

Glavni projekt poslovno-proizvodne armiranobetonske montažne hale u Biogradu na Moru

Flegar, Antea

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:276345>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-25**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Antea Flegar

Split, 2023.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

Antea Flegar

**Glavni projekt poslovno-proizvodne
armiranobetonske montažne hale u Biogradu na Moru**

Diplomski rad

Split, 2023.

Glavni projekt poslovno-proizvodne armiranobetonske montažne hale u Biogradu na Moru

Sažetak:

Predmet diplomskog rada je glavni projekt poslovno-proizvodne građevine koja se nalazi u gospodarskoj zoni općine Biograd na Moru. Hala je prizemna, izvedena kombinacijom montažne i monolitne gradnje. Glavni projekt sadrži: tehnički opis konstrukcije, opće i posebne tehničke uvjete, plan kontrole i osiguranja kvalitete, proračun nosivih konstrukcijskih elemenata i karakteristične građevinske nacрте.

Ključne riječi:

glavni projekt, poslovno-proizvodna građevina, montažni elementi, montažna gradnja, armiranobetonska hala

Main design of the business-production hall made of reinforced concrete prefabricated elements located in Biograd na Moru

Abstract:

The subject of the thesis is the main project of a business-production building located in the economic zone of township Biograd na Moru. The hall is one-story, built with a combination of prefabricated elements and monolithic elements. The main project contains: technical description of the structure, general and special technical conditions, control plan and assurance plan, calculation of the main structural elements and characteristic structural plans.

Keywords:

main design, business-production building, prefabricated elements, prefabricated construction, reinforced concrete hall

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

KANDIDAT: Antea Flegar

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083223345

KATEDRA: Katedra za Betonske konstrukcije i mostove

PREDMET: Betonske konstrukcije

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Glavni projekt poslovno-proizvodne armiranobetonske montažne hale u Biogradu na Moru

Opis zadatka: Na temelju zadanih arhitektonskih podloga, potrebno je izraditi glavni projekt armiranobetonske montažne hale. Izrađeni projekt mora sadržavati:

- tehnički opis
- plan kontrole i osiguranja kvalitete
- proračune
- građevinske nacрте

U Splitu, srpanj 2023.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Marina Sunara

Predsjednik Povjerenstva

za završne i diplomske ispite:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Balić

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Marini Sunari na uloženom trudu i vremenu, brojnim savjetima i suradnji prilikom izrade diplomskog rada.

Hvala mojoj obitelji, Toniju i prijateljima na beskrajnoj podršci, motivaciji i razumijevanju tijekom cijelog studiranja.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. TEHNIČKI OPIS KONSTRUKCIJE | 1 |
| 1.1. Općenito | 1 |
| 1.2. Konstrukcija građevine | 1 |
| 1.3. Temeljenje..... | 1 |
| 1.4. Materijali..... | 2 |
| 1.5. Opterećenja | 2 |
| 1.6. Posebne napomene uz izvođenje | 2 |
| 2. PROGRAM KONROLE I OSIGURANJA KVALITETE | 3 |
| 2.1. Općenito | 3 |
| 2.2. Svojstva građevnih proizvoda..... | 3 |
| 2.2.1. Beton | 3 |
| 2.2.2. Armaturni čelik | 4 |
| 2.3. Izvođenje AB konstrukcije | 5 |
| 2.3.1. Općenito | 5 |
| 2.3.2. Nadzorne radnje | 5 |
| 2.3.3. Ugranja betona | 5 |
| 2.3.4. Njega betona | 6 |
| 2.3.5. Oplata i skele..... | 6 |
| 2.4. Ostale napomene u programu kontrole i osiguranja kvalitete | 6 |
| 2.4.1. Iskolčenje i zahtjevana geometrija..... | 6 |
| 2.4.2. Zemljani radovi | 6 |
| 3. NAČIN ODRŽAVANJA I PROJEKTIRANI VIJEK UPORABE GRAĐEVINE | 8 |
| 4. ANALIZA OPTEREĆENJA | 9 |
| 4.1. Stalno opterećenje | 9 |
| 4.2. Dodatno stalno opterećenje..... | 9 |
| 4.3. Opterećenje snijegom..... | 10 |
| 4.4. Opterećenje vjetrom..... | 13 |
| 4.5. Opterećenje potresom | 28 |
| 4.5.1. Rezultati višemodalne spektralne analize | 31 |
| 5. NUMERIČKI MODEL I KOMBINACIJE OPTREĆENJA | 38 |
| 5.1. Numerički model | 38 |
| 5.2. Kombinacije opterećenja | 39 |
| 5.2.1. Granično stanje nosivosti..... | 39 |
| 5.2.2. Granično stanje uporabljivosti | 40 |
| 6. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE..... | 41 |
| 6.1. Provjera krovnih termopanela..... | 41 |

| | |
|---|-----|
| 6.2. Proračun rubne krovne podrožnice P1 | 42 |
| 6.2.1. Analiza opterećenja..... | 42 |
| 6.2.2. Rezne sile | 44 |
| 6.2.3. Dimenzioniranje..... | 50 |
| 6.3. Proračun središnje krovne podrožnice P2 | 59 |
| 6.3.1. Analiza opterećenja..... | 59 |
| 6.3.2. Rezne sile | 61 |
| 6.3.3. Dimenzioniranje..... | 67 |
| 6.4. Proračun krovne uvale KU..... | 76 |
| 6.4.1. Analiza opterećenja..... | 76 |
| 6.4.2. Rezne sile | 78 |
| 6.4.3. Dimenzioniranje..... | 82 |
| 6.5. Proračun glavnog krovnog središnjeg nosača GN1 | 89 |
| 6.5.1. Rezne sile | 90 |
| 6.5.2. Dimenzioniranje..... | 94 |
| 6.6. Proračun glavnog krovnog rubnog nosača GN2 | 109 |
| 6.6.1. Rezne sile | 110 |
| 6.6.2. Dimenzioniranje..... | 112 |
| 6.7. Proračun fasadnih horizontalnih panela..... | 127 |
| 6.7.1. Analiza opterećenja..... | 127 |
| 6.7.2. Dimenzioniranje..... | 128 |
| 6.8. Proračun fasadnih vertikalnih panela..... | 131 |
| 6.8.1. Analiza opterećenja..... | 131 |
| 6.8.2. Dimenzioniranje..... | 132 |
| 6.9. Proračun stupova..... | 135 |
| 6.9.1. Proračun stupova pozicije S1 | 135 |
| 6.9.2. Proračun stupova pozicije S2..... | 144 |
| 6.10. Proračun temelja | 152 |
| 6.10.1. Analiza opterećenja..... | 152 |
| 6.10.2. Kontrola naprezanja u tlu..... | 154 |
| 6.10.3. Dimenzioniranje temelja..... | 155 |
| 6.11. Proračun temeljne grede | 162 |
| 6.11.1. Analiza opterećenja..... | 162 |
| 6.11.2. Kontrola naprezanja u tlu..... | 162 |
| 7. LITERATURA | 163 |
| 8. GRAFIČKI PRILOZI | 164 |

1. TEHNIČKI OPIS KONSTRUKCIJE

1.1. Općenito

Predmet ovog glavnog projekta je nosiva konstrukcija poslovno-proizvodne hale u Biogradu na Moru. Građevina je jednoetažna, tlocrtnog „L” oblika, statičkih tlocrtnih gabarita 30,7 x 67,2 m, sa dvostrešnim kosim krovnom plohom nagiba cca 5°, PR te 61,4 x 16,8 m sa višestrešnim kosim krovnom plohom nagiba cca 5°. Ukupna visina građevine od gotovog poda iznosi 9,2 m. Uzdužni osni razmak stupova je 8,4 m, a poprečni 15,35 m. Temeljne stope, temeljne grede, podna ploča, nadzemna glavna konstrukcija, krovna podkonstrukcija te fasadni termopaneli su u AB izvedbi. Obloga krovnih ploha predviđena je u varijanti krovnih termopanela. Na fasadama je predviđeno vertikalno postavljanje termopanela, uz izuzetak zapadnog pročelja gdje je predviđeno horizontalno postavljanje termopanela.

1.2. Konstrukcija građevine

Nosiva konstrukcija predmetne građevine (hale) je iz tipskih predgotovljenih armirano-betonskih elemenata uz iznimku izvedbe armirano-betonskih temelja i njihovih temeljnih traka na licu mjesta. U statičkom smislu konstrukcija hale je prostornog okvirnog sustava s armiranobetonskim stupovima $b/h=60/60$ cm upetim u temelje na koje se zglobno oslanjaju krovni poprečni nosači presjeka T 60/100 te raspona 15,35. U osima A i D uzduž hale na stupove se oslanjaju krovne uvale, nosači presjeka T 55/60 raspona 8,4 m, a služe za odvodnju oborinske vode sa krovnih ploha te kao uzdužna veza. Između osi A i B, B i C, C i D te D i E uzduž hale na glavne rasponske nosače se oslanja sekundarna krovna konstrukcija, nosači presjeka T 55/60 raspona 8,4 m, a služe za oslanjanje krovnog pokrova hale, kao horizontalna veza fasadnih panela te kao uzdužna veza. Fasadni termopaneli predviđeni su kao armiranobetonski predgotovljeni elementi ukupne debljine $d=20$ cm (7+6+7 cm; TI u srednjem sloju iznosi 6 cm). Pokrov hale predviđa se od čeličnih termopanela debljine $d=20$ cm koji se na rasponu od 2,56 m oslanjaju na armiranobetonske podrožnice.

1.3. Temeljenje

Temeljenje stupova izvodi se na temeljima koji se izvode na licu mjesta. Temeljni se sastoje od temeljnih čašica $d=25$ cm, $h=110$ cm i temeljnih stopa 300/300/60 cm. Fasadni paneli oslanjaju se na temeljnim gredama 20/90 cm koje su povezane s podnom AB pločom. Podna armirano-betonska ploča, dvostrano minimalno armirana je debljine 20 cm. Maksimalna naprezanja u tlu su na razini 400 kN/m². Procijenjena nosivost tla na lokaciji objekta iznosi > 600 kN/m². Nakon obavljenog iskopa temelja i čišćenja temeljne plohe potrebno je obaviti pregled iste od strane nadzornog inženjera i po potrebi ovlaštenog geomehaničara koji su dužni upisom u Građevinski dnevnik potvrditi kako je ploha pogodna za temeljenje, tj. da je tlo jednakih ili boljih svojstava predviđenih ovim projektom. Propisuje se modul stišljivosti ispod svih temelja $M_s \geq 100$ MPa.

1.4. Materijali

Za izradu elemenata montažnih dijelova konstrukcije koristi se beton klase C30/37 (uzdužni sekundarni krovni nosači, krovne uvale i fasadni paneli) i klase C35/40 (stupovi i primarni poprečni krovni nosači) te armaturni čelik B500B (rebrasta i mrežasta armatura).

Za izradu monolitnih dijelova konstrukcije koristi se beton klase C30/37 (temeljne grede, podna ploča i temelji samci), te armaturni čelik B500B (rebrasta i mrežasta armatura).

1.5. Opterećenja

Opterećenja i kombinacije opterećenja na konstrukciju određene su prema HRN EN 1990, HRN EN 1991, HRN EN 1997 i HRN EN 1998. U pogledu opterećenja vjetrom, građevina se nalazi u vjetrovnom području sa osnovnom brzinom vjetra od 30 m/s prema HRN EN 1991-1-4:2012 s izračunatim osnovnim opterećenjem vjetrom od 1,30 kN/m², te području 'priobalje i otoci' prema HRN EN 1991-1-3:2012 s aspekta opterećenja snijegom (cca 35 m n.m.) s izračunatim opterećenjem od 0,47 kN/m². Građevina se prema HRN EN 1998 nalazi u području s horizontalnim vršnim ubrzanjem tla $agR = 0,209$ g za povratni period od 475 godina i $agR = 0,105$ g za povratni period od 95 godina.

1.6. Posebne napomene uz izvođenje

Propisuje se modul stišljivosti ispod temeljnih konstrukcija i podne ploče $M_s \geq 100$ MPa. Nasip na koji se temelji podna ploča treba biti izrađen od dobro građiranog kamenog materijala u slojevima od 30 cm te zbijen minimalno na propisan modul stišljivosti. Preporuča se stalni geotehnički nadzor u fazi pripreme temeljnog tla i izvedbe temeljnih konstrukcija.

2. PROGRAM KONROLE I OSIGURANJA KVALITETE

2.1. Općenito

Predmetni je projekt izrađen sukladno Zakonu o gradnji (NN 153/13, NN 20/17, NN39/19). Sve radove trebaju obavljati za to stručno osposobljene osobe, uz stalni stručni nadzor, s posebnim naglaskom na nadzor od strane geomehaničara prilikom radova iskopa te samog temeljenja građevine. Prije prelaska na iduću fazu radova, nužno je odobrenje nadzornog inženjera. Kao mjera kontrole kvalitete izvođenja propisuje se i obavezan projektantski nadzor nad izvođenjem nosive konstrukcije prema Zakonu o gradnji. Za svako odstupanje od projekta, te u slučaju nepredviđenih okolnosti, potrebna je konzultacija i suglasnost projektanta. Sve izmjene obavezno je unijeti u građevinsku knjigu i građevinski dnevnik. Izvoditelj je dužan u potpunosti poštivati sve mjere osiguranja i kontrole kvalitete. Svi upotrijebljeni materijali i svi izvedeni radovi trebaju udovoljavati zahtjevima važećih normi, propisa i pravila struke. Mjerodavne podloge za upravljanje kvalitetom građevinskih proizvoda su Zakon o građevnim proizvodima NN76/13, 30/14, 130/17 i 39/19, Pravilnik o ocjenjivanju sukladnosti, ispravama o sukladnosti i označavanju građevnih proizvoda (NN 103/08, 147/09, 87/10, 129/11), Pravilnik o nadzoru građevnih proizvoda NN 113/08, Zakon o općoj sigurnosti proizvoda (NN 30/09, 139/10, 14/14) te Tehnički propis za građevinske konstrukcije (NN 17/17, NN 75/20).

2.2. Svojstva građevnih proizvoda

2.2.1. Beton

Za izvedbu nosive AB konstrukcije rabiti projektirani beton u svemu prema Tehničkim propisima za građevinske konstrukcije, (NN 17/17, NN 75/20) (u daljnjem tekstu Propis).

Specificirana tehnička svojstva za beton

| razred tlačne čvrstoće | aditiv | maksimalna nazivna veličina zrna agregata [mm] |
|------------------------|--|--|
| C30/37 | aditiv za poboljšanje ugradljivosti, vodocementni faktor $v/c \leq 0.45$ | 32 |
| C35/40 | aditiv za poboljšanje ugradljivosti, vodocementni faktor $v/c \leq 0.45$ | 32 |

Izvoditelj je dužan izraditi projekt betona u skladu s projektom konstrukcije i dostaviti ga na suglasnost projektantu objekta. Kontrola kvalitete betona sastoji se od kontrole proizvodnje i kontrole suglasnosti s uvjetima projekta konstrukcije i projekta betona.

Kod projektiranog betona u projektu mora biti specificiran razred tlačne čvrstoće (marka betona) i to kao karakteristična vrijednost 95%-tne vjerojatnosti s kriterijima sukladnosti prema normi HRN EN 206-1. Sastavni materijali od kojih se beton proizvodi ili koji mu se pri proizvodnji dodaju, moraju ispunjavati zahtjeve normi na koje upućuje norma HRN EN

206-1 i zahtjeve prema Tehničkom propisu za betonske konstrukcije. Zahtjevi za isporuku betona i informacije proizvođača betona korisniku moraju sadržavati podatke prema normi HRN EN 206-1. Uzimanje uzoraka, priprema ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava svježeg betona provodi se prema normama niza HRN EN 12350, a ispitivanje svojstava očvrstnalog betona prema normama niza HRN EN 12390.

Zbog opasnosti od korozije armature ne smiju se upotrebljavati betoni koji sadrže cimente tipa CEM III/C, CEM IV i CEM V prema normi HRN EN 197-1.

Bridove svih elemenata, koji su između ploha pod pravim kutem treba "skositi", tako da budu mehanički otporni i postojani. Bridovi elemenata trebaju biti precizno izvedeni, ravni i u funkciji njihovog estetskog izgleda. U svemu treba poštivati predviđenu geometriju elemenata, te njihov projektirani prostorni položaj. Osobito voditi računa o izgledu vanjskih ploha betona. Sve vidljive plohe betona trebaju biti ravne, glatke i ujednačene boje. Nije dopuštena pojava segregacije u betonu. Voditi računa o adekvatnoj ugradnji i njezi betona, prema projektu betona, važećim propisima i pravilima struke.

Specificirana tehnička svojstva za pojedine elemente AB konstrukcije

Temeljne: XC2, debljina zaštitnog sloja $c_{\min}=40$ mm; C30/37

AB podna ploča, AB temeljna greda: XC4, debljina zaštitnog sloja $c_{\min}=40$ mm; C30/37, hidroizolacija, dodatak betonu protiv smrzavanja

AB montažni elementi (glavni krovni nosači): XC3, debljina zaštitnog sloja $c_{\min} = 25$ mm; C35/40

AB montažni elementi (stupovi): XC3, debljina zaštitnog sloja $c_{\min}=25$ (35) mm; C35/45

AB montažni elementi (T uvale i T uzdužne veze): XC3, debljina zaštitnog sloja $c_{\min}=25$ (30) mm; C30/37, hidroizolacija uvale

AB zidni paneli: XC3, debljina zaštitnog sloja $c_{\min}=30$ mm; C30/37

2.2.2. Armaturni čelik

Armatura mora udovoljavati normama HRN 1130-1:2008; HRN 1130-2:2008; HRN 1130-3:2008; HRN 1130-4:2008; HRN 1130- 5:2008; HRN EN 10080:2005; i Tehničkom propisu za građevinske konstrukcije.

Za izvedbu nosive AB konstrukcije upotrebljavati šipkastu (rebrastu) i mrežastu (rebrastu) armaturu (B500B).

Veličinu zaštitnog sloja osigurati dostatnim brojem kvalitetnih distancera. Kvalitetu zaštitnog sloja osigurati kvalitetnom oplatom i ugradnjom betona te dodacima betonu i ostalim rješenjima prema projektu betona, kojeg je dužan izraditi izvođač radova. Veličina i kvaliteta zaštitnog sloja betona presudni su za trajnost objekta. U potpunosti poštivati projektirani raspored i položaj armaturnih šipki, koje trebaju biti nepomične kod betoniranja. Sva uporabljena armatura treba imati odgovarajuće ateste o kakvoći.

2.3. Izvođenje AB konstrukcije

2.3.1. Općenito

Izvođač radova treba izvesti betonske i armirano-betonske radove u skladu sa zahtjevima norme HRN EN 13670-1 - Izvedba betonskih konstrukcija – 1. dio: Općenito i Propis. Pogon za proizvodnju betona mora ispunjavati zahtjeve norme HRN EN 206-1 - Beton – 1. dio: Specifikacije, svojstva, proizvodnja i sukladnost. Za svaku vrstu betona proizvođač odnosno izvođač je dužan dostaviti odgovarajuću ispravu o sukladnosti.

2.3.2. Nadzorne radnje

Nadzorni inženjer obvezno određuje neposredno prije ugradnje betona provedbu kontrolnih postupaka utvrđivanja svojstava svježeg betona i utvrđivanja tlačne čvrstoće očvrstnalog betona na mjestu ugradnje betona prema Propisu. Kontrolni postupak utvrđivanja svojstava svježeg betona provodi se na uzorcima koji se uzimaju i pripremaju neposredno prije ugradnje betona u betonsku konstrukciju prema HRN EN 12350, u skladu sa zahtjevima norme HRN EN 13670 i projekta betonske konstrukcije, a najmanje pregledom svake otpremnice i vizualnom kontrolom konzistencije kod svake dopreme (svakog vozila) te, kod opravdane sumnje ispitivanjem konzistencije istim postupkom kojim je ispitana u proizvodnji.

Podaci o uzimanju uzoraka betona evidentiraju se uz obvezno navođenje oznake pojedinačnog elementa betonske konstrukcije i mjesta u elementu betonske konstrukcije na kojem se beton ugrađivao u trenutku uzimanja uzoraka. Kontrolni postupak utvrđivanja tlačne čvrstoće očvrstnalog betona ocjenjivanjem rezultata ispitivanja uzoraka i dokazivanjem karakteristične tlačne čvrstoće betona provodi se prema Propisu i normama na koju Propis upućuje. Tlačna čvrstoća očvrstnalog betona ispituje se na uzorku starom 28 dana. Uzimanje uzoraka betona, priprema ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava projektiranog betona (potvrđivanje sukladnosti tlačne čvrstoće i svojstava dodataka) provodi se prema normama - sukladno Propisu. Uzimanje uzoraka armature, priprema ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava armature provodi se prema normama - sukladno Propisu.

2.3.3. Ugranja betona

Ugradnja betona se provodi u skladu s HRN EN 13670-1, točkama 8, 9 i 10 i Dodatak E. Početna temperatura svježeg betona u fazi ugradnje ne smije biti niža od +5°C, ni viša od +30°C. U slučaju da je temperatura izvan ovih granica, treba poduzeti mjere u skladu s Propisom. Vrijeme transporta i drugih manipulacija sa svježim betonom ne smije biti duže od onog koje je utvrđeno u toku prethodnih ispitivanja. Transport svježeg betona do gradilišta te do samog mjesta ugradnje u oplatu treba biti takav da ne dolazi do pojave segregacije betona. Beton treba ugraditi što bliže njegovom konačnom položaju u konstrukciji da bi se izbjegla segregacija. Ugrađivanje betona u oplatu izvesti mehanički s potrebnim vibriranjem. Sloj betona koji se ugrađuje mora vibriranjem biti dobro spojen s prethodnim donjim slojem betona. Ako dođe do prekida betoniranja, prije nastavka betoniranja površina donjeg sloja betona mora biti dobro očišćena ispuhivanjem i ispiranjem, a po potrebi i pjeskarenjem.

2.3.4. Njega betona

Beton u ranom razdoblju treba zaštititi u skladu s HRN EN 13670-1, točka 8.5.

Neposredno nakon betoniranja, beton treba biti zaštićen od slijedećeg: prebrzog isušivanja, brze izmjene topline, oborinske i tekuće vode, vibracija koje mogu štetno utjecati na stvrdnjavanje betona. Beton se nakon ugradnje mora zaštititi da bi se osigurala zadovoljavajuća hidratacija na površini te izbjegla oštećenja zbog ranog i naglog skupljanja. Minimalno trajanje njege betona: minimalno 3 dana, a u slučaju velikih (ljetnih) vrućina 5 dana.

2.3.5. Oplata i skele

Oplata i skele moraju biti u skladu s HRN EN 13670-1, točka 5. i Dodatak B. Skele i oplata moraju biti tako konstruirane i izvedene da mogu preuzeti opterećenja i utjecaje koji nastaju u izvođenju radova, bez štetnih slijeganja i deformacija, kako bi se osigurala sigurnost i točnost elemenata konstrukcije predviđena projektom konstrukcije. Oplata konstrukcije mora biti takva da se za vrijeme betoniranja na gube sastojci betona te da vanjsko lice betona ispunjava zahtjeve date u projektu konstrukcije (glatki beton, natur beton, i sl.). Oplata se mora lako i bez oštećenja skidati s još neočvrstlog betona. Njene unutarnje stranice moraju biti čiste i po potrebi premazane zaštitnim sredstvom, koje ne smije djelovati štetno na beton, mijenjati boju betona, utjecati na vezu armature i betona ili djelovati štetno na materijal koji se nakadno nanosi na betonsku konstrukciju.

Nadzorni inženjer mora zabraniti izradu i primjenu oplata i skela koje prema njegovom mišljenju ne bi mogle osigurati traženu kvalitetu lica gotovog betona ili su neprihvatljive kvalitete ili sigurnosti. Prijem gotove skele ili oplata vrši se vizualno, geodetskom kontrolom i ostalom izmjerom. Pregled i prijem gotove skele, oplata i armature vrši nadzorni inženjer. Bez obzira na odobrenu primjenu skela, oplata i armature, izvođač snosi punu odgovornost za sigurnost i kvalitetu radova

2.4. Ostale napomene u programu kontrole i osiguranja kvalitete

2.4.1. Iskolčenje i zahtjevana geometrija

Od faze iskolčenja građevine, preko svih faza izgradnje, do završetka građevine, nužan je stalni geodetski nadzor. Tijekom građenja vršiti: stalnu kontrolu iskolčenja i druge geometrije svih elemenata (uključivo i elemenata zaštite građevne jame) kontrolu osiguranja svih točaka kontrolu repera i poligonih točaka.

2.4.2. Zemljani radovi

Iskopi

Tijekom radova na iskopima potrebno je posvetiti pažnju slijedećem:

- da se iskop obavlja prema profilima i visinskim kotama iz projekta, te propisanim nagibima pokosa iskopa (uzimajući u obzir geomehanička svojstva tla),
- da tijekom rada ne dođe do potkopavanja ili oštećenja okolnih građevina ili okolnog tla

- da se ne vrše nepotrebno povećani ili štetni iskopi,
- za vrijeme rada na iskopu pa do završetka svih radova na građevini Izvoditelj je dužan osigurati pravilnu odvodnju,
- ne smije se dozvoliti zadržavanje vode u iskopima,
- vrstu i karakteristiku temeljnog tla kontrolirati prema geotehničkom elaboratu, a dubine i gabarite iskopa prema građevinskom projektu građevine

Nasipi

Kontrolu kvalitete materijala za izradu nasipa vršiti prema važećim normama.

Kontrolom i tekućim ispitivanjima obuhvatiti:

- određivanje stupnja zbijenosti u odnosu na Proctorov postupak (Sz) ili određivanje modula stišljivosti (MS), -
- ispitivanje granulometrije nasipnog materijala.

Nasipavanje izvoditi u propisanim debljinama slojeva i s propisanom zbijenošću. Kontrola geometrije vrši se kontinuirano, vizualno i mjerenjem. Kontrola zbijenosti vrši se probno po slojevima i obvezno na vrhu.

Temelji

Betoniranje temeljnih konstrukcija izvesti u primjerenj oplat i na prethodno postavljenoj termoizolaciji i hidroizolaciji. Nakon postavljanja s armaturom prema Izvedbenom projektu konstrukcije, može se krenuti u betoniranje temeljnih konstrukcija prema ovom projektu. Naročitu pažnju posvetiti zaštiti hidroizolacije, te traženim zaštitnim slojevima armature, posebno na mjestima oslabljenja presjeka instalacijskim kanalima. Betonirane temelja može započeti nakon što nadzorni inženjer, potvrdi da je temeljno tlo u skladu s pretpostavkama ove mape, pregleda postavljenu armaturu, nakon što su provjerene dimenzije temelja, te upisana dozvola o betoniranju u građevinski dnevnik. Zasipavanje oko izvedenih temelja izvesti nakon izrade i zaštite hidroizolacije i to u slojevima s potrebnim zbijanjem, kako ne bi došlo do naknadnog slijeganja nasutog tla. Nasuti materijal (iza i ispod ukopanih zidova) treba zadovoljavati mehaničke karakteristike predviđene ovim projektom, u suprotnom obavijestiti i zatražiti odobrenje za ugradnju od strane projektanta konstrukcija. Dozvoljena odstupanja prilikom izvođenja armirano-betonske konstrukcije temelja iznose ± 2 cm u tlocrtnim dimenzijama i visinskom pogledu.

3. NAČIN ODRŽAVANJA I PROJEKTIRANI VIJEK UPORABE GRAĐEVINE

Radnje u okviru održavanja betonskih konstrukcija treba provoditi prema odredbama TEHNIČKOG PROPISA ZA GRAĐEVINSKE KONSTRUKCIJE NN 17/17, NN 75/20. Izjavu o izvedenim radovima i uvjetima održavanja građevine dužan je prirediti Izvođač u skladu s pozitivnom regulativom RH, tehničkim propisima, normama na koje se oni pozivaju te glavnim i izvedbenim projektom. Redovite preglede u svrhu održavanja konstrukcije potrebno je provoditi svakih 10 godina. Način obavljanja pregleda je slijedeći:

- vizualni pregled konstrukcija, u kojeg je uključeno utvrđivanje položaja i veličine napuklina i pukotina, relativni pomaci dilatacijskih cjelina, te drugih oštećenja bitnih za očuvanje mehaničke otpornosti i stabilnosti građevine,

- utvrđivanja stanja zaštitnog sloja armature i antikorozivne zaštite

- utvrđivanje veličine progiba glavnih nosivih elemenata armirano-betonske i čelične konstrukcije za slučaj osnovnog djelovanja, ako se na temelju vizualnog pregleda opisanog u podtočki a) sumnja u ispunjavanje bitnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti.

Dokumentaciju o izvršenim pregledima i drugu dokumentaciju o održavanju betonske konstrukcije i svih njenih elemenata dužan je trajno čuvati vlasnik građevine. Uporabni vijek predmetne građevine je najmanje 50 godina. Ova vrijednost predstavlja polazište na osnovu kojeg su definirani zahtjevi za beton, izvođenje radova i održavanje konstrukcije. Nepovoljni klimatski faktori lokacije zahtijevaju povećanu mjeru opreza i pojačani nadzor nad svim elementima (konstruktivnim i nekonstruktivnim) građevine. Preporučuje se da korisnici i suvlasnici građevine vrše godišnje preglede i ukoliko primijete neku nepravilnost na konstrukciji zatraže redoviti ili izvanredni pregled i prije roka predviđenog ovim projektom.

4. ANALIZA OPTEREĆENJA

4.1. Stalno opterećenje

Vlastita težina konstrukcijskih elemenata je automatski uključena u programskom paketu Tower.

4.2. Dodatno stalno opterećenje

Krovni sendvič panel d = 20 cm = **0,35** kN/m²

Instalacije = **0,10** kN/m²

$\Delta g = \mathbf{0,45}$ kN/m²

4.3. Opterećenje snijegom

Opterećenje snijegom na krovu proračunava se iz izraza:

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

gdje je:

μ_i - koeficijent oblika za opterećenje snijegom

C_e - koeficijent izloženosti $\rightarrow 1,0$

C_t - toplinski koeficijent $\rightarrow 1,0$

s_k – karakteristično opterećenje snijegom na tlu

Prema preporukama europske norme ENV 1991-2-3:1995, karakteristično opterećenje snijegom iznosi

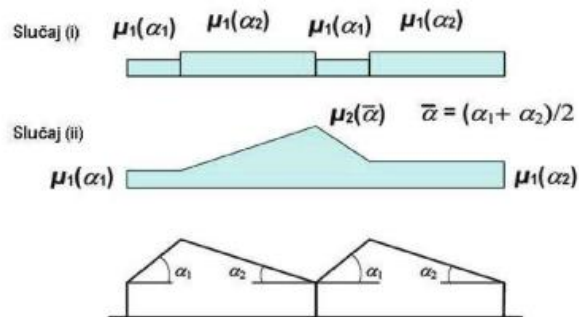
$s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$ - očitano za područje: Biograd na moru 35 m.n.m (1. područje do 100 m.n.m – priobalje i otoci).



Slika 4.1. Karta snježnih područja RH

Tablica 4.1. Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine

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



Slika 4.2. Koeficijenti oblika opterećenja snijegom za višeraspanske krovove

Tablica 4.2. Koeficijenti oblika opterećenja snijegom

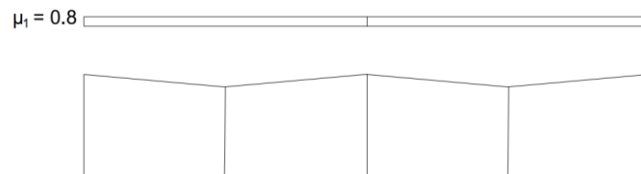
| Kut nagiba krova α | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| μ_1 | 0,8 | $0,8 (60 - \alpha) / 30$ | 0,0 |
| μ_2 | $0,8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

$$\alpha = 5^\circ$$

Slučaj 1

$$\mu_1 = 0,8$$

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = \mathbf{0,40 \text{ kN/m}^2}$$

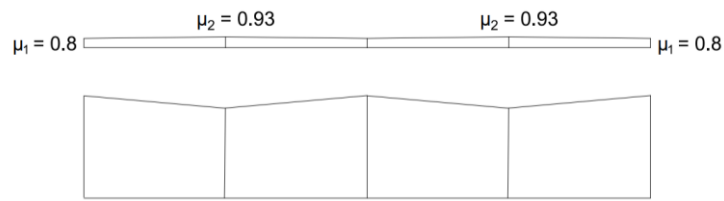


Slika 4.3. Koeficijent oblika opterećenja snijegom za višeraspanske krovove – slučaj 1

Slučaj 2

$$\mu_2 = 0,8 + 0,8 \cdot \alpha/30 = 0,8 + 0,8 \cdot 5/30 = 0,93$$

$$s_2 = 0,93 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = \mathbf{0,47 \text{ kN/m}^2}$$



Slika 4.4. Koeficijent oblika opterećenja snijegom za višeraspanske krovove – slučaj 2

4.4. Opterećenje vjetrom

Opterećenje vjetrom definirano je Eurokodom 1991-1-4 – Djelovanje vjetra.

Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$ je karakteristična 10-minutna srednja brzina vjetra, neovisno o smjeru vjetra u dobu godine, 10 m iznad tla na otvorenom terenu u prirodi s niskim raslinjem i osamljenim preprekama na razmaku najmanje 20 visina prepreke, takav teren odgovara kategoriji terena II.

Osnovna brzina vjetra proračunava se iz izraza:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

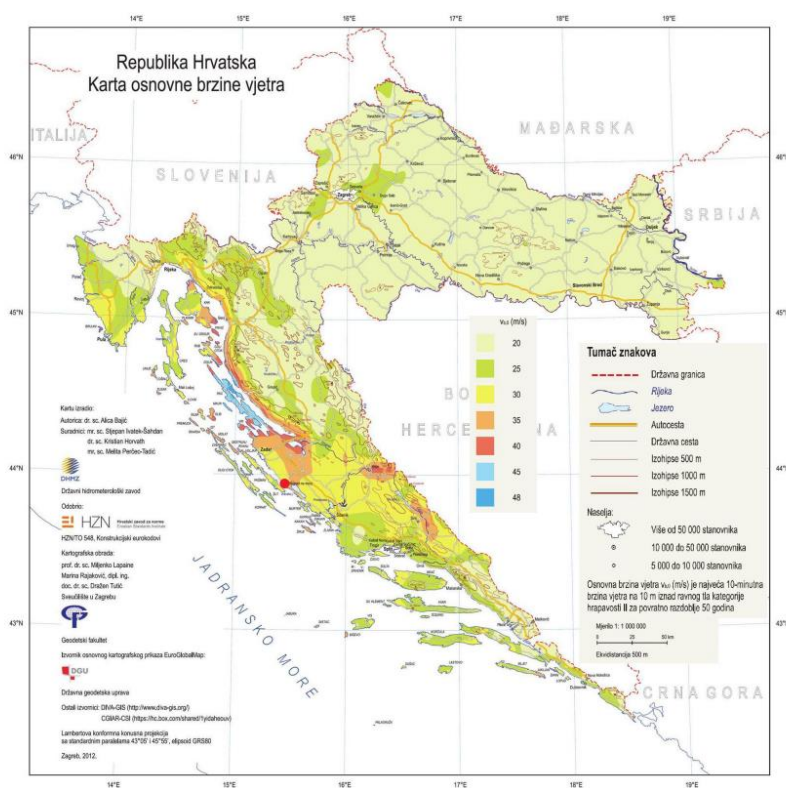
gdje je:

v_b - osnovna brzina vjetra određena kao funkcija smjera vjetra i doba godine, 10 m iznad tla koje pripada kategoriji terena II

c_{dir} – faktor smjera vjetra (uzima se 1,0 za područje RH)

c_{season} – faktor godišnjeg doba (uzima se 1,0 za područje RH)

$v_{b,0}$ – temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra (određuje se iz karte koja je sastavni dio nacionalnog dodatka)



Slika 4.5. Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$

$v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$ (očitano iz karte za područje Biograd na moru)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30 = 30 \text{ m/s}$$

Osnovni pritisak vjetra q_b određuje se prema izrazu:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

gdje je:

ρ - gustoća zraka (usvaja se vrijednost iz propisa $1,25 \text{ kg/m}^3$)

v_b - osnovna brzina vjetra

Uvrštavanje osnovne brzine vjetra i gustoće zraka u jednadžbu:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30^2 = 562,5 \text{ N/m}^2 = 0,5625 \text{ kN/m}^2$$

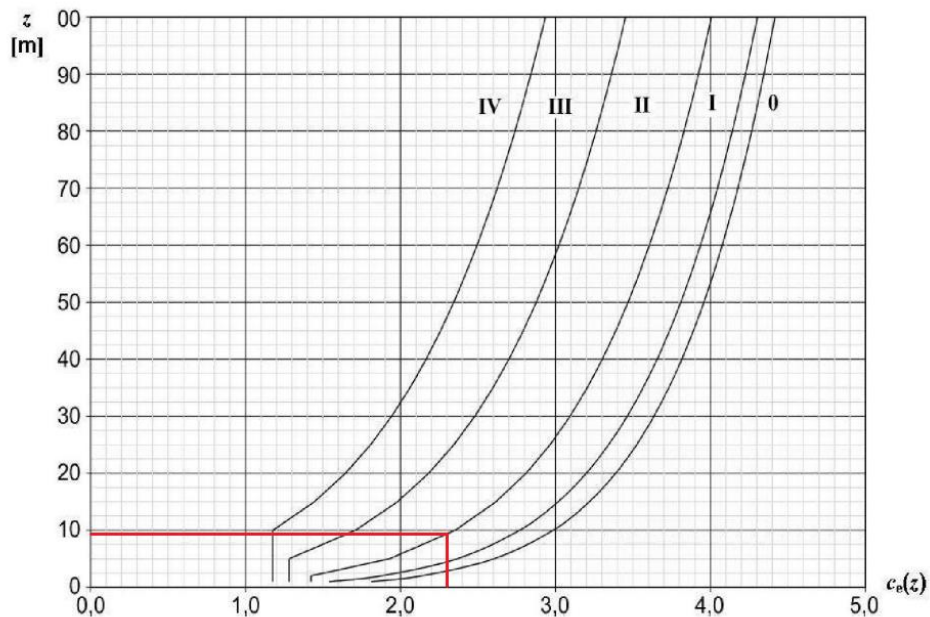
Tlak pri vršnoj brzini vjetra:

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

gdje je:

$c_e(z)$ – koeficijent izloženosti ovisan o visini iznad tla (z) i kategoriji terena

q_b – osnovni pritisak vjetra



Slika 4.6. Grafički prikaz koeficijenta izloženosti $c_{e(z)}$ kao funkcija visine iznad terena z , za $c_o=1,0$ (koeficijent vertikalne razvedenosti terena) i $k_T=1,0$ (koeficijent turbulencije)

Tablica 4.3. Kategorije terena i parametri terena z_0 (duljina hrapavosti) i z_{min} (najmanja visina)

| Kategorija terena | | z_0 [m] | z_{min} [m] |
|-------------------|--|--------------|------------------|
| 0 | More ili priobalna područja izložena otvorenom moru | 0,003 | 1 |
| I | Ježera 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.

Za kategoriju terena II i visinu $z = 9,2$ m iznad tla očitana je vrijednost koeficijenta $c_e(z) = 2,3$.

Uvrštavanje vrijednosti koeficijenta $c_e(z)$ i osnovnog tlaka vjetra u jednadžbu:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 2,3 \cdot 0,5625 = 1,30 \text{ kN/m}^2$$

Opterećenje vjetrom (okomito na površinu) definira se izrazima:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

gdje je:

w_e – pritisak vjetra na vanjske površine

w_i – pritisak vjetra na unutarnje površine

$q_p(z_e)$ – tlak pri vršnoj brzini vjetra

z_e – referentna visina za vanjski pritisak

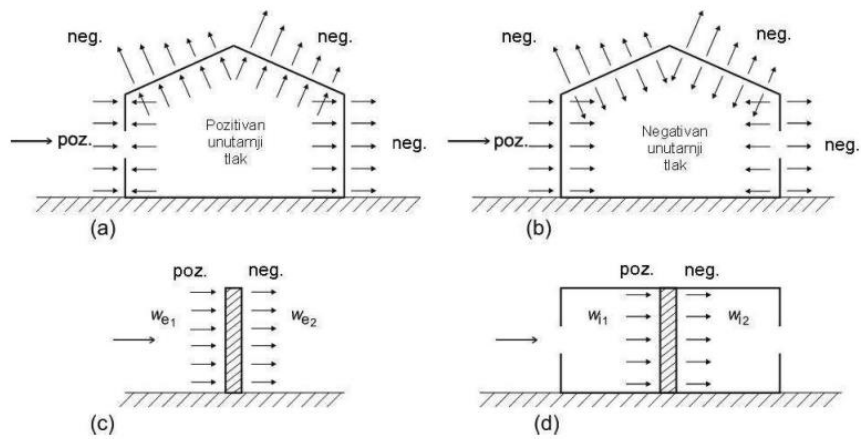
z_i – referentna visina za unutarnji pritisak

c_{pe} – koeficijent pritiska za vanjski vjetar

c_{pi} – koeficijent pritiska za unutarnji vjetar

Koeficijent unutarnjeg tlaka se uzima kao nepovoljnija vrijednost između +0,2 i -0,3.

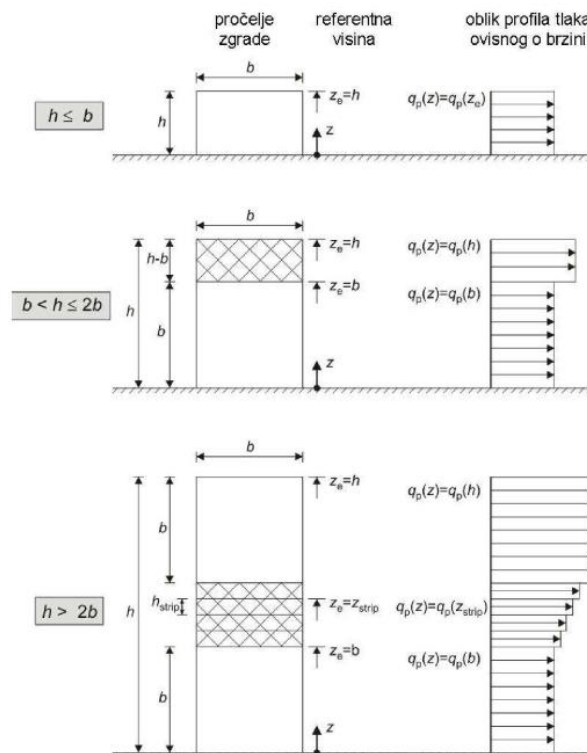
Rezultirajuće djelovanje vjetra na vanjske i unutarnje plohe razlika je pritiska na suprotnim površinama uzimajući u obzir njihove predznake. Tlak usmjeren prema površini uzima se kao pozitivan, a usuiavanje, usmjereno od površine, kao negativno.



