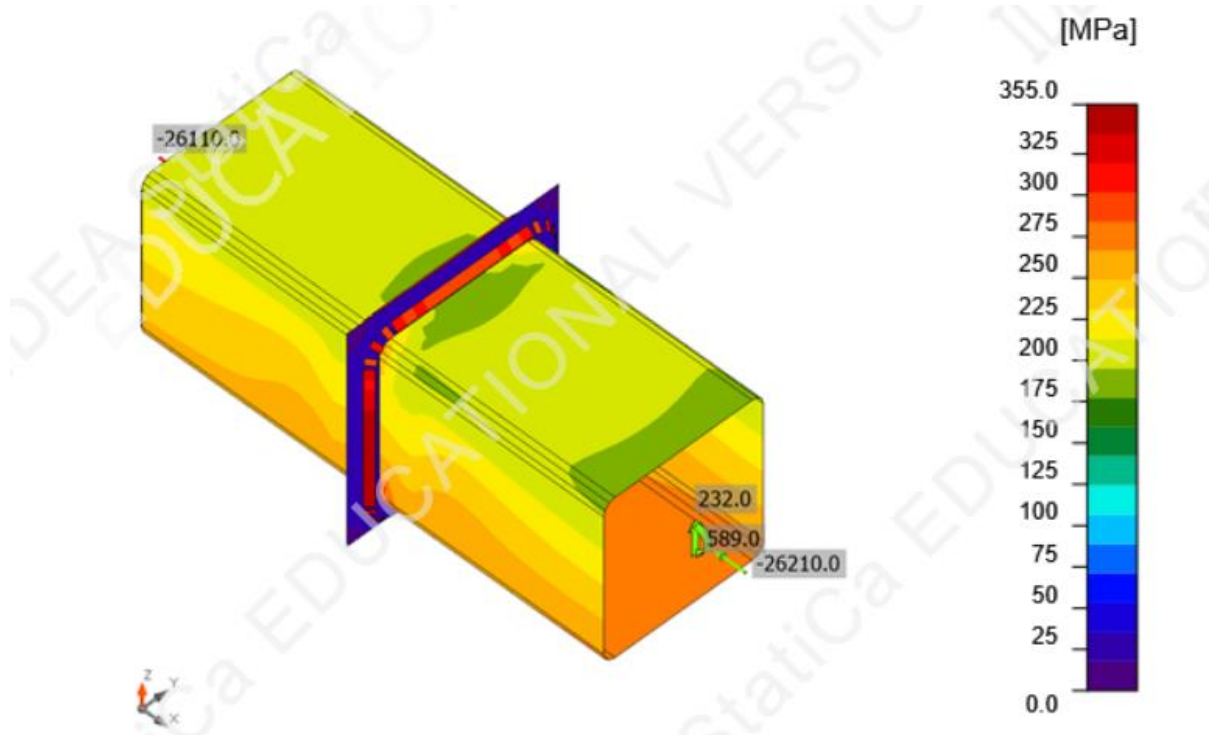
Tablica 10.60. Dokaz nosivosti i stabilnosti

| 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 | σ_{Ed} [MPa] | ϵ_{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 |



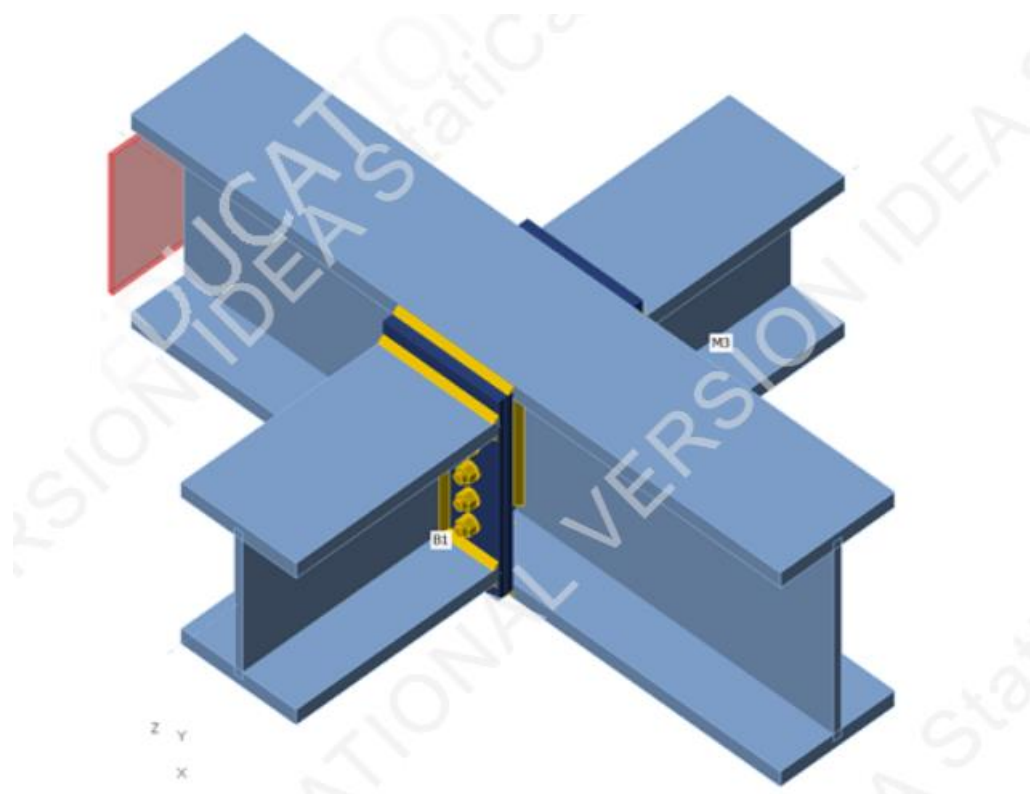
Slika 10.50. Raspodjela naprezanja priključka

Tablica 10.62. Dokaz nosivosti vara

| Item | Edge | T_w [mm] | L [mm] | Loads | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | ϵ_{pl} [%] | σ_{\perp} [MPa] | τ_{\perp} [MPa] | τ_{\parallel} [MPa] | Ut [%] | Ut _c [%] | 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 | β - Direction [°] | γ - Pitch [°] | α - 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*