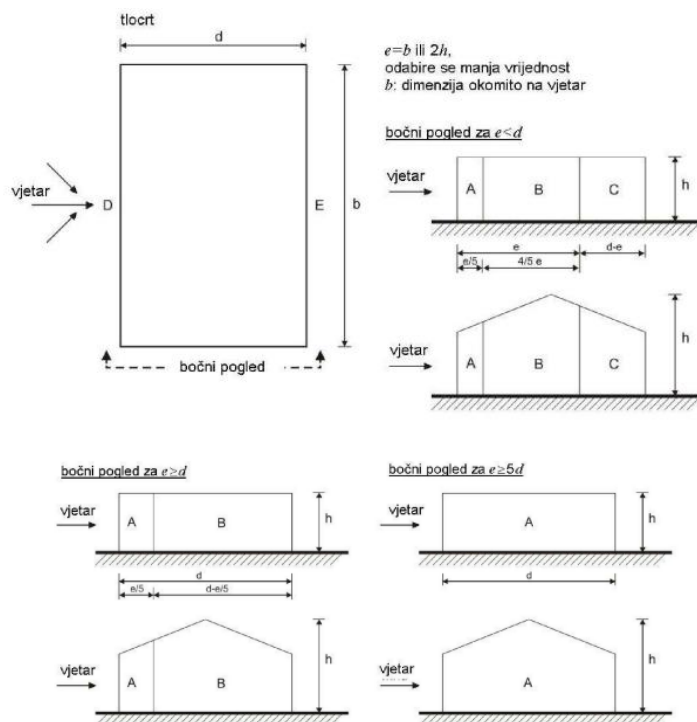
Slika 4.7. Raspored tlaka na površine

Određivanje koeficijenata vanjskog tlaka za vertikalne zidove

Referentna visina z_e ovisna je o visini i širini objekta. Referentne visine za tri različita slučaja prikazane su na slici 8.



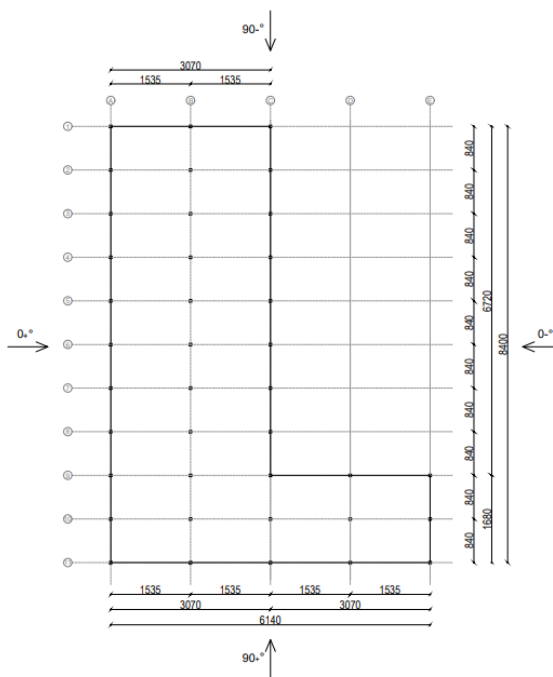
Slika 4.8. Raspodjela profila tlaka u ovisnosti o širini i visini objekta



Slika 4.9. Legenda za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada

Tablica 4.4. Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada

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



Slika 4.10. Smjerovi djelovanja vjetra

Vjetar 0_+°

$$e_1 = \min\{b_1; 2h\} = \{67,2; 18,4\} = 18,4 \text{ m} < d_1 = 30,7 \text{ m (zone A,B,C)}$$

$$e_2 = \min\{b_2; 2h\} = \{16,8; 18,4\} = 16,8 \text{ m} < d_2 = 61,4 \text{ m (zone A,B,C)}$$

$$e_3 = \min\{b_2; 2h\} = \{16,8; 18,4\} = 16,8 \text{ m} < d_3 = 30,7 \text{ m (zone A,B,C)}$$

$$\frac{h}{d_1} = \frac{920}{3070} = 0,30 > 0,25$$

$$\frac{h}{d_2} = \frac{920}{6140} = 0,15 < 0,25$$

Vanjski koeficijenti pritiska za vertikalne zidove:

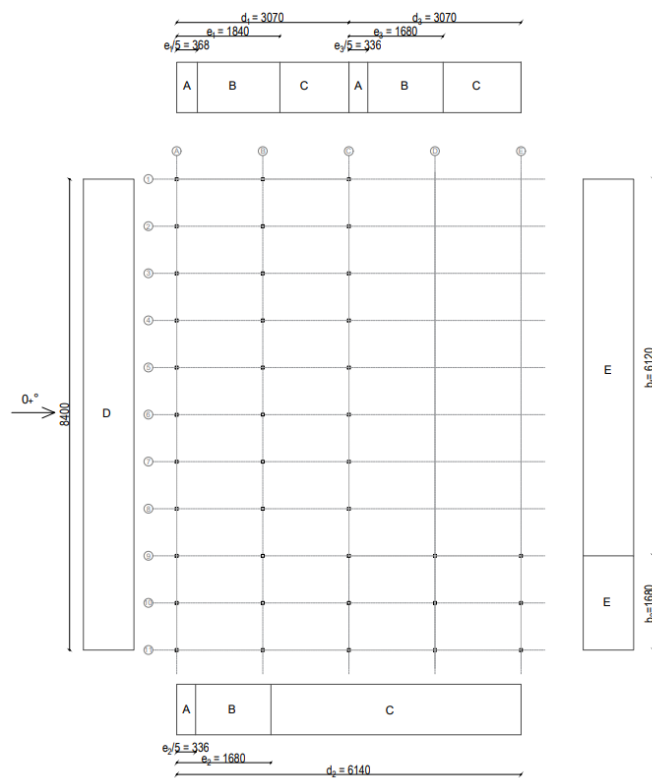
Područje A: $c_{pe,10} = -1,20$

Područje B: $c_{pe,10} = -0,80$

Područje C: $c_{pe,10} = -0,50$

Područje D: $c_{pe,10} = +0,71$

Područje E: $c_{pe,10} = -0,31$



Slika 4.11. Raspodjela vanjskih tlakova za smjer vjetra 0_+°

Vjetar 90^o

$$e_1 = \min\{b_1; 2h\} = \{30,7; 18,4\} = 18,4 \text{ m} < d_1 = 84 \text{ m (A,B,C)}$$

$$e_2 = \min\{b_2; 2h\} = \{30,7; 18,4\} = 18,4 \text{ m} > d_2 = 16,8 \text{ m (A,B)}$$

$$e_3 = \min\{b_2; 2h\} = \{30,7; 18,4\} = 18,4 \text{ m} < d_3 = 67,2 \text{ m (A,B,C)}$$

$$\frac{h}{d_1} = \frac{920}{8400} = 0,11 < 0,25$$

$$\frac{h}{d_2} = \frac{920}{1680} = 0,54 > 0,25$$

$$\frac{h}{d_3} = \frac{920}{6720} = 0,14 < 0,25$$

Vanjski koeficijenti pritiska za vertikalne zidove:

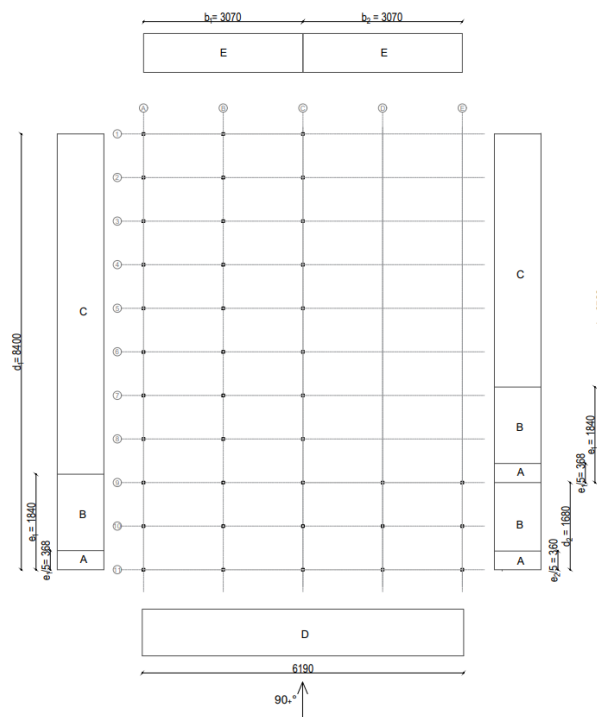
Područje A: $c_{pe,10} = -1,20$

Područje B: $c_{pe,10} = -0,80$

Područje C: $c_{pe,10} = -0,50$

Područje D: $c_{pe,10} = +0,74$

Područje E: $c_{pe,10} = -0,38$



Slika 4.12. Raspodjela vanjskih tlakova za smjer vjetra 90^o

Vjetar 0°

$$e_1 = \min\{b_1; 2h\} = \{67,2; 18,4\} = 18,4 \text{ m} < d_1 = 30,7 \text{ m (A,B,C)}$$

$$e_2 = \min\{b_2; 2h\} = \{16,8; 18,4\} = 16,8 \text{ m} < d_2 = 61,4 \text{ m (A,B,C)}$$

$$e_3 = \min\{b_3; 2h\} = \{16,8; 18,4\} = 16,8 \text{ m} < d_3 = 30,7 \text{ m (A,B,C)}$$

$$\frac{h}{d_{1,3}} = \frac{920}{3070} = 0,30 > 0,25$$

$$\frac{h}{d_2} = \frac{920}{6140} = 0,15 < 0,25$$

Vanjski koeficijenti pritiska za vertikalne zidove:

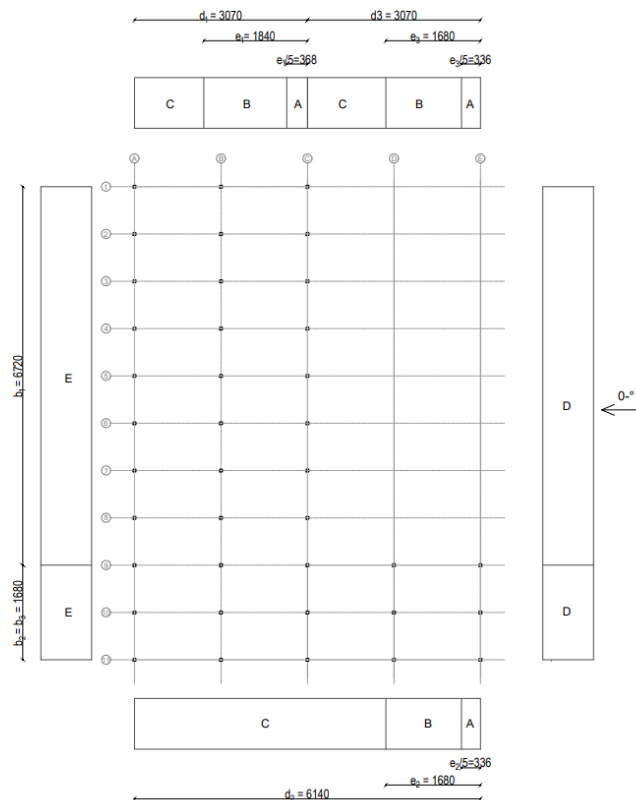
Područje A: $c_{pe,10} = -1,20$

Područje B: $c_{pe,10} = -0,80$

Područje C: $c_{pe,10} = -0,50$

Područje D: $c_{pe,10} = +0,71$

Područje E: $c_{pe,10} = -0,31$



Slika 4.13. Raspodjela vanjskih tlakova za smjer vjetra 0°

Vjetar 90.°

$$e_1 = \min\{b_1; 2h\} = \{30,7; 18,4\} = 18,4 \text{ m} < d_1 = 67,2 \text{ m (A,B,C)}$$

$$e_2 = \min\{b_2; 2h\} = \{30,7; 18,4\} = 18,4 \text{ m} < d_2 = 84 \text{ m (A,B,C)}$$

$$e_3 = \min\{b_3; 2h\} = \{30,7; 18,4\} = 18,4 \text{ m} > d_3 = 16,8 \text{ m (A,B)}$$

$$\frac{h}{d_1} = \frac{920}{6720} = 0,14 < 0,25$$

$$\frac{h}{d_2} = \frac{920}{8400} = 0,11 < 0,25$$

$$\frac{h}{d_3} = \frac{920}{1680} = 0,54 > 0,25$$

Vanjski koeficijenti pritiska za vertikalne zidove:

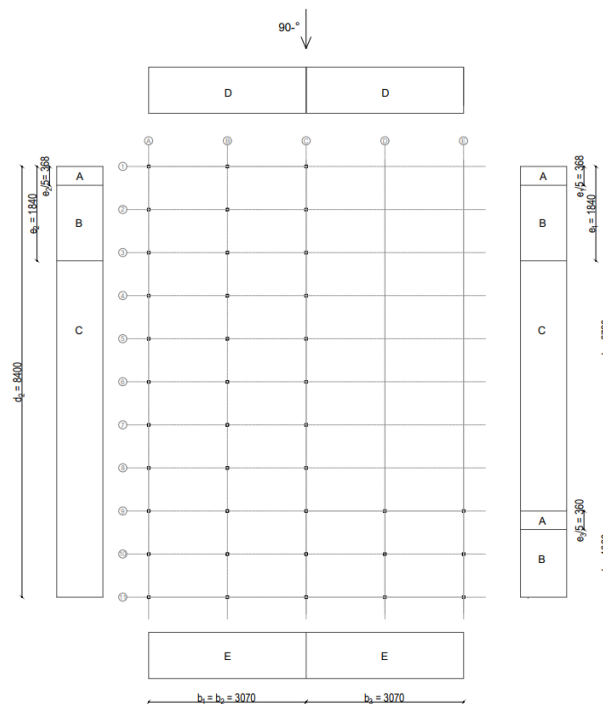
Područje A: $c_{pe,10} = -1,20$

Područje B: $c_{pe,10} = -0,80$

Područje C: $c_{pe,10} = -0,50$

Područje D: $c_{pe,10} = +0,74$

Područje E: $c_{pe,10} = -0,38$

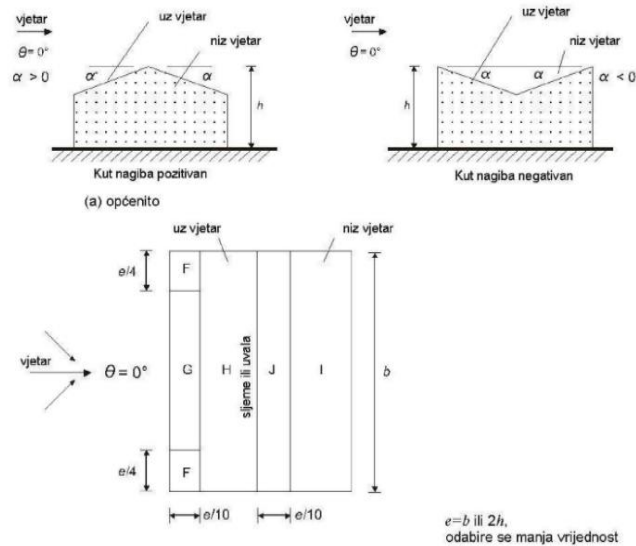


Slika 4.14. Raspodjela vanjskih tlakova za smjer vjetra 90.°

Određivanje koeficijenata vanjskog tlaka za krov

Vjetar $\theta = 0^\circ$ (dvostrešni ravni krov)

$$\alpha = -5^\circ$$



Slika 4.15. Legenda za ravne krovove, $\theta = 0^\circ$

$$e = \min\{b ; 2h\} = \{67,2 ; 18,4\} = 18,4 \text{ m}$$

$$d = 30,7 \text{ m}$$

$$e/4 = 18,4/4 = 4,6 \text{ m}$$

$$e/10 = 18,4/10 = 1,84 \text{ m}$$

Tablica 4.5. Preporučene vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za dvostrešne krovove, $\theta = 0^\circ$

| Nagib α | Područje za smjer vjetra $\theta = 0^\circ$ | | | | | | | | | |
|----------------|---|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | | I | | J | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| -45° | -0,6 | | -0,6 | | -0,8 | | -0,7 | | -1,0 | -1,5 |
| -30° | -1,1 | -2,0 | -0,8 | -1,5 | -0,8 | | -0,6 | | -0,8 | -1,4 |
| -15° | -2,5 | -2,8 | -1,3 | -2,0 | -0,9 | -1,2 | -0,5 | | -0,7 | -1,2 |
| -5° | -2,3 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,8 | -1,2 | +0,2 | | +0,2 | |
| | | | | | | | -0,6 | | -0,6 | |
| 5° | -1,7 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,6 | -1,2 | -0,6 | | +0,2 | |
| | +0,0 | | +0,0 | | +0,0 | | | | -0,6 | |
| 15° | -0,9 | -2,0 | -0,8 | -1,5 | -0,3 | | -0,4 | | -1,0 | -1,5 |
| | +0,2 | | +0,2 | | +0,2 | | +0,0 | | +0,0 | +0,0 |
| 30° | -0,5 | -1,5 | -0,5 | -1,5 | -0,2 | | -0,4 | | -0,5 | |
| | +0,7 | | +0,7 | | +0,4 | | +0,0 | | +0,0 | |
| 45° | -0,0 | | -0,0 | | -0,0 | | -0,2 | | -0,3 | |
| | +0,7 | | +0,7 | | +0,6 | | +0,0 | | +0,0 | |
| 60° | +0,7 | | +0,7 | | +0,7 | | -0,2 | | -0,3 | |
| 75° | +0,8 | | +0,8 | | +0,8 | | -0,2 | | -0,3 | |

NAPOMENA 1: Pri $\theta = 0^\circ$ tlak se naglo mijenja između pozitivnih i negativnih vrijednosti na strani uz vjetar oko kutova $\alpha = -5^\circ$ do $+45^\circ$, stoga su navedene i pozitivne i negativne vrijednosti. Za takve krovove treba uzeti u obzir četiri slučaja gdje su najmanje vrijednosti svih područja F, G i H kombinirane s najvećim ili najmanjim vrijednostima područja I i J. Nije dopušteno miješanje pozitivnih i negativnih vrijednosti na istom pročelju.

NAPOMENA 2: Smije se upotrebljavati linearna interpolacija vrijednosti istog predznaka za međuvrijednosti kutova nagiba istog predznaka. (Ne interpolira se za kutove između $\alpha = -5^\circ$ i $\alpha = +5^\circ$ već se upotrebljavaju podaci za ravne krovove iz točke 7.2.3). Vrijednosti 0,0 dane su za potrebe interpolacije.

Vanjski koeficijenti pritiska za krov:

Područje F: $c_{pe,10} = - 2,30$

Područje G: $c_{pe,10} = - 1,20$

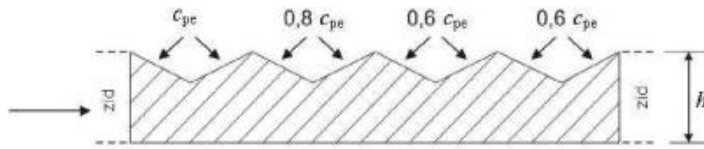
Područje H: $c_{pe,10} = - 0,80$

Područje I: $c_{pe,10} = + 0,20$ $c_{pe,10} = - 0,60$

Područje J: $c_{pe,10} = + 0,20$ $c_{pe,10} = - 0,60$

Vjetar $\theta = 0^\circ$ (višestrešni krov)

$\alpha = -5^\circ$



Slika 4.16. Legenda za višestrešni krov

$e = \min\{b ; 2h\} = \{16,8 ; 18,4\} = 16,8 \text{ m}$

$d = 30,7 \text{ m}$

$e/4 = 16,8/4 = 4,2 \text{ m}$

$e/10 = 16,8/10 = 1,68 \text{ m}$

Vanjski koeficijenti pritiska za krov:

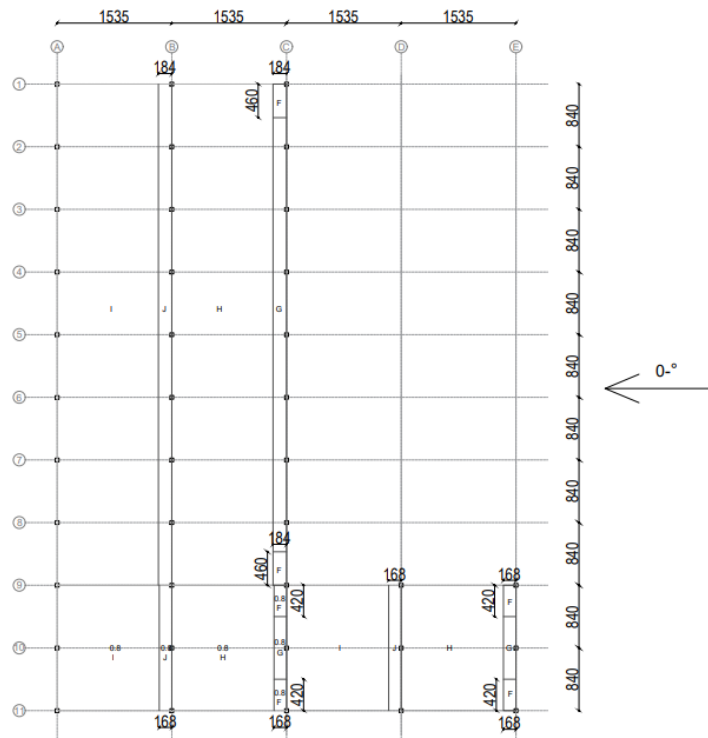
Područje F: $c_{pe,10} = -2,30 \cdot 0,8 = -1,84$

Područje G: $c_{pe,10} = -1,20 \cdot 0,8 = -0,96$

Područje H: $c_{pe,10} = -0,80 \cdot 0,8 = -0,64$

Područje I: $c_{pe,10} = +0,20 \cdot 0,8 = +0,16$ $c_{pe,10} = -0,60 \cdot 0,8 = -0,48$

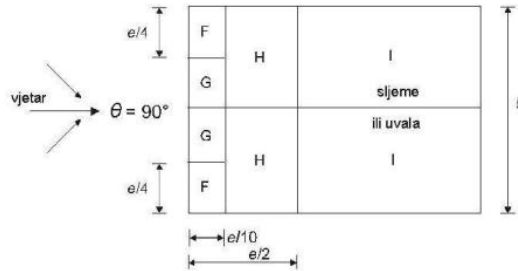
Područje J: $c_{pe,10} = +0,20 \cdot 0,8 = +0,16$ $c_{pe,10} = -0,60 \cdot 0,8 = -0,48$



Slika 4.17. Raspodjela vanjskih tlakova za smjer vjetra 0°

Vjetar $\theta = 90^\circ$ (dvostrešni krov)

$$\alpha = -5^\circ$$



(c) smjer vjetra $\theta=90^\circ$

Slika 4.18. Legenda za ravne krovove, $\theta = 0^\circ$

$$e_1 = \min\{b; 2h\} = \{30,7; 18,4\} = 18,4 \text{ m}$$

$$d_1 = 84 \text{ m}$$

$$e_2 = \min\{b; 2h\} = \{30,7; 18,4\} = 18,4 \text{ m}$$

$$d_2 = 16,8 \text{ m}$$

$$e/4 = 18,4/4 = 4,6 \text{ m}$$

$$e/10 = 18,4/10 = 1,84 \text{ m}$$

$$e/2 = 18,4/2 = 9,2 \text{ m}$$

Tablica 4.6. Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za dvostrešne krovove, $\theta = 0^\circ$

| Nagib α | Područje za smjer vjetra $\theta=90^\circ$ | | | | | | | |
|----------------|--|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | F | | G | | H | | I | |
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| -45° | -1,4 | -2,0 | -1,2 | -2,0 | -1,0 | -1,3 | -0,9 | -1,2 |
| -30° | -1,5 | -2,1 | -1,2 | -2,0 | -1,0 | -1,3 | -0,9 | -1,2 |
| -15° | -1,9 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,8 | -1,2 | -0,8 | -1,2 |
| -5° | -1,8 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,7 | -1,2 | -0,6 | -1,2 |
| 5° | -1,6 | -2,2 | -1,3 | -2,0 | -0,7 | -1,2 | -0,6 | |
| 15° | -1,3 | -2,0 | -1,3 | -2,0 | -0,6 | -1,2 | -0,5 | |
| 30° | -1,1 | -1,5 | -1,4 | -2,0 | -0,8 | -1,2 | -0,5 | |
| 45° | -1,1 | -1,5 | -1,4 | -2,0 | -0,9 | -1,2 | -0,5 | |
| 60° | -1,1 | -1,5 | -1,2 | -2,0 | -0,8 | -1,0 | -0,5 | |
| 75° | -1,1 | -1,5 | -1,2 | -2,0 | -0,8 | -1,0 | -0,5 | |

13

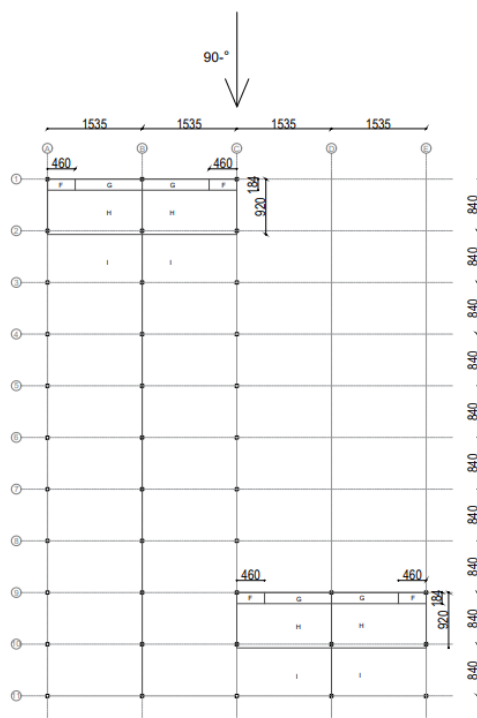
Vanjski koeficijenti pritiska za krov:

Područje F: $c_{pe,10} = -1,8$

Područje G: $c_{pe,10} = -1,20$

Područje H: $c_{pe,10} = -0,70$

Područje I: $c_{pe,10} = -0,60$



Slika 4.19. Raspodjela vanjskih tlakova za smjer vjetra 90.°

Djelovanje vjetra može se izraziti i kao trenje uz plohu koje ovisi o brzini vjetra. Opterećenje trenjem određeno je kao 10% vrijednosti tlaka pri osnovnoj brzini vjetra.

$$w_{fr} = 0,1 \cdot q_p(z) = 0,1 \cdot 1,3 = 0,13 \text{ kN/m}^2$$

Koeficijenti unutrašnjeg pritiska vjetra

$$c_{pi} = +0,20$$

$$c_{pi} = -0,30$$

Rezultantno djelovanje vjetra

1. Negativan vanjski tlak – Pozitivan unutarnji tlak

$$w = w_e + w_i$$

$$q_p(z) = 1,3 \text{ kN/m}^2$$

Tablica 4.7. Rezultantno djelovanje vjetra (odizanje)

| ZONE | c_{pe} | c_{pi} | $q_p(z) \cdot c_{pe} + c_{pi} $ | w [kN/m ²] |
|------|----------|----------|----------------------------------|-------------------------|
| A | - 1,2 | + 0,2 | 1,3 (1,2 + 0,2) | 1,82 |
| B | - 0,8 | + 0,2 | 1,3 (0,8 + 0,2) | 1,30 |
| C | - 0,5 | + 0,2 | 1,3 (0,6 + 0,2) | 1,04 |
| D | + 0,7 | + 0,2 | 1,3 (0,7 - 0,2) | 0,65 |
| E | - 0,3 | + 0,2 | 1,3 (0,3 + 0,2) | 0,65 |
| F | - 2,3 | + 0,2 | 1,3 (2,3 + 0,2) | 3,25 |
| G | - 1,2 | + 0,2 | 1,3 (1,2 + 0,2) | 1,82 |
| H | - 0,8 | + 0,2 | 1,3 (0,8 + 0,2) | 1,30 |
| J | - 0,60 | + 0,2 | 1,3 (0,6 + 0,2) | 1,04 |
| I | - 0,60 | + 0,2 | 1,3 (0,6 + 0,2) | 1,04 |

2. Pozitivan vanjski tlak – Negativan unutarnji tlak

$$w = w_e + w_i$$

$$q_p(z) = 1,3 \text{ kN/m}^2$$

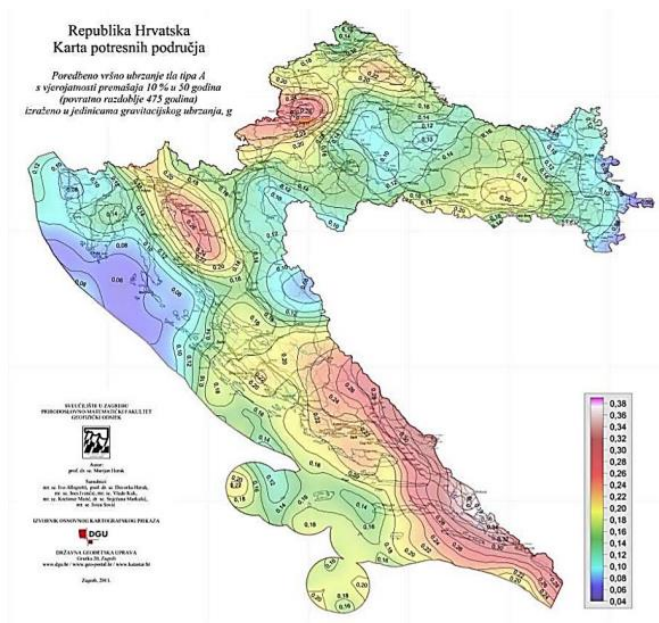
Tablica 4.8. Rezultantno djelovanje vjetra (pritisak)

| ZONE | c_{pe} | c_{pi} | $q_p(z) \cdot c_{pe} + c_{pi} $ | w [kN/m ²] |
|------|----------|----------|----------------------------------|-------------------------|
| A | -1 ,2 | - 0,3 | 1,3 (-1,2 + 0,3) | 1,17 |
| B | - 0,8 | - 0,3 | 1,3 (- 0,8 + 0,3) | 0,65 |
| C | - 0,5 | - 0,3 | 1,3 (- 0,6 + 0,3) | 0,39 |
| D | + 0,7 | - 0,3 | 1,3 (0,7 + 0,3) | 1,30 |
| E | - 0,3 | - 0,3 | 1,3 (-0,3 + 0,3) | 0,00 |
| F | - 2,3 | - 0,3 | 1,3 (-2,3 + 0,3) | 2,60 |
| G | - 1,2 | - 0,3 | 1,3 (-1,2 - 0,3) | 1,17 |
| H | - 0,8 | - 0,3 | 1,3 (0,8 - 0,3) | 0,65 |
| J | + 0,2 | - 0,3 | 1,3 (0,2 + 0,3) | 0,65 |
| I | + 0,2 | - 0,3 | 1,3 (0,2 + 0,3) | 0,65 |

4.5. Opterećenje potresom

Djelovanje potresa određeno je prema HRN EN 1998-1:2011.

Potresne sile proračunate su metodom višemodalne (spektralne) analize prema EC-8 pomoću računalnog programa Tower.



Slika 4.20. Karta potresnih područja Republike Hrvatske za povratno razdoblje od 475 godina



Slika 4.21. Prikaz parametara vršnog ubrzanja tla promatranu lokaciju

Građevina se nalazi na području Biograda na moru gdje je:

Horizontalno vršno ubrzanje tla za povratni period $T_p = 95$ godina, životni vijek građevine 10 godina i prateću vjerojatnost od 10% za granično stanje uporabljivosti $a_{gR} = 0,105$ g.

Horizontalno vršno ubrzanje tla za povratni period $T_p = 475$ godina, životni vijek građevine 50 godina i prateću vjerojatnost od 10% za granično stanje nosivosti $a_{gR} = 0,209g$.

Građevina je temeljena na temeljnom tlu klase A.

Razred duktilnosti: DCM

Razred važnosti građevine II:

1.0

$\gamma =$

Tablica 4.9.. Razredi važnosti za zgrade

| 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. |

Faktor ponašanja određuje se prema izrazu:

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

gdje je:

q_0 - osnovni faktor ponašanja

k_w - faktor prevladavajućeg sloma

Tablica 4.10. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 za sustave pravilne po visini

| Tip konstrukcije | Razred duktilnosti | |
|--|-------------------------|-------------------------|
| | DCM | DCH |
| Okvirni sustav, dvojni sustav, sustav povezanih zidova | 3,0 α_1/α_1 | 4,5 α_1/α_1 |
| Sustav nepovezanih zidova | 3,0 | 4,0 α_1/α_1 |
| Torzijski savitljiv sustav | 2,0 | 3,0 |
| Sustav obrnutog njihala | 1,5 | 2,0 |

α_u - množitelj horizontalnog seizmičkog djelovanja pri pojavi mehanizma

α_1 - množitelj horizontalnog seizmičkog djelovanja pri pojavi prvog plastifikacijskog zgloba

Za sustav obrnutog njihala:

$$q_0 = 1,5$$

$$k_w = 1,0$$

Uvrštavanje vrijednosti koeficijenta q_0 i k_w u jednadžbu:

$$q = 1,5 \cdot 1,0 = 1,5$$

Seizmička opterećenja u konstruktivnom smislu preuzimaju konzolni stupovi.

Obzirom na geometrijske karakteristike i raspored konstruktivnih elemenata usvaja se isti faktor ponašanja za oba smjera.

Tip spektra **1**

Vrijednosti parametara koji opisuju elastični spektar odziva za usvojeni razred tla A:

$$S = 1,0; T_B(S) = 0,15; T_C(S) = 0,4; T_D(S) = 2,0$$

4.5.1. Rezultati višemodalne spektralne analize

Potresno opterećenje je automatski generirano na temelju sudjelujućih masa generiranih iz opterećenja vlastitom težinom i dodatnog stalnog opterećenja: 1,0 mG (vlastita težina) + 1,0 mdG (dodatno stalno). Na temelju ulaznih podataka napravljena je modalna analiza iz koje su dobiveni vlastiti oblici konstrukcije i njima pripadajući periodi sa sudjelujućim masama. Za uzetih dvadeset prvih modova aktivirano je $\approx 90\%$ mase konstrukcije u x i u y smjeru. Time je zadovoljen kriterij HRN EN 1998-1:2011 za korištenje višemodalne spektralne analize. Rezultati dinamičke analize su prikazani u nastavku.

Faktori opterećenja za proračun masa

| No | Naziv | Koeficijent |
|----|---------------------|-------------|
| 1 | Vlastita težina (g) | 1.00 |
| 2 | Dodatno stalno | 1.00 |

Periodi osciliranja konstrukcije

| No | T [s] | f [Hz] |
|----|--------|--------|
| 1 | 0.8349 | 1.1978 |
| 2 | 0.7438 | 1.3445 |
| 3 | 0.7102 | 1.4080 |
| 4 | 0.7093 | 1.4099 |
| 5 | 0.6893 | 1.4507 |
| 6 | 0.6850 | 1.4598 |
| 7 | 0.6788 | 1.4733 |
| 8 | 0.6716 | 1.4890 |
| 9 | 0.6646 | 1.5047 |
| 10 | 0.6587 | 1.5182 |
| 11 | 0.6545 | 1.5279 |
| 12 | 0.6519 | 1.5339 |
| 13 | 0.6003 | 1.6658 |
| 14 | 0.5763 | 1.7353 |
| 15 | 0.5716 | 1.7496 |
| 16 | 0.4396 | 2.2749 |
| 17 | 0.3749 | 2.6676 |
| 18 | 0.3428 | 2.9170 |
| 19 | 0.2835 | 3.5271 |
| 20 | 0.2681 | 3.7302 |

Slika 4.22. Faktori opterećenja za proračun masa i periodi osciliranja konstrukcije

Seizmički proračun: EC8 (HRN EN 1998-1:2011)

| | |
|------------------------|---------------------|
| Razred tla: | A |
| Razred važnosti: | II ($\gamma=1.0$) |
| Odnos $a_g/R/g$: | 0.210 |
| Koeficijent prigušenja | 0.05 |

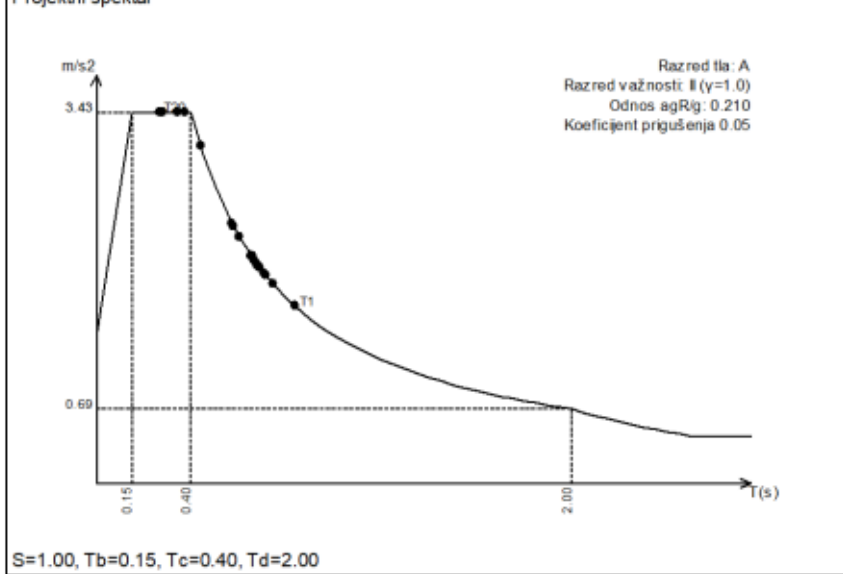
Faktori pravca potresa:

| Slučaj opterećenja | Kut α [°] | k_α | $k_{\alpha+90^\circ}$ | k_z | Faktor P _r |
|--------------------|------------------|------------|-----------------------|-------|-----------------------|
| Sx | 0 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.500* |
| Sy | 90 | 1.000 | 0.000 | 0.000 | 1.500* |

Tip spektra

| Slučaj opterećenja | S | T _b | T _c | T _d | avg/a _g |
|--------------------|-------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| Sx | 1.000 | 0.150 | 0.400 | 2.000 | 1.000 |
| Sy | 1.000 | 0.150 | 0.400 | 2.000 | 1.000 |

Projektni spektar

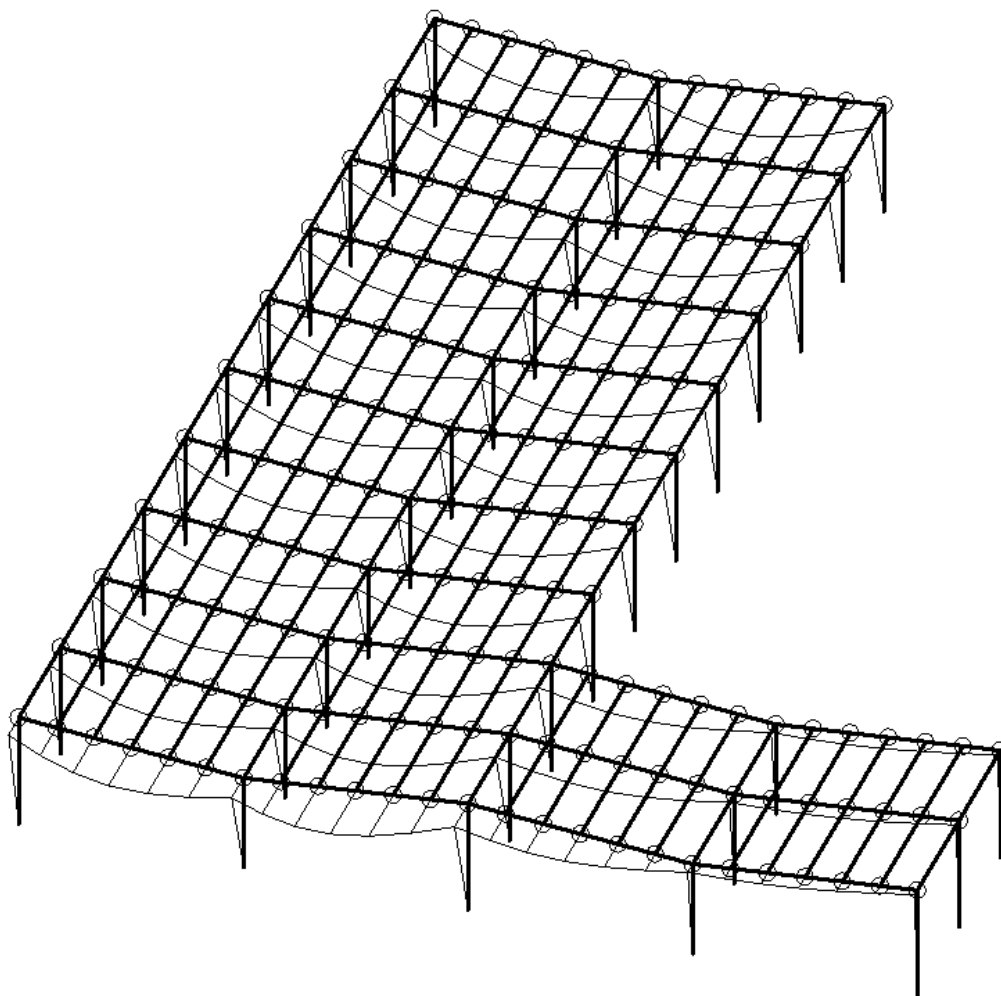


Faktori participacije - Sudjelujuće mase

| Ton | U [$\alpha=0^\circ$] | U [$\alpha=90^\circ$] |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | 0.00 | 77.24 |
| 2 | 0.00 | 1.84 |
| 3 | 0.00 | 3.47 |
| 4 | 21.90 | 0.00 |
| 5 | 45.70 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 4.56 | 0.00 |
| 8 | 0.03 | 0.00 |
| 9 | 1.62 | 0.00 |
| 10 | 0.19 | 0.00 |
| 11 | 0.80 | 0.00 |
| 12 | 1.69 | 0.00 |
| 13 | 7.59 | 0.00 |
| 14 | 0.00 | 0.02 |
| 15 | 3.95 | 0.00 |
| 16 | 0.00 | 0.06 |
| 17 | 0.00 | 0.00 |
| 18 | 0.00 | 0.10 |
| 19 | 0.00 | 2.29 |
| 20 | 0.00 | 3.00 |
| ΣU (%) | 88.02 | 88.02 |

Slika 4.23. Rezultati višemodalne spektralne analize

Forma osciliranja prvog vlastitog vektora

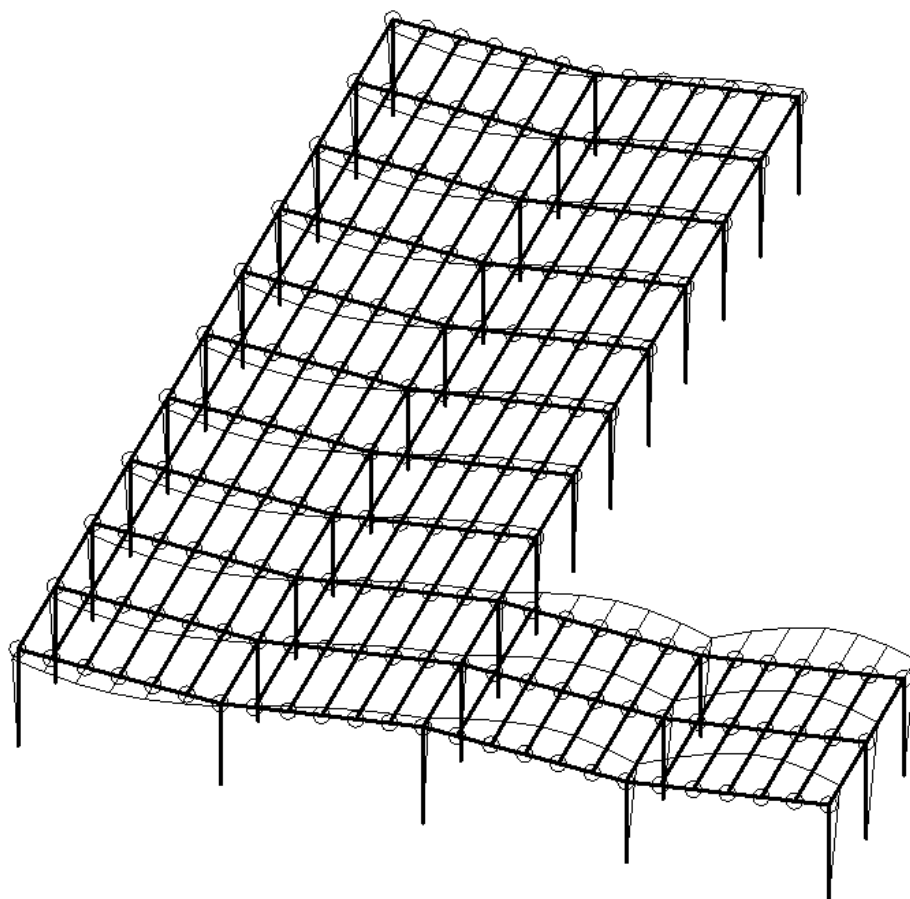


Izometrija

Forma osciliranja: 1/20 [T=0.8349sec / f=1.20Hz]

Slika 4.24. Prvi vlastiti vektor

Forma osciliranja drugog vlastitog vektora

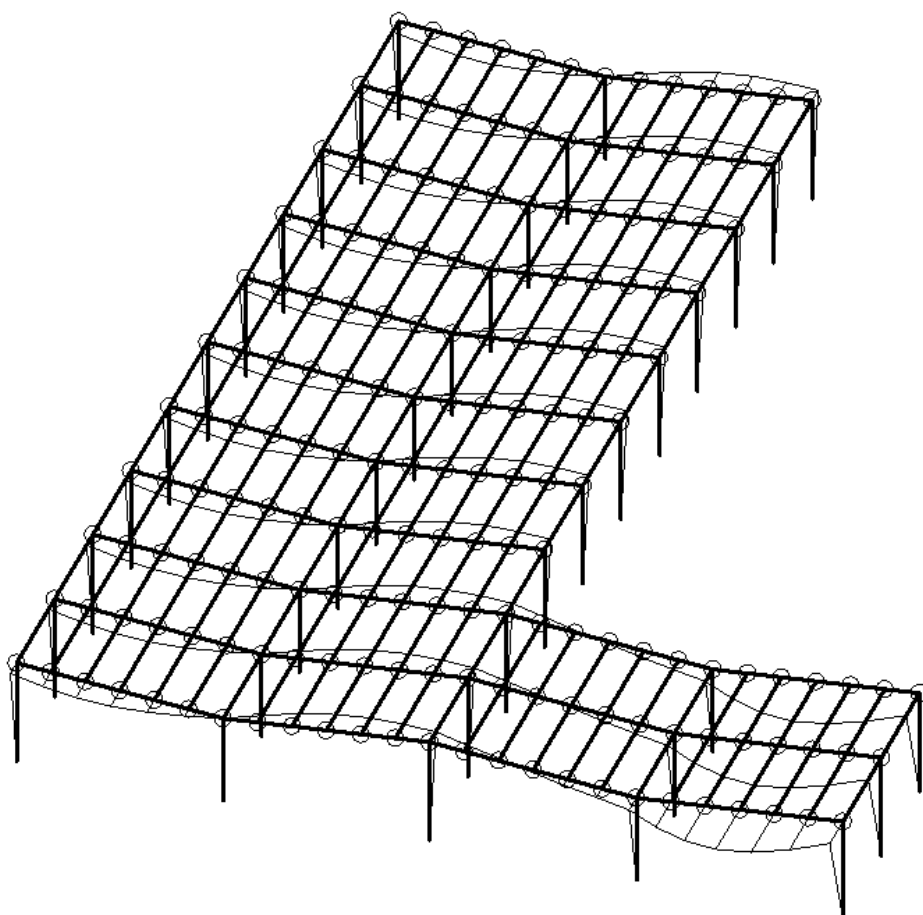


Izometrija

Forma osciliranja: 2/20 [T=0.7438sec / f=1.34Hz]

Slika 4.25. Drugi vlastiti vektor

Forma osciliranja trećeg vlastitog vektora

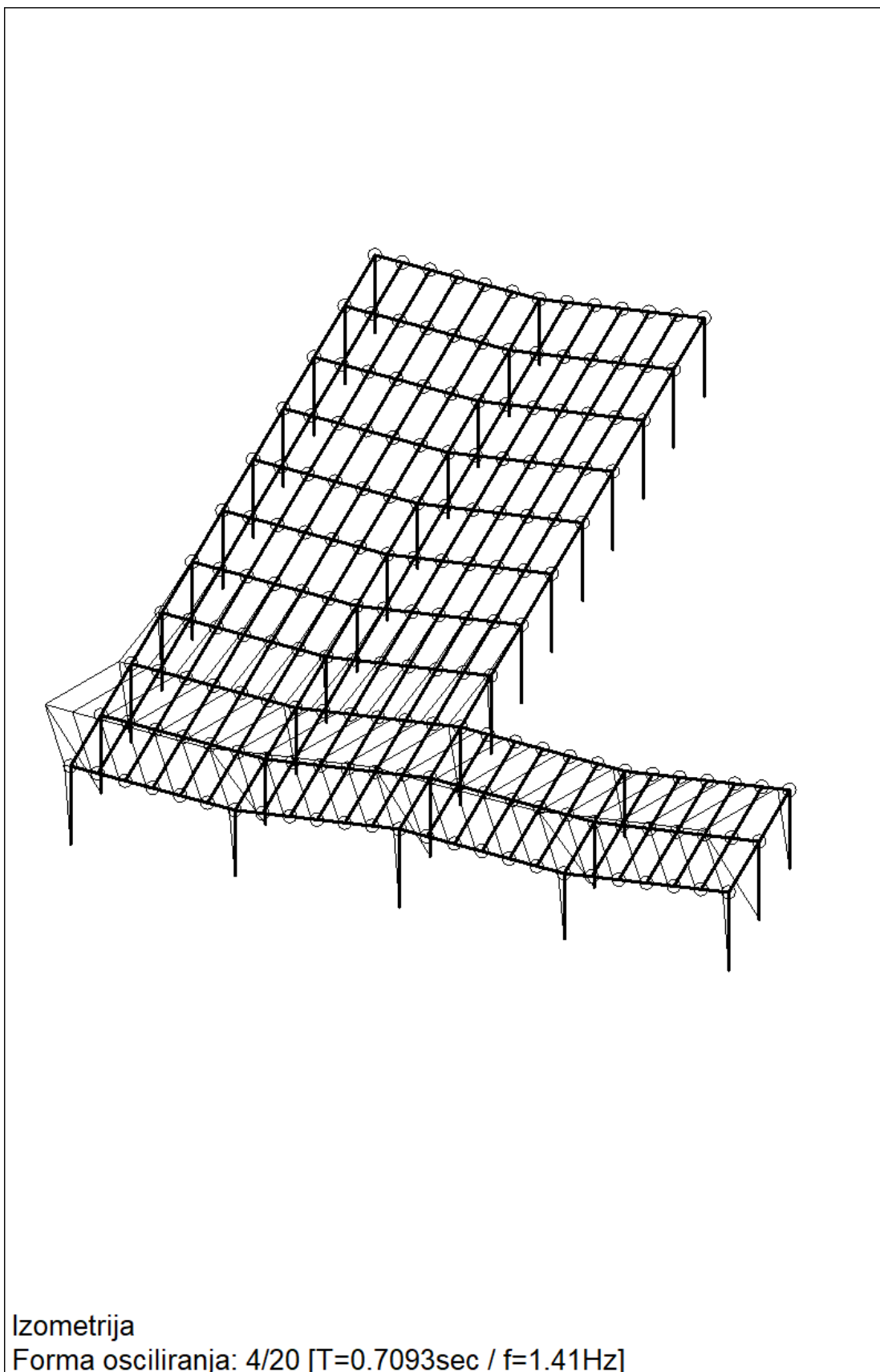


Izometrija

Forma osciliranja: 3/20 [T=0.7102sec / f=1.41Hz]

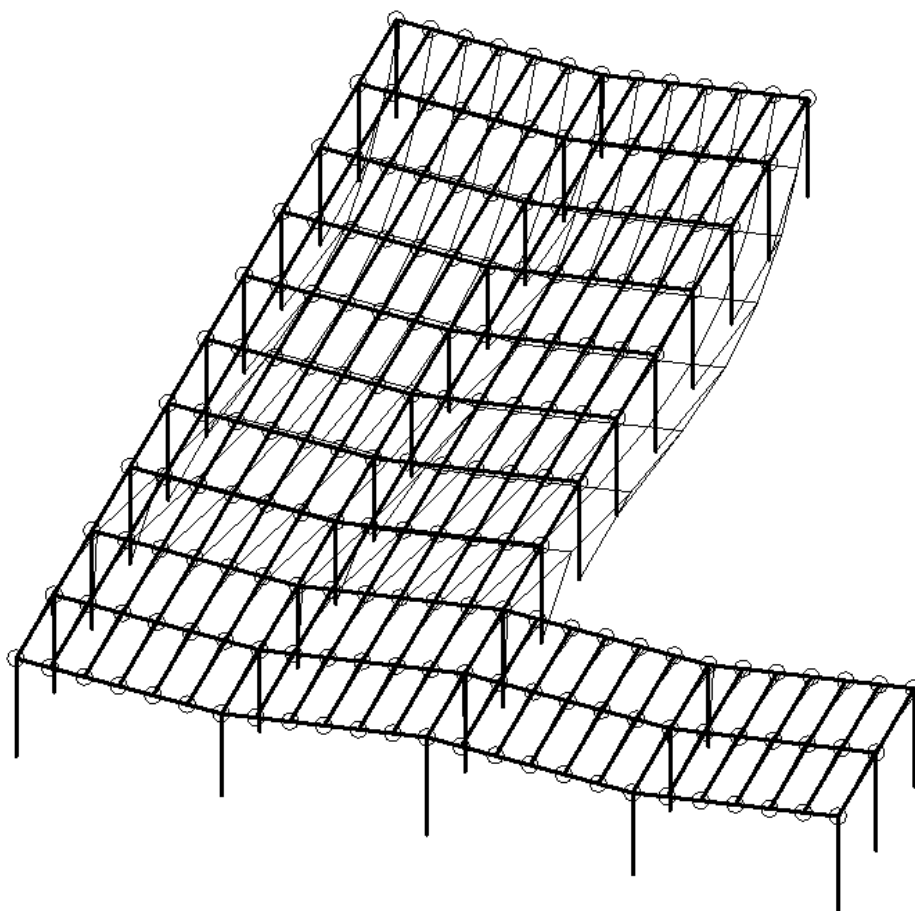
Slika 4.26. Treći vlastiti vektor

Forma osciliranja četvrtog vlastitog vektora



Slika 4.27. Četvrti vlastiti vektor

Forma osciliranja petog vlastitog vektora



Izometrija

Forma osciliranja: 5/20 [T=0.6893sec / f=1.45Hz]

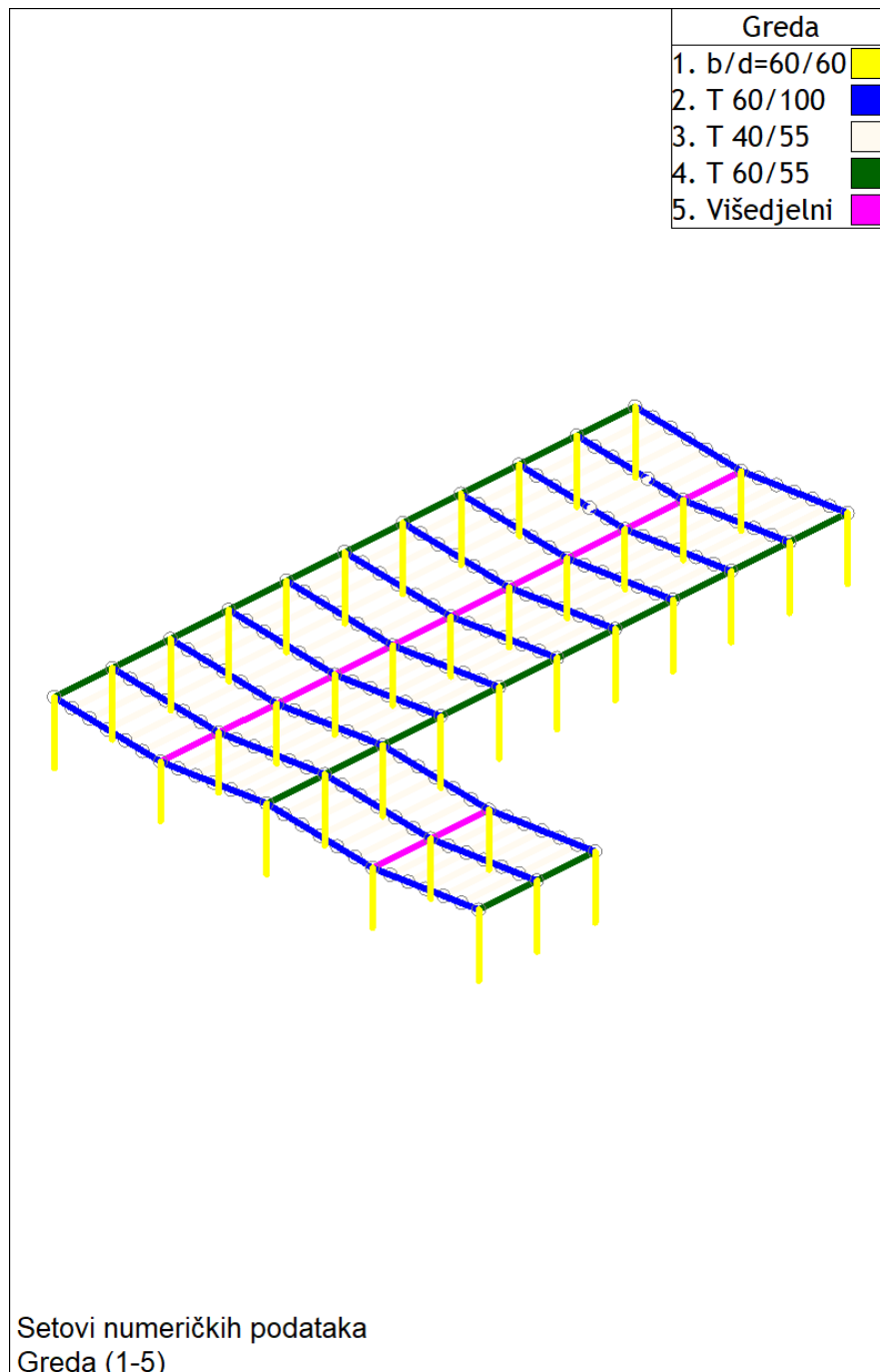
Slika 4.28. Peti vlastiti vektor

5. NUMERIČKI MODEL I KOMBINACIJE OPTREĆENJA

5.1. Numerički model

Koristeći računalni program Tower izrađen je prostorni model hale.

Opterećenja koja djeluju na konstrukciju su: stalno opterećenje (vlastita težina elemenata), dodatno stalno (nekonstruktivni slojevi konstrukcije), snijeg, vjetar i potres. Sva su opterećenja osim potresnog (koje je generirano kroz računalni program) zadana kaolinijska opterećenja.



Slika 5.1. Prikaz numeričkog modela

5.2. Kombinacije opterećenja

Opterećenja:

g – vlastita težina

Δg – dodatno stalno opterećenje

w_1 – pozitivan pritisak vanjskog vjetra

w_2 – negativan pritisak vanjskog vjetra

w_3 – pozitivan pritisak unutarnjeg vjetra

w_4 – negativan pritisak unutarnjeg vjetra

s – snijeg

s_x – potres u x smjeru

s_y – potres u y smjeru

q – voda u središnjoj krovnoj uvali

5.2.1. Granično stanje nosivosti

Za dokaz nosivosti elemenata konstrukcije predmetne građevine osnovna djelovanja kombiniraju se za slijedeća granična stanja:

a) $1,35 \cdot (g + \Delta g) + 1,5 \cdot (w_1 + w_4)$

b) $1,35 \cdot (g + \Delta g) + 1,5 \cdot s$

c) $1,35 \cdot (g + \Delta g) + 1,5 \cdot (w_1 + w_4) + 1,5 \cdot (0,6 \cdot s)$

d) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,5 \cdot (w_2 + w_3)$

e) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot s_x + 0,3 \cdot s_y$

f) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot s_x - 0,3 \cdot s_y$

g) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot (-s_x) + 0,3 \cdot s_y$

h) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot (-s_x) - 0,3 \cdot s_y$

i) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot s_y + 0,3 \cdot s_x$

j) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot s_y - 0,3 \cdot s_x$

k) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot (-s_y) + 0,3 \cdot s_x$

l) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot (-s_y) - 0,3 \cdot s_x$

5.2.2. Granično stanje uporabljivosti

a) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot (w_1 + w_4)$

b) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot s$

c) $1,0 \cdot (g + \Delta g) + 1,0 \cdot (w_1 + w_4) + 1,0 \cdot (0,6 \cdot s)$

6. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA KONSTRUKCIJE

6.1. Provjera krovnih termopanela

d = 20 cm

Računski raspon: L = 2,56 m

Mjerodavno nefaktorizirano opterećenje na krovni panel (vlastita težina nije uzeta u obzir):

$$\Delta g = 0,1 \text{ kN/m}^2$$

$$w_1 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_2 = -2,3 \text{ kN/m}^2$$

$$w_3 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_4 = -0,3 \text{ kN/m}^2$$

$$s = 0,47 \text{ kN/m}^2$$

Djelovanja prema dole (pritisak):

$$0,1 + 1,3 \cdot (0,2+0,3) + 0,47 = 1,22 \text{ kN/m}^2$$

Djelovanja prema gore (odizanje):

$$1,3 \cdot (2,3+0,2) = 3,25 \text{ kN/m}^2$$

Potrebno je ugraditi krovne termopanele čija je dozvoljena nosivost na računskom rasponu 2,56 m minimalno 3,25 kN/m² (bez vlastite težine panela).

Tablica 6.1. Maksimalno dozvoljeno opterećenje krovnog panela

Load span tables for panels **KS1000 FF**

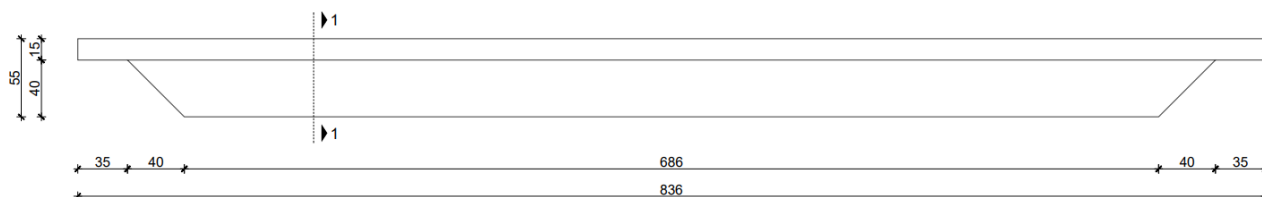
Maximum load for roof panels Kingspan KS1000 FF; wind suction; thickness of steel facings ext. 0,6 mm/int. 0,5 mm, K-Roc® stone wool core, installed as SINGLE SPAN

| Panel thickness [mm] | Limit State | Maximum load, kN/m ² for spans - wind SUCTION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|--|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|
| | | 1,00 m | 1,25 m | 1,50 m | 1,75 m | 2,0 m | 2,25 m | 2,50 m | 2,75 m | 3,00 m | 3,25 m | 3,50 m | 3,75 m | 4,00 m | 4,25 m | 4,50 m | 4,75 m | 5,00 m | 5,25 m | 5,50 m | 5,75 m | 6,00 m | 6,25 m | 6,50 m | 6,75 m | 7,00 m | | | |
| 100 | ULS | -7,43 | -5,35 | -4,18 | -3,44 | -2,93 | -2,56 | -2,27 | -2,04 | -1,86 | -1,71 | -1,58 | -1,48 | -1,38 | -1,30 | -1,23 | -1,17 | -1,08 | -0,99 | -0,87 | -0,75 | -0,65 | -0,57 | - | - | - | | | |
| | SLS L/200 | -7,43 | -5,35 | -4,18 | -3,44 | -2,93 | -2,56 | -2,27 | -2,04 | -1,86 | -1,71 | -1,58 | -1,48 | -1,38 | -1,30 | -1,23 | -1,17 | -1,08 | -0,99 | -0,87 | -0,75 | -0,65 | -0,57 | - | - | - | | | |
| 120 | ULS | -8,93 | -6,44 | -5,05 | -4,16 | -3,54 | -3,09 | -2,74 | -2,47 | -2,25 | -2,07 | -1,91 | -1,78 | -1,67 | -1,57 | -1,45 | -1,30 | -1,19 | -1,09 | -1,01 | -0,93 | -0,87 | -0,81 | -0,77 | -0,72 | -0,68 | | | |
| | SLS L/200 | -8,93 | -6,44 | -5,05 | -4,16 | -3,54 | -3,09 | -2,74 | -2,47 | -2,25 | -2,07 | -1,91 | -1,78 | -1,67 | -1,57 | -1,45 | -1,30 | -1,19 | -1,09 | -1,01 | -0,93 | -0,87 | -0,81 | -0,77 | -0,72 | -0,68 | | | |
| 150 | ULS | -8,98 | -6,48 | -5,08 | -4,18 | -3,56 | -3,11 | -2,76 | -2,49 | -2,27 | -2,09 | -1,93 | -1,80 | -1,69 | -1,59 | -1,51 | -1,41 | -1,29 | -1,19 | -1,10 | -1,02 | -0,95 | -0,89 | -0,83 | -0,79 | -0,74 | | | |
| | SLS L/200 | -8,98 | -6,48 | -5,08 | -4,18 | -3,56 | -3,11 | -2,76 | -2,49 | -2,27 | -2,09 | -1,93 | -1,80 | -1,69 | -1,59 | -1,51 | -1,41 | -1,29 | -1,19 | -1,10 | -1,02 | -0,95 | -0,89 | -0,83 | -0,79 | -0,74 | | | |
| 175 | ULS | -9,43 | -6,99 | -5,56 | -4,63 | -3,97 | -3,48 | -3,11 | -2,81 | -2,56 | -2,36 | -2,19 | -2,05 | -1,92 | -1,81 | -1,72 | -1,63 | -1,55 | -1,46 | -1,35 | -1,25 | -1,16 | -1,09 | -1,02 | -0,96 | -0,91 | | | |
| | SLS L/200 | -9,43 | -6,99 | -5,56 | -4,63 | -3,97 | -3,48 | -3,11 | -2,81 | -2,56 | -2,36 | -2,19 | -2,05 | -1,92 | -1,81 | -1,72 | -1,63 | -1,55 | -1,46 | -1,35 | -1,25 | -1,16 | -1,09 | -1,02 | -0,96 | -0,91 | | | |
| 200 | ULS | -10,08 | -7,58 | -6,09 | -5,10 | -4,39 | -3,87 | -3,46 | -3,13 | -2,86 | -2,64 | -2,45 | -2,29 | -2,15 | -2,03 | -1,92 | -1,83 | -1,74 | -1,67 | -1,60 | -1,50 | -1,39 | -1,30 | -1,22 | -1,14 | -1,08 | | | |
| | SLS L/200 | -10,08 | -7,58 | -6,09 | -5,10 | -4,39 | -3,87 | -3,46 | -3,13 | -2,86 | -2,64 | -2,45 | -2,29 | -2,15 | -2,03 | -1,92 | -1,83 | -1,74 | -1,67 | -1,60 | -1,50 | -1,39 | -1,30 | -1,22 | -1,14 | -1,08 | | | |

6.2. Proračun rubne krovne podrožnice P1

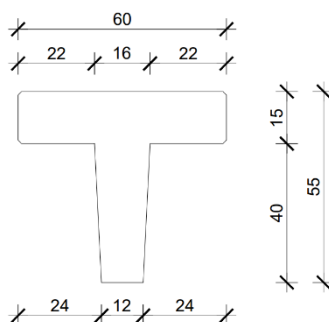
Rubne krovne podrožnice predviđene su kao armiranobetonske montažne podrožnice T poprečnog presjeka. Sve podrožnice su istih duljina zbog pravilnog rasporeda stupova. Visina podrožnica je 55 cm, širina gornjeg pojasa 60 cm, a debljina pojasa 15 cm. Širina hrpta na dnu je 12 cm. Nagib bočnih ploha je 4:1. Podrožnice se oslanjaju na glavne nosače samo preko gornjeg pojasa. Nalijeganje na gornji pojas glavnih nosača je u duljini 28 cm. Za sve podrožnice predviđen je beton C30/37 te armatura B500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 2,0-2,5 cm. Svi spojevi podrožnica s krovnim T nosačima su nepomični (fiksni). Beton za zapunjenje je C30//37.

6.2.1. Analiza opterećenja



Slika 6.1. Pogled na podrožnicu P1

Presjek 1-1



Slika 6.2. Poprečni presjek podrožnice P1

Materijal: C30/37

Čelik: B500B

Stalno opterećenje:

Vlastita težina:

g - Vlastita težina konstrukcijskog elemenata je automatski uključena u programskom paketu Tower.

Dodatno stalno opterećenje (sendvič panel i instalacije):

$$\Delta g = 0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{2,56}{2} \text{ m} = 0,58 \text{ kN/m}$$

Pokretno opterećenje:

Vjetar (preko krovnog lima):

$$w_p = 0,65 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{2,56}{2} \text{ m} = 0,83 \text{ kN/m}$$

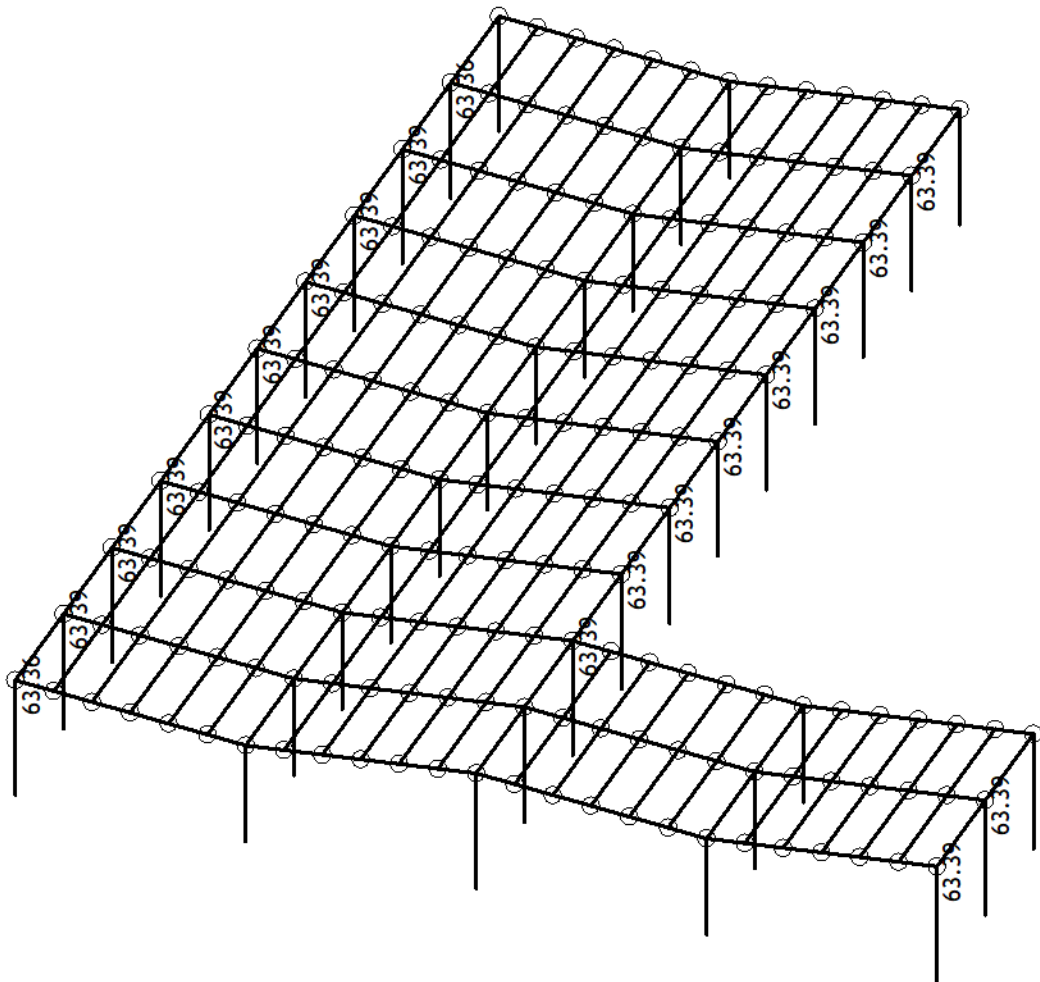
$$w_o = 3,25 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{2,56}{2} \text{ m} = 4,16 \text{ kN/m}$$

Snijeg (preko krovnog lima):

$$s_k = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot \frac{2,56}{2} \text{ m} = 0,52 \text{ kN/m}$$

6.2.2. Rezne sile

GSN: $1.35x(g)+1.35x(dg)+0.9x(s)+1.5x(w1+w4)$

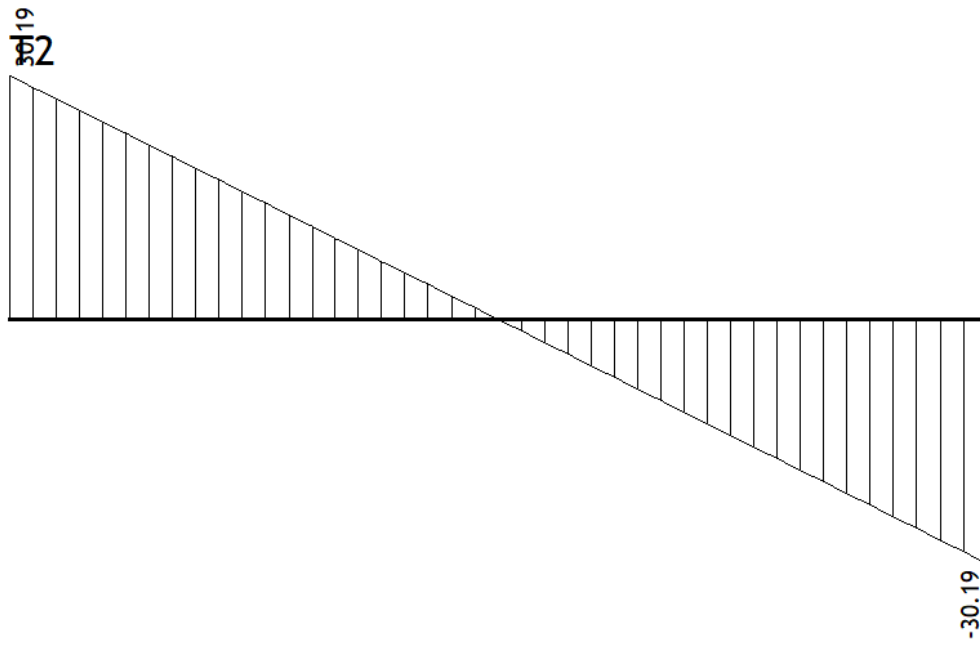


Izometrija

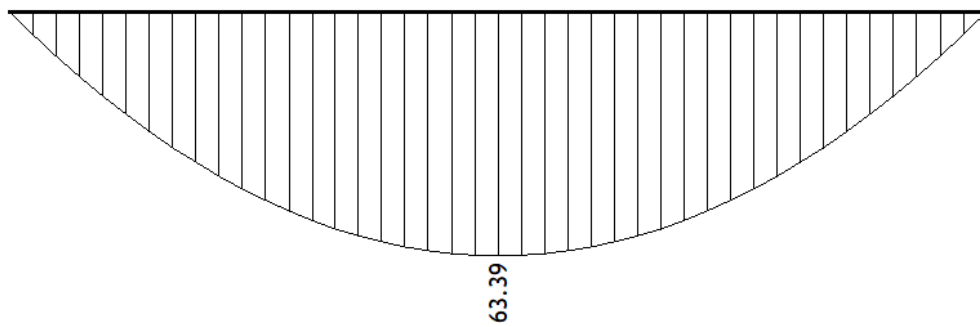
Utjecaji u gredi: max $M_3=63.39$ kNm

Slika 6.3. M_y (kNm) za kombinaciju GSN (pritisak)

GSN: $1.35x(g)+1.35x(dg)+0.9x(s)+1.5x(w1+w4)$



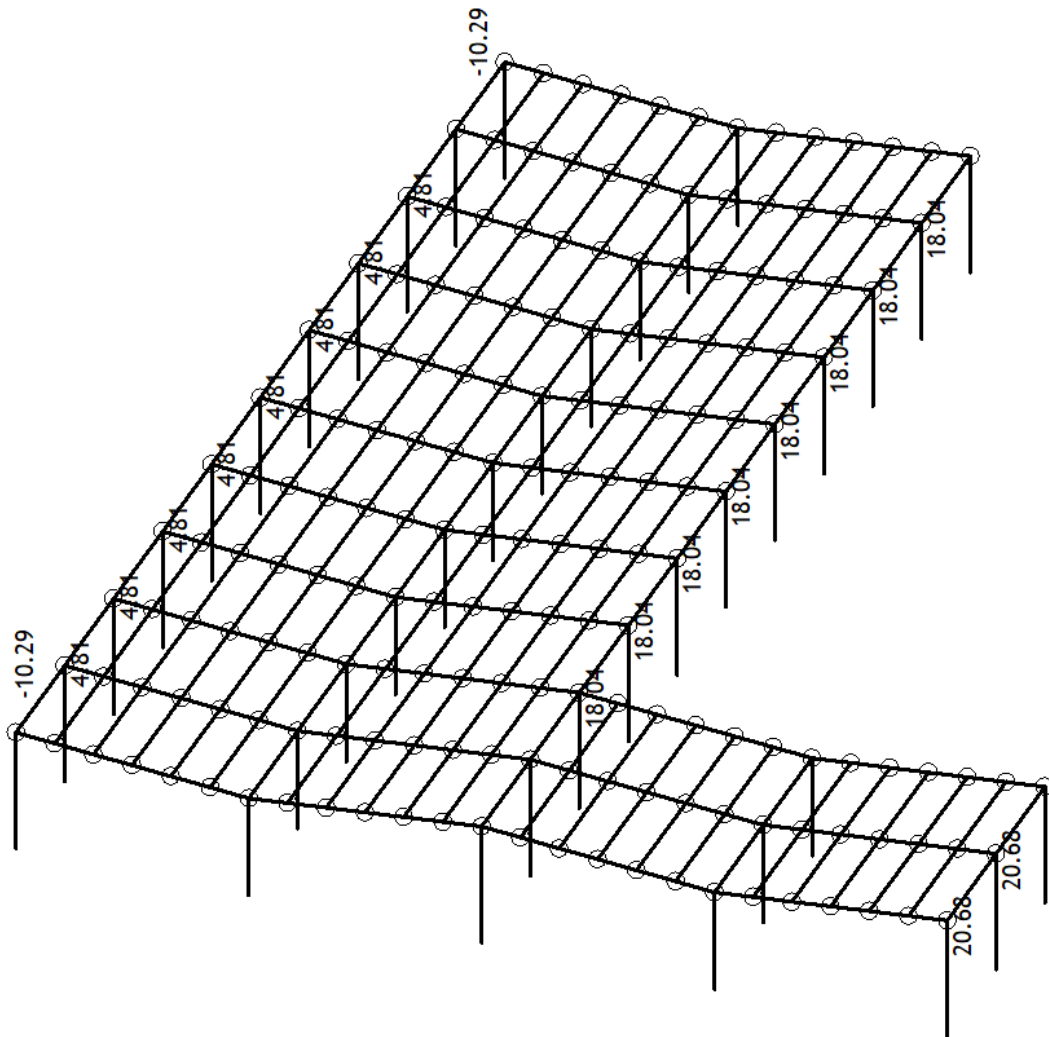
M3



T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.4. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSN (pritisak)

GSN: $g+dg+1.5x(w2+w3)$



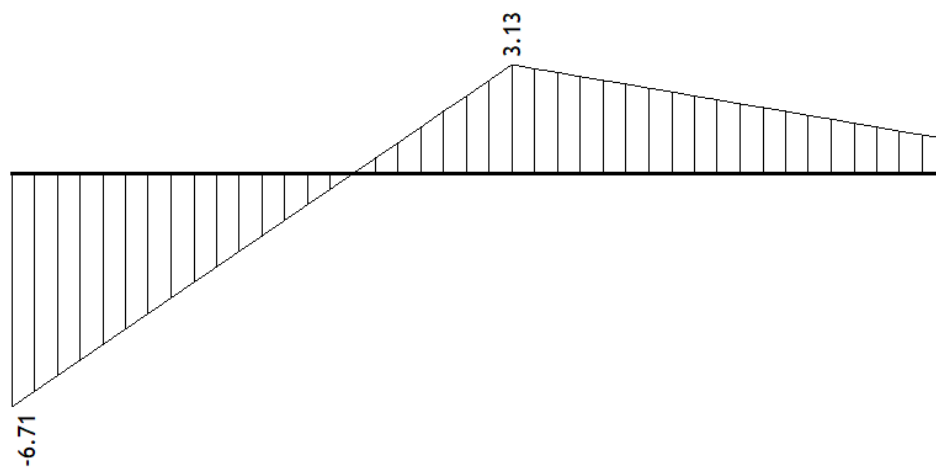
Izometrija

Utjecaji u gredi: max $M_3 = 20.68$ / min $M_3 = -10.29$ kNm

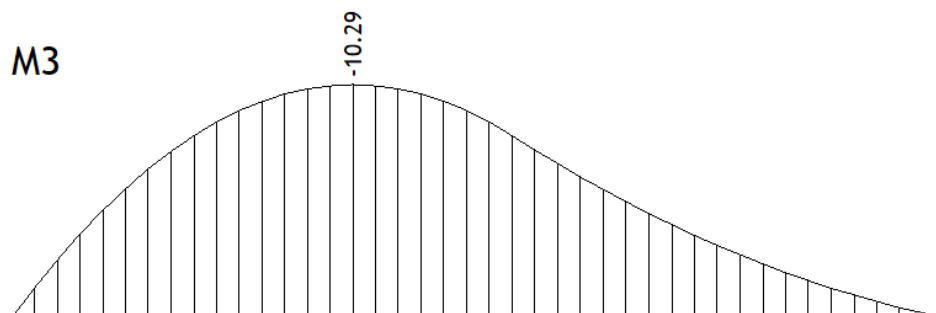
Slika 6.5. M_y (kNm) za kombinaciju GSN (odizanje)