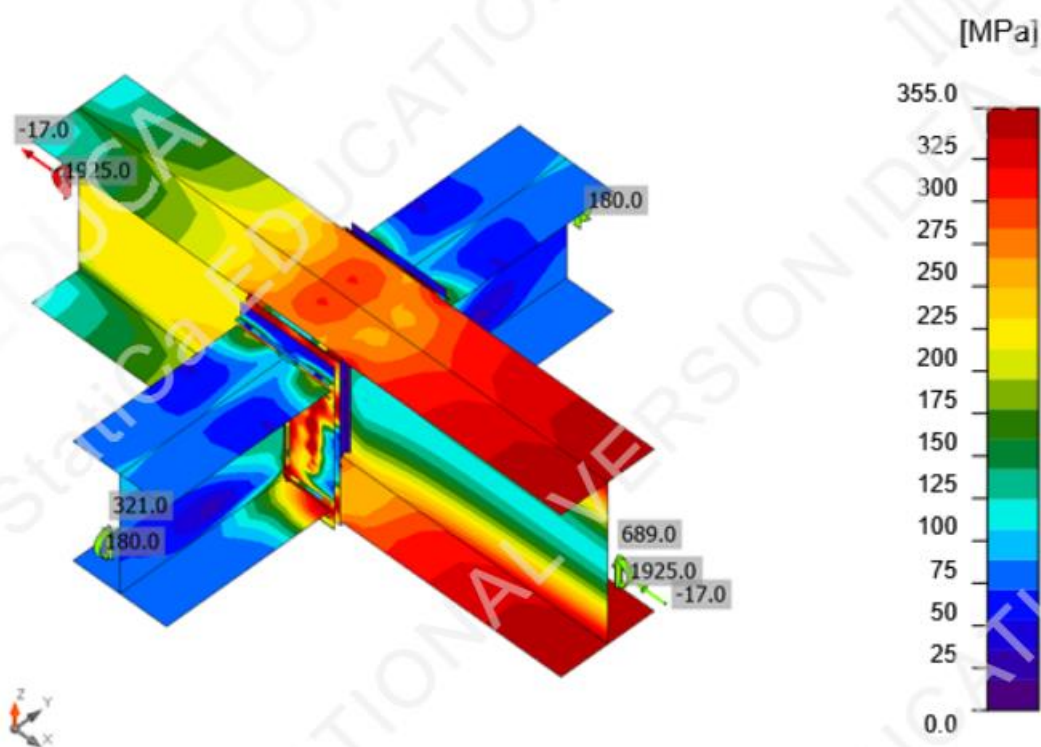
| Name | Bolt assembly | Diameter [mm] | f_u [MPa] | Gross area [mm ²] |
|----------|---------------|------------------|----------------|----------------------------------|
| M24 10.9 | M24 10.9 | 24 | 1000.0 | 452 |

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 |

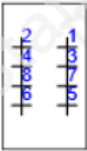
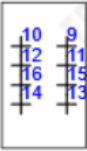
Tablica 10.68. Dokaz nosivosti čvornih limova

| Name | t_p [mm] | Loads | σ_{Ed} [MPa] | ϵ_{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] | ϵ_{pl} [%] | σ_{\perp} [MPa] | τ_{\perp} [MPa] | τ_{\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.

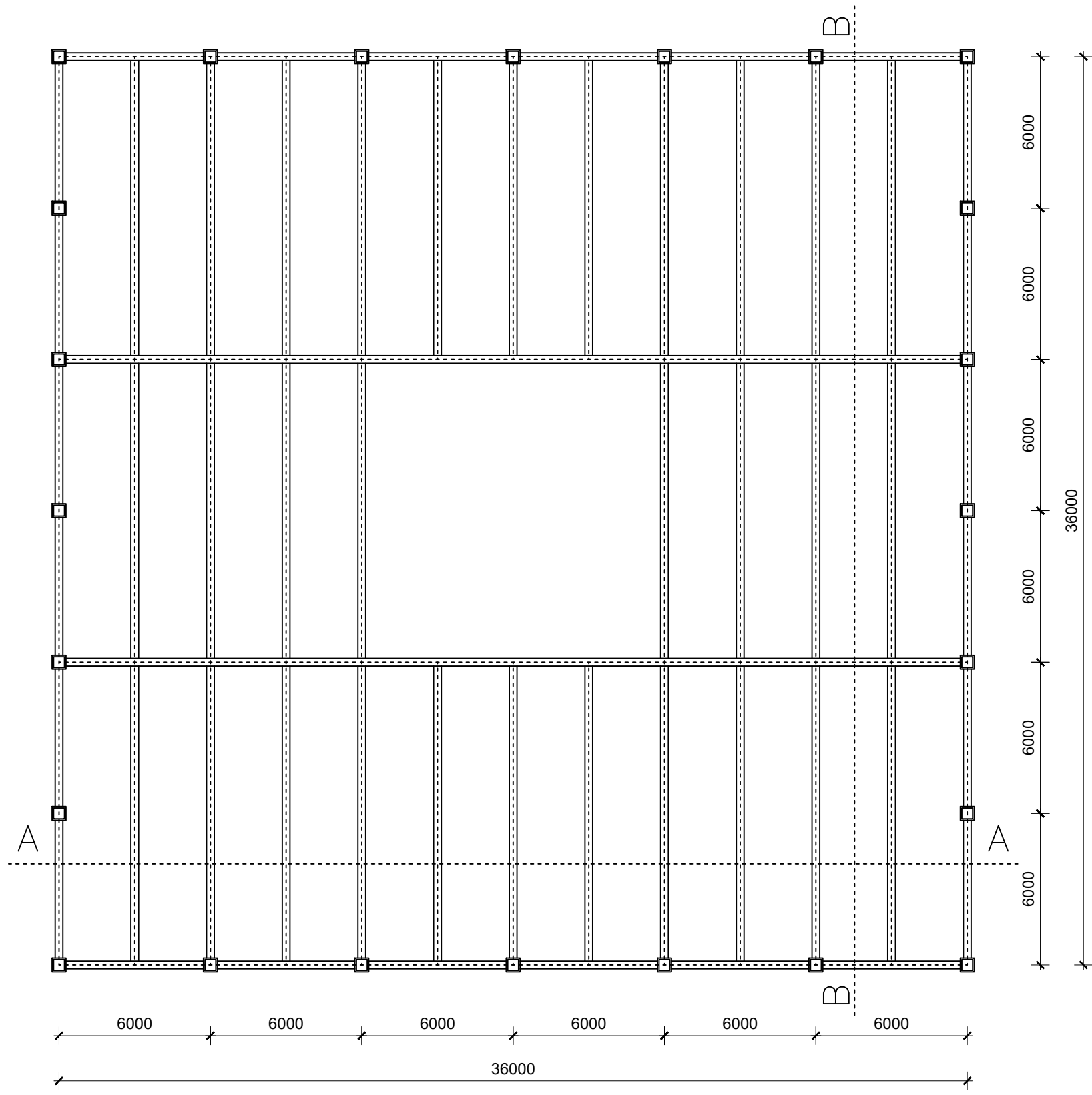
Spregnuti zidovi pokazali su brojne konstrukcijske prednosti, uključujući zadovoljavajuću sposobnost razgradnje energije, visoku otpornost na posmik i sposobnost deformacije u usporedbi s tradicionalnim AB zidovima. U radu je prikazan pregled karakteristika spregnutih zidova sastavljenih od čeličnih 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