GSN: $g+dg+1.5x(w2+w3)$

T2



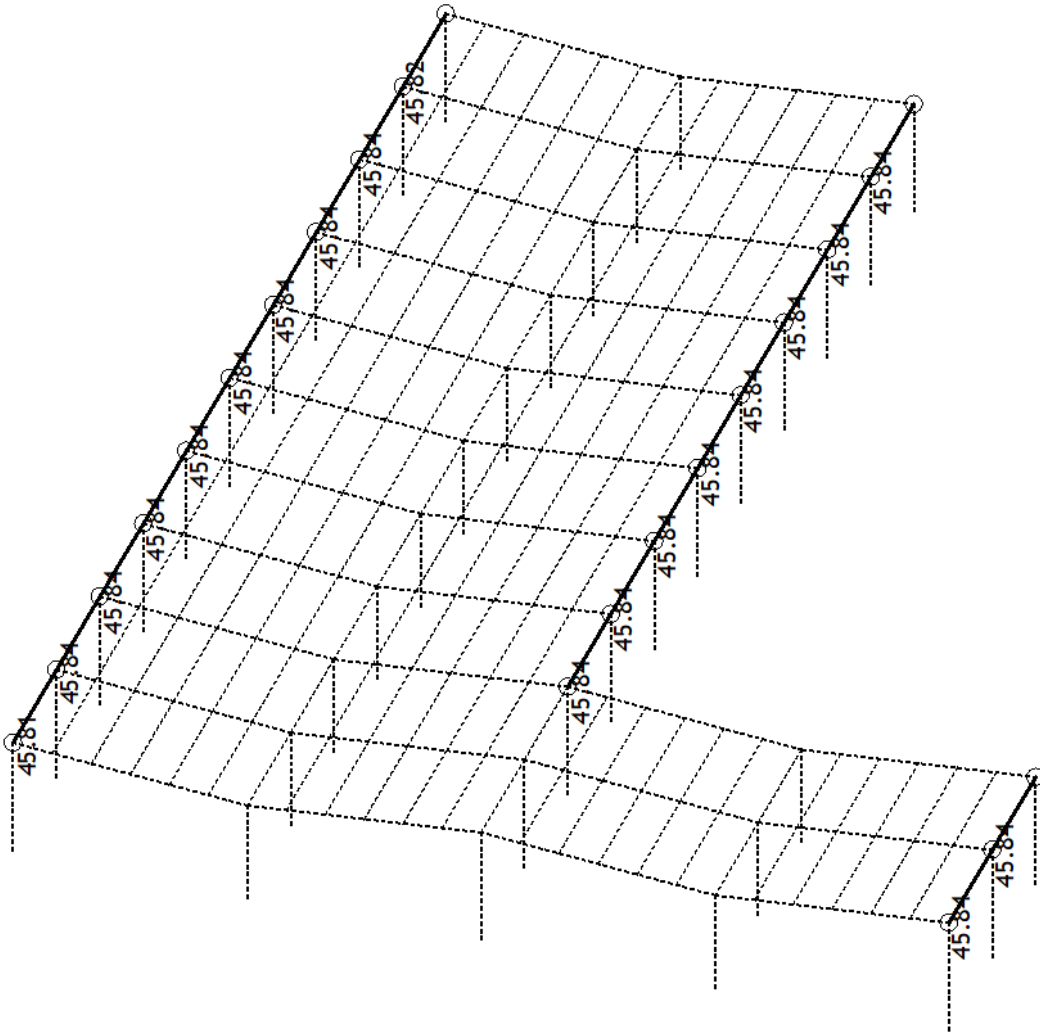
M3



T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.6. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSN (odizanje)

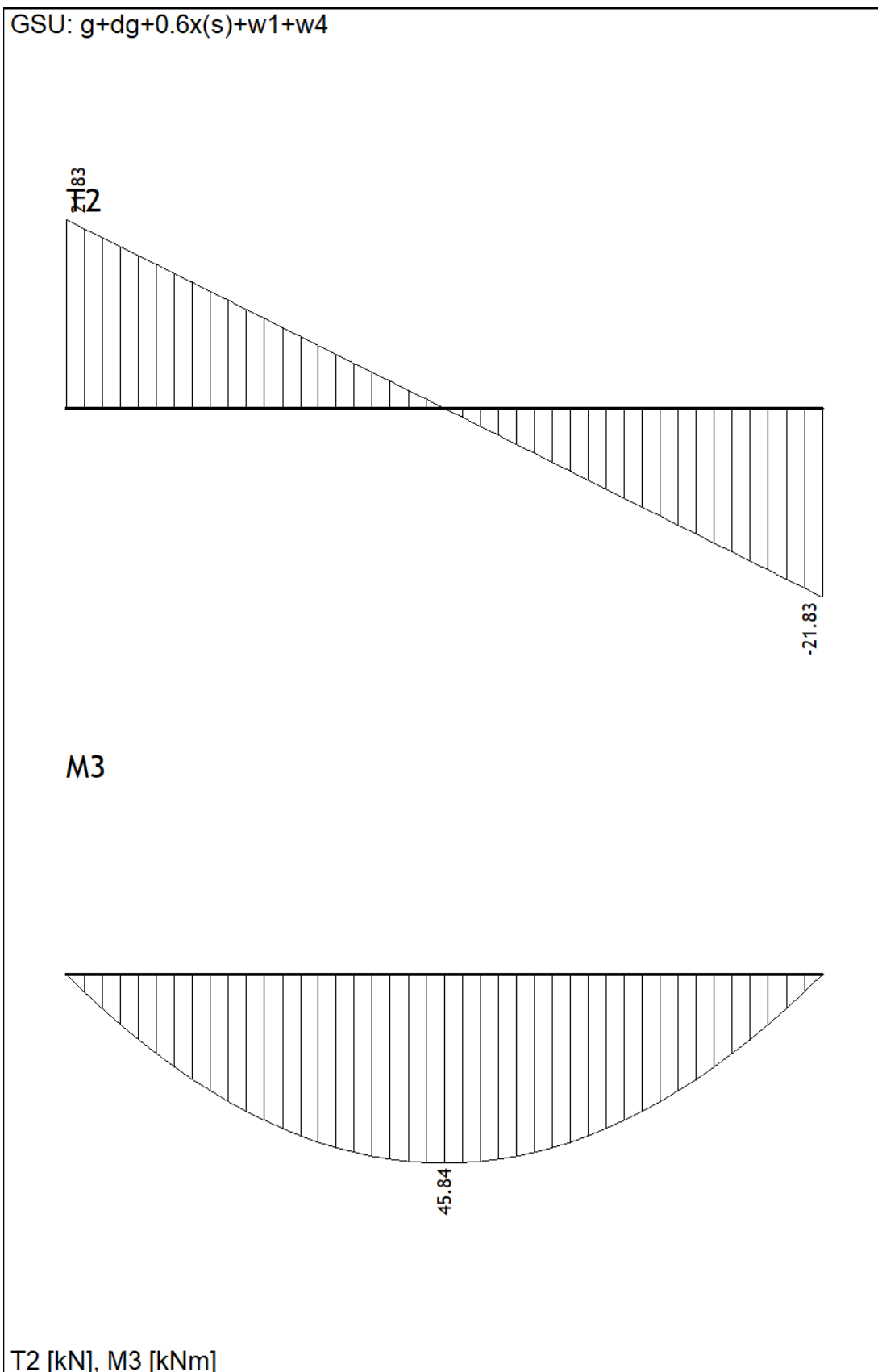
GSU: $g+dg+0.6x(s)+w1+w4$



Izometrija

Utjecaji u gredi: $\max M3=45.84 \text{ kNm}$

Slika 6.7. M_y (kNm) za kombinaciju GSU

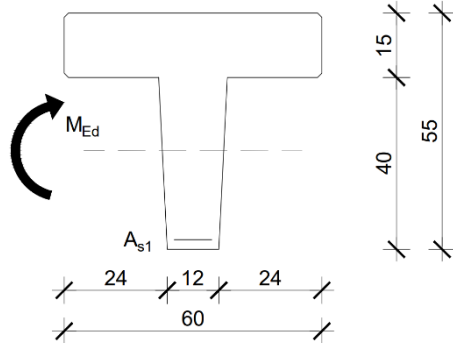


Slika 6.8. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSU

6.2.3. Dimenzioniranje

6.2.3.1. Savijanje oko horizontalne osi

Donja zona



$$M_{Ed} = 63,39 \text{ kNm}$$

$$h = 55 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 55 - 5 = 50 \text{ cm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{63,39 \cdot 100}{60 \cdot 50^2 \cdot 2,0} = 0,02 \rightarrow \mu_{sd} = 0,021$$

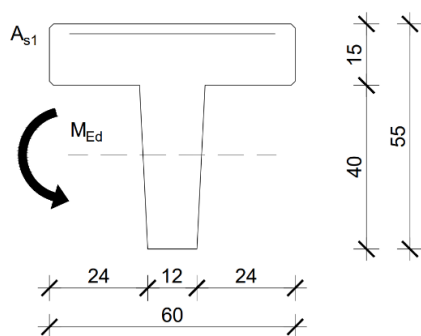
$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 0,8\text{‰}, \zeta = 0,974, \xi = 0,074$$

$$x = \xi \cdot d = 0,074 \cdot 50 = 3,7 \text{ cm} \leq h_f = 15 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{63,36 \cdot 100}{0,974 \cdot 50 \cdot 43,48} = 2,99 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 2Ø14 (A_s=3,08 cm²)

Gornja zona



$$M_{Ed} = -10,29 \text{ kNm}$$

$$h = 55 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 55 - 5 = 50 \text{ cm}$$

$$b = 12 \text{ cm}$$

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{-10,29 \cdot 100}{12 \cdot 50^2 \cdot 2,0} = 0,02 \rightarrow \mu_{sd} = 0,021$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 0,8\text{‰}, \zeta = 0,974, \xi = 0,074$$

$$x = \xi \cdot d = 0,074 \cdot 50 = 3,7 \text{ cm} \leq h_f = 15 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{-10,29 \cdot 100}{0,974 \cdot 50 \cdot 43,48} = 0,49 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 2Ø10 (A_s= 1,57 cm²)

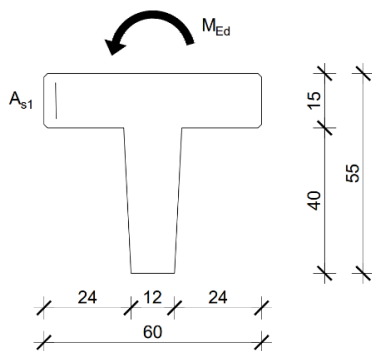
6.2.3.2. Savijanje oko vertikalne osi

Trenje vjetrom po krovu:

$$w_{pos} = 0,1 \cdot w_0 \cdot \frac{L_1}{2} = 0,1 \cdot 1,3 \cdot \frac{2,56}{2} = 0,17 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 1,5 \cdot \frac{w_{pos} \cdot L_2^2}{8} = 1,5 \cdot \frac{0,17 \cdot 8,4^2}{8} = 2,25 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,5 \cdot \frac{w_{pos} \cdot L_2}{2} = 1,5 \cdot \frac{0,17 \cdot 8,4}{2} = 1,07 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = 2,25 \text{ kNm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d_1 = 3,5 \text{ cm}$$

$$d = 36,5 \text{ cm}$$

$$b = 15 \text{ cm}$$

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{2,25 \cdot 100}{15 \cdot 36,5^2 \cdot 2,0} = 0,006 \rightarrow \mu_{sd} = 0,009$$

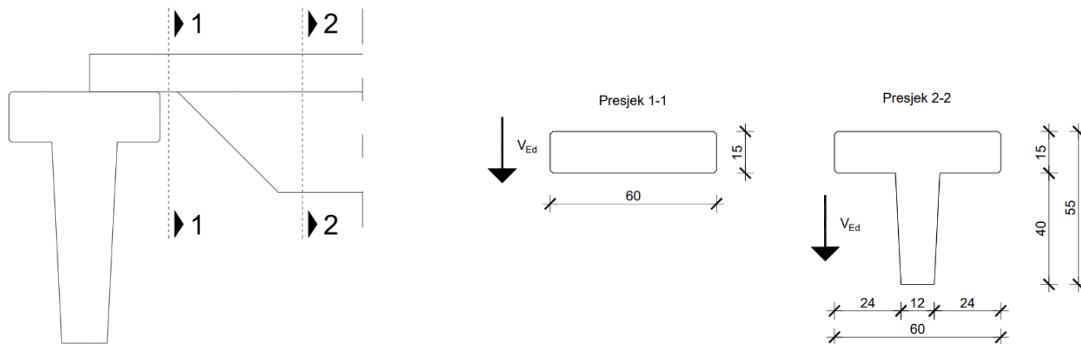
$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 0,5\text{‰}, \zeta = 0,984, \xi = 0,048$$

$$x = \xi \cdot d = 0,048 \cdot 36,5 = 1,75 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2,25 \cdot 100}{0,984 \cdot 36,5 \cdot 43,48} = 0,14 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 2Ø10 (A_s= 1,57 cm²) – ukupno 4Ø10 simetrično

6.2.3.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu



$$V_{Ed} = 30,19 \text{ kN}$$

$$\text{Beton: C30/37} \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

Za klasu betona C30/37: $\rho_{min} = 0,001$

Presjek 1-1

$$\rho_L^{1-1} = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{8\phi 10}{60 \cdot 15} = \frac{6,28}{60 \cdot 15} = 0,003$$

$$b_w^{1-1} = 60 \text{ cm}$$

$$d^{1-1} = 15 - 3 = 12 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{120}} = 2,29 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,003 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 600 \cdot 120$$

$$V_{Rd,c} = 35,94 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,542$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,524 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 600 \cdot 120$$

$$V_{Rd,c} \geq 37,73 \text{ kN} \rightarrow \text{uvjet nije zadovoljen}$$

$$V_{Rd,c} = 37,73 \text{ kN}$$

Maksimalna poprečna sila koja se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot [1 - \frac{f_{ck}}{250}] = 0,6 \cdot [1 - \frac{30}{250}] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 600 \cdot 120 \cdot 20,0$$

$$V_{Rd,max} = 380,16 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max}/V_{Rd,max} = 37,73/380,16 = 0,10 < 0,3$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot 12 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{9 \text{ cm} ; 30 \text{ cm}\} \rightarrow s_{max} = 9 \text{ cm}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,001 \cdot 9 \cdot 60}{2} = 0,27 \text{ cm}^2$$

Odabir minimalne spone: $\emptyset 6/30$ ($A_{sw} = 0,28 \text{ cm}^2$), $m = 2$

$$s_{w,pot} = \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,28}{0,001 \cdot 60} = 9 \text{ cm}$$

Odabrano: $\emptyset 6/5 \text{ cm}$

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\Theta$$

$$V_{Rd} = \frac{0,28}{5} \cdot 0,9 \cdot 12 \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 52,59 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 30,19 \text{ kN} < V_{Rd} = 52,59 \text{ kN} \rightarrow \text{spone zadovoljavaju posvuda}$$

Odabrano: $\emptyset 6/5 \text{ cm}$

Presjek 2-2

$$\rho_L^{2-2} = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{8\emptyset 10 + 2\emptyset 14}{1458} = \frac{6,28 + 3,08}{1458} = 0,0042$$

$$b_w^{2-2} = 12 \text{ cm}$$

$$d^{2-2} = 55 - 5 = 50 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{500}} = 1,63 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,63 \cdot (100 \cdot 0,0042 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 120 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} = 27,31 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,63^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,4$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,4 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 120 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} \geq 24 \text{ kN} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

Maksimalna poprečna sila koja se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot [1 - \frac{f_{ck}}{250}] = 0,6 \cdot [1 - \frac{30}{250}] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 120 \cdot 500 \cdot 20,0$$

$$V_{Rd,max} = 316,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd,max} = 30,19 / 316,8 = 0,10 < 0,3$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{0,75 \cdot 50 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{37,5 \text{ cm} ; 30 \text{ cm}\} \rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$A_{s_{w,min}} = \frac{\rho_{min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,001 \cdot 30 \cdot 12}{2} = 0,18 \text{ cm}^2$$

Odabir minimalne spone: Ø6/30 ($A_{s_w} = 0,28 \text{ cm}^2$), $m = 2$

$$s_{w,pot} = \frac{m \cdot A_{s_w}}{\rho_{min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,28}{0,001 \cdot 12} = 46,67 \text{ cm}$$

Odabrano: Ø6/30 cm

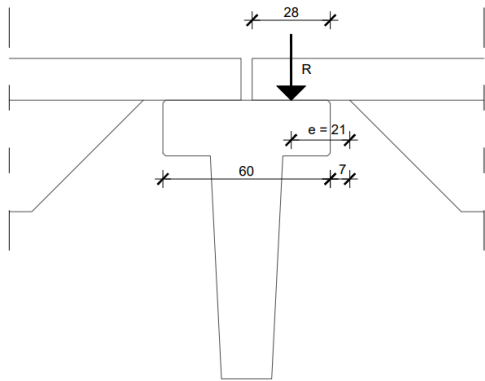
$$V_{Rd} = \frac{A_{s_w}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot \text{ctg}\Theta$$

$$V_{Rd} = \frac{0,28}{30} \cdot 0,9 \cdot 50 \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 36,52 \text{ kN}$$

$V_{Ed} = 30,19 \text{ kN} < V_{Rd} = 36,52 \text{ kN} \rightarrow$ spone zadovoljavaju posvuda

Odabrano: Ø6/30 cm

6.2.3.4. Kontrola oslanjanja podrožnice na glavni nosač



$$\frac{R}{a \cdot b} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 30 = 13,50 \text{ MPa} = 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$R = V_{Ed} = 21,83 \text{ kN}$$

$$e = \frac{28}{2} + 7 = 21 \text{ cm}$$

$$\frac{21,83}{28 \cdot 60} = 0,01 \text{ kN/cm}^2 < 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

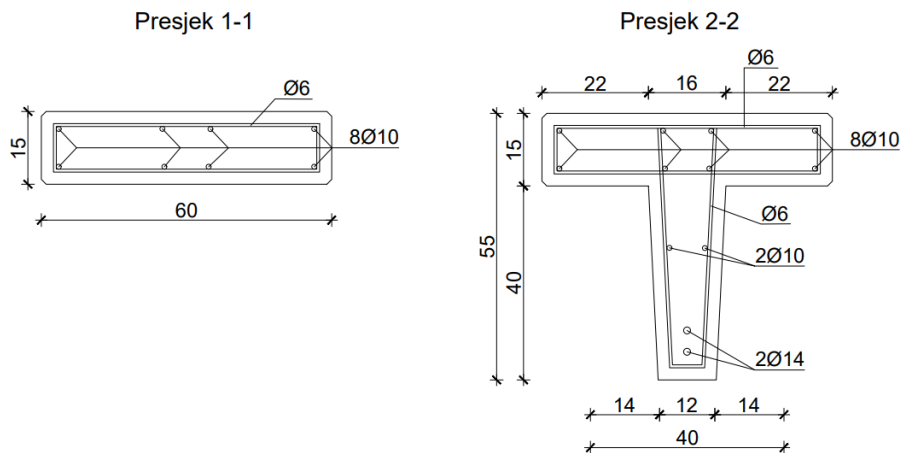
$$M_{Ed} = R \cdot e = 30,19 \cdot 21 = 633,99 \text{ kNcm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{633,99}{60 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,037 \rightarrow \mu_{Ed} = 0,042$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,2\text{‰}, \zeta = 0,962, \xi = 0,107$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{633,99}{0,962 \cdot 12 \cdot 43,48} = 1,26 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 2Ø10 ($A_s = 1,57 \text{ cm}^2$)

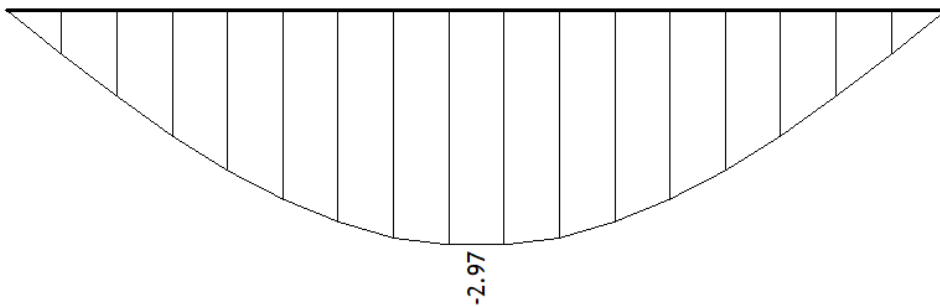


Slika 6.9. Armatura podrožnice P1

6.2.3.5. Kontrola progiba podrožnice

GSU: $g+dg+0.6x(s)+w1+w4$

u2



u2 [m/1000]

Slika 6.10. u_z (mm) za kombinaciju GSU

Granični progib:

$$u_{dop} = \frac{l}{250}$$

$$u_{dop} = \frac{840}{250} = 3,36 \text{ cm} = 33,6 \text{ mm}$$

$$u_k = 2,97 \text{ mm} < u_{dop} = 33,6 \text{ mm}$$

$$K_r \leq 1,0 \rightarrow K_r = 1,0$$

$$\varphi_{t=\infty} \approx 2,5$$

$$u_d = K_r \cdot \varphi_{t=\infty} \cdot u_k$$

$$u_d = 1,0 \cdot 2,5 \cdot 3,99 = 9,98 \text{ mm}$$

$$u_{tot} = u_k + u_d = 3,99 + 9,98 = 13,97 \text{ mm} < u_{dop} = 33,6 \text{ mm}$$

6.2.3.6. Kontrola odizanja na ležaju

$$R_g < R_o$$

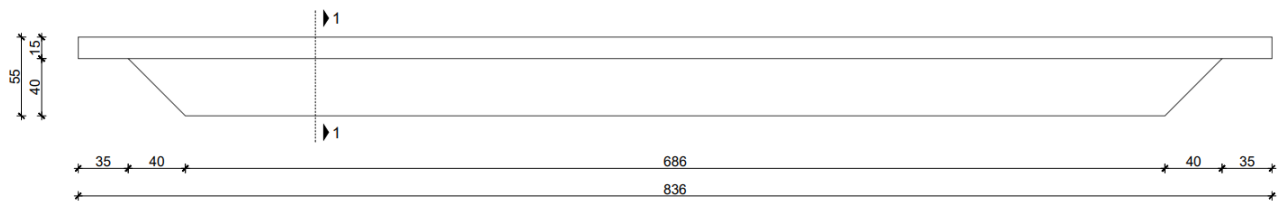
$$V_{Ed} = R_{Ed} = 6,71 \text{ kN}$$

Za najnepovoljniju kombinaciju opterećenja može doći do odizanja podrožnice na ležaju te je zbog toga potrebno probušiti podožnicu i glavni nosač i postaviti samozatežujući vijak M14 s podložnom pločicom min. duljine sidrenja 20 cm.

6.3. Proračun središnje krovne podrožnice P2

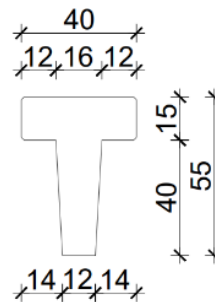
Središnje krovne podrožnice predviđene su kao armiranobetonske montažne podrožnice T poprečnog presjeka. Sve podrožnice su istih duljina zbog pravilnog rasporeda stupova. Visina svih podrožnica je 55 cm, širina gornjeg pojasa 40 cm, a debljina 15 cm. Širina hrpta na dnu je 12 cm. Nagib bočnih ploha je 4:1. Podrožnice se oslanjaju na glavne nosače samo preko gornjeg pojasa. Nalijeganje na gornji pojas glavnih nosača je u duljini 28 cm. Razmak sekundarnih nosača – podrožnica je 2,56 m, što je ujedno i raspon krovnih sendvič termopanela. Za sve podrožnice predviđen je beton C30/37 te armatura B500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 2,0-2,5 cm. Svi spojevi podrožnica s krovnim T nosačima su nepomični (fiksni). Beton za zapunjenje je C30/37.

6.3.1. Analiza opterećenja



Slika 6.11. Pogled na podrožnicu P2

Presjek 1-1



Slika 6.12. Poprečni presjek podrožnice P2

Materijal: C30/37

Čelik: B500B

Stalno opterećenje:

Vlastita težina:

g - Vlastita težina konstrukcijskog elementa je automatski uključena u programskom paketu Tower.

Dodatno stalno opterećenje (sendvič panel i instalacije):

$$\Delta g = 0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,56 \text{ m} = 1,15 \text{ kN/m}$$

Pokretno opterećenje:

Vjetar (preko krovnog lima):

$$w_p = 0,65 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,56 \text{ m} = 1,66 \text{ kN/m}$$

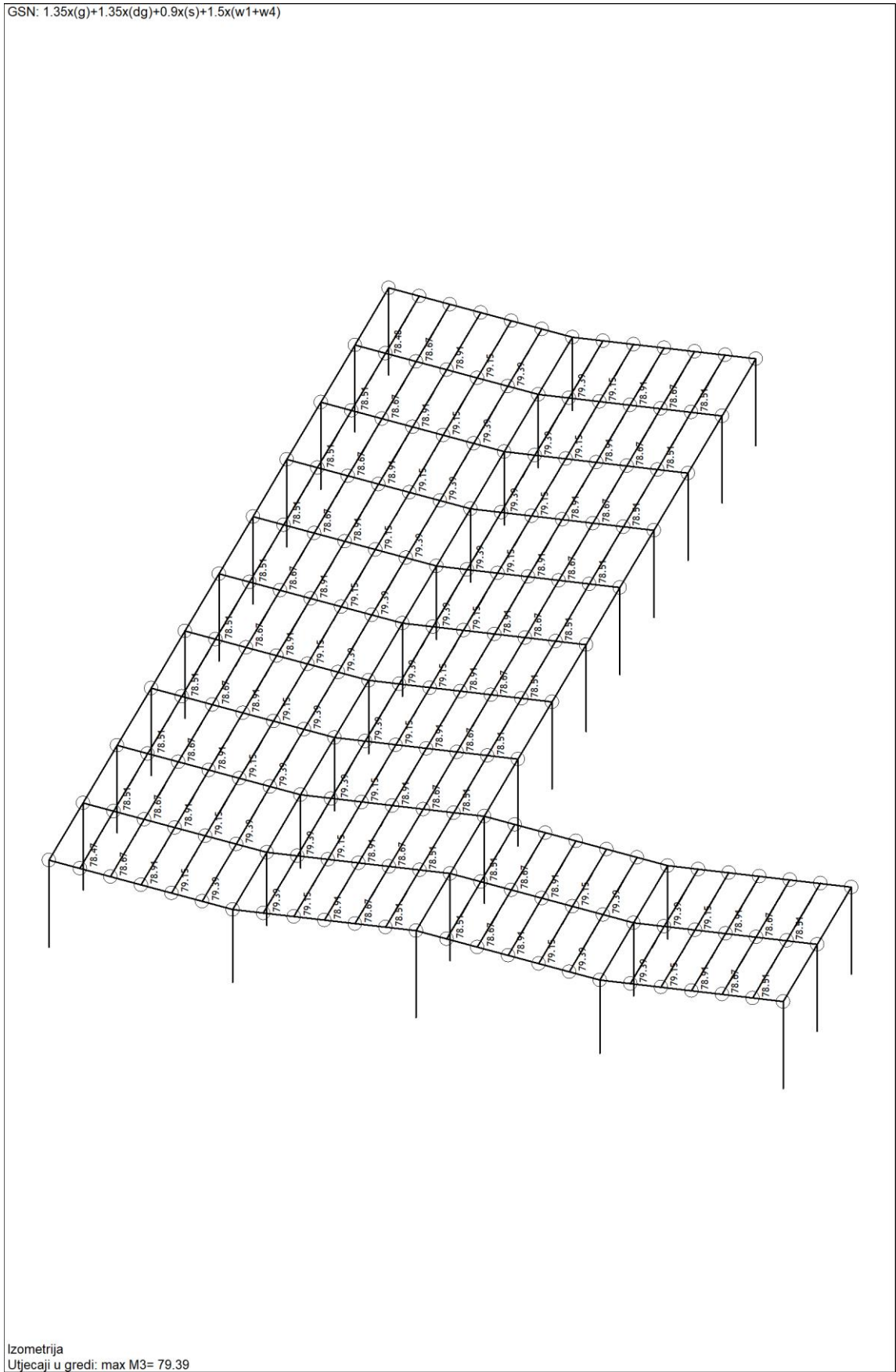
$$w_o = 3,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,52 \text{ m} + 1,3 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,04 \text{ m} = 4,34 \text{ kN/m}$$

Snijeg (preko krovnog lima):

$$s_k = 0,47 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,56 \text{ m} = 1,2 \text{ kN/m}$$

6.3.2. Rezne sile

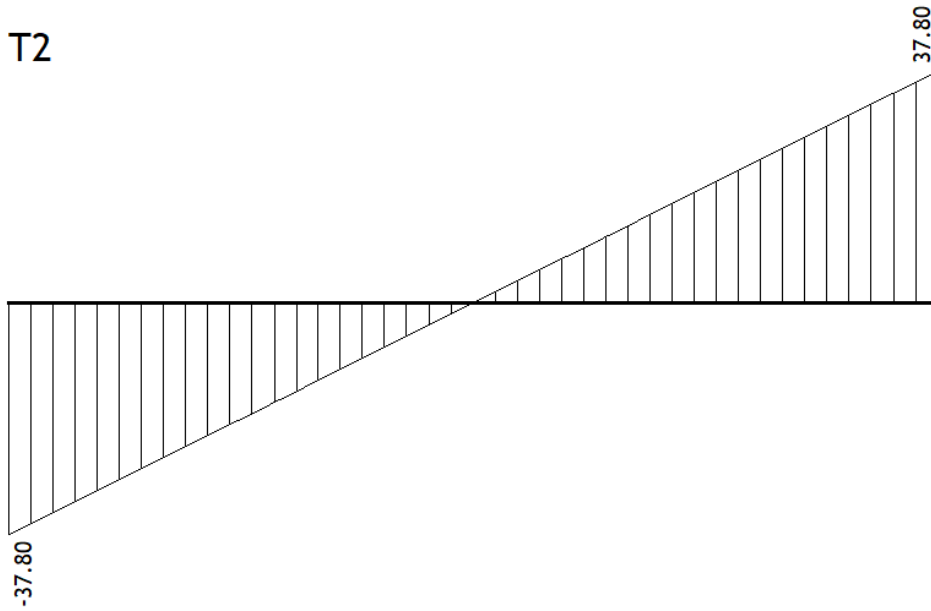
GSN: $1.35x(g)+1.35x(dg)+0.9x(s)+1.5x(w1+w4)$



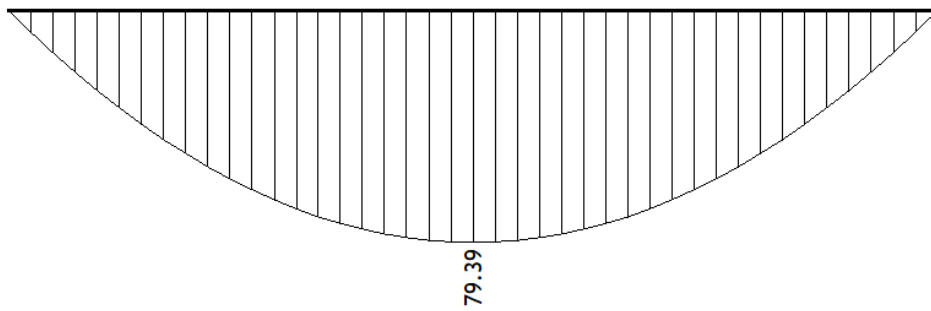
Slika 6.13. M_y (kNm) za kombinaciju GSN (pritisk)

GSN: $1.35x(g)+1.35x(dg)+0.9x(s)+1.5x(w1+w4)$

T2



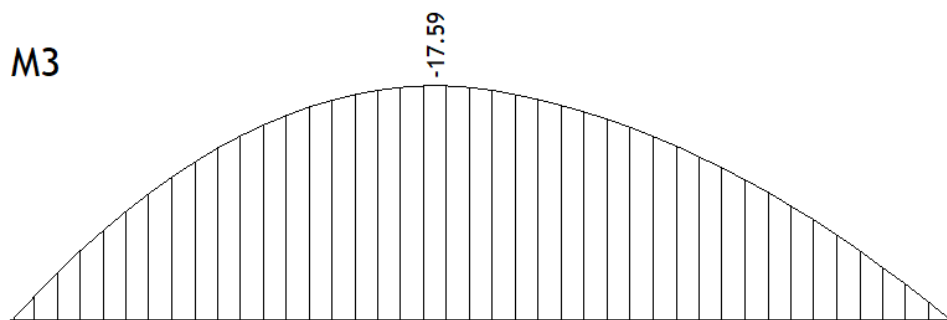
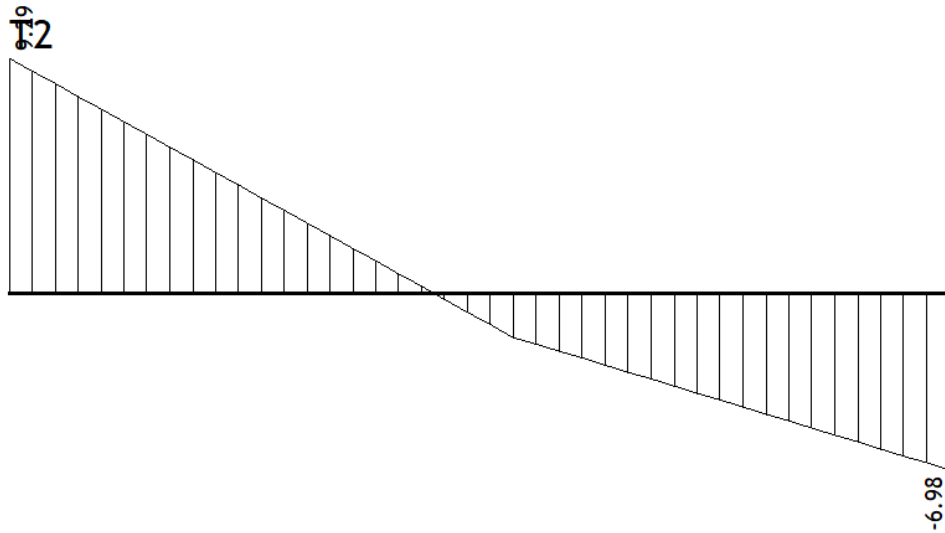
M3



T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.14. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSN (pritisak)

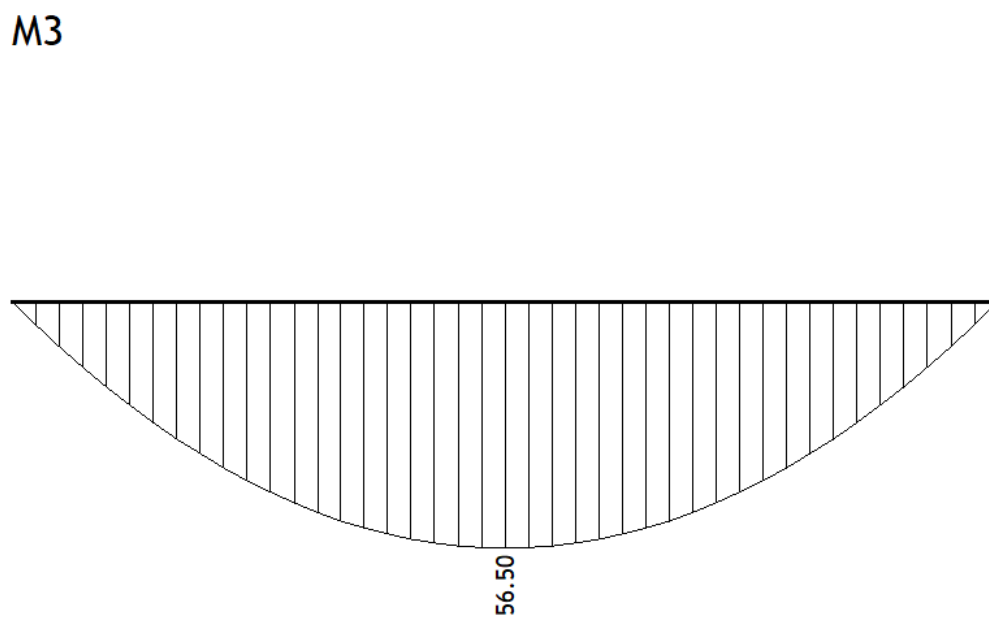
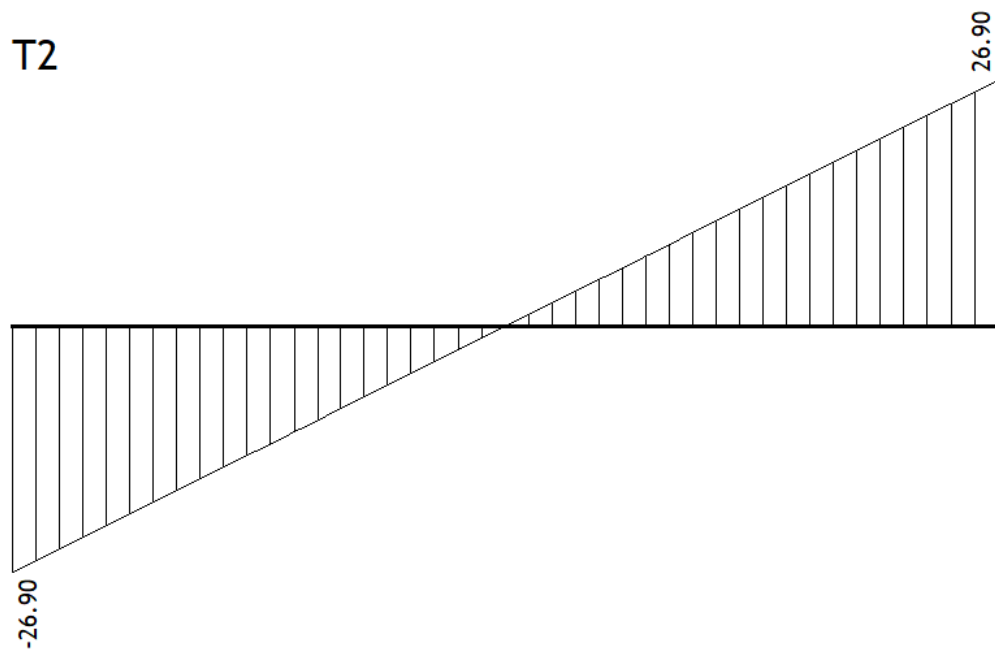
GSN: $g+dg+1.5x(w2+w3)$



T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.16. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSN (odizanje)

GSU: $g+dg+0.6x(s)+w1+w4$



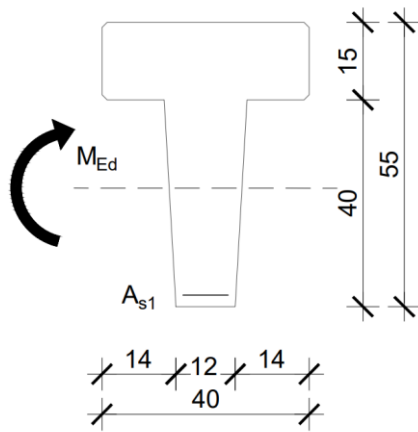
T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.18. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSU

6.3.3. Dimenzioniranje

9.3.3.1. Savijanje oko horizontalalne osi

Donja zona



$$M_{Ed} = 79,39 \text{ kNm}$$

$$h = 55 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 55 - 5 = 50 \text{ cm}$$

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{79,39 \cdot 100}{40 \cdot 50^2 \cdot 2,0} = 0,04 \rightarrow \mu_{sd} = 0,042$$

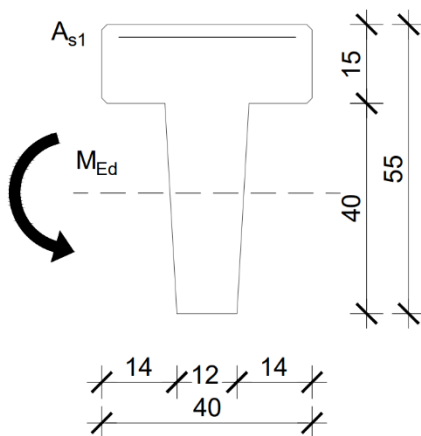
$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,2\text{‰}, \zeta = 0,962, \xi = 0,107$$

$$x = \xi \cdot d = 0,107 \cdot 50 = 5,35 \text{ cm} \leq h_f = 15 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{79,39 \cdot 100}{0,962 \cdot 50 \cdot 43,48} = 3,80 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 2Ø16 ($A_s = 4,02 \text{ cm}^2$)

Gornja zona



$$M_{Ed} = -17,59 \text{ kNm}$$

$$h = 55 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 55 - 5 = 50 \text{ cm}$$

$$b = 12 \text{ cm}$$

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{-17,59 \cdot 100}{12 \cdot 50^2 \cdot 2,0} = 0,029 \rightarrow \mu_{sd} = 0,031$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,1\text{‰}, \zeta = 0,965, \xi = 0,099$$

$$x = \xi \cdot d = 0,099 \cdot 50 = 4,95 \text{ cm} \leq h_f = 15 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{-17,59 \cdot 100}{0,965 \cdot 50 \cdot 43,48} = 0,84 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 2Ø10 (A_s= 1,54 cm²)

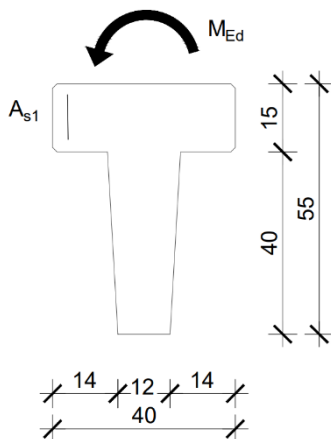
6.3.3.2. Savijanje oko vertikalne osi

Trenje vjetrom po krovu:

$$w_{pos} = 0,1 \cdot w_0 \cdot L_1 = 0,1 \cdot 1,3 \cdot 2,56 = 0,33 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 1,5 \cdot \frac{w_{pos} \cdot L_2^2}{8} = 1,5 \cdot \frac{0,33 \cdot 8,4^2}{8} = 4,37 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,5 \cdot \frac{w_{pos} \cdot L_2}{2} = 1,5 \cdot \frac{0,33 \cdot 8,4}{2} = 2,08 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = 4,37 \text{ kNm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d_1 = 3,5 \text{ cm}$$

$$d = 36,5 \text{ cm}$$

$$b = 15 \text{ cm}$$

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{4,37 \cdot 100}{15 \cdot 36,5^2 \cdot 2,0} = 0,011 \rightarrow \mu_{sd} = 0,013$$

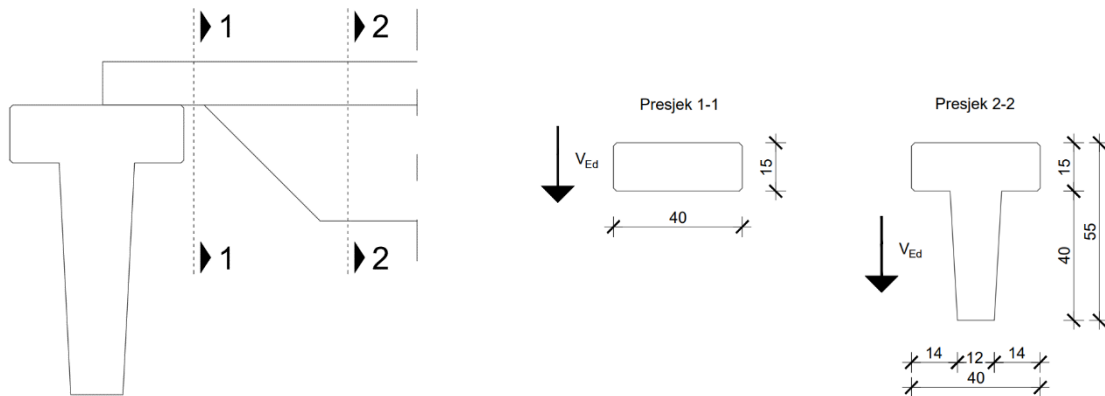
$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 0,6\text{‰}, \zeta = 0,981, \xi = 0,057$$

$$x = \xi \cdot d = 0,057 \cdot 36,5 = 2,08 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{4,37 \cdot 100}{0,981 \cdot 36,5 \cdot 43,48} = 0,28 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 2Ø10 (A_s= 1,54 cm²) – ukupno 4Ø10 simetrično