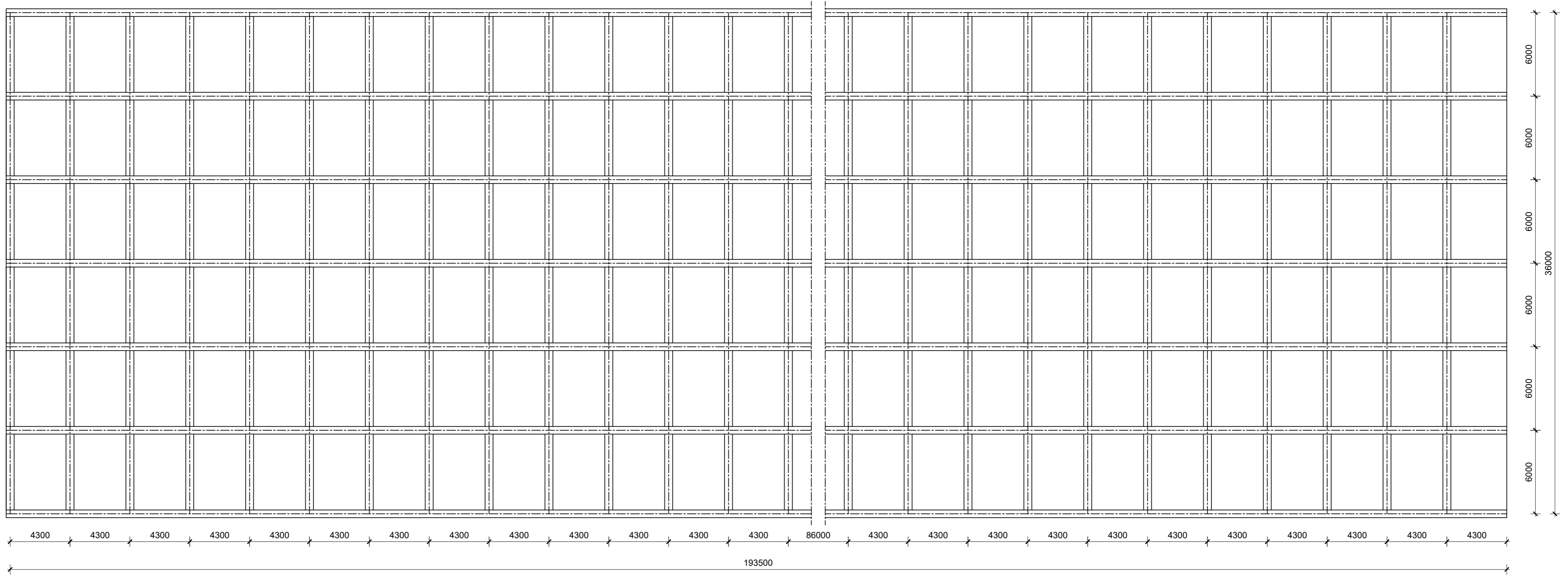
- [1] Lukačević I.; *Okvirne konstrukcije visokih zgrada izvedene u čeliku*; Predavanje iz kolegija: Visoke građevine; Ak.god. 2023/2024.
- [2] Vlašić A., Puž G. Skokandić D.; *Skripta iz kolegija Visoke građevine*; 2018
- [3] Androić B., Dujmović D., Lukačević I.; *Projektiranje spregnutih konstrukcija 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



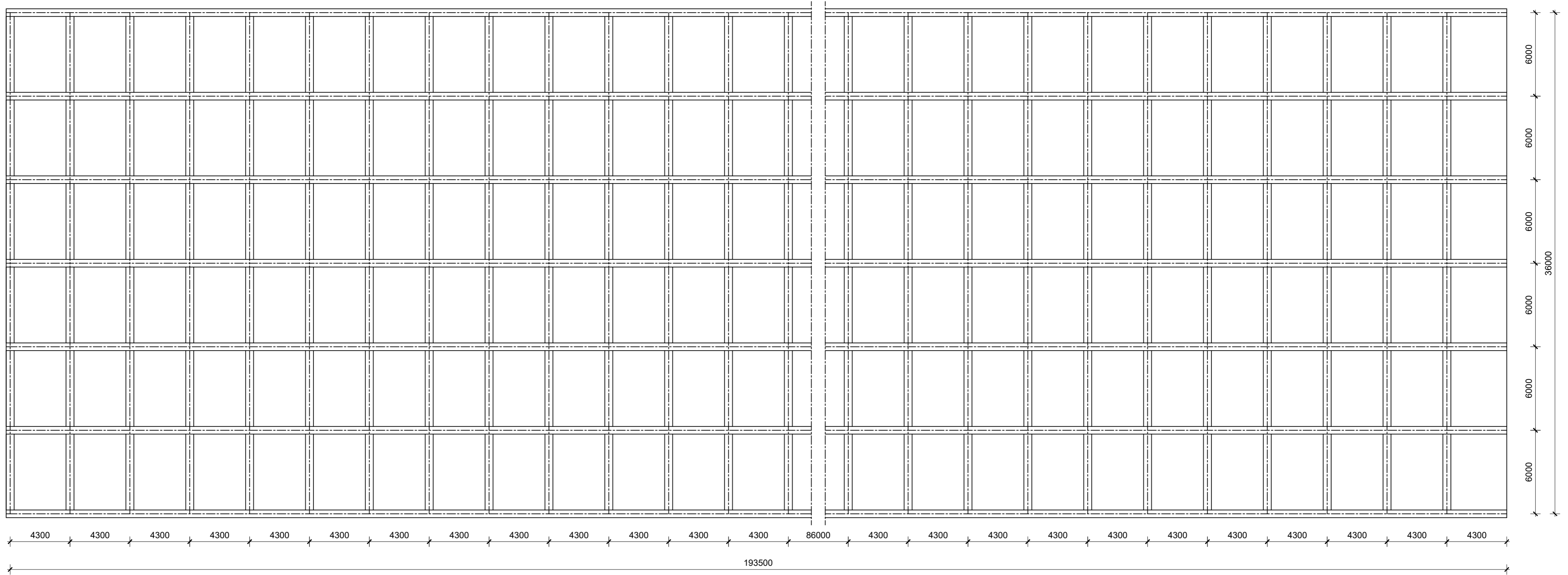
TLOCRT ZGRADE MJ 1:200

| | |
|--|-------------|
| GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU | |
| Mjerilo: | 1:200 |
| Sadržaj: | DISPOZICIJA |
| Student: | TONI BENE |
| Godina | 4.6.2024 |



PRESJEK A-A MJ 1:200

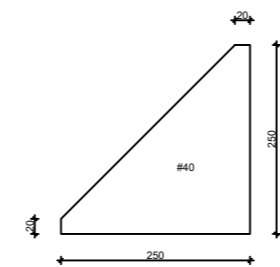
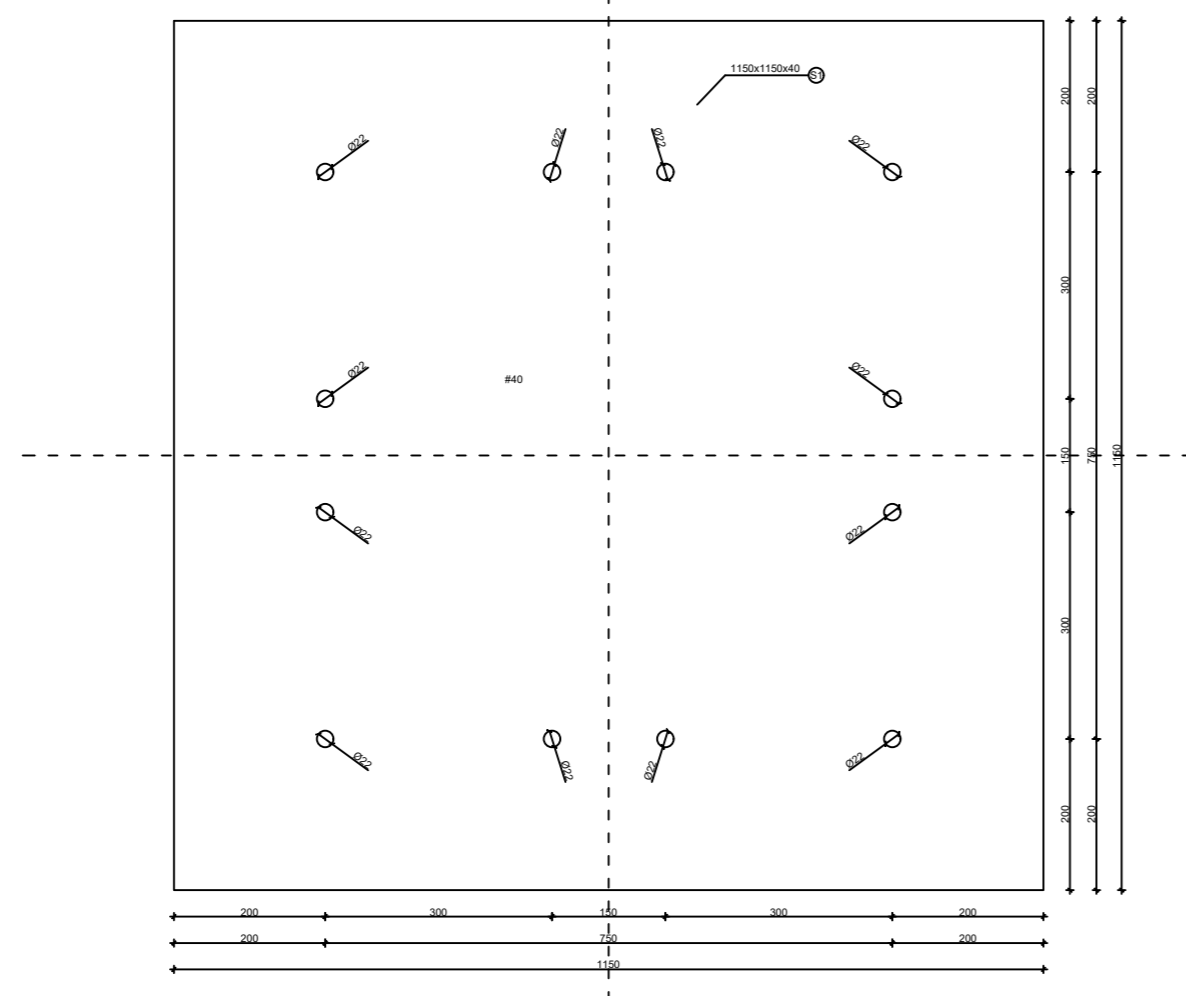
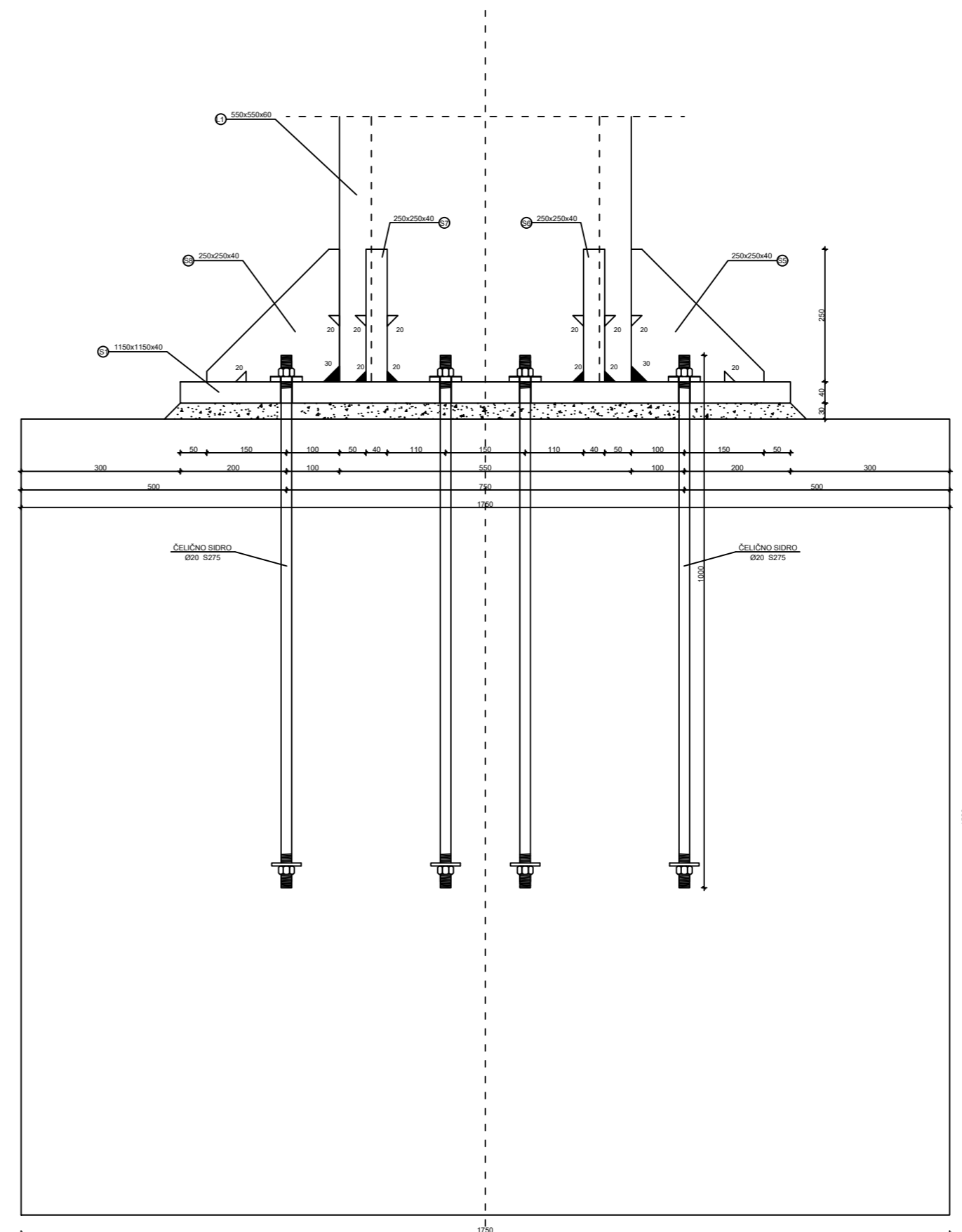
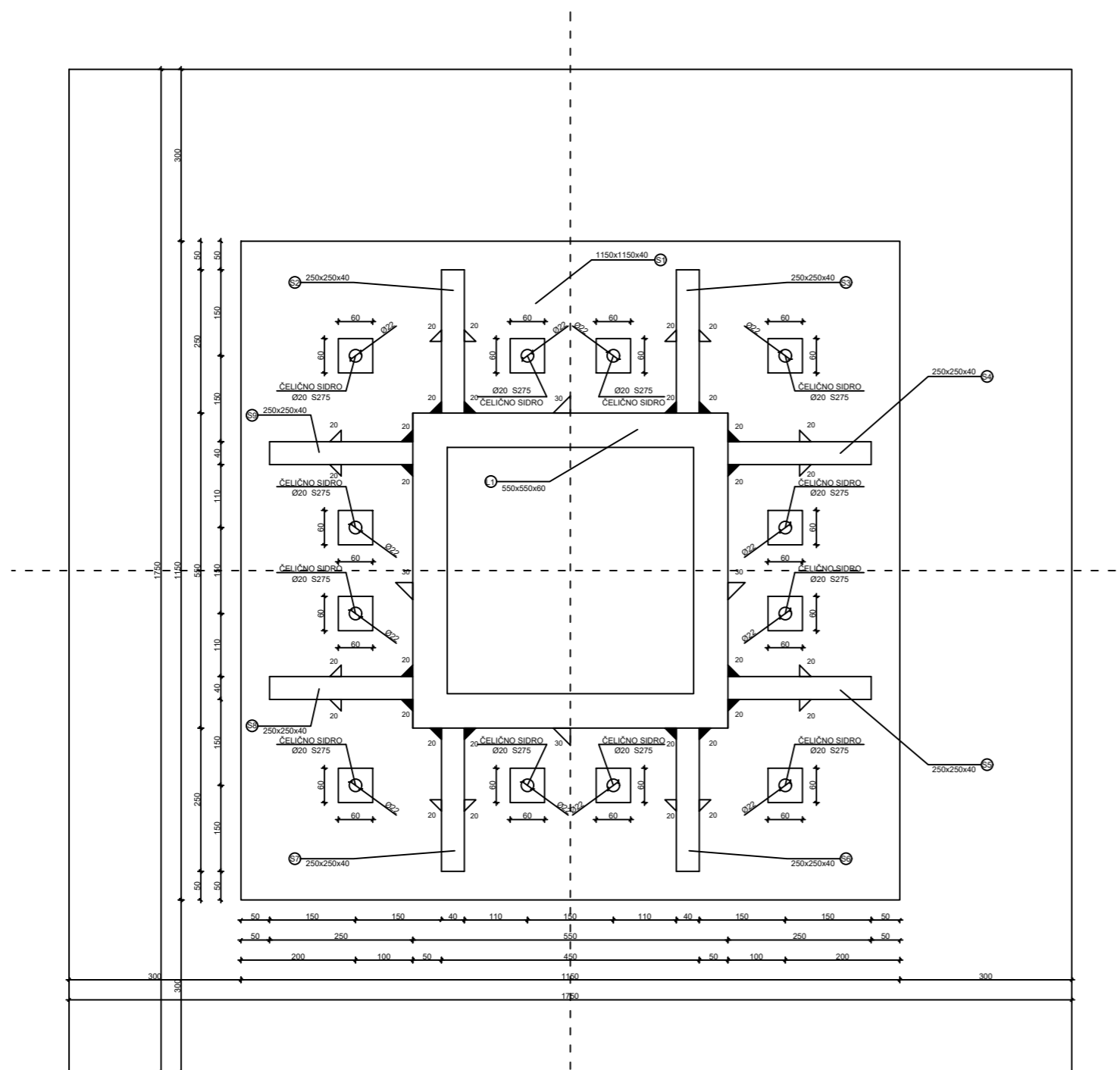
| | |
|--|-------------|
| GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU | |
| Mjerilo: | 1:200 |
| Sadržaj: | DISPOZICIJA |
| Student: | TONI BENE |
| Godina: | 4.6.2024 |