6.3.3.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu



$$V_{Ed} = 37,8 \text{ kN}$$

$$\text{Beton: C30/37} \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

Za klasu betona C30/37: $\rho_{min} = 0,001$

Presjek 1-1

$$\rho_L^{1-1} = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{8\phi 10}{40 \cdot 15} = \frac{6,28}{40 \cdot 15} = 0,005$$

$$b_w^{1-1} = 40 \text{ cm}$$

$$d^{1-1} = 15 - 3 = 12 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{120}} = 2,29 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,005 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 400 \cdot 120$$

$$V_{Rd,c} = 28,41 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,542$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,524 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 400 \cdot 120$$

$$V_{Rd,c} \geq 26,02 \text{ kN} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

Maksimalna poprečna sila koja se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot [1 - \frac{f_{ck}}{250}] = 0,6 \cdot [1 - \frac{30}{250}] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 400 \cdot 120 \cdot 20,0$$

$$V_{Rd,max} = 253,44 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max}/V_{Rd,max} = 37,8/253,44 = 0,15 < 0,3$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot 12 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{9 \text{ cm} ; 30 \text{ cm}\} \rightarrow s_{max} = 9 \text{ cm}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,001 \cdot 9 \cdot 40}{2} = 0,18 \text{ cm}^2$$

Odabir minimalne spone: $\emptyset 6/30$ ($A_{sw} = 0,28 \text{ cm}^2$), $m = 2$

$$s_{w,pot} = \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,28}{0,001 \cdot 40} = 14 \text{ cm}$$

Odabrano: $\emptyset 6/5 \text{ cm}$

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\Theta$$

$$V_{Rd} = \frac{0,28}{5} \cdot 0,9 \cdot 12 \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 52,59 \text{ kN}$$

$V_{Ed} = 37,8 \text{ kN} < V_{Rd} = 52,59 \text{ kN} \rightarrow$ spone zadovoljavaju posvuda

Odabrano: $\emptyset 6/5 \text{ cm}$

Presjek 2-2

$$\rho_L^{2-2} = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{8\emptyset 10 + 2\emptyset 16}{1146} = \frac{6,28 + 4,02}{1146} = 0,0061$$

$$b_w^{2-2} = 12 \text{ cm}$$

$$d^{2-2} = 55 - 5 = 50 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{500}} = 1,63 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,63 \cdot (100 \cdot 0,0061 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 120 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} = 30,93 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,63^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,4$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,4 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 120 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} \geq 24 \text{ kN} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

Maksimalna poprečna sila koja se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot [1 - \frac{f_{ck}}{250}] = 0,6 \cdot [1 - \frac{30}{250}] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 120 \cdot 500 \cdot 20,0$$

$$V_{Rd,max} = 316,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd,max} = 37,8 / 316,8 = 0,12 < 0,3$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{0,75 \cdot 50 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{37,5 \text{ cm} ; 30 \text{ cm}\} \rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$A_{s_{w,min}} = \frac{\rho_{min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,001 \cdot 30 \cdot 12}{2} = 0,18 \text{ cm}^2$$

Odabir minimalne spone: Ø6/30 ($A_{sw} = 0,28 \text{ cm}^2$), $m = 2$

$$s_{w,pot} = \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,28}{0,001 \cdot 12} = 46,67 \text{ cm}$$

Odabrano: Ø6/30 cm

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot \text{ctg}\Theta$$

$$V_{Rd} = \frac{0,28}{30} \cdot 0,9 \cdot 50 \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 36,52 \text{ kN}$$

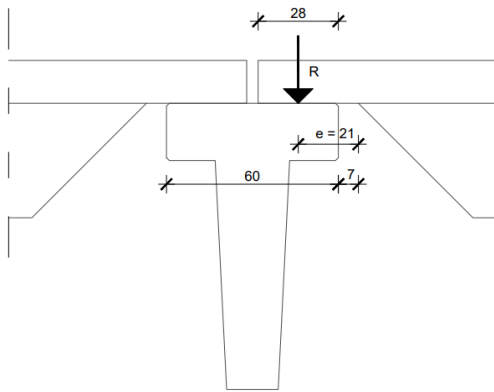
$$V_{Ed} = 37,8 \text{ kN} > V_{Rd} = 36,52 \text{ kN}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w < \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z}{V_{Ed}} < \frac{2 \cdot 0,28 \cdot 43,48 \cdot 0,9 \cdot 50}{37,8} < 28,9 \text{ cm}$$

Postaviti spone: Ø6/25 cm

6.3.3.4. Kontrola oslanjanja podrožnice na glavni nosač



$$\frac{R}{a \cdot b} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 30 = 13,50 \text{ MPa} = 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$R = V_{Ed} = 26,9 \text{ kN}$$

$$e = \frac{28}{2} + 7 = 21 \text{ cm}$$

$$\frac{26,9}{28 \cdot 40} = 0,02 \text{ kN/cm}^2 < 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

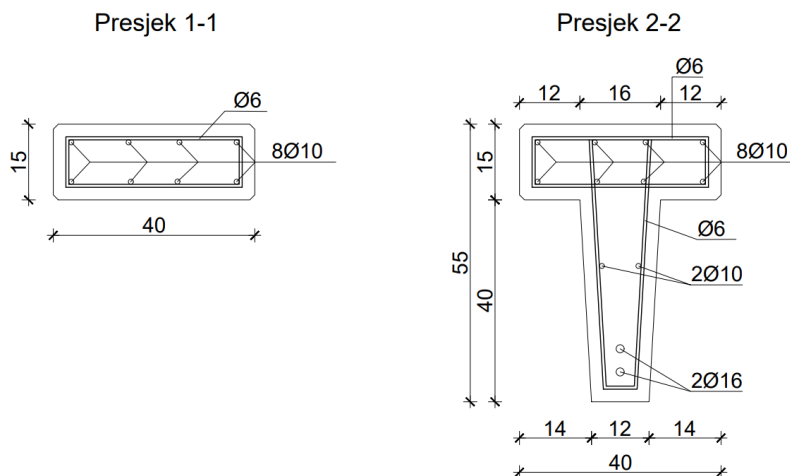
$$M_{Ed} = R \cdot e = 37,8 \cdot 21 = 793,8 \text{ kNcm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{793,8}{40 \cdot 12^2 \cdot 2,0} = 0,069 \rightarrow \mu_{Ed} = 0,071$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,7\text{‰}, \zeta = 0,947, \xi = 0,145$$

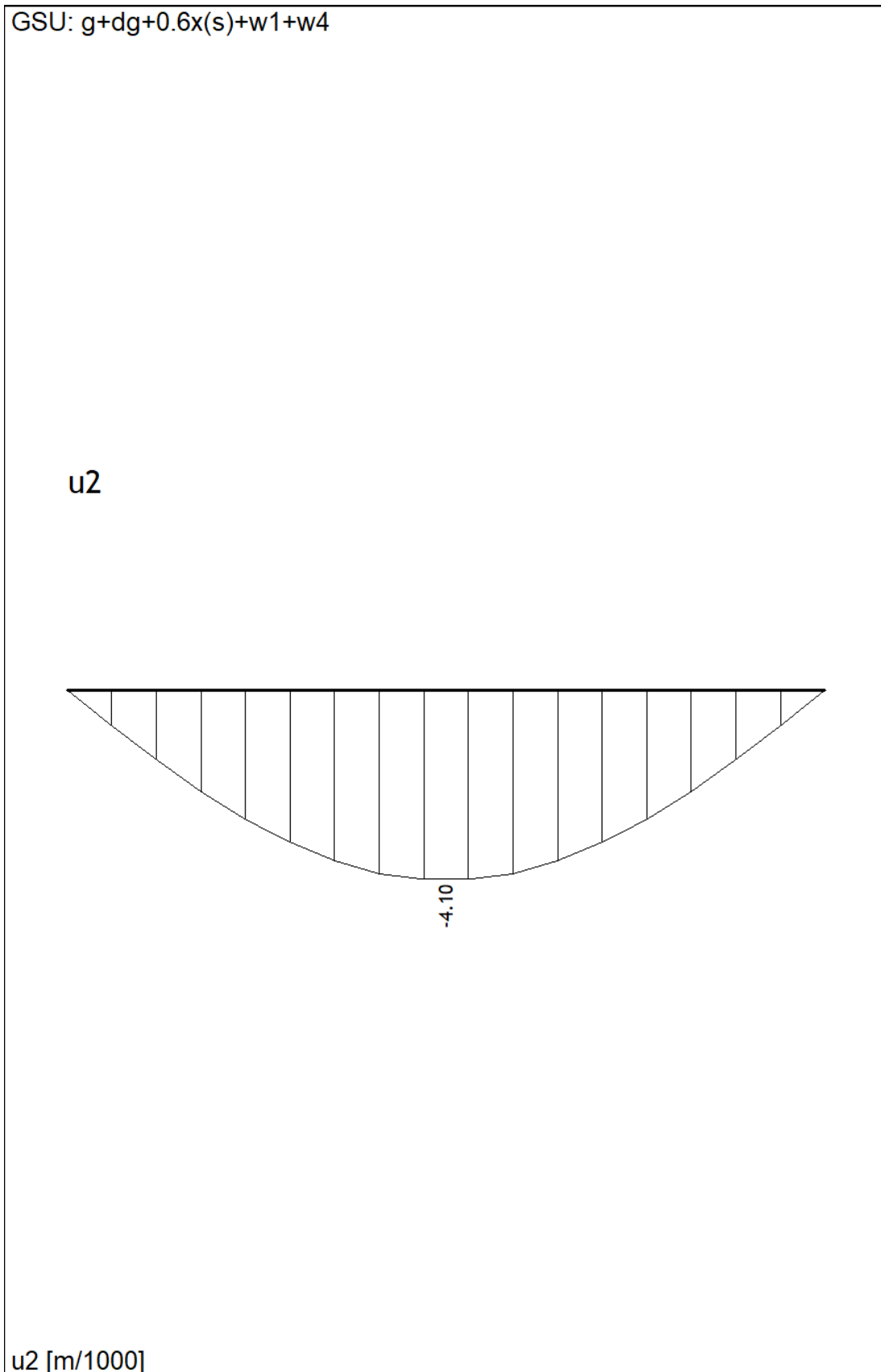
$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{793,8}{0,947 \cdot 12 \cdot 43,48} = 1,61 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 2Ø10 ($A_s = 2,26 \text{ cm}^2$)



Slika 6.19. Armatura podrožnice P2

6.3.3.5. Kontrola progiba



Slika 6.20. u_z (mm) za kombinaciju GSU

Granični progib:

$$u_{dop} = \frac{l}{250}$$

$$u_{dop} = \frac{840}{250} = 3,36 \text{ cm} = 33,6 \text{ mm}$$

$$u_k = 4,1 \text{ mm} < u_{dop} = 33,6 \text{ mm}$$

$$K_r \leq 1,0 \rightarrow K_r = 1,0$$

$$\varphi_{t=\infty} \approx 2,5$$

$$u_d = K_r \cdot \varphi_{t=\infty} \cdot u_k$$

$$u_d = 1,0 \cdot 2,5 \cdot 3,86 = 9,65 \text{ mm}$$

$$u_{tot} = u_k + u_d = 3,86 + 9,65 = 13,51 \text{ mm} < u_{dop} = 33,6 \text{ mm}$$

6.3.3.6. Kontrola odizanja na ležaju

$$R_g < R_o$$

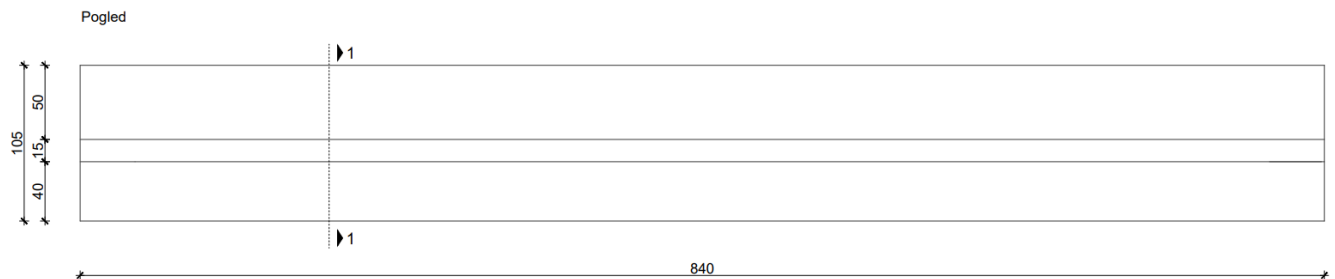
$$V_{Ed} = R_{Ed} = 9,29 \text{ kN}$$

Za najnepovoljniju kombinaciju opterećenja može doći do odizanja podrožnice na ležaju te je zbog toga potrebno probušiti podožnicu i glavni nosač i postaviti samozatežujući vijak M14 s podložnom pločicom min. duljine sidrenja 20 cm.

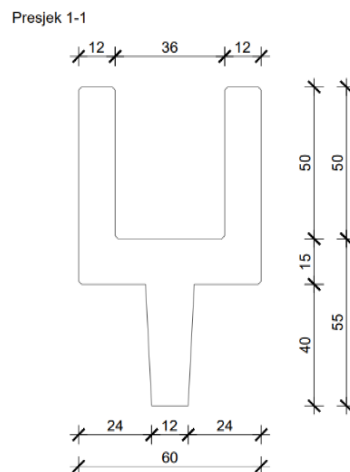
6.4. Proračun krovne uvale KU

Krovne uvale predviđene su kao armiranobetonske montažne podrožnice T poprečnog presjeka sa istacima visine 50 cm i debljine 12 cm. Sve podrožnice su istih duljina zbog pravilnog rasporeda stupova. Visina svih podrožnica je 55 cm bez visine istaka, širina gornjeg pojasa 40 cm, a debljina 15 cm. Širina hrpta na dnu je 12 cm. Nagib bočnih ploha je 4:1. Podrožnice se oslanjaju na stupove. Za sve podrožnice predviđen je beton C30/37 te armatura B500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 3,0 cm.

6.4.1. Analiza opterećenja



Slika 6.21. Pogled na krovnu uvalu KU



Slika 6.22. Poprečni presjek krovne uvale KU

Materijal: C30/37

Čelik: B500B

Stalno opterećenje:

Vlastita težina:

g - Vlastita težina konstrukcijskog elementa je automatski uključena u programskom paketu Tower.

Dodatno stalno opterećenje (sendvič panel i instalacije):

$$\Delta g = 0,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,56 \text{ m} = 1,15 \text{ kN/m}$$

Pokretno opterećenje:

Težina vode:

$$q_{vode} = 0,5 \text{ m} \cdot 0,36 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 = 1,8 \text{ kN/m}$$

Vjetar (preko krovnog lima):

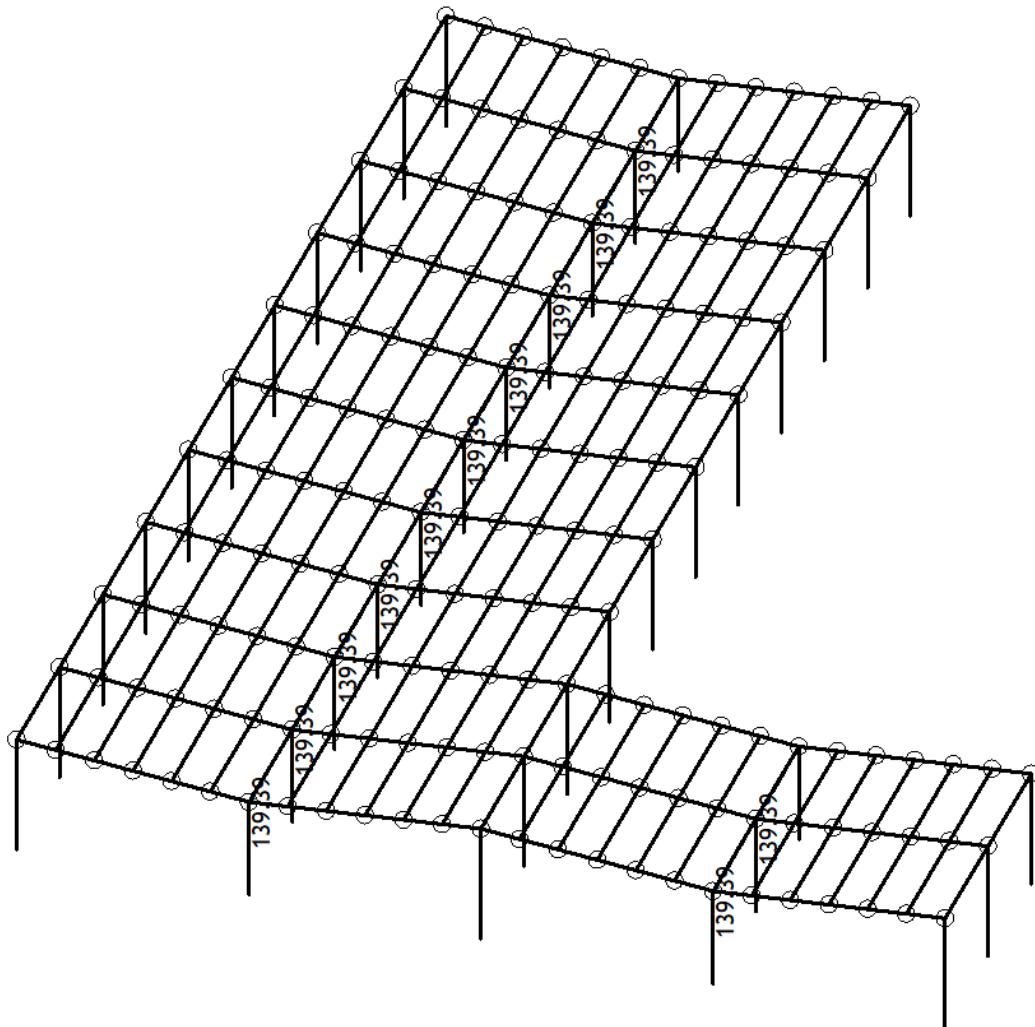
$$w_p = 0,65 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,56 \text{ m} = 1,66 \text{ kN/m}$$

Snijeg (preko krovnog lima):

$$s_k = 0,47 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,56 \text{ m} = 1,2 \text{ kN/m}$$

6.4.2. Rezne sile

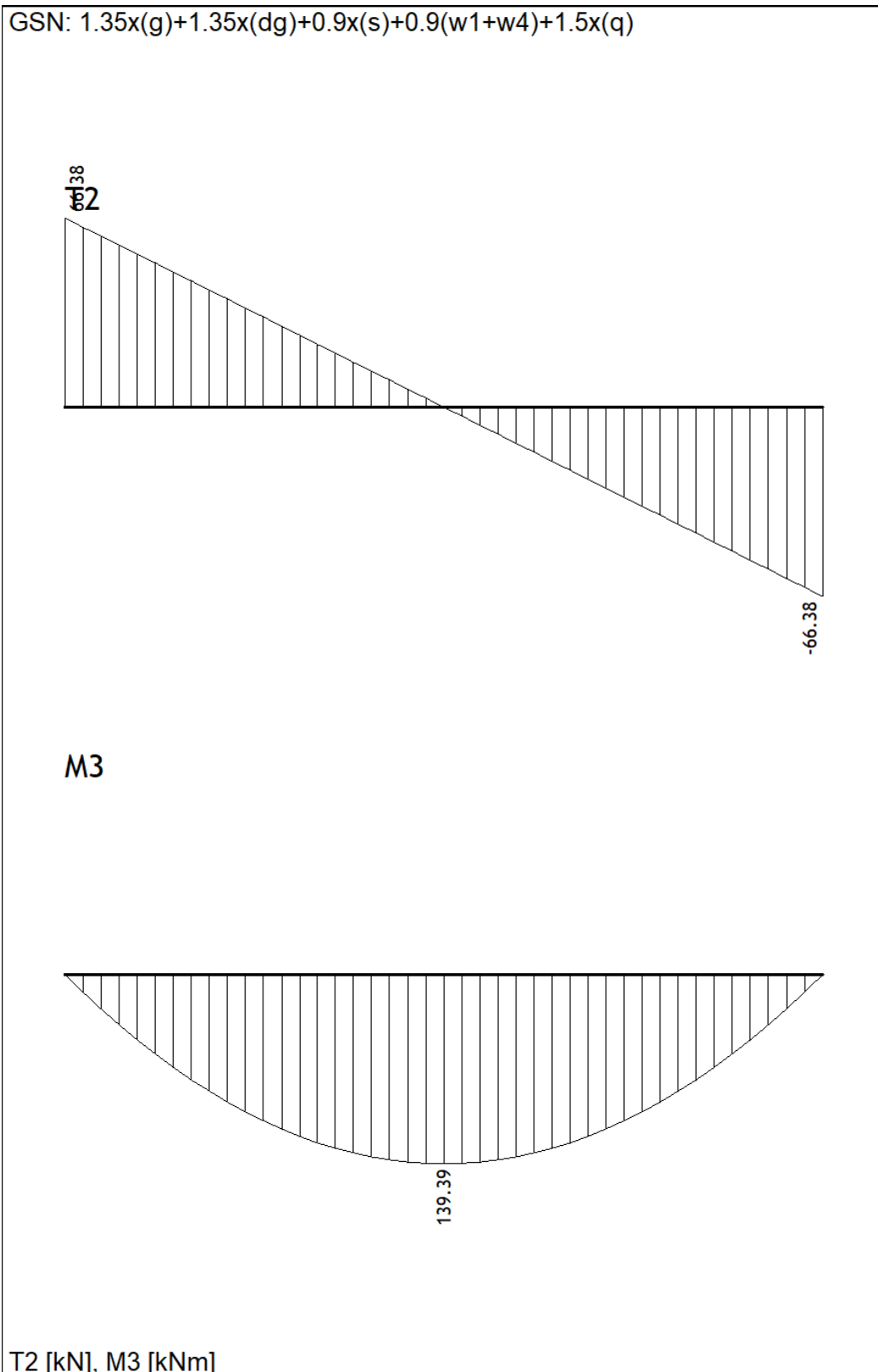
GSN: $1.35x(g)+1.35x(dg)+0.9x(s)+0.9x(w1+w4)+1.5x(q)$



Izometrija

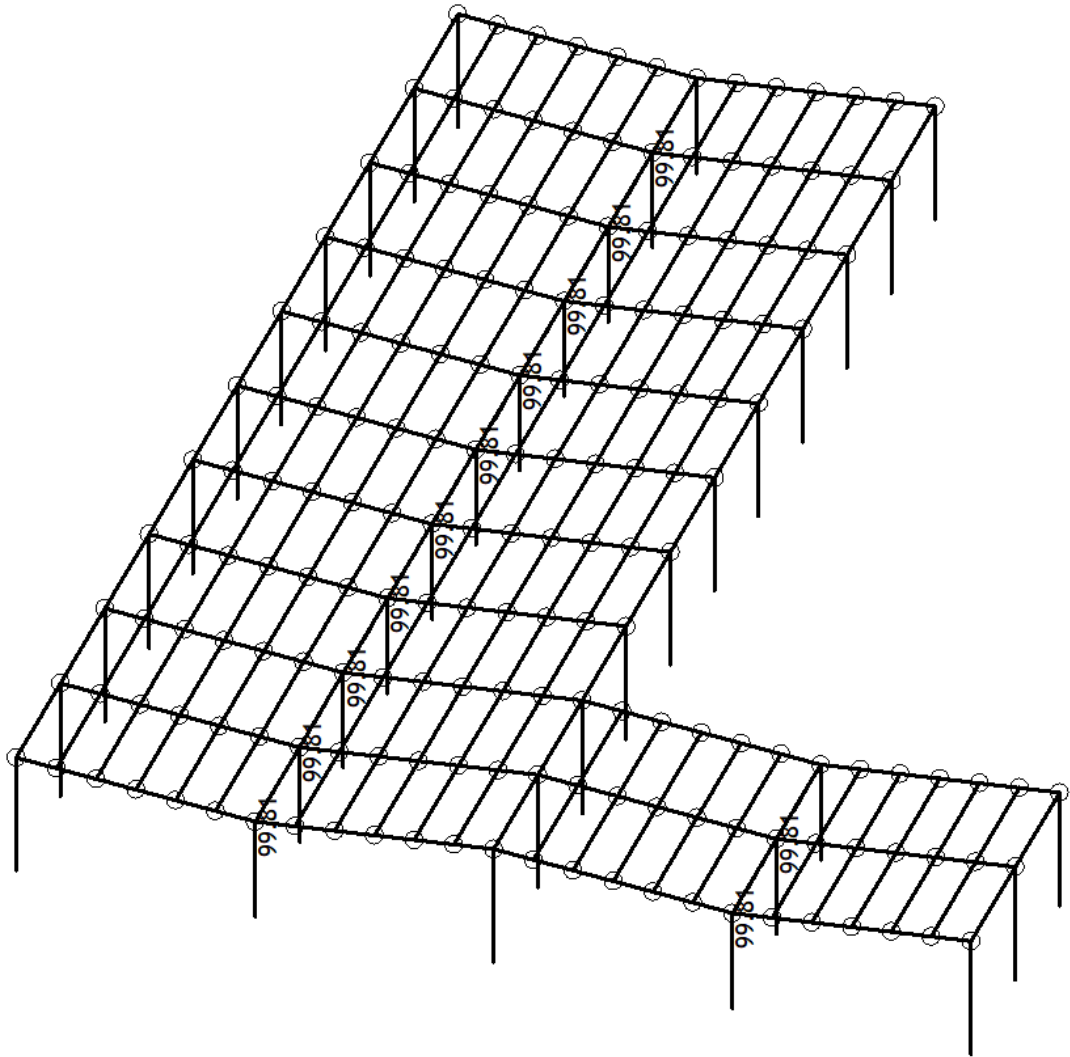
Utjecaji u gredi: max $M_3=139.39$ kNm

Slika 6.23. M_y (kNm) za kombinaciju GSN



Slika 6.24. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSN

GSU: $g+dg+0.6x(s)+0.6x(w1+w4)+q$

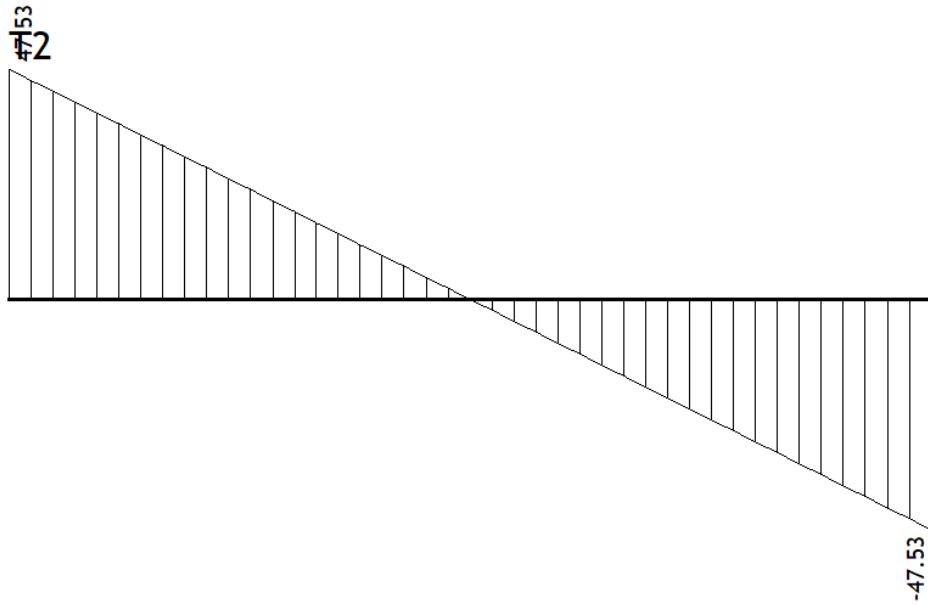


Izometrija

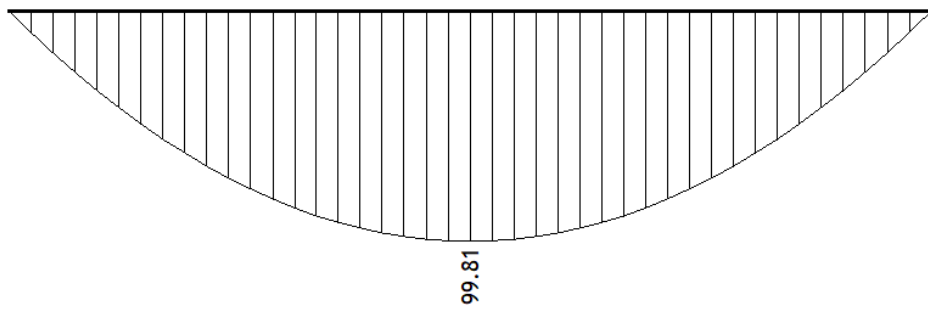
Utjecaji u gredi: max $M_3 = 99.81$ kNm

Slika 6.25. M_y (kNm) za kombinaciju GSU

GSU: $g+dg+0.6x(s)+0.6x(w1+w4)+q$



M3



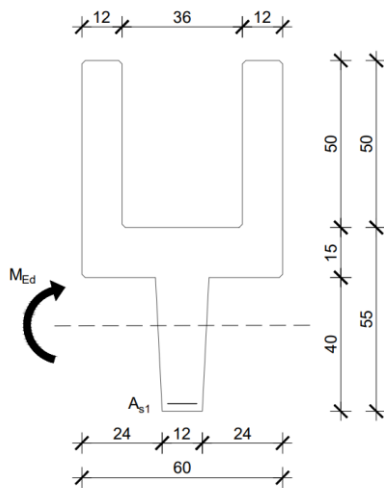
T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.26. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSN

6.4.3. Dimenzioniranje

6.4.3.1. Savijanje oko horizontalne osi

Donja zona



$$M_{Ed} = 139,39 \text{ kNm}$$

$$h = 55 \text{ cm}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 55 - 5 = 50 \text{ cm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{139,39 \cdot 100}{60 \cdot 50^2 \cdot 2,0} = 0,046 \rightarrow \mu_{sd} = 0,048$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,3\text{‰}, \zeta = 0,959, \xi = 0,115$$

$$x = \xi \cdot d = 0,115 \cdot 50 = 5,75 \text{ cm} \leq h_f = 15 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{139,39 \cdot 100}{0,956 \cdot 50 \cdot 43,48} = 6,71 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 3Ø18 (As= 7,63 m²)

6.5.3.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$\rho_L = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{3\phi 18}{2660} = \frac{7,63}{2660} = 0,0029$$

$$b_w = 12 \text{ cm}$$

$$d = 55 - 5 = 50 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{500}} = 1,63 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,63 \cdot (100 \cdot 0,0029 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 120 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} = 24,14 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,63^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,4$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,4 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 120 \cdot 500$$

$$V_{Rd,c} \geq 24 \text{ kN} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

Maksimalna poprečna sila koja se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot [1 - \frac{f_{ck}}{250}] = 0,6 \cdot [1 - \frac{30}{250}] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 120 \cdot 500 \cdot 20,0$$

$$V_{Rd,max} = 316,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max}/V_{Rd,max} = 66,38/316,8 = 0,21 < 0,3$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{0,75 \cdot 50 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{37,5 \text{ cm} ; 30 \text{ cm}\} \rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$A_{s_{w,min}} = \frac{\rho_{min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,001 \cdot 30 \cdot 12}{2} = 0,18 \text{ cm}^2$$

Odabir minimalne spone: Ø6/30 ($A_{s_w} = 0,28 \text{ cm}^2$), $m = 2$

$$s_{w,pot} = \frac{m \cdot A_{s_w}}{\rho_{min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,28}{0,001 \cdot 12} = 46,67 \text{ cm}$$

Odabrano: Ø6/30 cm

$$V_{Rd} = \frac{A_{s_w}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot \text{ctg}\Theta$$

$$V_{Rd} = \frac{0,28}{30} \cdot 0,9 \cdot 50 \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 36,52 \text{ kN}$$

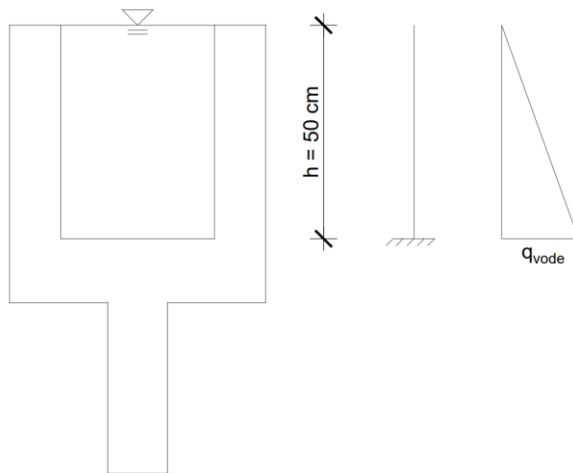
$$V_{Ed} = 66,38 \text{ kN} > V_{Rd} = 36,52 \text{ kN}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w < \frac{m \cdot A_{s_w} \cdot f_{ywd} \cdot z}{V_{Ed}} < \frac{2 \cdot 0,28 \cdot 43,48 \cdot 0,9 \cdot 50}{66,38} < 16,51 \text{ cm}$$

Postaviti spone: Ø6/15 cm

6.4.3.4. Kontrola istaka podrožnice



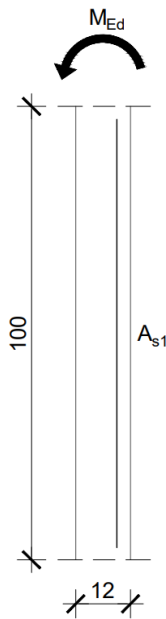
Pokretno opterećenje vodom:

$$q_{vode} = 0,5 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}' \cdot 10 \text{ kN/m}^3 = 5,0 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 1,5 \cdot q_{vode} \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{h}{3} \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 1,5 \cdot 5 \cdot \frac{0,5}{2} \cdot \frac{0,5}{3} = 0,31 \text{ kNm}$$

Slika 6.27. Opterećenje vodom na KU



$$M_{Ed} = 0,31 \text{ kNm}$$

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$d_1 = 3 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 12 - 3 = 9 \text{ cm}$$

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

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

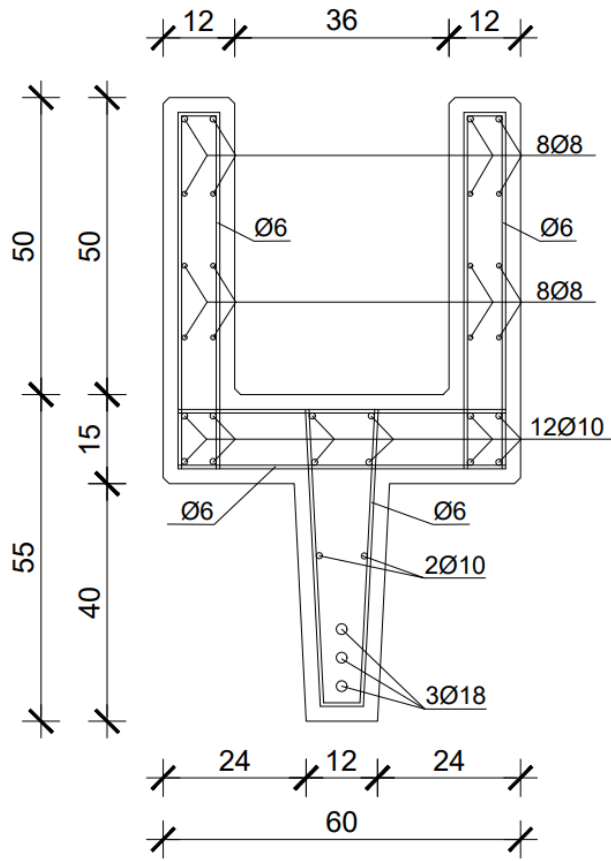
$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{0,31 \cdot 100}{100 \cdot 9^2 \cdot 2,0} = 0,002 \rightarrow \mu_{sd} = 0,003$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 0,3\text{‰}, \zeta = 0,990, \xi = 0,029$$

$$x = \xi \cdot d = 0,029 \cdot 9,0 = 0,26 \text{ cm}$$

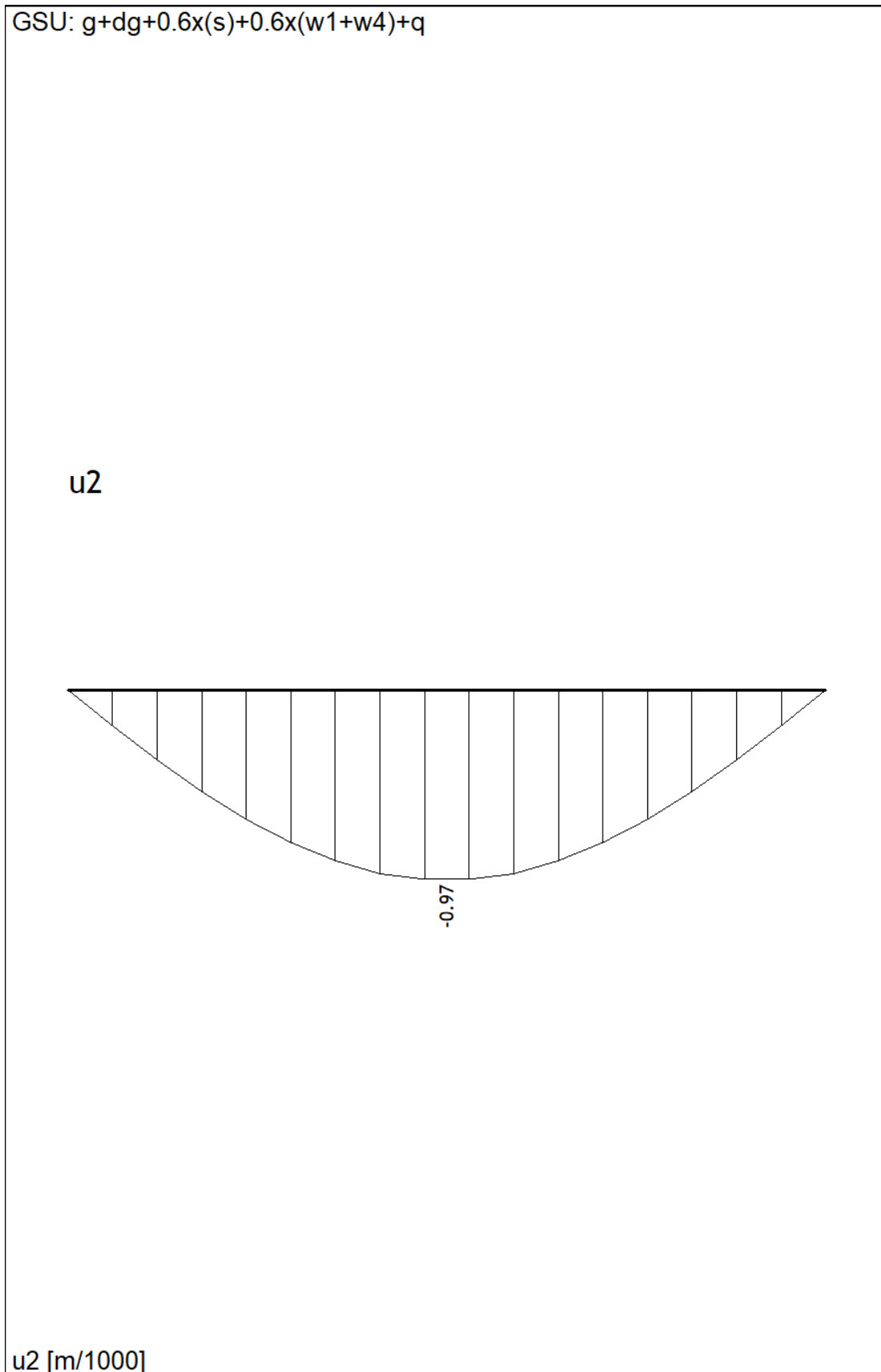
$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{0,31 \cdot 100}{0,990 \cdot 9,0 \cdot 43,48} = 0,08 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: Ø6/30 ($A_{sw} = 0,28 \text{ cm}^2$)



Slika 6.28. Armatura krovne uvale KU

6.4.3.5. Kontrola progiba



Slika 6.29. u_z (mm) za kombinaciju GSU

Granični progib:

$$u_{\text{dop}} = \frac{l}{250}$$

$$u_{\text{dop}} = \frac{840}{250} = 3,36 \text{ cm} = 33,6 \text{ mm}$$

$$u_{\text{k}} = 0,97 \text{ mm} < u_{\text{dop}} = 33,6 \text{ mm}$$

$$K_{\text{r}} \leq 1,0 \rightarrow K_{\text{r}} = 1,0$$

$$\varphi_{t=\infty} \approx 2,5$$

$$u_{\text{d}} = K_{\text{r}} \cdot \varphi_{t=\infty} \cdot u_{\text{k}}$$

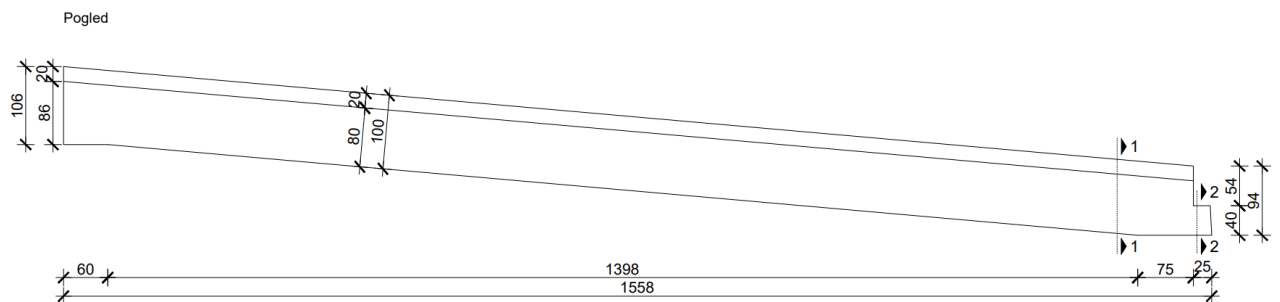
$$u_{\text{d}} = 1,0 \cdot 2,5 \cdot 0,97 = 2,43 \text{ mm}$$

$$u_{\text{tot}} = u_{\text{k}} + u_{\text{d}} = 0,97 + 2,43 = 3,4 \text{ mm} < u_{\text{dop}} = 33,6 \text{ mm}$$

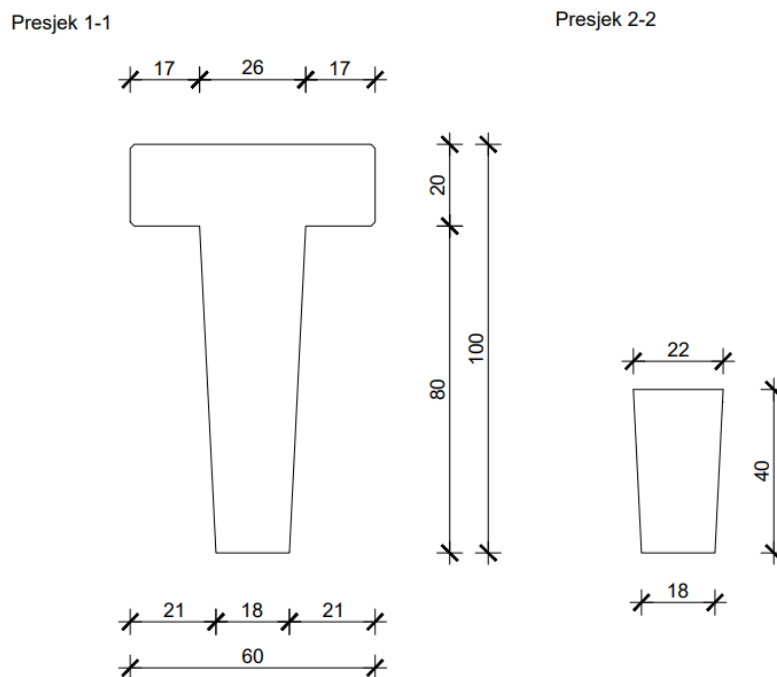
6.5. Proračun glavnog krovnog središnjeg nosača GN1

Glavni središnji krovni nosači predviđeni su kao "T100" nosači. Glavni nosači se oslanjaju na stupove čiji raster iznosi 2x15,35 m u poprečnom smjeru. Čitavo opterećenje koje preuzimaju krovne podrožnice sa krovne obloge prenose na glavne nosače. Podrožnice se oslanjaju na glavne nosače samo preko gornjeg pojasa. Nalijeganje podrožnica na gornji pojas glavnih nosača je u duljini 28 cm. .