PRESJEK B-B MJ 1:200

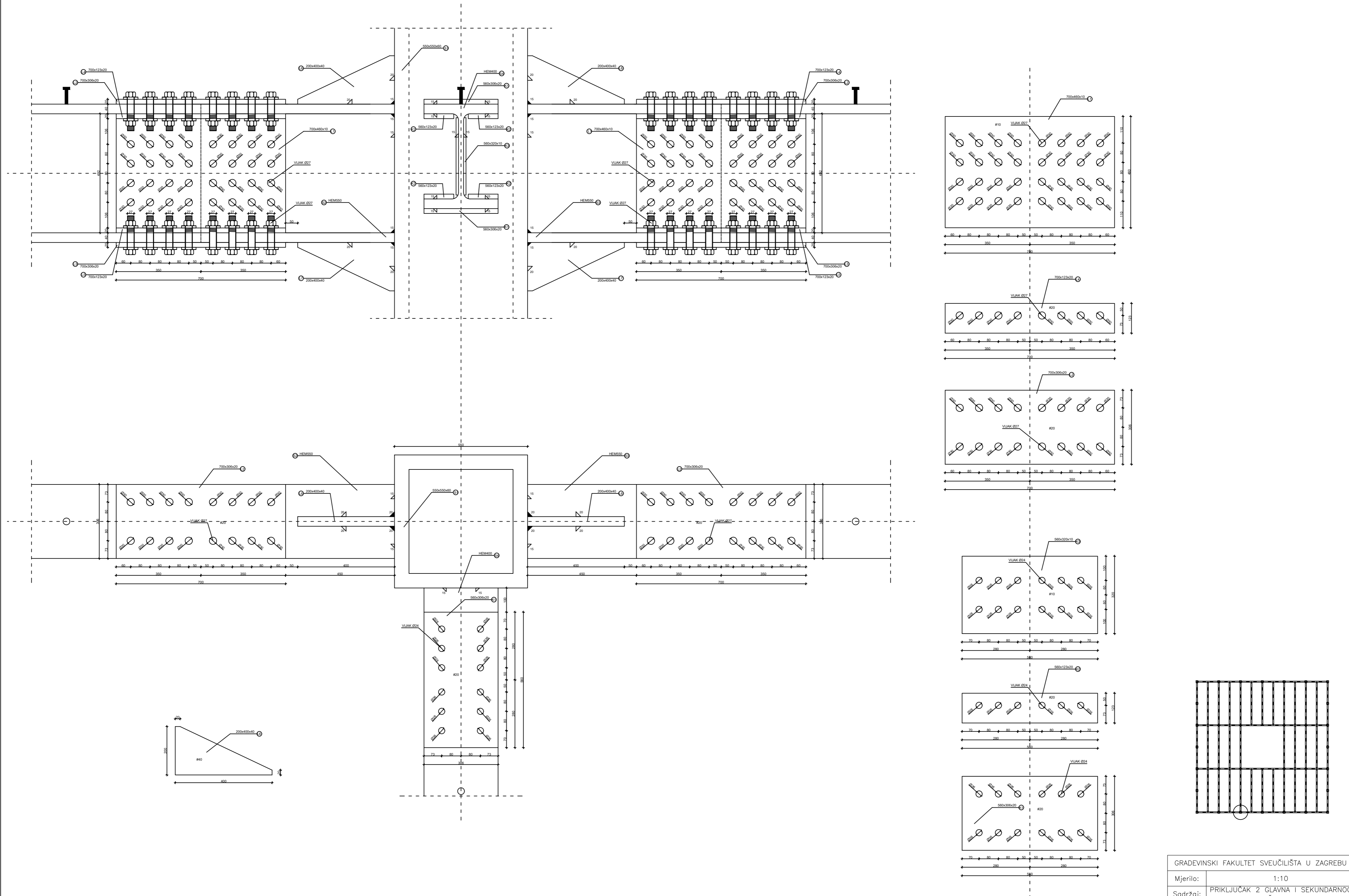
| | |
|--|-------------|
| GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU | |
| Mjerilo: | 1:200 |
| Sadržaj: | DISPOZICIJA |
| Student: | TONI BENE |
| Godina: | 4.6.2024 |

NACRT TEMELJNE STOPE MJ 1:10



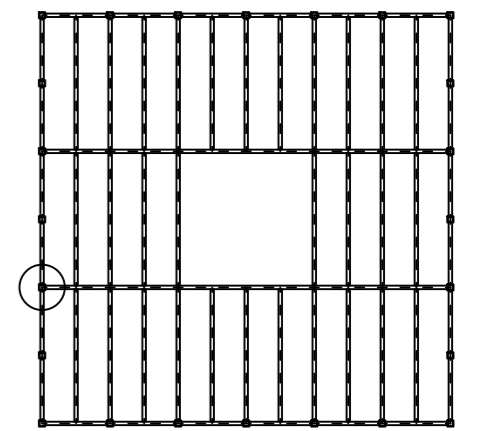
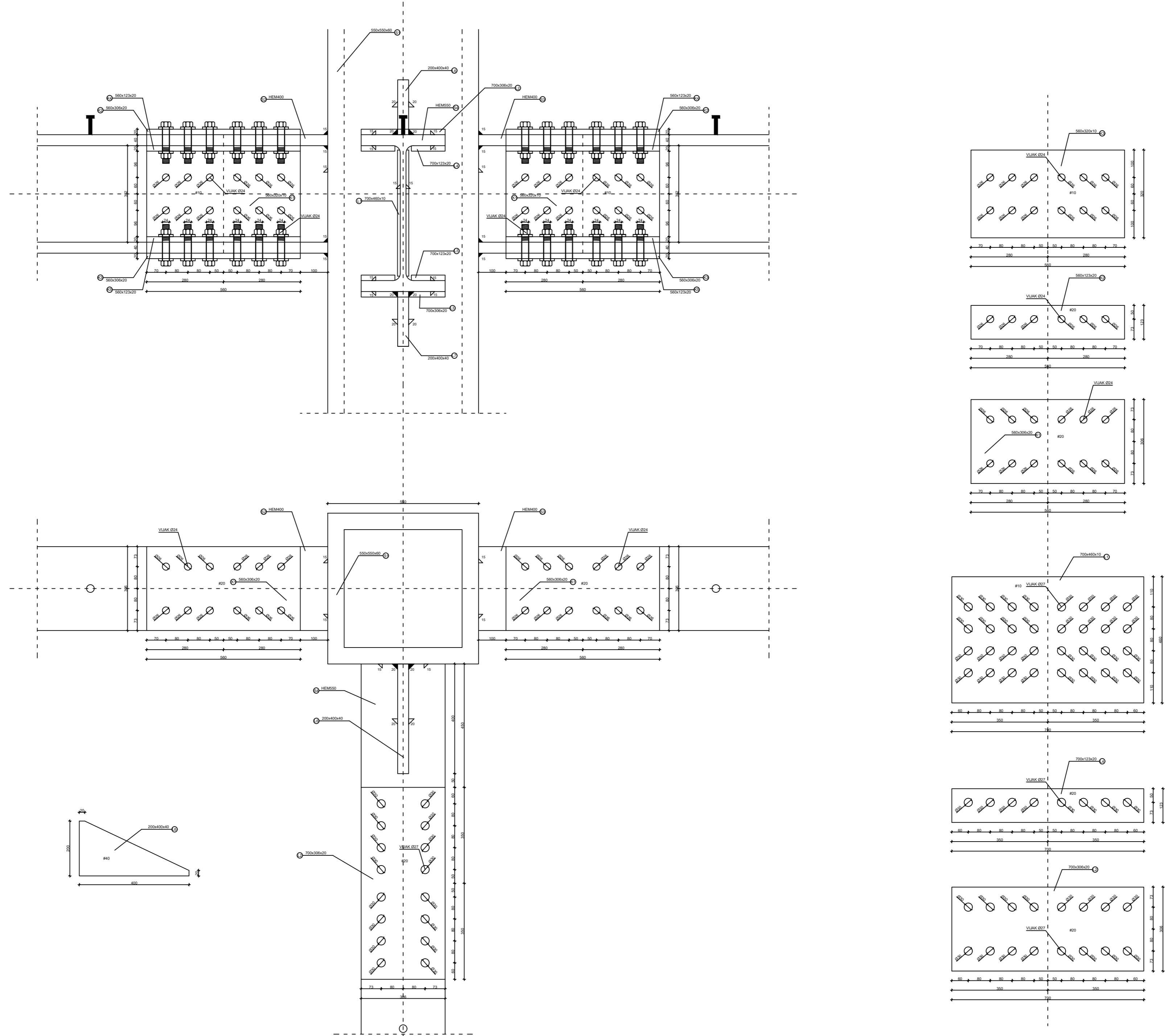
| | |
|--|----------------|
| GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU | |
| Mjerilo: | 1:10 |
| Sadržaj: | TEMELJNA STOPA |
| Student: | TONI BENE |
| Codina | 4.6.2024 |