Za sve nosače predviđen je beton C35/40 te armatura B500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 2,0-2,5 cm. Svi spojevi su nepomični (fiksni). Beton za zapunjenje je C30/37.

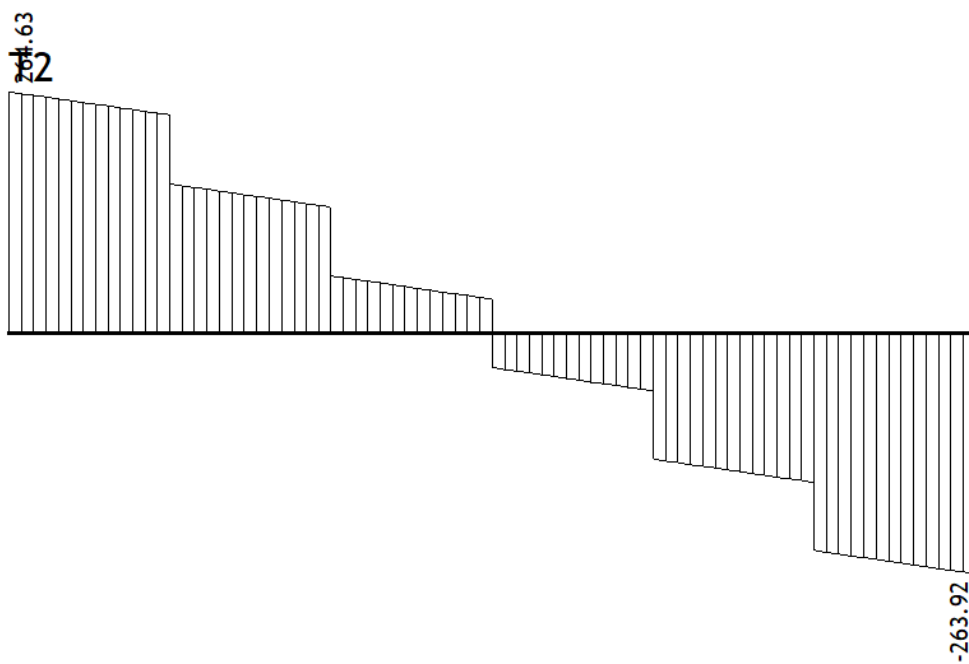


Slika 6.30. Pogled na glavni nosač GN1

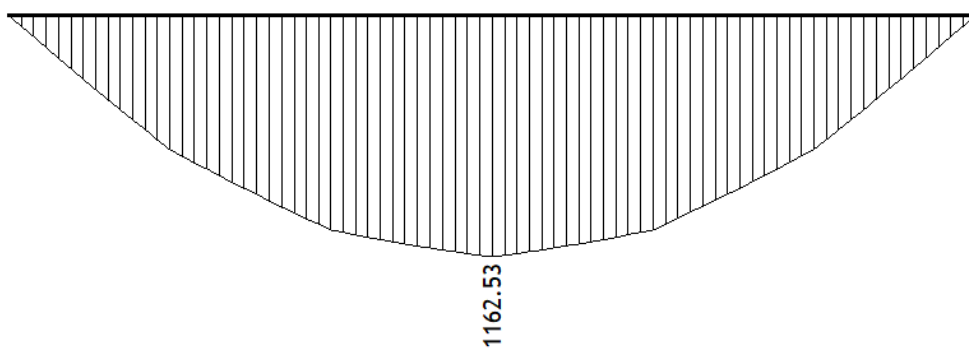


Slika 6.31. Poprečni presjek GN1

GSN: $1.35x(g)+1.35x(dg)+0.9x(s)+1.5x(w1+w4)$



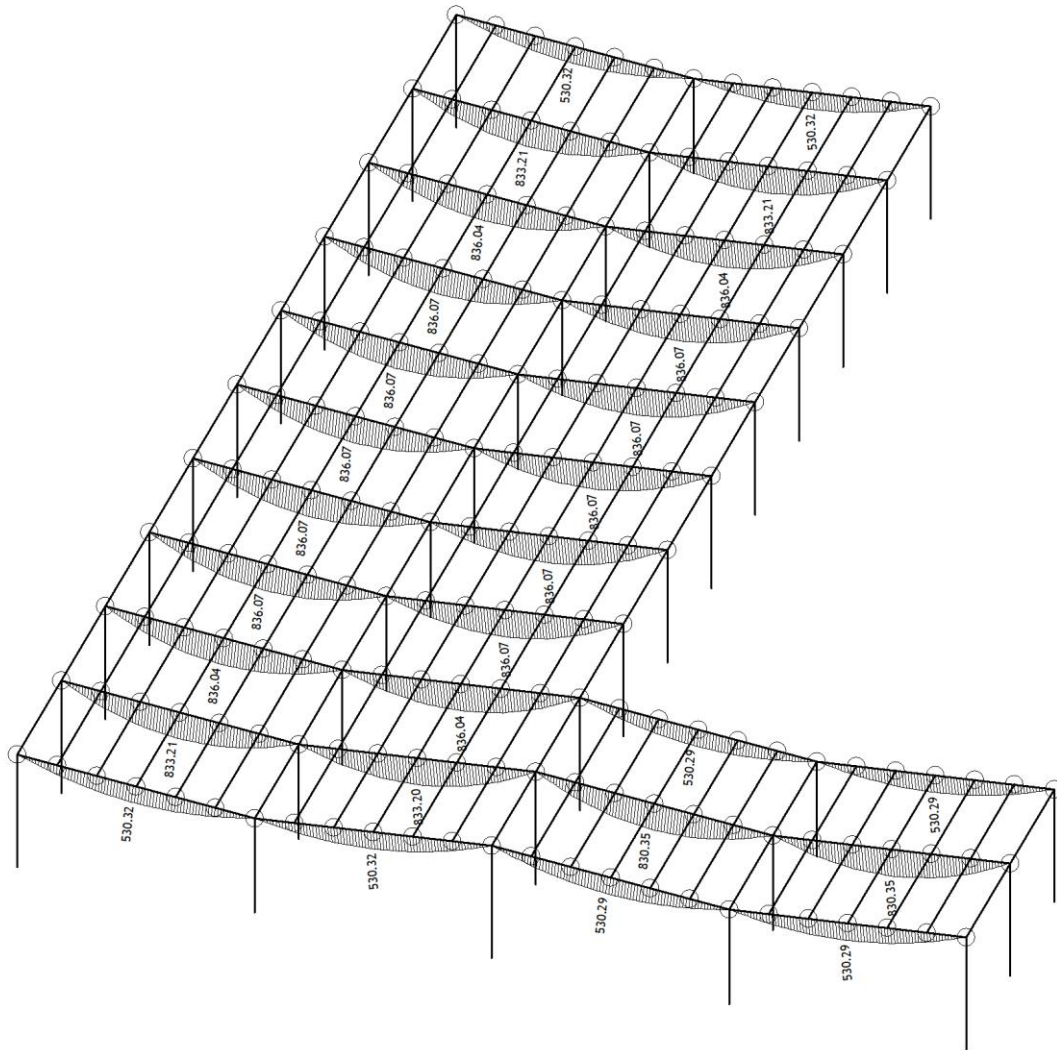
M3



T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.33. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSN

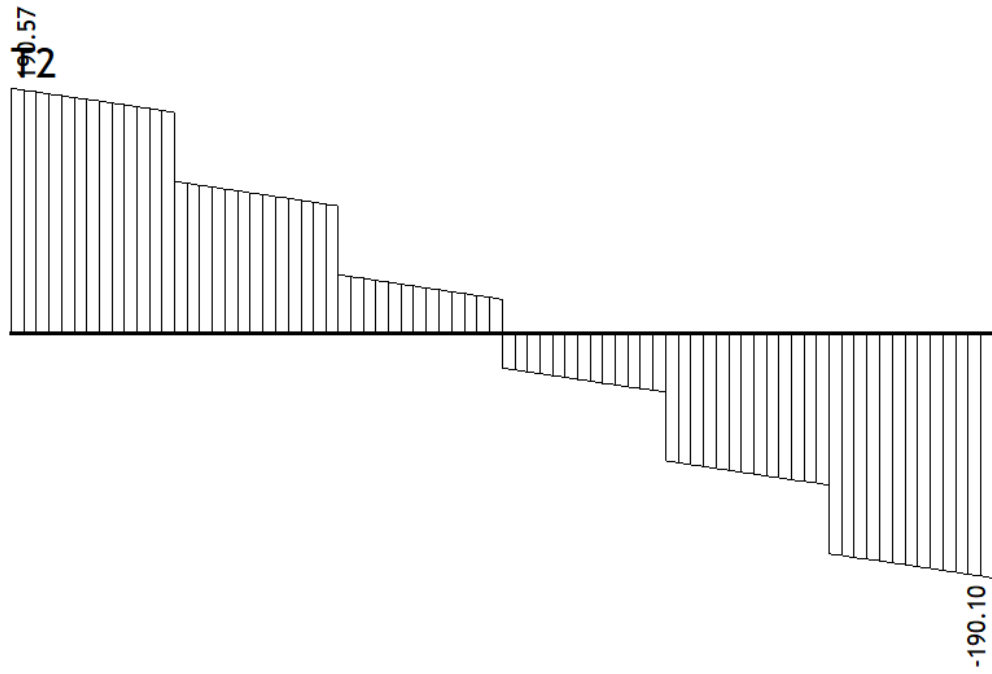
GSU: g+dg+0.6x(s)+w1+w4



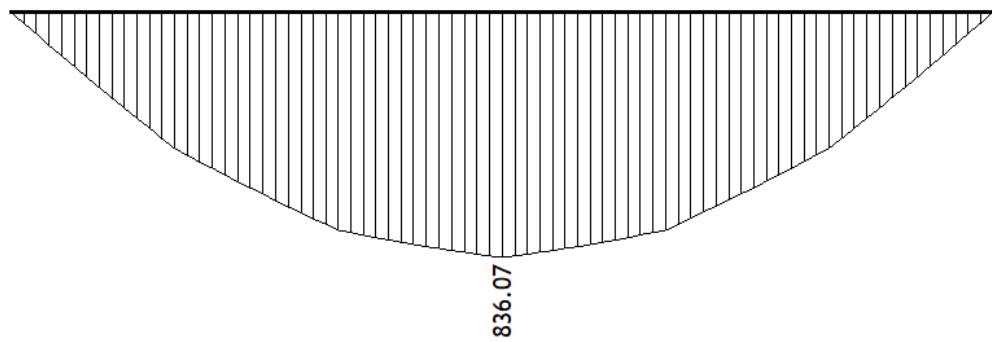
Izometrija
Utjecaji u gredi: max M3= 836.07

Slika 6.34. M_y (kNm) za kombinaciju GSU

GSU: $g+dg+0.6x(s)+w1+w4$



M3

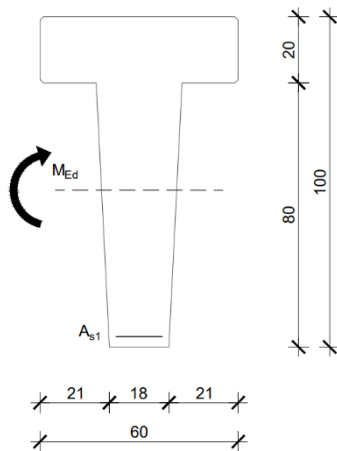


T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.35. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSU

6.5.2. Dimenzioniranje

6.5.2.1. Savijanje oko horizontalne osi



$$M_{Ed} = 1162,53 \text{ kNm}$$

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

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 100 - 5 = 95 \text{ cm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$C35/40 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{1162,53 \cdot 100}{60 \cdot 95^2 \cdot 2,33} = 0,092 \rightarrow \mu_{sd} = 0,094$$

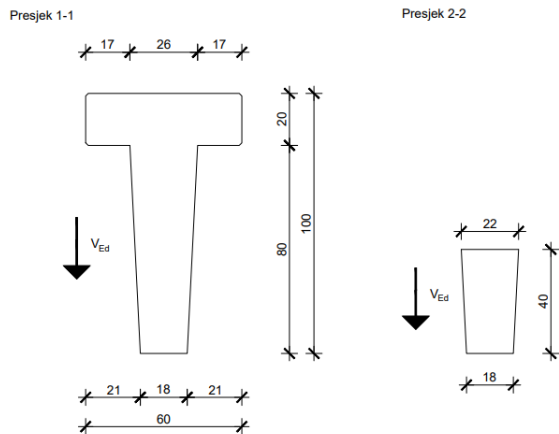
$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 2,1\text{‰}, \zeta = 0,934, \xi = 0,174$$

$$x = \xi \cdot d = 0,174 \cdot 95 = 16,53 \text{ cm} \leq h_f = 20 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1162,53 \cdot 100}{0,934 \cdot 95 \cdot 43,48} = 30,13 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 8Ø22 (As= 30,41 cm²)

6.5.2.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu



$$V_{Ed} = 264,63 \text{ kN}$$

$$\text{Beton: C35/40} \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

Za klasu betona C35/40: $\rho_{min} = 0,0011$

Presjek 1-1

$$\rho_L^{1-1} = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{8 \cdot 22}{2954} = \frac{30,41}{2954} = 0,01$$

$$b_w^{1-1} = 18 \text{ cm}$$

$$d^{1-1} = 100 - 5 = 95 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{950}} = 1,46 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,46 \cdot (100 \cdot 0,01 \cdot 35)^{1/3} + 0] \cdot 180 \cdot 950$$

$$V_{Rd,c} = 98,97 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,46^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0,365$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,365 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 180 \cdot 950$$

$$V_{Rd,c} \geq 62,42 \text{ kN} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

Maksimalna poprečna sila koja se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot [1 - \frac{f_{ck}}{250}] = 0,6 \cdot [1 - \frac{35}{250}] = 0,516$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,516 \cdot 950 \cdot 180 \cdot 23,3$$

$$V_{Rd,max} = 1027,95 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max}/V_{Rd,max} = 264,63/1027,95 = 0,26 < 0,3$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot 95 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{71,25 ; 30 \text{ cm}\} \rightarrow s_{max} = 30 \text{ cm}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,0011 \cdot 30 \cdot 18}{2} = 0,30 \text{ cm}^2$$

Odabir minimalne spone: $\emptyset 10/30$ ($A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$), $m = 2$

$$s_{w,pot} = \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,79}{0,0011 \cdot 18} = 79,8 \text{ cm}$$

Odabrano: $\emptyset 10/30 \text{ cm}$

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\Theta$$

$$V_{Rd} = \frac{0,79}{30} \cdot 0,9 \cdot 95 \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 195,79 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 264,63 \text{ kN} > V_{Rd} = 195,79 \text{ kN}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$S_w < \frac{m \cdot A_{ws} \cdot f_{ywd} \cdot z}{V E d} < \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot 0,9 \cdot 95}{264,63} < 22,2 \text{ cm}$$

Postaviti spone: Ø10/20 cm

Presjek 2-2

$$\rho_L^{2-2} = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{2 \cdot \emptyset 22}{720} = \frac{7,60}{720} = 0,011$$

$$b_w^{2-2} = 18 \text{ cm}$$

$$d^{2-2} = 40 - 5 = 35 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{350}} = 1,76 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,76 \cdot (100 \cdot 0,011 \cdot 35)^{1/3} + 0] \cdot 180 \cdot 350$$

$$V_{Rd,c} = 44,93 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,76^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0,483$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,483 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 180 \cdot 350$$

$$V_{Rd,c} \geq 30,46 \text{ kN} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

Maksimalna poprečna sila koja se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{35}{250}\right] = 0,516$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,516 \cdot 350 \cdot 180 \cdot 23,3$$

$$V_{Rd,max} = 378,72 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max}/V_{Rd,max} = 264,63/378,72 = 0,7 > 0,6$$

$$s_{max} = \min\{0,3 \cdot d ; 20 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{0,3 \cdot 35 ; 20 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{10,5 ; 20 \text{ cm}\} \rightarrow s_{max} = 10 \text{ cm}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,0011 \cdot 10 \cdot 18}{2} = 0,1 \text{ cm}^2$$

Odabir minimalne spone: Ø10/10 ($A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$), $m = 2$

$$s_{w,pot} = \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,79}{0,0011 \cdot 18} = 79,8 \text{ cm}$$

Odabrano: Ø10/10 cm

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\Theta$$

$$V_{Rd} = \frac{0,79}{10} \cdot 0,9 \cdot 35 \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 216,40 \text{ kN}$$

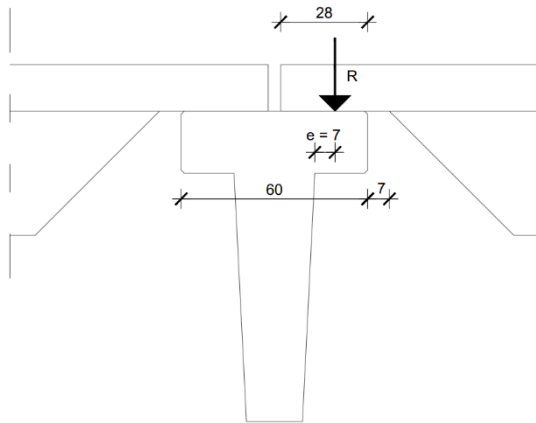
$$V_{Ed} = 264,63 \text{ kN} > V_{Rd} = 216,40 \text{ kN}$$

Na mjestu maksimalne poprečne sile:

$$s_w < \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z}{V_{Ed}} < \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot 0,9 \cdot 35}{264,63} < 8,17 \text{ cm}$$

Postaviti spone: Ø10/8 cm

6.5.2.3. Kontrola kratke konzole glavnog nosača



$$\frac{R}{a \cdot b} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 35 = 15,75 \text{ MPa} = 1,575 \text{ kN/cm}^2$$

$$R = V_{Ed} = 26,9 \text{ kN}$$

$$e = 7 \text{ cm}$$

$$\frac{26,9}{17 \cdot 40} = 0,04 \text{ kN/cm}^2 < 1,575 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{Ed} = R \cdot e = 37,8 \cdot 0,07 = 2,65 \text{ kNcm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{2,65 \cdot 100}{40 \cdot 17^2 \cdot 2,33} = 0,01 \rightarrow \mu_{Ed} = 0,013$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 0,6\text{‰}, \zeta = 0,981, \xi = 0,057$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2,65 \cdot 100}{0,981 \cdot 17 \cdot 43,48} = 0,36 \text{ cm}^2$$

Odabrano: Ø10/30 ($A_s = 2,37 \text{ cm}^2$)

6.5.2.4. Kontrola oslanjanja glavnog nosača na stup

$$R = V_{Ed} = 190,1 \text{ kN}$$

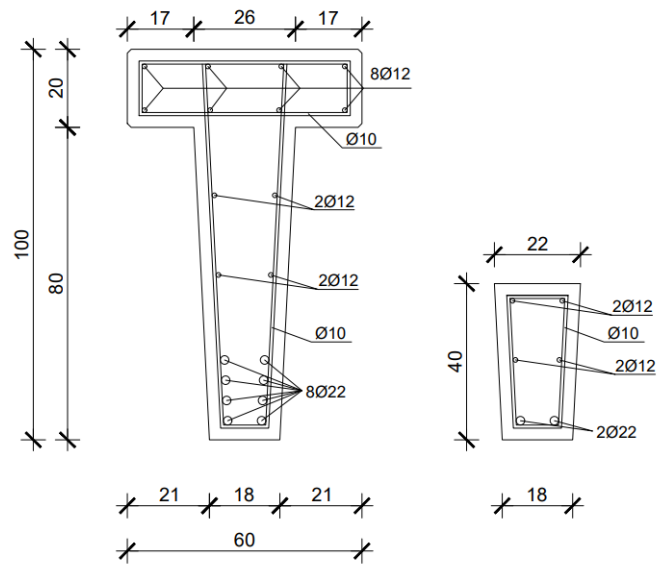
$$\frac{R}{a \cdot b} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 30 = 13,50 \text{ MPa} = 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{190,1}{18 \cdot 23} = 0,46 \text{ kN/cm}^2 < 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

Na mjestu oslanjanja glavnog nosača na stup potrebno je postaviti tanki sloj neoprena debljine 3 mm.

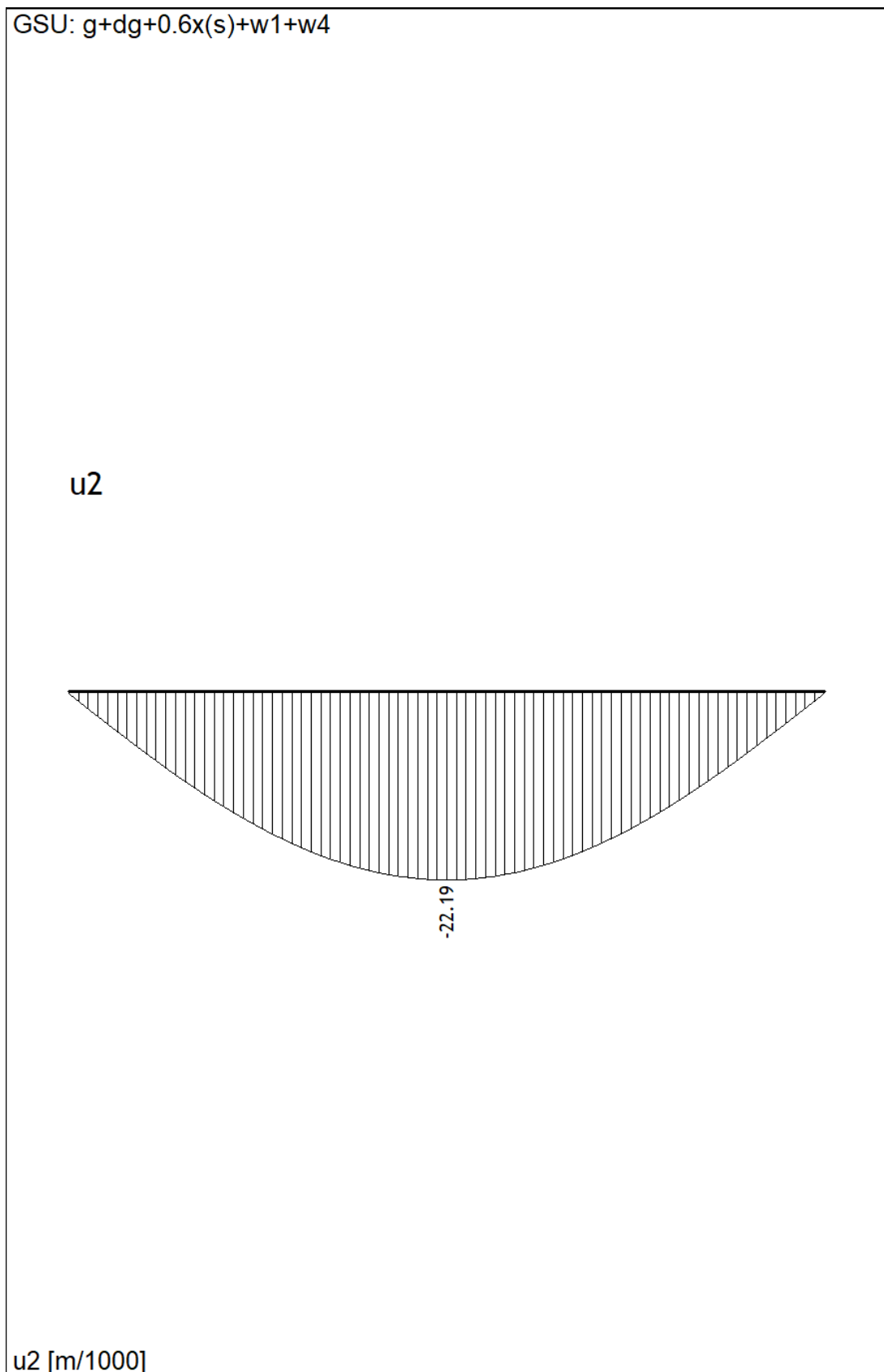
Presjek 1-1

Presjek 2-2



Slika 6.36. Armatura glavnog nosača GNI

6.5.2.5. Kontrola progiba



Slika 6.37. u_z (mm) za kombinaciju GSU

$$u_{dop} = \frac{l}{250}$$

$$u_{dop} = \frac{1535}{250} = 6,14 \text{ cm} = 61,4 \text{ mm}$$

$$u_t = 22,25 \text{ mm} < 61,4 \text{ mm}$$

Deformacije određujemo iz dijagrama deformacija dobivenih pomoću računalnog programa Aspalathos Section Design.

Dijagram:

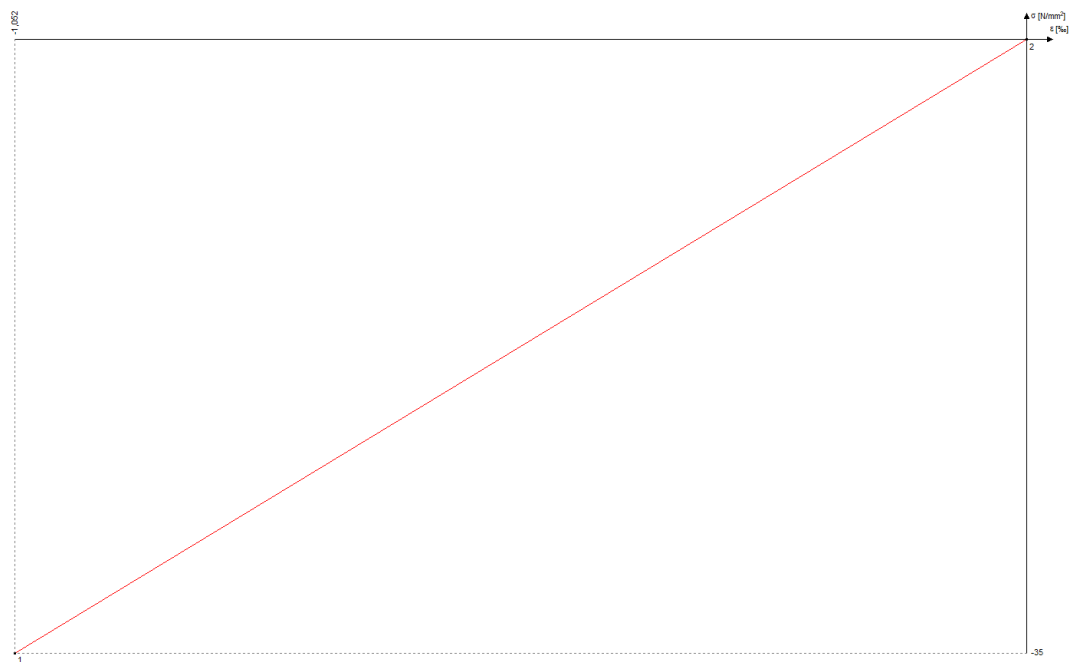
Prva točka: $f_{ck} / E_{cm} = 35/33,3 = 1,052 \text{ ‰}$

(-1,052; -35)

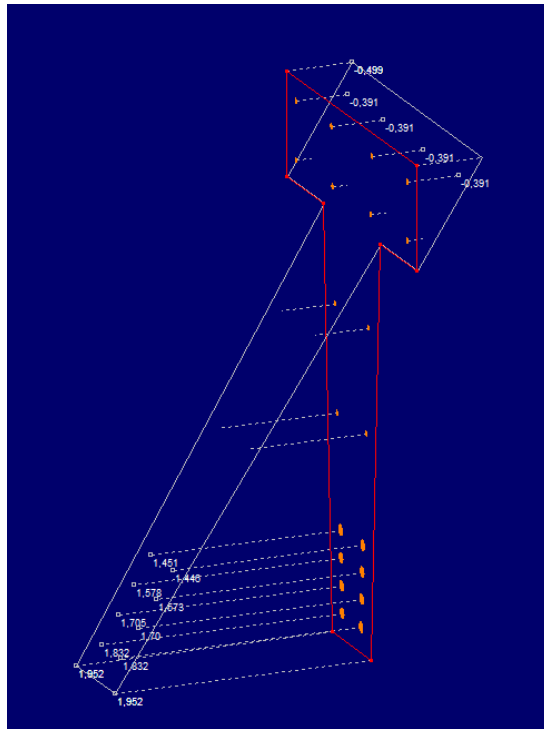
Druga točka:

(0, 0)

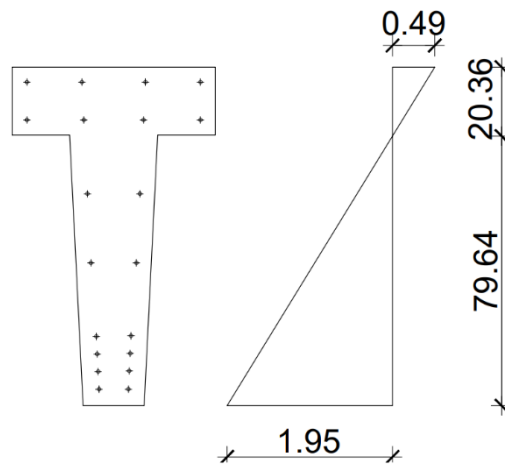
| | ϵ [‰] | σ [N/mm ²] |
|---|----------------|-------------------------------|
| 1 | -1,052 | -35 |
| 2 | 0,00 | 0 |



Slika 6.38. σ - ϵ dijagram betona

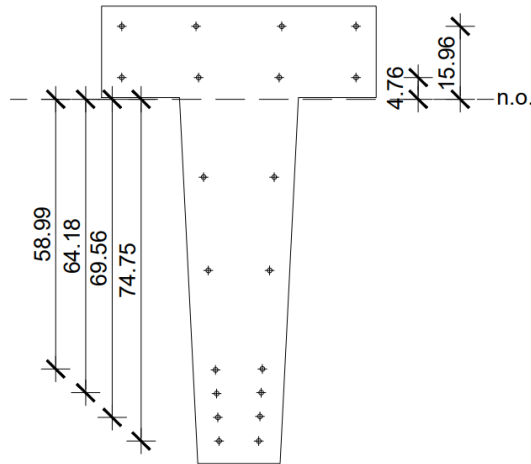


Slika 6.39. Deformacije (%)



Slika 6.40. Položaj neutralne osi (od vrha 20,36 cm)

Moment tromosti raspucalog presjeka



Slika 6.41. Udaljenosti težišta armature do neutralne osi

$$\alpha_{el} = \frac{Es}{E_{cm}} = \frac{200}{33,3} = 6,01$$

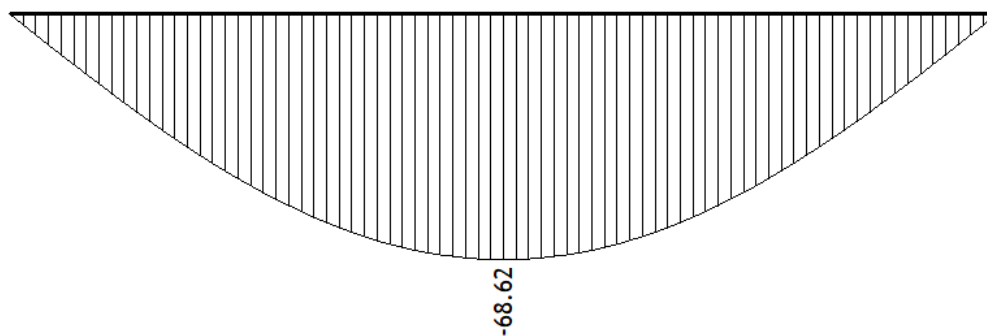
$$I_{bet} = 40958,96 \text{ cm}^4$$

$$I_{bet} + I_{arm} = 40958,96 + 6,01 \cdot 4,52 \cdot (4,76^2 + 15,96^2) + 6,01 \cdot 7,6 \cdot (74,75^2 + 69,56^2 + 64,18^2 + 58,99^2)$$

$$I_{bet} + I_{arm} = 871000,00 \text{ cm}^4$$

GSU: $g+dg+0.6x(s)+w1+w4$

u_2



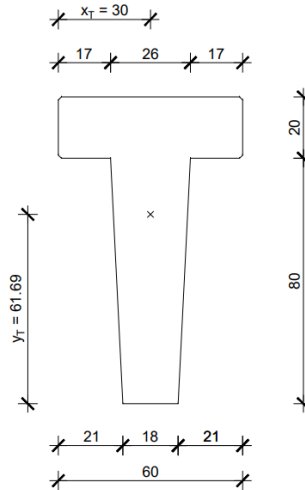
u_2 [m/1000]

Slika 6.42. u_z (mm) raspucalog presjeka za kombinaciju GSU

$u_t = 68,62 \text{ mm} > 61,4 \text{ mm} \rightarrow$ potrebno izvesti nadvišenje u oplati u iznosu progiba od vlastite težine i dodatnog stalnog opterećenja 30 mm

$u_t = 38,62 \text{ mm} < 61,4 \text{ mm}$

6.5.2.6. Kontrola pukotina



Slika 6.43. Položaj težišta presjeka GN1

$$M_{Ed} = 836,07 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2581538,79 \text{ cm}^4$$

$$z = 61,69 \text{ cm}$$

C35/45, B500B

Moment nastanka prve pukotine:

$$M_{cr} = f_{ct,m} \cdot W = f_{ct,m} \cdot \frac{I_y}{z}$$

$$f_{ct,m} = 3,2 \text{ MPa} = 0,32 \text{ kN/cm}^2$$

$$W = \frac{2581538,79}{61,69} = 41846,96 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = 0,32 \cdot 41846,96 = 13391 \text{ kNcm} = 133,91 \text{ kNm} \leq 836,07 \text{ kNm}$$

Dolazi do stvaranja pukotina!

Granična širina pukotina prema EC-2 za armirane betonske konstrukcije iznosi: $Wg = 0,3 \text{ mm}$

$$w_k \leq w_g$$

Računska širina pukotine prema EC-2:

$$w_k = s_{r,m} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$s_{r,max}$ - najveći razmak pukotina

ε_{sm} - srednja deformacija armature

ε_{cm} - srednja deformacija betona između pukotina

$$s_{r,m} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varnothing}{\rho_{p,eff}}$$

\varnothing - promjer šipke

c - zaštitni sloj uzdužne armature

k_1 - koeficijent kojim se uzima u obzir prionjivost čelika i betona ($k_1 = 0,8$ - rebrasta armatura, $k_1 = 1,6$ - glatka armatura)

k_2 - koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj raspodjele deformacija ($k_2 = 0,5$ – savijanje, $k_2 = 1,0$ - vlak)

$k_3 = 3,4$

$k_4 = 0,425$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_s – naprezanje u vlačnoj armature na mjestu pukotine

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s}$$

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right)$$

α_e - omjer modula elastičnosti betona i armature

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

k_t - koeficijent kojim se u obzir uzima trajanje opterećenja ($k_t = 0,6$ - kratkotrajno opterećenje, $k_t = 0,4$ - dugotrajno opterećenje)

$\rho_{p,eff}$ - djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right)$$

$$x = \frac{5,88 \cdot 30,41}{18} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 18 \cdot 95}{5,88 \cdot 30,41}}\right) = 34,63 \text{ cm}$$

$$\alpha_e = \frac{200}{34} = 5,88$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3}\right) \cdot A_s}$$

$$\sigma_s = \frac{836,07 \cdot 100}{\left(95 - \frac{34,63}{3}\right) \cdot 30,41} = 32,94 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 329,4 \text{ MPa}$$

$$k_t = 0,6$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{b \cdot d_1 \cdot 2,5} = \frac{30,41}{18 \cdot 12,7 \cdot 2,5} = 0,053$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}}\right) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{329,4 - 0,6 \cdot \left(\frac{3,2}{0,053}\right) \cdot (1 + 5,88 \cdot 0,053)}{200000} \geq 0,6 \cdot \frac{329,4}{200000}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,001409 \geq 0,000988$$

$$s_{rm} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}}$$

$$s_{rm} = 3,4 \cdot 30 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{22}{0,053} = 172,57$$

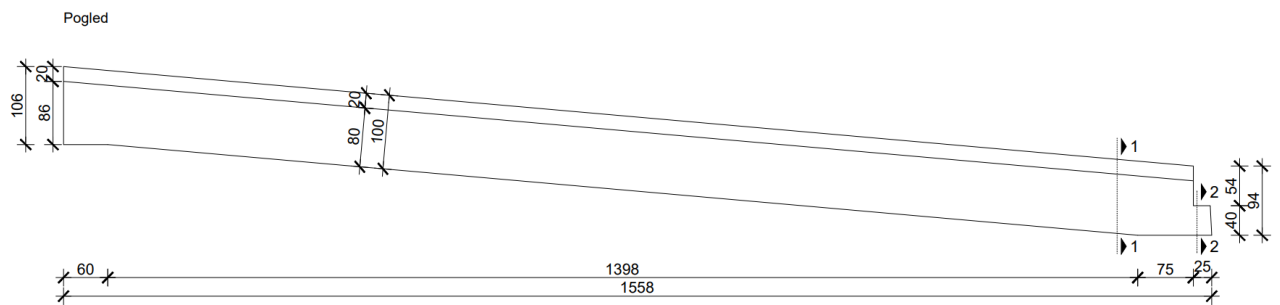
$$W_k = s_{rm} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$W_k = 172,57 \cdot 0,001409 = 0,24 \text{ mm} < 0,3 \text{ mm}$$

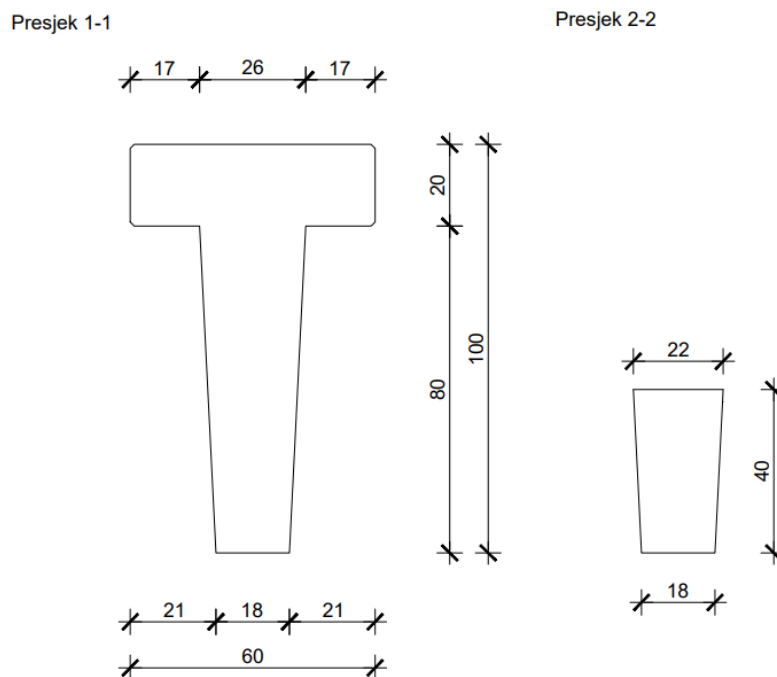
6.6. Proračun glavnog krovnog rubnog nosača GN2

Glavni rubni krovni nosači na zabatima predviđeni su kao "T100" nosači jednako kao i središnji krovni nosači. Glavni nosači se oslanjaju na stupove čiji raster iznosi $2 \times 15,35$ m u poprečnom smjeru. Čitavo opterećenje koje preuzimaju krovne podrožnice sa krovne obloge prenose na glavne nosače. Podrožnice se oslanjaju na glavne nosače samo preko gornjeg pojasa. Nalijeganje podrožnica na gornji pojas glavnih nosača je u duljini 28 cm. .

Za sve nosače predviđen je beton C35/40 te armatura B500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 2,0-2,5 cm. Svi spojevi su nepomični (fiksni). Beton za zapunjenje je C30/37.