NACRT PRIKLJUČKA 2 GLAVNA I SEKUNDARNOG NOSAČA NA STUP MJ 1:10



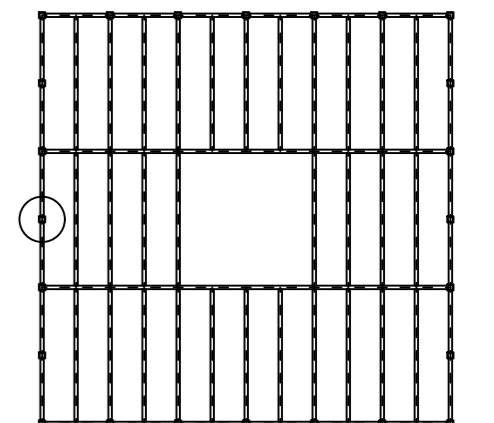
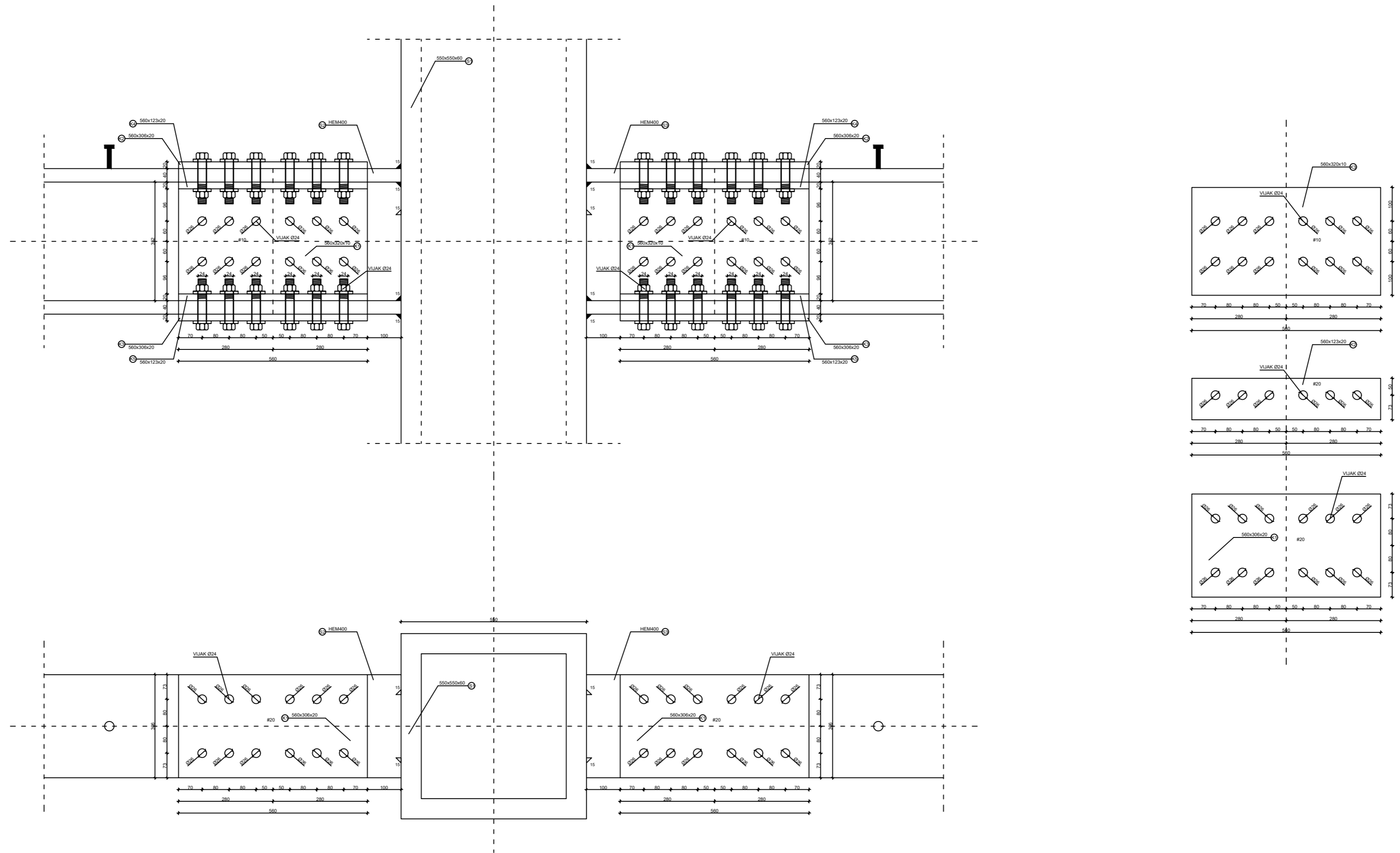
| | |
|--|--|
| GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU | |
| Mjerilo: | 1:10 |
| Sadržaj: | PRIKLJUČAK 2 GLAVNA I SEKUNDARNOG NOSAČA NA STUP |
| Student: | TONI BENE |
| Codina: | 4.6.2024 |

NACRT PRIKLJUČKA 2 SEKUNDARNA I GLAVNOG NOSAČA NA STUP MJ 1:10



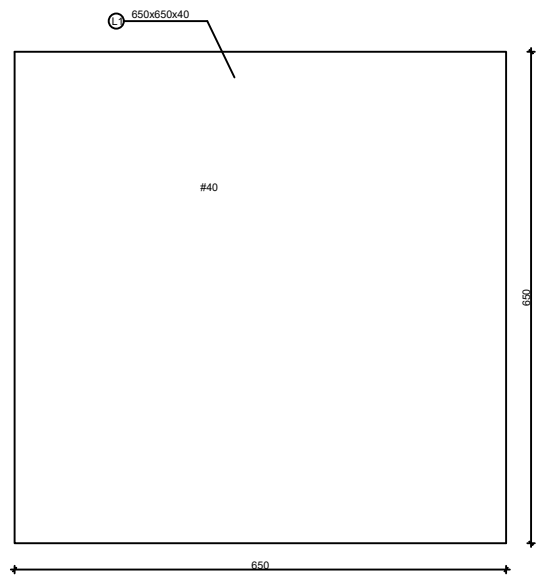
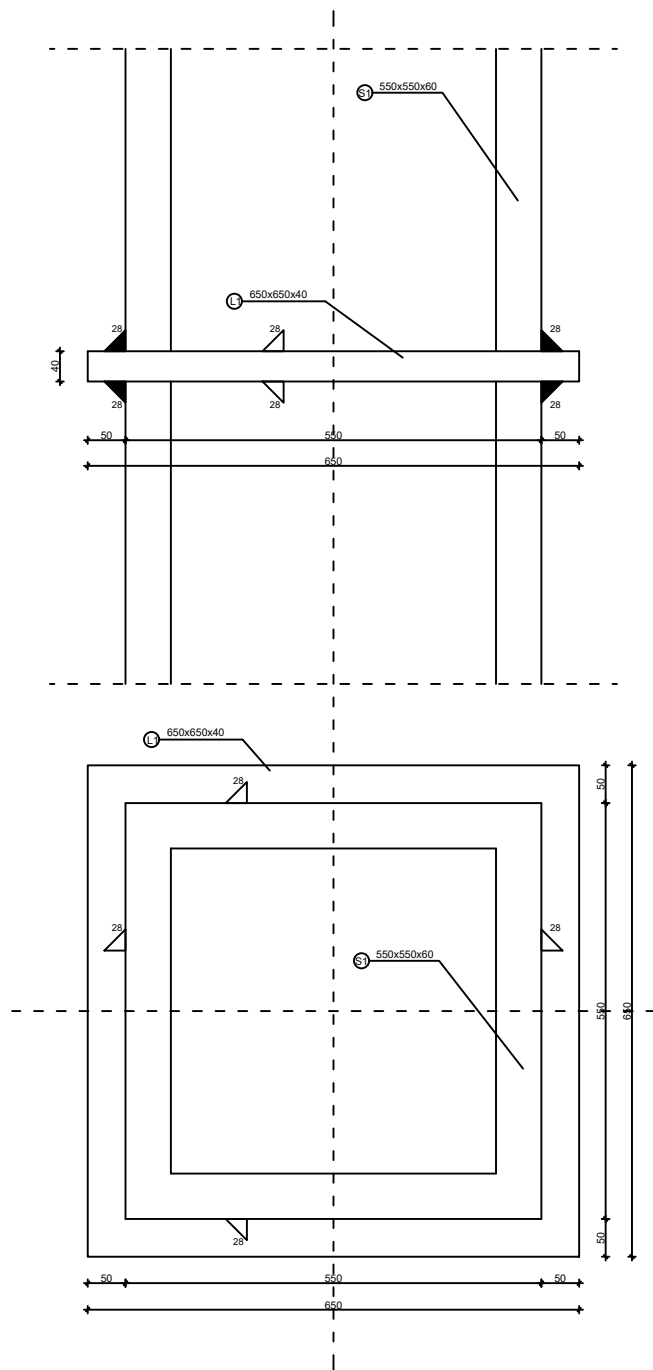
| | |
|--|--|
| GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU | |
| Mjerilo: | 1:10 |
| Sadržaj: | PRIKLJUČAK 2 SEKUNDARNA I GLAVNOG NOSAČA NA STUP |
| Student: | TONI BENE |
| Codina: | 4.6.2024 |