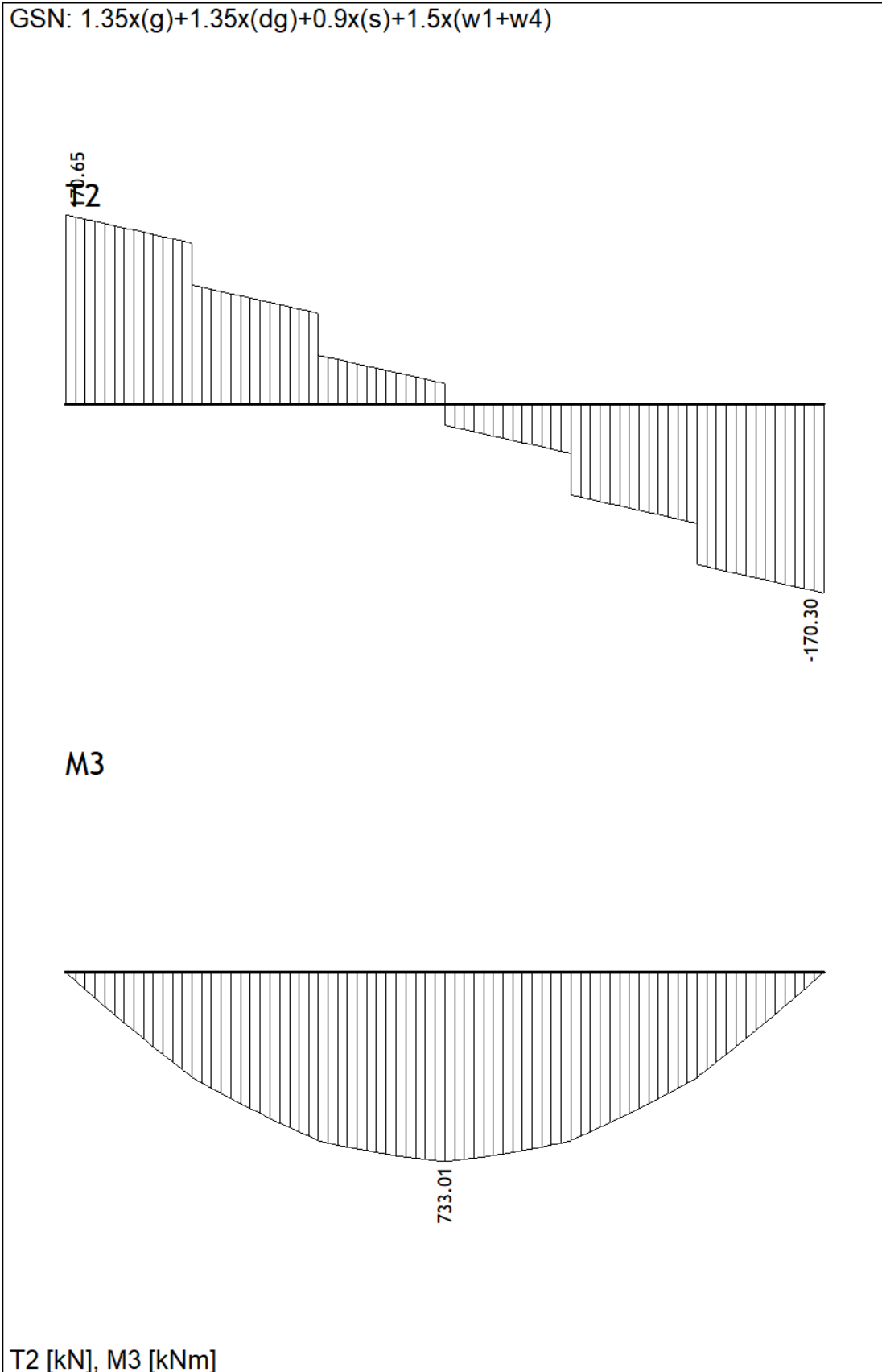


Slika 6.44. Pogled na glavni nosač GN2



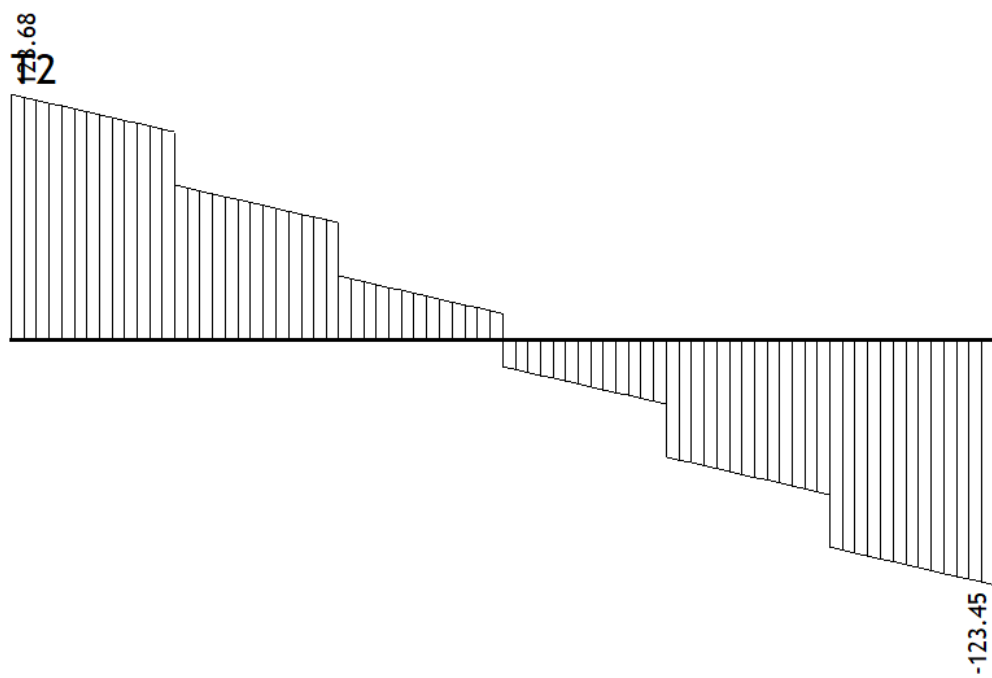
Slika 6.45. Poprečni presjek GN2

6.6.1. Rezne sile

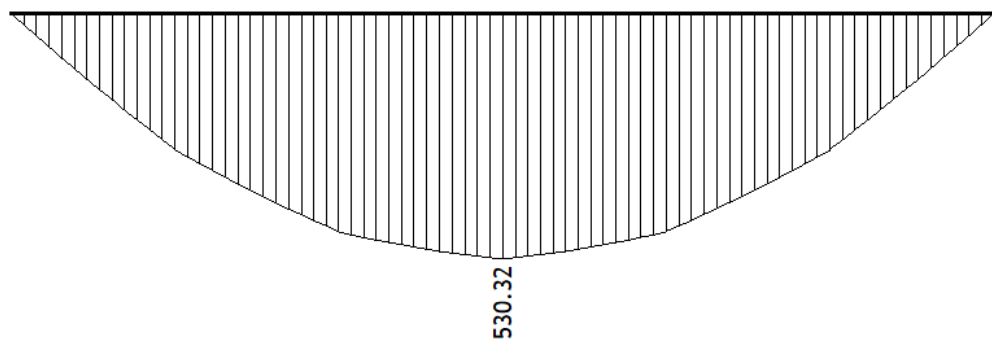


Slika 6.46. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSN

GSU: $g+dg+0.6x(s)+w1+w4$



M3

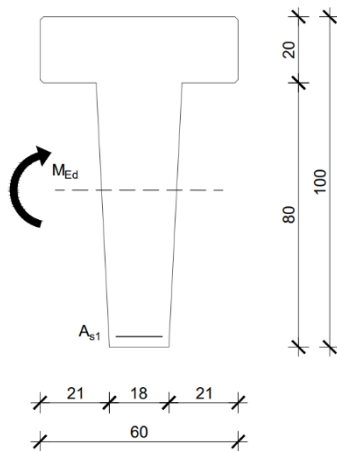


T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.47. M_y (kNm), V_z (kN) za kombinaciju GSU

6.6.2. Dimenzioniranje

6.6.2.1. Savijanje oko horizontalne osi



$$M_{Ed} = 733,01 \text{ kNm}$$

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

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 100 - 5 = 95 \text{ cm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$C35/40 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{733,01 \cdot 100}{60 \cdot 95^2 \cdot 2,33} = 0,058 \rightarrow \mu_{sd} = 0,059$$

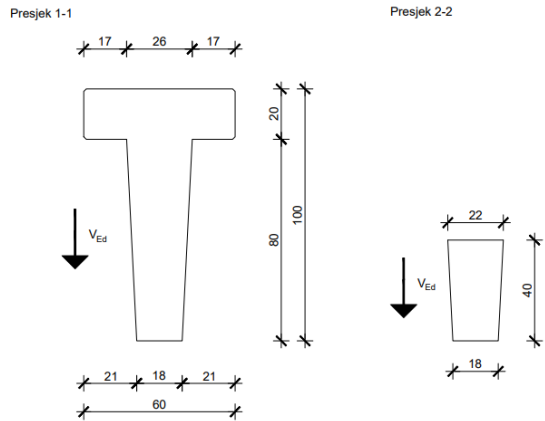
$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,5\text{‰}, \zeta = 0,953, \xi = 0,130$$

$$x = \xi \cdot d = 0,130 \cdot 95 = 12,35 \text{ cm} \leq h_f = 20 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{733,01 \cdot 100}{0,953 \cdot 95 \cdot 43,48} = 18,62 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 6Ø20 (As= 18,85 cm²)

6.6.2.2. Dimenzioniranje na poprečnu silu



$$V_{Ed} = 170,65 \text{ kN}$$

$$\text{Beton: C35/40} \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

Za klasu betona C35/40: $\rho_{min} = 0,0011$

Presjek 1-1

$$\rho_L^{1-1} = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{6 \cdot 20}{2954} = \frac{18,85}{2954} = 0,006$$

$$b_w^{1-1} = 18 \text{ cm}$$

$$d^{1-1} = 100 - 5 = 95 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{950}} = 1,46 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,46 \cdot (100 \cdot 0,006 \cdot 35)^{1/3} + 0] \cdot 180 \cdot 950$$

$$V_{Rd,c} = 84,37 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,46^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0,365$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,365 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 180 \cdot 950$$

$$V_{Rd,c} \geq 62,42 \text{ kN} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

Maksimalna poprečna sila koja se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot [1 - \frac{f_{ck}}{250}] = 0,6 \cdot [1 - \frac{35}{250}] = 0,516$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,516 \cdot 950 \cdot 180 \cdot 23,3$$

$$V_{Rd,max} = 1027,95 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max}/V_{Rd,max} = 170,65/1027,95 = 0,17 < 0,3$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{0,75 \cdot 95 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{71,25 ; 30 \text{ cm}\} \rightarrow s_{max} = 30 \text{ cm}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,0011 \cdot 30 \cdot 18}{2} = 0,30 \text{ cm}^2$$

Odabir minimalne spone: $\emptyset 10/30$ ($A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$), $m = 2$

$$s_{w,pot} = \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,79}{0,0011 \cdot 18} = 79,8 \text{ cm}$$

Odabrano: $\emptyset 10/30 \text{ cm}$

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\Theta$$

$$V_{Rd} = \frac{0,79}{30} \cdot 0,9 \cdot 95 \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 195,79 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 195,79 \text{ kN} > V_{Rd} = 170,65 \text{ kN} \rightarrow \text{spone zadovoljavaju posvuda}$$

Odabrano: $\emptyset 10/30 \text{ cm}$

Presjek 2-2

$$\rho_L^{2-2} = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{2\phi 20}{720} = \frac{6,28}{720} = 0,008$$

$$b_w^{2-2} = 18 \text{ cm}$$

$$d^{2-2} = 40 - 5 = 35 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{350}} = 1,76 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,76 \cdot (100 \cdot 0,008 \cdot 35)^{1/3} + 0] \cdot 180 \cdot 350$$

$$V_{Rd,c} = 40,40 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,76^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0,483$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,483 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 180 \cdot 350$$

$$V_{Rd,c} \geq 30,46 \text{ kN} \rightarrow \text{uvjet zadovoljen}$$

Maksimalna poprečna sila koja se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot v \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

$$v = 0,6 \cdot [1 - \frac{f_{ck}}{250}] = 0,6 \cdot [1 - \frac{35}{250}] = 0,516$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,516 \cdot 350 \cdot 180 \cdot 23,3$$

$$V_{Rd,max} = 378,72 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max}/V_{Rd,max} = 170,65/378,72 = 0,45 < 0,6$$

$$s_{max} = \min\{0,55 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{0,55 \cdot 35 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{max} = \min\{19,25 ; 20 \text{ cm}\} \rightarrow s_{max} = 19 \text{ cm}$$

Potrebna poprečna armatura:

$$A_{sw,min} = \frac{\rho_{min} \cdot s_{w,max} \cdot b_w}{m} = \frac{0,0011 \cdot 19 \cdot 18}{2} = 0,18 \text{ cm}^2$$

Odabir minimalne spone: Ø10/15 ($A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$), $m = 2$

$$s_{w,pot} = \frac{m \cdot A_{sw}}{\rho_{min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,79}{0,0011 \cdot 18} = 79,8 \text{ cm}$$

Odabrano: Ø10/15 cm

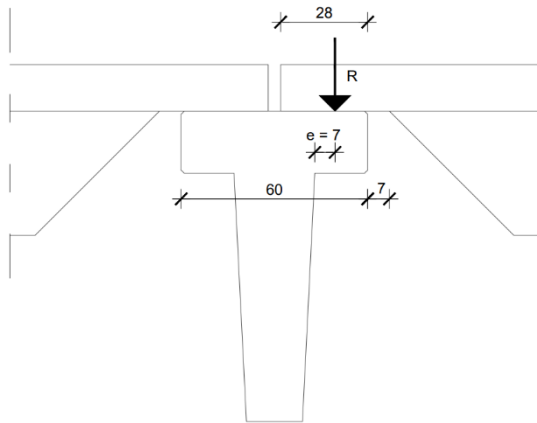
$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\Theta$$

$$V_{Rd} = \frac{0,79}{10} \cdot 0,9 \cdot 35 \cdot 43,48 \cdot 2 \cdot 1 = 216,40 \text{ kN}$$

$V_{Ed} = 170,65 \text{ kN} < V_{Rd} = 216,40 \text{ kN} \rightarrow$ spone zadovoljavaju posvuda

Postaviti spone: Ø10/15 cm

6.6.2.3. Kontrola kratke konzole glavnog nosača



$$\frac{R}{a \cdot b} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 35 = 15,75 \text{ MPa} = 1,575 \text{ kN/cm}^2$$

$$R = V_{Ed} = 26,9 \text{ kN}$$

$$e = 7 \text{ cm}$$

$$\frac{26,9}{17 \cdot 40} = 0,04 \text{ kN/cm}^2 < 1,575 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{Ed} = R \cdot e = 37,8 \cdot 0,07 = 2,65 \text{ kNcm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{2,65 \cdot 100}{40 \cdot 17^2 \cdot 2,33} = 0,01 \rightarrow \mu_{Ed} = 0,013$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 0,6\text{‰}, \zeta = 0,981, \xi = 0,057$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2,65 \cdot 100}{0,981 \cdot 17 \cdot 43,48} = 0,36 \text{ cm}^2$$

Odabrano: Ø10/30 ($A_s = 2,37 \text{ cm}^2$)

6.6.2.4. Kontrola oslanjanja glavnog nosača na stup

$$R = V_{Ed} = 123,68 \text{ kN}$$

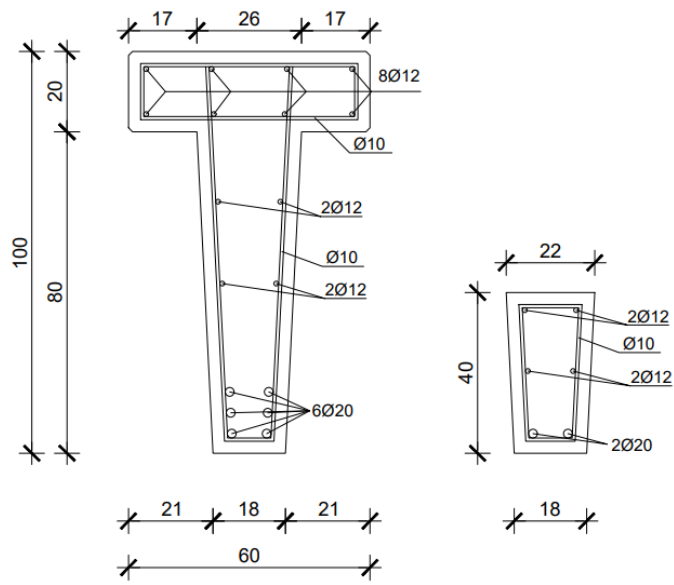
$$\frac{R}{a \cdot b} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 30 = 13,50 \text{ MPa} = 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{123,68}{18 \cdot 23} = 0,30 \text{ kN/cm}^2 < 1,35 \text{ kN/cm}^2$$

Na mjestu oslanjanja glavnog nosača na stup potrebno je postaviti tanki sloj neoprena debljine 3 mm.

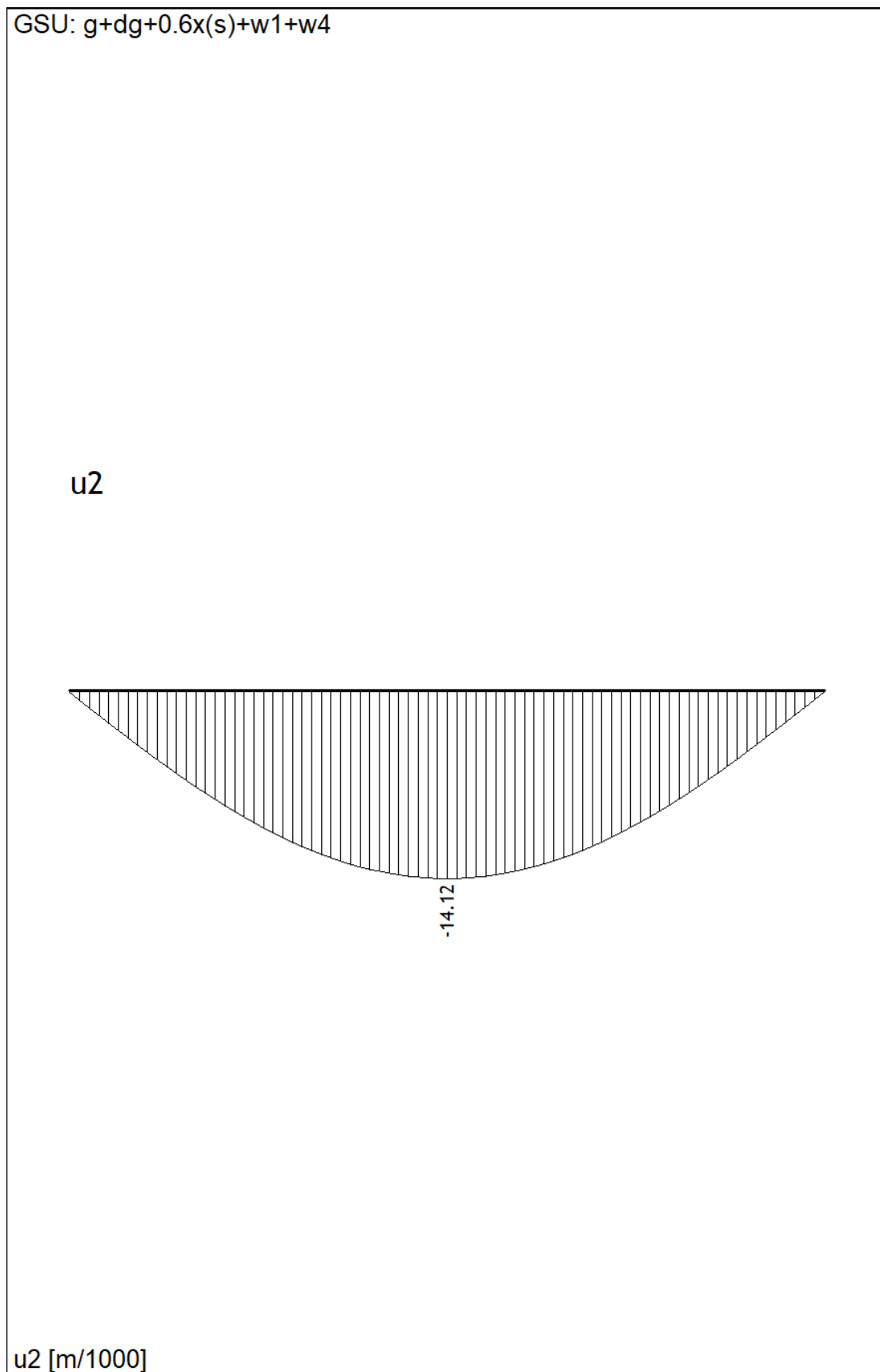
Presjek 1-1

Presjek 2-2



Slika 6.48. Armatura glavnog nosača GN2

6.6.2.5. Kontrola progiba



Slika 6.49. u_z (mm) za kombinaciju GSU

$$u_{\text{dop}} = \frac{l}{250}$$

$$u_{\text{dop}} = \frac{1535}{250} = 6,14 \text{ cm} = 61,4 \text{ mm}$$

$$u_t = 14,12 \text{ mm} < 61,4 \text{ mm}$$

Deformacije određujemo iz dijagrama deformacija dobivenih pomoću računalnog programa Aspalathos Section Design.

Dijagram:

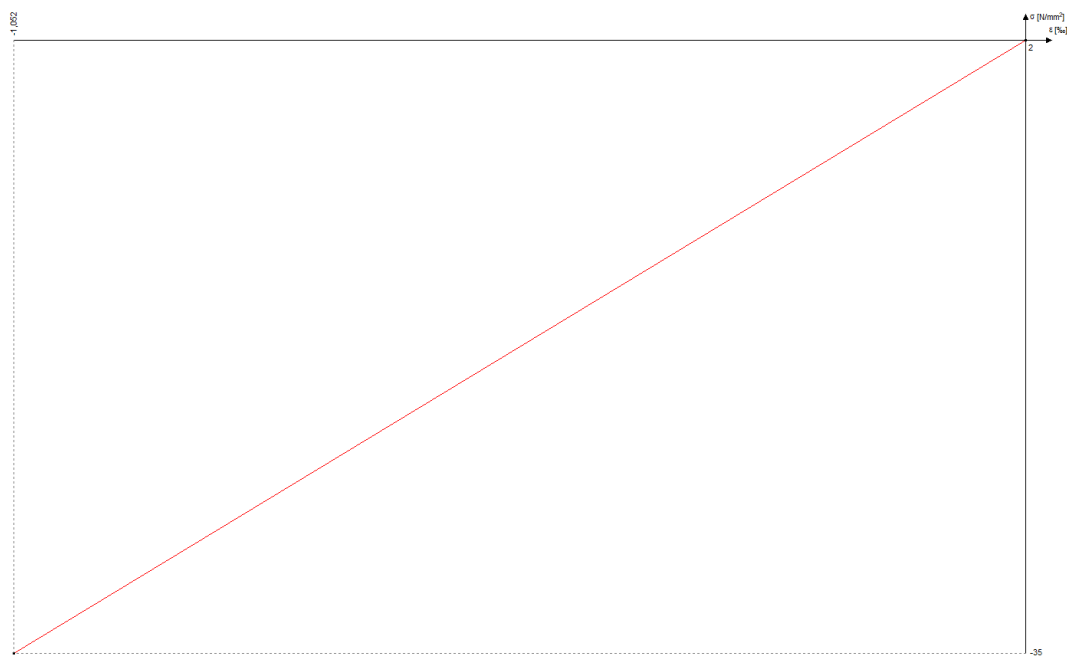
Prva točka: $f_{ck} / E_{cm} = 35/33,3 = 1,052 \text{ ‰}$

(-1,052; -35)

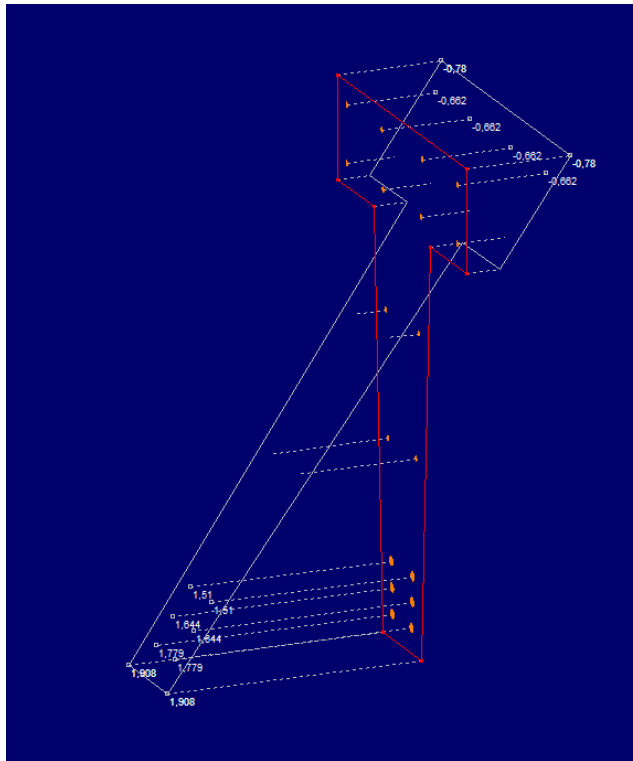
Druga točka:

(0, 0)

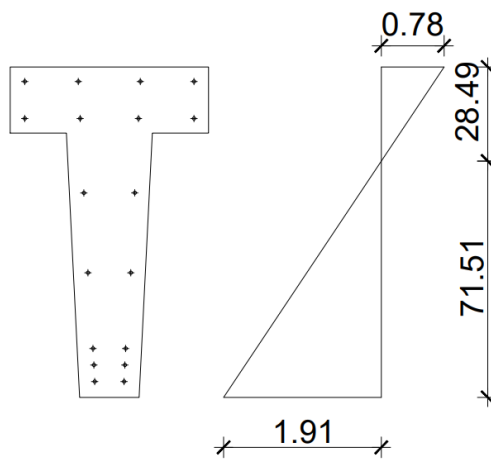
| | ϵ [‰] | σ [N/mm ²] |
|---|----------------|-------------------------------|
| 1 | -1,052 | -35 |
| 2 | 0,00 | 0 |



Slika 6.50. σ - ϵ dijagram betona

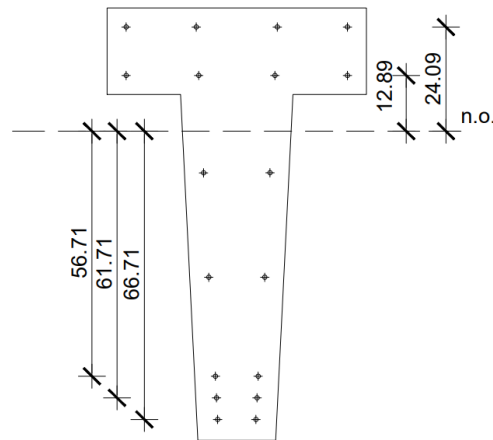


Slika 6.51. Deformacije (%)



Slika 6.52. Položaj neutralne osi (od vrha 28,49 cm)

Moment tromosti raspucalog presjeka



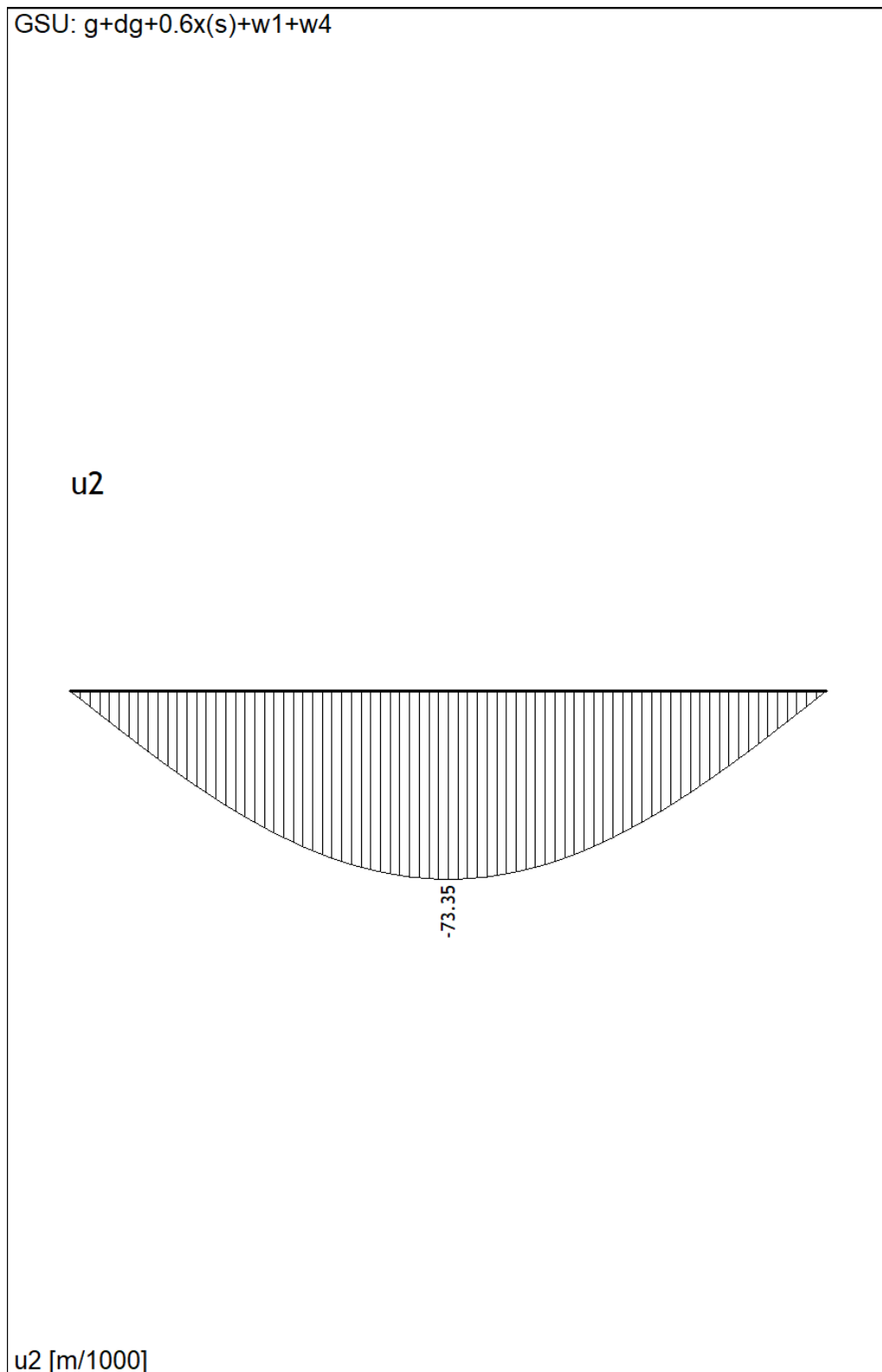
Slika 6.53. Udaljenosti težišta armature do neutralne osi

$$\alpha_{el} = \frac{Es}{E_{cm}} = \frac{200}{33,3} = 6,01$$

$$I_{bet} = 78491,32 \text{ cm}^4$$

$$I_{bet} + I_{arm} = 78491,32 + 6,01 \cdot 4,52 \cdot (12,89^2 + 24,09^2) + 6,01 \cdot 6,28 \cdot (66,71^2 + 61,71^2 + 56,71^2)$$

$$I_{bet} + I_{arm} = 531844,54 \text{ cm}^4$$

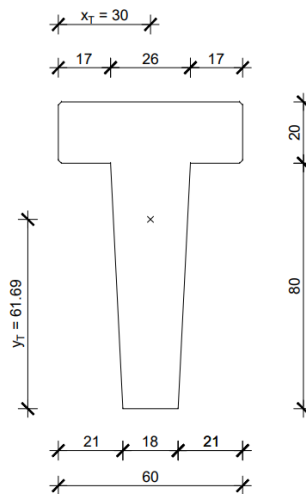


Slika 6.54. u_z (mm) raspucalog presjeka za kombinaciju GSU

$u_t = 73,35 \text{ mm} > 61,4 \text{ mm} \rightarrow$ potrebno izvesti nadvišenje u oplati u iznosu progiba od vlastite težine i dodatnog stalnog opterećenja 30 mm

$u_t = 43,35 \text{ mm} < 61,4 \text{ mm}$

6.6.2.6. Kontrola pukotina



Slika 6.55. Položaj težišta presjeka GN2

$$M_{Ed} = 530,32 \text{ kNm}$$

$$I_y = 2581538,79 \text{ cm}^4$$

$$z = 61,69 \text{ cm}$$

C35/45, B500B

Moment nastanka prve pukotine:

$$M_{cr} = f_{ct,m} \cdot W = f_{ct,m} \cdot \frac{I_y}{z}$$

$$f_{ct,m} = 3,2 \text{ MPa} = 0,32 \text{ kN/cm}^2$$

$$W = \frac{2581538,79}{61,69} = 41846,96 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = 0,32 \cdot 41846,96 = 13391 \text{ kNcm} = 133,91 \text{ kNm} \leq 530,32 \text{ kNm}$$

Dolazi do stvaranja pukotina!

Granična širina pukotina prema EC-2 za armirane betonske konstrukcije iznosi: $W_g = 0,3 \text{ mm}$

$$w_k \leq w_g$$

Računska širina pukotine prema EC-2:

$$w_k = s_{rm} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$s_{r,max}$ - najveći razmak pukotina

ε_{sm} - srednja deformacija armature

ε_{cm} - srednja deformacija betona između pukotina

$$s_{rm} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}}$$

\emptyset - promjer šipke

c - zaštitni sloj uzdužne armature

k_1 - koeficijent kojim se uzima u obzir prionjivost čelika i betona ($k_1 = 0,8$ - rebrasta armatura, $k_1 = 1,6$ - glatka armatura)

k_2 - koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj raspodjele deformacija ($k_2 = 0,5$ – savijanje, $k_2 = 1,0$ - vlak)

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_s – naprezanje u vlačnoj armature na mjestu pukotine

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} = \frac{M_{Ed}}{\left(d - \frac{x}{3} \right) \cdot A_s}$$

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right)$$

α_e - omjer modula elastičnosti betona i armature

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

k_t - koeficijent kojim se u obzir uzima trajanje opterećenja ($k_t = 0,6$ - kratkotrajno opterećenje, $k_t = 0,4$ - dugotrajno opterećenje)

$\rho_{p,eff}$ - djelotvorni koeficijent armiranja glavnom vlačnom armaturom

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$x = \frac{\alpha_e \cdot A_{s1}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_e \cdot A_{s1}}} \right)$$

$$x = \frac{5,88 \cdot 18,85}{18} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 18 \cdot 95}{5,88 \cdot 18,85}} \right) = 34,75 \text{ cm}$$

$$\alpha_e = \frac{200}{34} = 5,88$$

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{(d - \frac{x}{3}) \cdot A_s}$$

$$\sigma_s = \frac{530,32 \cdot 100}{(95 - \frac{34,75}{3}) \cdot 18,85} = 33,73 \frac{kN}{cm^2} = 337,3 MPa$$

$$k_t = 0,6$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{b \cdot d_1 \cdot 2,5} = \frac{18,85}{18 \cdot 9,8 \cdot 2,5} = 0,043$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \left(\frac{f_{ctm}}{\rho_{p,eff}} \right) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{337,3 - 0,6 \cdot \left(\frac{3,2}{0,043} \right) \cdot (1 + 5,88 \cdot 0,043)}{200000} \geq 0,6 \cdot \frac{337,3}{200000}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,001407 \geq 0,001011$$

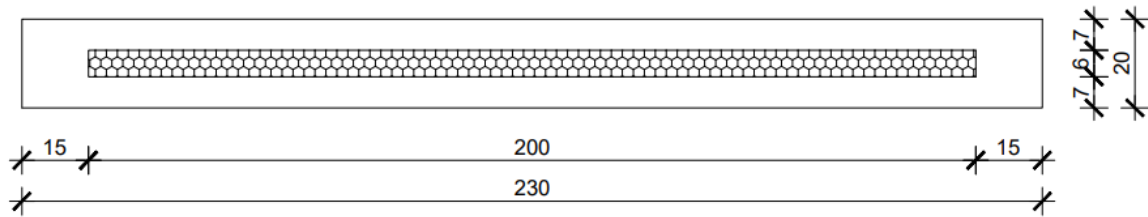
$$s_{rm} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}}$$

$$s_{rm} = 3,4 \cdot 30 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{20}{0,043} = 181,07$$

$$W_k = s_{rm} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$W_k = 181,07 \cdot 0,001407 = 0,25 \text{ mm} < 0,3 \text{ mm}$$

6.7. Proračun fasadnih horizontalnih panela



Slika 6.56. Poprečni presjek horizontalnog panela

6.7.1. Analiza opterećenja

Maksimalni pritisak vjetra: $w = 1,35 \text{ kN/m}^2$

Lokalno savijanje panela:

$$q_{max} = 1,5 \cdot w \cdot 1 \text{ m}'$$

$$q_{max} = 1,5 \cdot 1,35 \cdot 1 \text{ m}' = 2,03 \text{ kN/m}'$$

$$M_{Ed} = \frac{q_{max} \cdot l_{pan}^2}{8} = \frac{2,03 \cdot 2,3^2}{8} = 1,34 \text{ kNm/m}'$$

Globalno savijanje panela:

$$q_{max} = 1,5 \cdot w \cdot 1 \text{ m}'$$

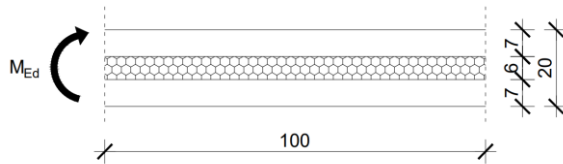
$$q_{max} = 1,5 \cdot 1,35 \cdot 1 \text{ m}' = 2,03 \text{ kN/m}'$$

$$M_{Ed} = \frac{q_{max} \cdot l_{pan}^2}{8} = \frac{2,03 \cdot 8,4^2}{8} = 17,9 \text{ kNm/m}'$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{max} \cdot L_{pan}}{2} = \frac{2,03 \cdot 8,4}{2} = 8,53 \text{ kN}$$

6.7.2. Dimenzioniranje

6.7.2.1. Lokalno savijanje panela



$$M_{Ed} = 1,34 \text{ kNm/m'}$$

$$h = 7 \text{ cm}$$

$$d_1 = 2 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 7 - 2 = 5 \text{ cm}$$

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

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 100 \cdot 5^2 \cdot 2,0 = 795 \text{ kNcm/m'} = 7,95 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Rd,lim} = 7,95 \text{ kNm/m'} > M_{Ed} = 1,46 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{1,34 \cdot 100}{100 \cdot 5^2 \cdot 2,0} = 0,027 \rightarrow \mu_{sd} = 0,031$$

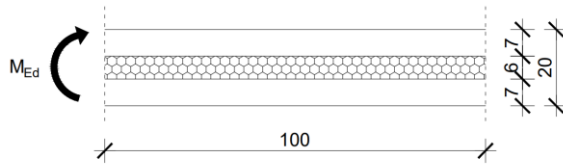
$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,0\text{‰}, \zeta = 0,968, \xi = 0,091$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1,34 \cdot 100}{0,968 \cdot 5 \cdot 43,48} = 0,62 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$A_{s,min} = 0,1\% \cdot A_c = \frac{0,1}{100} \cdot 7 \cdot 100 = 0,7 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Odabrano: Q-131 ($A_s = 1,31 \text{ cm}^2/\text{m'}$)

6.7.2.2. Globalno savijanje panela



$$M_{Ed} = 17,9 \text{ kNm/m'}$$

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

$$d_1 = 2 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 20 - 2 = 18 \text{ cm}$$

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

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 100 \cdot 20^2 \cdot 2,0 = 12720 \text{ kNcm/m'} = 127,2 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Rd,lim} = 127,2 \text{ kNm/m'} > M_{Ed} = 17,9 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{17,9 \cdot 100}{100 \cdot 18^2 \cdot 2,0} = 0,028 \rightarrow \mu_{sd} = 0,031$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,0\text{‰}, \zeta = 0,968, \xi = 0,091$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{17,9 \cdot 100}{0,968 \cdot 18 \cdot 43,48} = 2,37 \text{ cm}^2$$

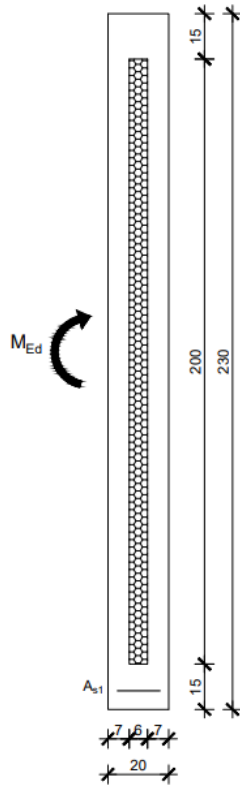
$$A_{s,min} = 0,1\% \cdot A_c = \frac{0,1}{100} \cdot 20 \cdot 100 = 2,0 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Odabrano: 2Ø14 ($A_s = 3,08 \text{ cm}^2$)

6.7.2.3. Globalno savijanje panela od vlastite težine

$$g = 25 \cdot (2 \cdot 2,0 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,15 \cdot 0,20) \cdot 1,0 = 8,5 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot \frac{g \cdot l_{pan}^2}{8} = 1,35 \cdot \frac{8,5 \cdot 8,4^2}{8} = 101,21 \text{ kNm}$$



$$M_{Ed} = 101,21 \text{ kNm}$$

$$h = 230 \text{ cm}$$

$$d_1 = 7,5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 230 - 3 = 227 \text{ cm}$$

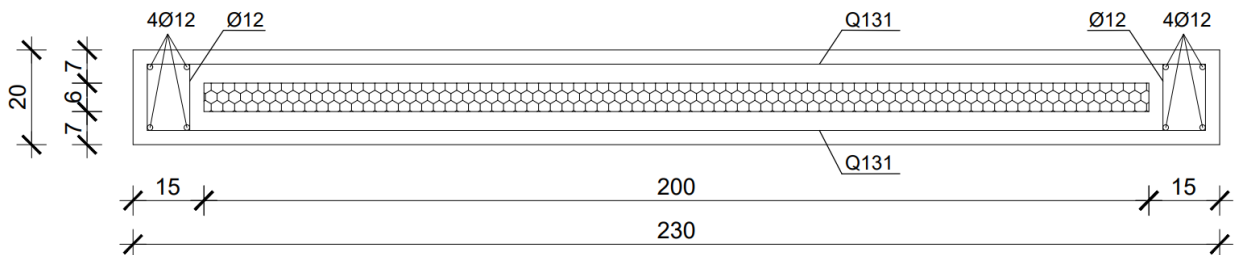
$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{101,21 \cdot 100}{0,9 \cdot 227 \cdot 43,48} = 1,14 \text{ cm}^2$$