NACRT PRIKLJUČKA 2 SEKUNDARNA NOSAČA NA STUP MJ 1:10



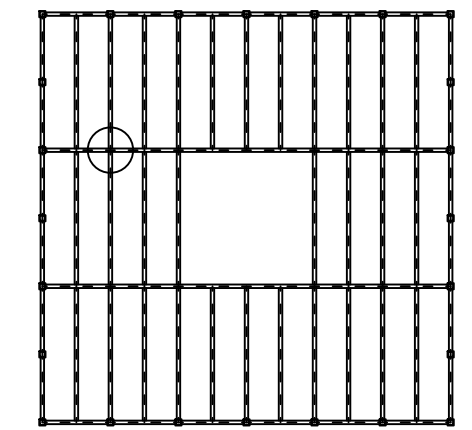
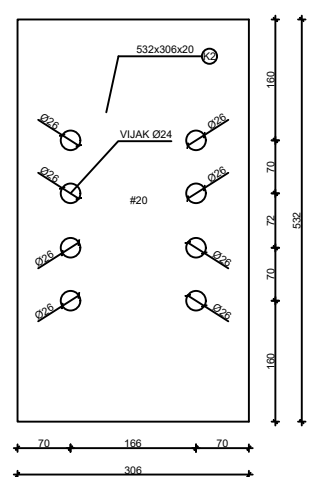
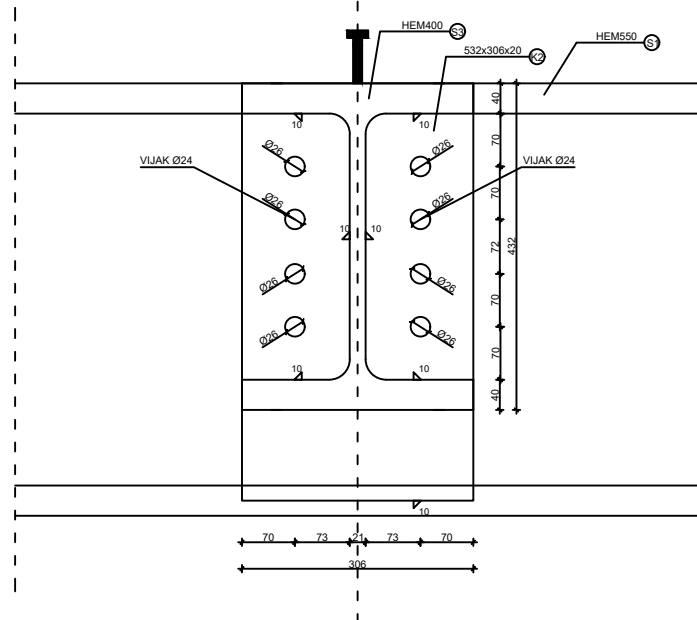
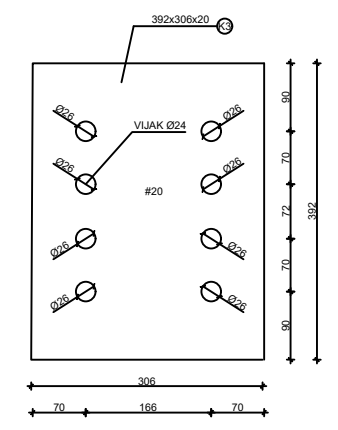
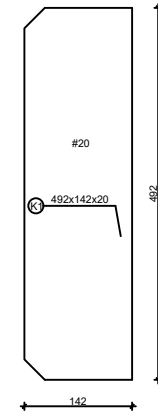
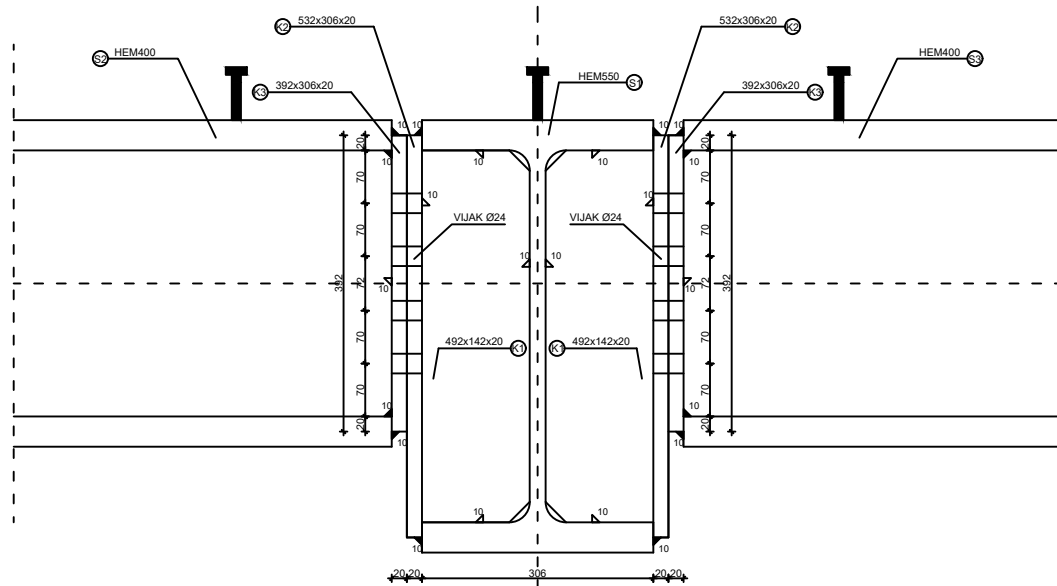
| | |
|--|--|
| GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU | |
| Mjerilo: | 1:10 |
| Sadržaj: | PRIKLJUČAK 2 SEKUNDARNA NOSAČA NA STUP |
| Student: | TONI BENE |
| Codina: | 4.6.2024 |

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 |