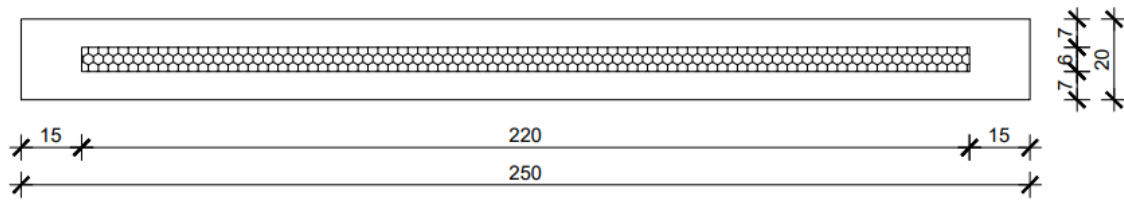
$$A_{s,min} = 0,1\% \cdot A_c = \frac{0,1}{100} \cdot 3400 = 3,4 \text{ cm}^2/m'$$

Odabrano: 4Ø12 ($A_s = 4,52 \text{ cm}^2$)



Slika 6.57. Armatura horizontalnog panela

6.8. Proračun fasadnih vertikalnih panela



Slika 6.58. Poprečni presjek vertikalnog panela

6.8.1. Analiza opterećenja

Maksimalni pritisak vjetra: $w = 1,35 \text{ kN/m}^2$

Lokalno savijanje panela:

$$q_{max} = 1,5 \cdot w \cdot 1 \text{ m}'$$

$$q_{max} = 1,5 \cdot 1,35 \cdot 1 \text{ m}' = 2,03 \text{ kN/m}'$$

$$M_{Ed} = \frac{q_{max} \cdot l_{pan}^2}{8} = \frac{2,03 \cdot 2,5^2}{8} = 1,59 \text{ kNm/m}'$$

Globalno savijanje panela:

$$q_{max} = 1,5 \cdot w \cdot 1 \text{ m}'$$

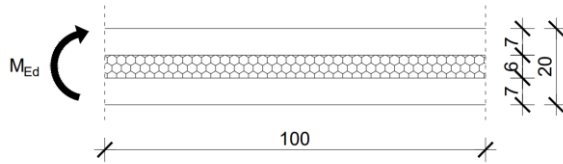
$$q_{max} = 1,5 \cdot 1,35 \cdot 1 \text{ m}' = 2,03 \text{ kN/m}'$$

$$M_{Ed} = \frac{q_{max} \cdot l_{pan}^2}{8} = \frac{2,03 \cdot 9,2^2}{8} = 21,48 \text{ kNm/m}'$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{max} \cdot L_{pan}}{2} = \frac{2,03 \cdot 9,2}{2} = 9,34 \text{ kN}$$

6.8.2. Dimenzioniranje

6.8.2.1. Lokalno savijanje panela



$$M_{Ed} = 1,59 \text{ kNm/m'}$$

$$h = 7 \text{ cm}$$

$$d_1 = 2 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 7 - 2 = 5 \text{ cm}$$

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

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 100 \cdot 5^2 \cdot 2,0 = 795 \text{ kNcm/m'} = 7,95 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Rd,lim} = 7,95 \text{ kNm/m'} > M_{Ed} = 1,59 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{1,59 \cdot 100}{100 \cdot 5^2 \cdot 2,0} = 0,032 \rightarrow \mu_{sd} = 0,037$$

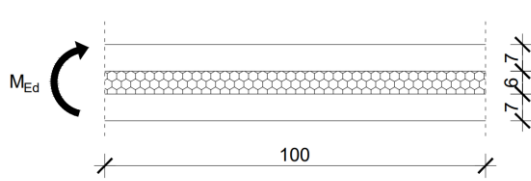
$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,1\text{‰}, \zeta = 0,965, \xi = 0,099$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1,59 \cdot 100}{0,965 \cdot 5 \cdot 43,48} = 0,76 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$A_{s,min} = 0,1\% \cdot A_c = \frac{0,1}{100} \cdot 7 \cdot 100 = 0,7 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

Odabrano: Q-131 ($A_s = 1,31 \text{ cm}^2/\text{m'}$)

6.8.2.2. Globalno savijanje panela



$$M_{Ed} = 21,48 \text{ kNm/m'}$$

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

$$d_1 = 2 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 20 - 2 = 18 \text{ cm}$$

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

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$M_{Rd,lim} = 0,159 \cdot 100 \cdot 20^2 \cdot 2,0 = 12720 \text{ kNcm/m'} = 127,2 \text{ kNm/m'}$$

$$M_{Rd,lim} = 127,2 \text{ kNm/m'} > M_{Ed} = 21,48 \text{ kNm/m'}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{21,48 \cdot 100}{100 \cdot 18^2 \cdot 2,0} = 0,033 \rightarrow \mu_{sd} = 0,037$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 1,1\text{‰}, \zeta = 0,965, \xi = 0,099$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{21,48 \cdot 100}{0,965 \cdot 18 \cdot 43,48} = 2,84 \text{ cm}^2$$

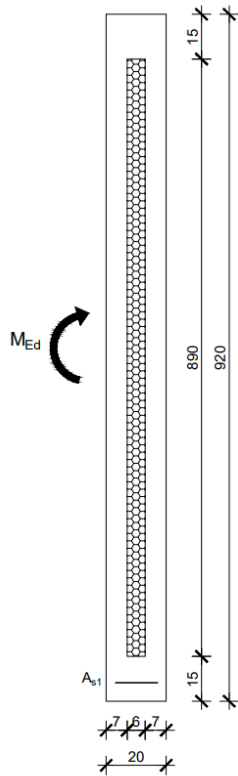
$$A_{s,min} = 0,1\% \cdot A_c = \frac{0,1}{100} \cdot 20 \cdot 100 = 2,0 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 2Ø14 ($A_s = 3,08 \text{ cm}^2$)

6.8.2.3. Globalno savijanje panela od vlastite težine

$$g = 25 \cdot (2 \cdot 8,9 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,15 \cdot 0,20) \cdot 1,0 = 32,65 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot \frac{g \cdot l_{pan}^2}{8} = 1,35 \cdot \frac{32,65 \cdot 2,5^2}{8} = 34,44 \text{ kNm}$$



$$M_{Ed} = 34,44 \text{ kNm}$$

$$h = 920 \text{ cm}$$

$$d_1 = 3 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 920 - 3 = 917 \text{ cm}$$

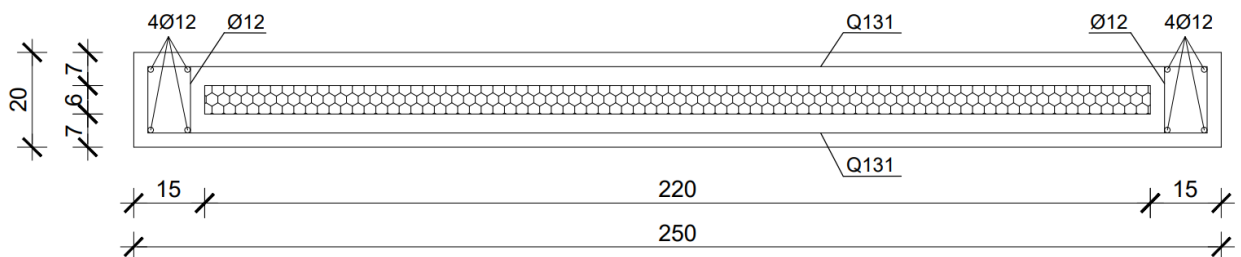
$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{34,44 \cdot 100}{0,9 \cdot 917 \cdot 43,48} = 0,1 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,1\% \cdot A_c = \frac{0,1}{100} \cdot 13060 = 13,06 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 4Ø12 ($A_s = 4,52 \text{ cm}^2$)



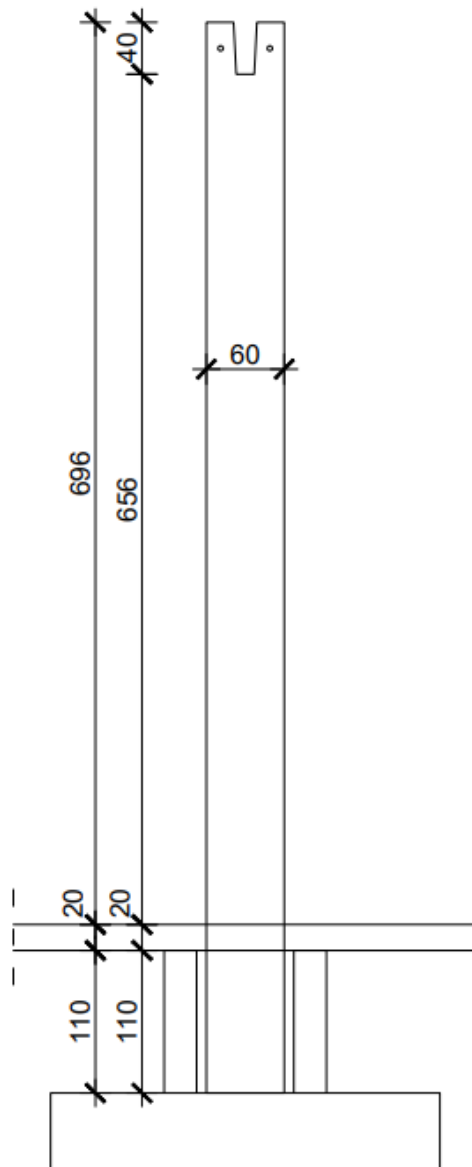
Slika. 6.59. Armatura vertikalnog panela

6.9. Proračun stupova

6.9.1. Proračun stupova pozicije S1

Svi stupovi su kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija 60x60 cm. Glavni nosači se oslanjaju na stupove čiji raster iznosi 2x15,35 m u poprečnom smjeru i povezuju se pomoću bolcena. Stupovi su upeti u temeljne stope. Na dnu svakog stupa postavlja se metalna pločica sa kuglastim zglobovima koja naliježe na pločicu ugrađenu na dnu temeljne stope. Također se na dnu stupa izvode profilacije za postizanje što boljeg sprezanja.

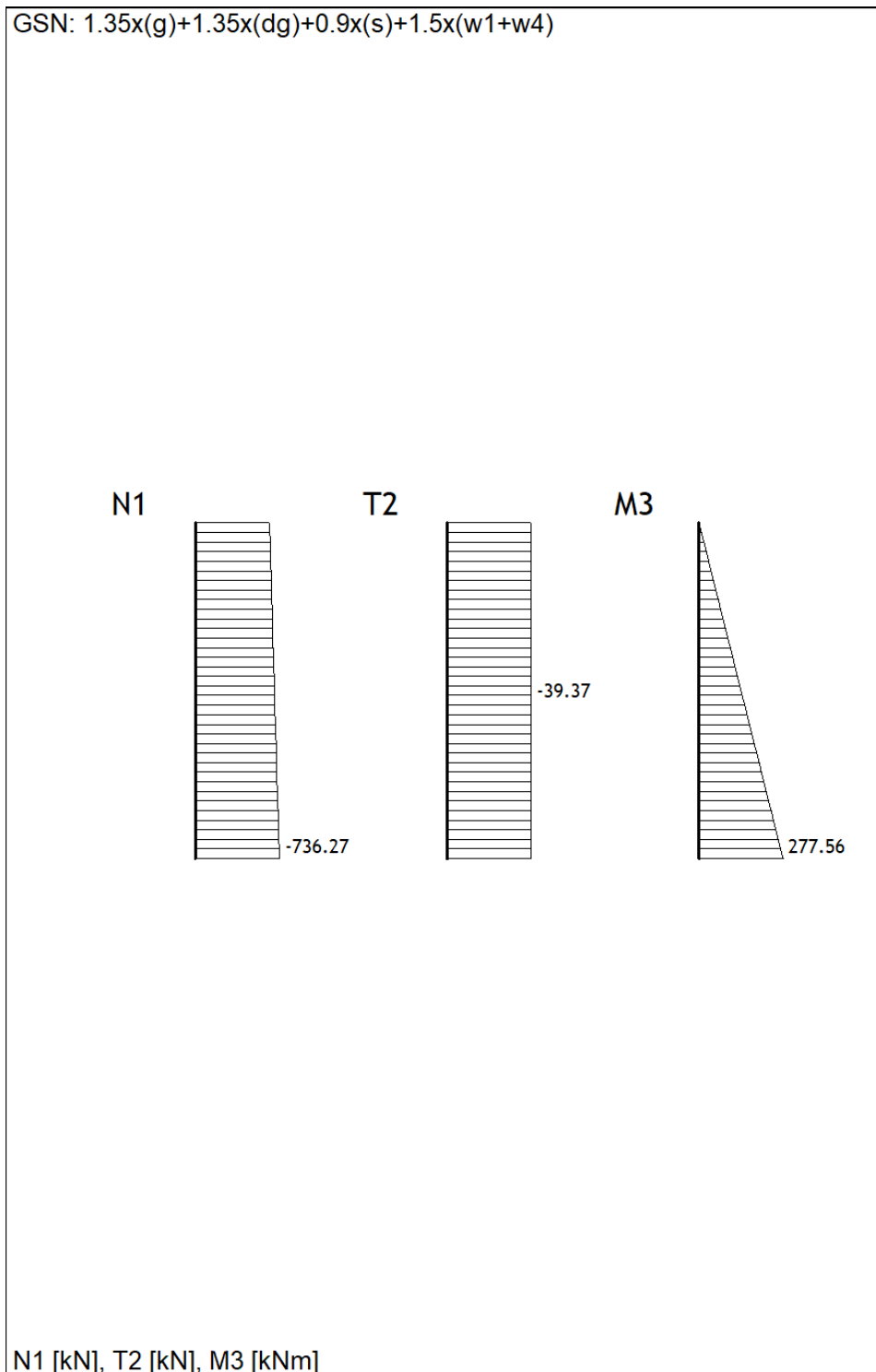
Za sve stupove predviđen je beton C35/40 te armatura B500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 2,5-3,0 cm.



Slika. 6.60. Pogled na stup S1

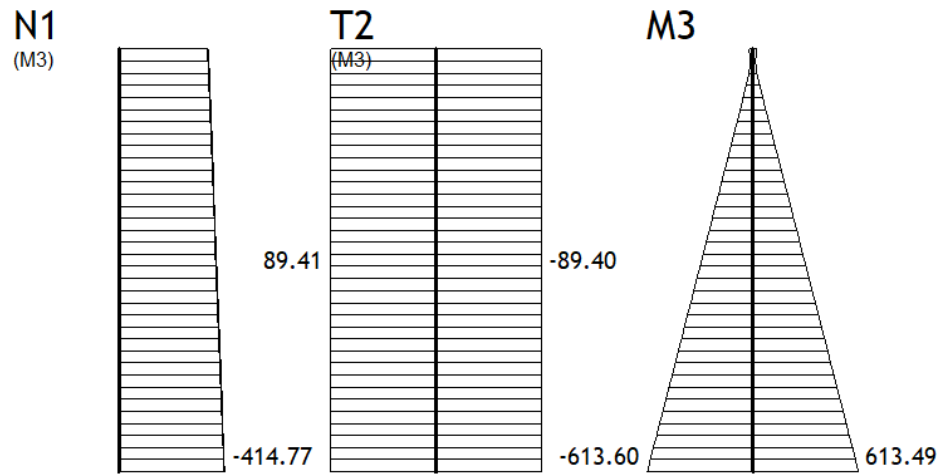
6.9.1.1. Rezne sile

Uobičajna kombinacija



Slika 6.61. Mz (kNm), Vy (kN), N (kN) za uobičajnu kombinaciju GSN

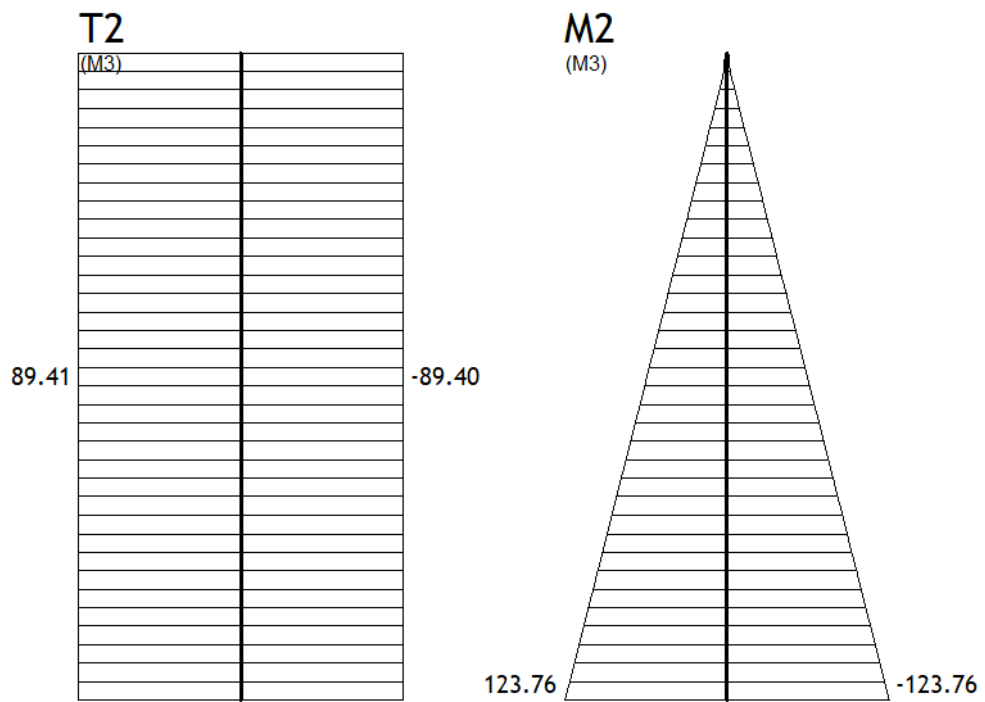
GSN: $g+dg+1.02x(sx)+0.32(sy)$



N1 [kN], T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.63. Mz (kNm), Vy (kN), N (kN) za izvanrednu kombinaciju GSN

GSN: $g+dg+1.02x(sx)+0.32(sy)$



T2 [kN], M2 [kNm]

Slika 6.64. M_y (kNm), V_z (kN) za izvanrednu kombinaciju GSN

6.9.1.2. Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu silu

Uzimanje u obzir učinaka drugog reda:

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8}$$

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{35 + 8} = 33282,28 \text{ MPa}$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed}$$

$$E_{\phi} = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{33282,28}{1 + 2} = 11094,09 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,6^4}{12} = 0,0108 \text{ m}^4$$

$$l_i = 1,4 \cdot h_{stupa} = 1,4 \cdot 6,6 = 9,24 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_{\phi} \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{11094,09 \cdot 1000 \cdot 0,0108}{9,24^2} = 13850,68 \text{ kN}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}}$$

$$C_m = 1,0$$

$$\gamma = 1,5$$

Uobičajena kombinacija (N,M):

$$N_{Ed}^1 = 736,27 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^1 = 277,56 \text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 736,27}{13850,68}} = 1,09$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,09 \cdot 277,56 = 302,54 \text{ kNm}$$

Izvanredna kombinacija (N,M):

$$N_{Ed}^2 = 414,77 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^2 = 613,60 \text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 414,77}{13850,68}} = 1,05$$

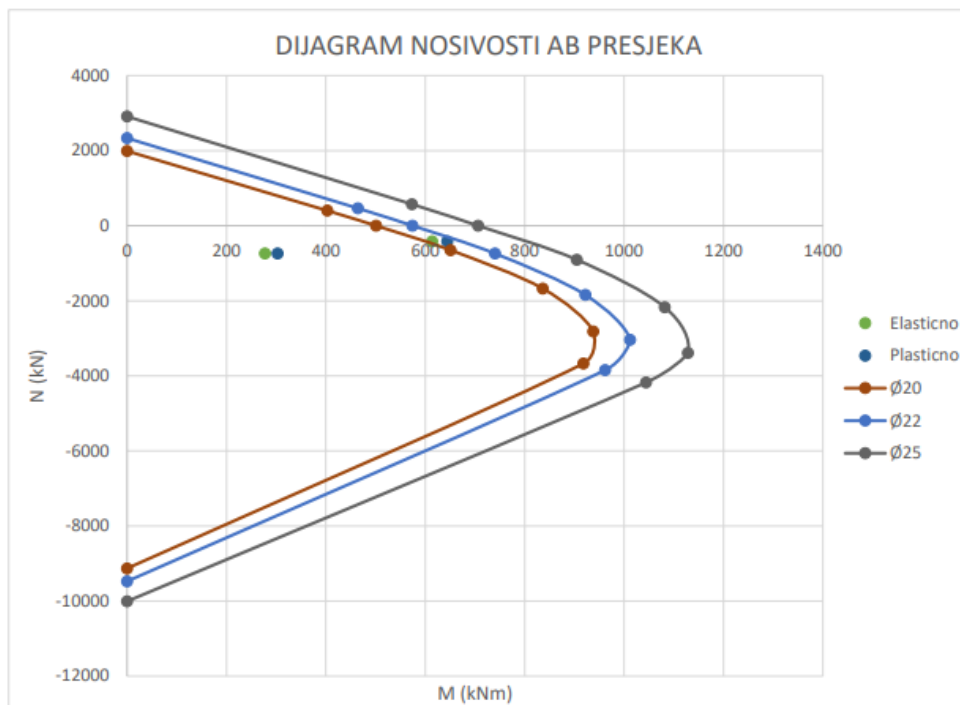
$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,05 \cdot 613,60 = 644,28 \text{ kNm}$$

Konačne rezne sile za provjeru u dijagramu interakcije (nosivosti):

Tablica 6.2. Kombinacije za dijagram interakcije

| | Kombinacija 1 (uobičajena) | Kombinacija 2 (izvanredna) | Kombinacija 3 (uobičajena) | Kombinacija 4 (izvanredna) |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| N_{Ed} | 736,27 | 414,77 | 736,27 | 414,77 |
| M_{Ed} | 277,56 | 613,60 | 302,54 | 644,28 |

$$A_{s,min} = 1\% \cdot A_c = \frac{1}{100} \cdot 60 \cdot 60 = 36 \text{ cm}^2$$



Slika 6.65. Dijagram interakcije (nosivosti) AB presjeka 60x60

Odabrano: 12Ø22 ($A_s = 45,62 \text{ cm}^2$)

6.9.1.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = 89,41 \text{ kN}$$

$$\text{Beton: C35/40} \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

Za klasu betona C35/40: $\rho_{min} = 0,0011$

$$\rho_L = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{12\emptyset 22 + 4\emptyset 16}{3600} = \frac{45,62 + 8,04}{3600} = 0,015$$

$$b_w = 60 \text{ cm}$$

$$d = 60 - 5 = 55 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,6 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 414,77 / 3600 = 0,12 \text{ kN/cm}^2$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,6 \cdot (100 \cdot 0,015 \cdot 35)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,12] \cdot 600 \cdot 550$$

$$V_{Rd,c} = 238,39 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,6^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0,419$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,419 + 0,15 \cdot 0,12] \cdot 600 \cdot 550$$

$$V_{Rd,c} > 144,21 \text{ kN}$$

Odobire se minimalna poprečna armatura s obzirom da je $V_{Rd,c} > V_{Ed}$.

$$s_{\max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{0,75 \cdot 55 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{41,25 ; 30 \text{ cm}\} \rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

Odabir minimalne spone: $\text{Ø}10/30$ ($A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$)

Ukupna nosivost betona i odabrane poprečne armature:

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = V_{Rd,c} + \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{s_w} = 238,39 + \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 55)}{15} \\ &= \\ &= 238,39 + 226,7 = 465,09 \text{ kN} > V_{Ed} = 89,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

Odabrane vilice za donju trećinu stupa: $\text{Ø}10/15 \text{ cm}$

Ukupna nosivost betona i odabrane poprečne armature:

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = V_{Rd,c} + \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{s_w} = 238,39 + \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 55)}{30} \\ &= \\ &= 238,39 + 113,35 = 351,74 \text{ kN} > V_{Ed} = 89,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

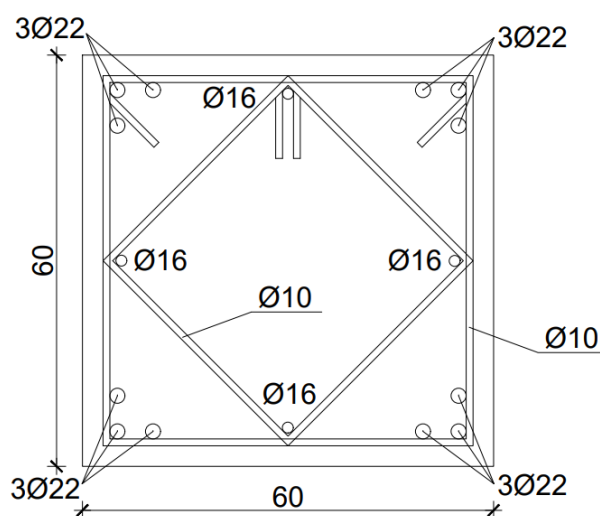
Odabrane vilice za gornje dvije trećine stupa: $\text{Ø}10/30 \text{ cm}$

6.9.1.4. Provjera radnih naprezanja u stupu

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{A} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$N_{Ed} = 736,27 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = \frac{613,60}{60 \cdot 60} = 0,20 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,45 \cdot 3,5 = 1,58 \text{ kN/cm}^2$$

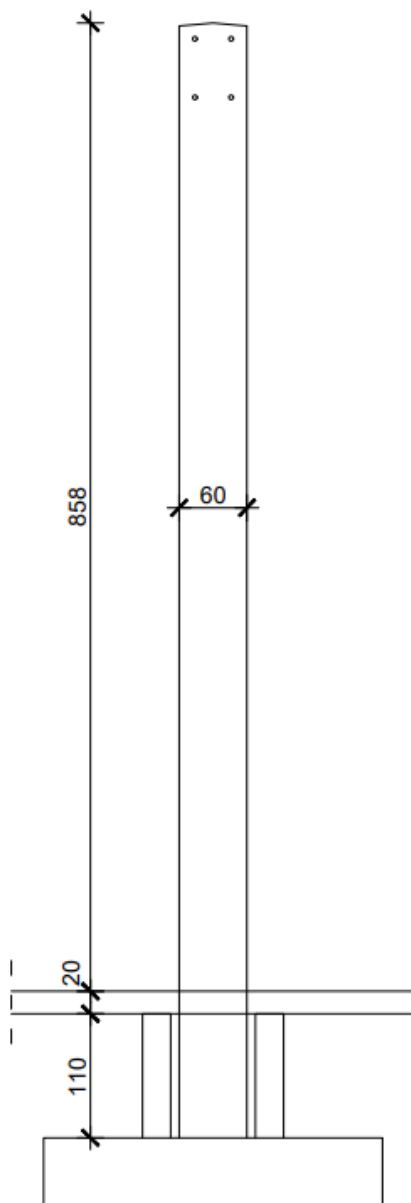


Slika 6.66. Armatura stupa S1

6.9.2. Proračun stupova pozicije S2

Svi stupovi su kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija 60x60 cm. Glavni nosači se oslanjaju na stupove čiji raster iznosi 2x15,35 m u poprečnom smjeru i povezuju se pomoću bolcena. Stupovi su upeti u temeljne stope. Na dnu svakog stupa postavlja se metalna pločica sa kuglastim zglobovima koja naliježe na pločicu ugrađenu na dnu temeljne stope. Također se na dnu stupa izvode profilacije za postizanje što boljeg sprezanja.

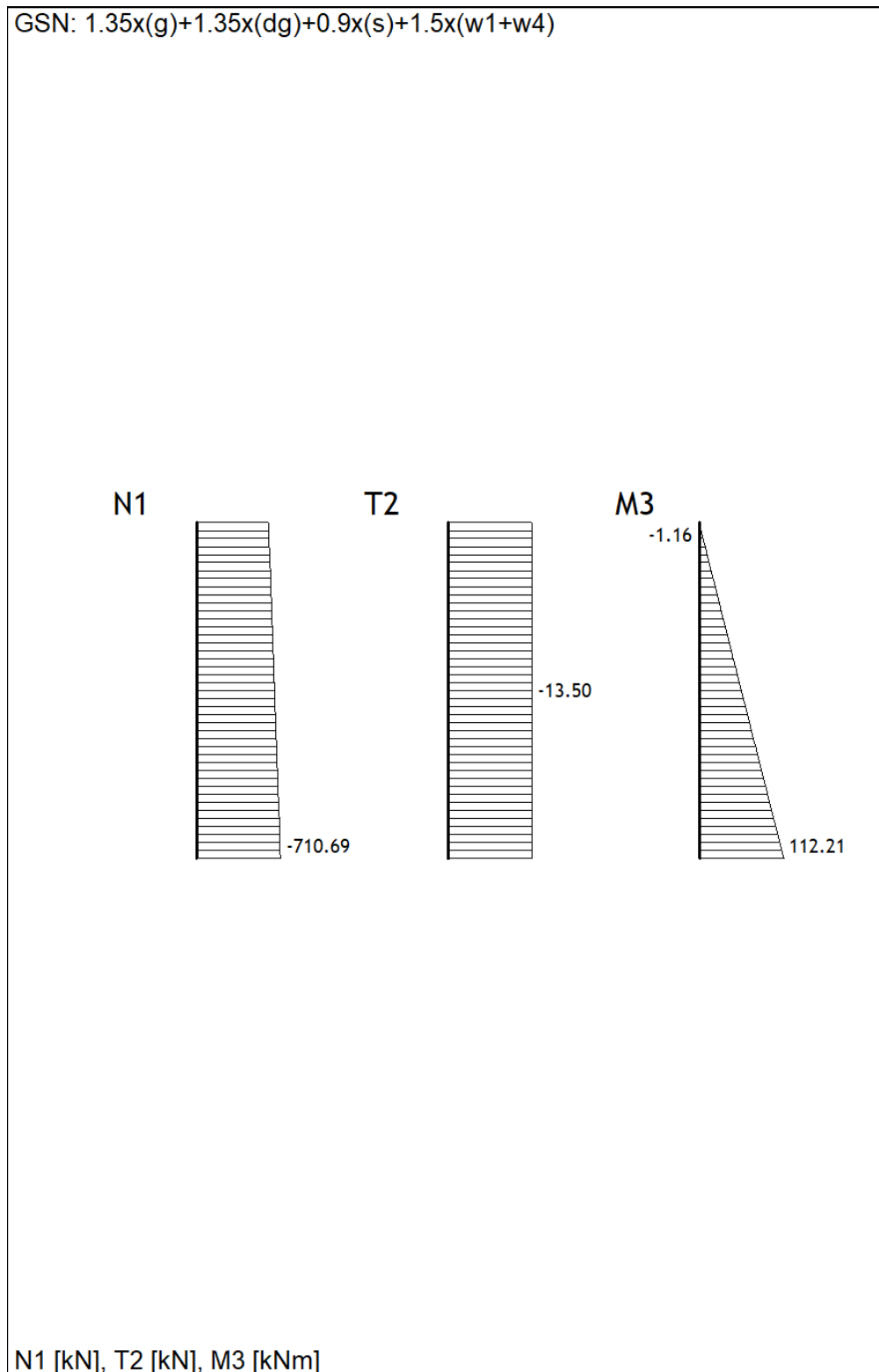
Za sve stupove predviđen je beton C35/40 te armatura B500B. Zaštitni slojevi betona do armature iznose 2,5-3,0 cm.



Slika. 6.67. Pogled na stup S2

6.9.2.1. Rezne sile

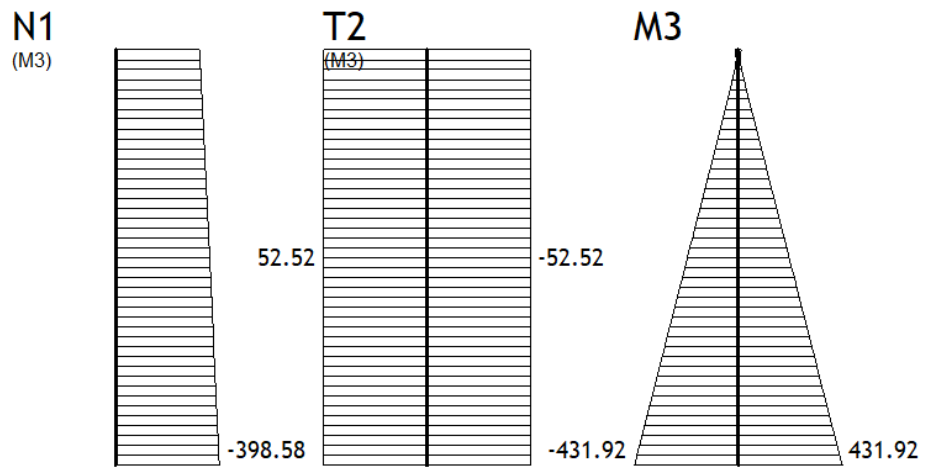
Uobičajna kombinacija



Slika 6.68. M_z (kNm), V_y (kN), N (kN) za uobičajenu kombinaciju GSN

Izvanredna kombinacija

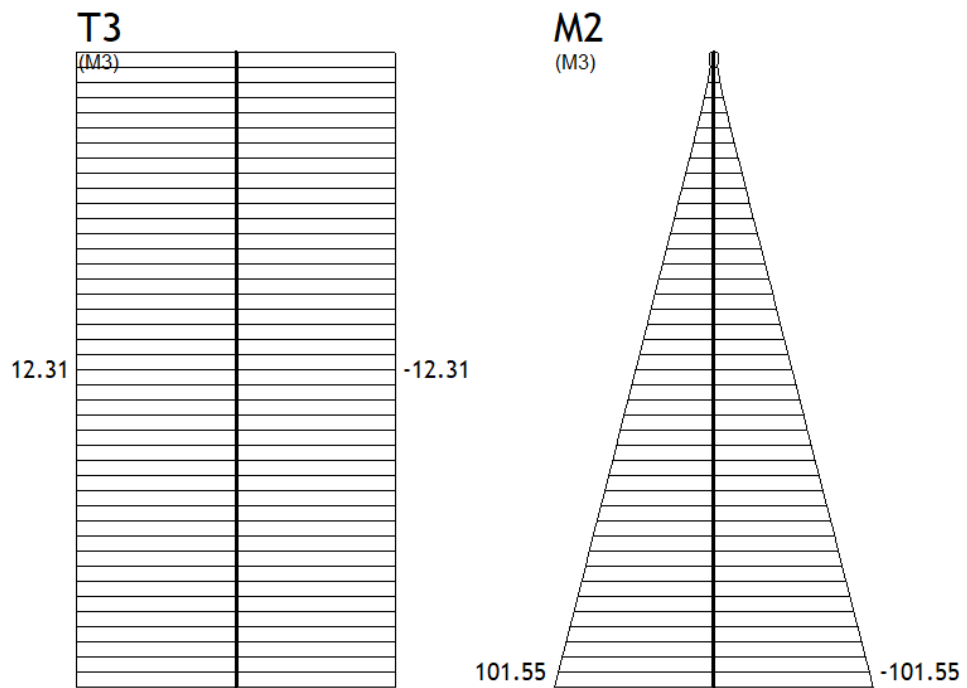
GSN: $g+dg+1.02x(sx)+1.02(sy)$



N1 [kN], T2 [kN], M3 [kNm]

Slika 6.69. Mz (kNm), Vy (kN), N (kN) za izvanrednu kombinaciju GSN

GSN: $g+dg+1.32(s_x)+1.02(s_y)$



T3 [kN], M2 [kNm]

Slika 6.70. M_y (kNm), V_z (kN) za izvanrednu kombinaciju GSN

6.9.2.2. Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu silu

Uzimanje u obzir učinaka drugog reda:

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8}$$

$$E_{cm} = 9500 \cdot \sqrt[3]{35 + 8} = 33282,28 \text{ MPa}$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed}$$
$$E_{\phi} = \frac{E}{1 + \phi} = \frac{33282,28}{1 + 2} = 11094,09 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{b^4}{12} = \frac{0,6^4}{12} = 0,0108 \text{ m}^4$$

$$l_i = 1,4 \cdot h_{stupa} = 1,4 \cdot 8,4 = 11,76 \text{ m}$$

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E_{\phi} \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{11094,09 \cdot 1000 \cdot 0,0108}{11,76^2} = 8550,68 \text{ kN}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}}$$

$$C_m = 1,0$$

$$\gamma = 1,5$$

Uobičajena kombinacija (N,M):

$$N_{Ed}^1 = 710,69 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^1 = 112,21 \text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 710,69}{8550,68}} = 1,14$$

$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,14 \cdot 112,21 = 127,92 \text{ kNm}$$

Izvanredna kombinacija (N,M):

$$N_{Ed}^2 = 398,58 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^2 = 431,92 \text{ kNm}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{Ed}}{N_e}} = \frac{1,0}{1 - \frac{1,5 \cdot 398,58}{8550,68}} = 1,08$$

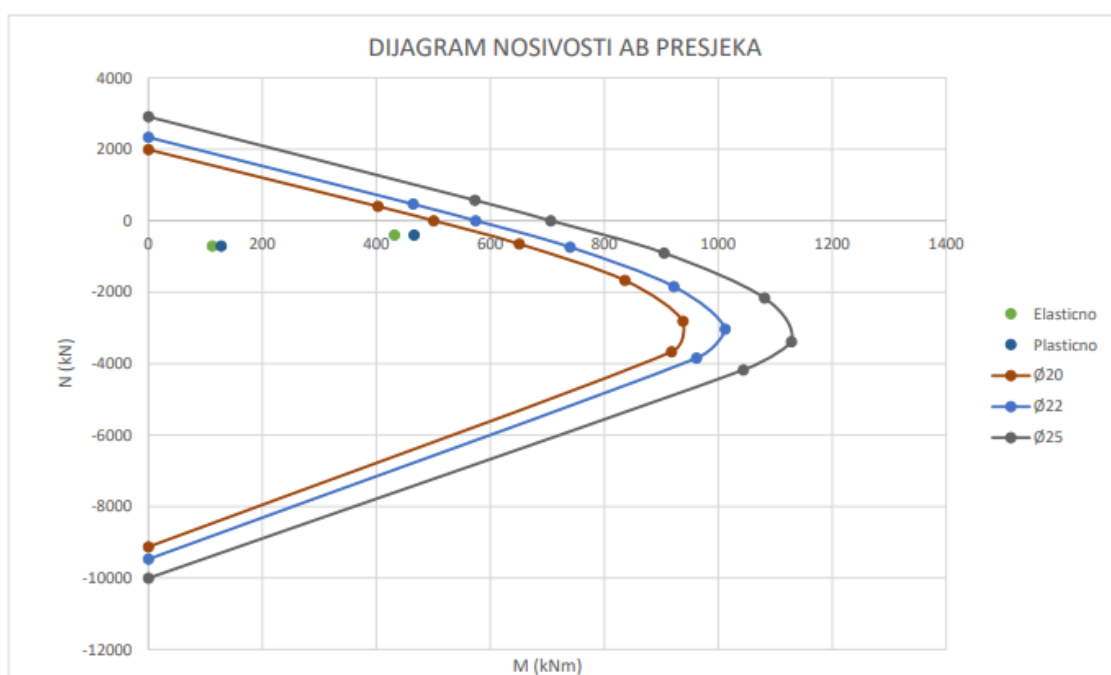
$$M_{Ed,s} = \psi \cdot M_{Ed} = 1,08 \cdot 431,92 = 466,37 \text{ kNm}$$

Konačne rezne sile za provjeru u dijagramu interakcije (nosivosti):

Tablica 6.3. Kombinacije za dijagram interakcije

| | Kombinacija 1 (uobičajena) | Kombinacija 2 (uobičajena) | Kombinacija 3 (izvanredna) | Kombinacija 4 (izvanredna) |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| N_{Ed} | 710,69 | 710,69 | 398,58 | 398,58 |
| M_{Ed} | 112,21 | 127,92 | 431,92 | 466,37 |

$$A_{s,min} = 1\% \cdot A_c = \frac{1}{100} \cdot 60 \cdot 60 = 36 \text{ cm}^2$$



Slika 6.71. Dijagram interakcije (nosivosti) AB presjeka 60x60

Odabrano: 12Ø20 ($A_s = 37,70 \text{ cm}^2$)

6.9.2.3. Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = 52,52 \text{ kN}$$

$$\text{Beton: C35/40} \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 23,3 \text{ MPa} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

Za klasu betona C35/40: $\rho_{min} = 0,0011$

$$\rho_L = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{12\emptyset 20 + 4\emptyset 16}{3600} = \frac{37,7 + 8,04}{3600} = 0,013$$

$$b_w = 60 \text{ cm}$$

$$d = 60 - 5 = 55 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{550}} = 1,6 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 398,58 / 3600 = 0,11 \text{ kN/cm}^2$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,6 \cdot (100 \cdot 0,013 \cdot 35)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,11] \cdot 600 \cdot 550$$

$$V_{Rd,c} = 231,64 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,6^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0,419$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,419 + 0,15 \cdot 0,11] \cdot 600 \cdot 550$$

$$V_{Rd,c} > 143,72 \text{ kN}$$

Odobire se minimalna poprečna armatura s obzirom da je $V_{Rd,c} > V_{Ed}$.

$$s_{\max} = \min\{0,75 \cdot d ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{0,75 \cdot 55 ; 30 \text{ cm}\}$$

$$s_{\max} = \min\{41,25 ; 30 \text{ cm}\} \rightarrow s_{\max} = 30 \text{ cm}$$

Odabir minimalne spone: $\text{Ø}10/30$ ($A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$)

Ukupna nosivost betona i odabrane poprečne armature:

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = V_{Rd,c} + \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{s_w} = 231,64 + \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 55)}{15} \\ &= \\ &= 231,64 + 226,7 = 458,34 \text{ kN} > V_{Ed} = 52,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

Odabrane vilice za donju trećinu stupa: $\text{Ø}10/15 \text{ cm}$

Ukupna nosivost betona i odabrane poprečne armature:

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = V_{Rd,c} + \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{s_w} = 231,64 + \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 55)}{30} \\ &= \\ &= 231,64 + 113,35 = 344,99 \text{ kN} > V_{Ed} = 52,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

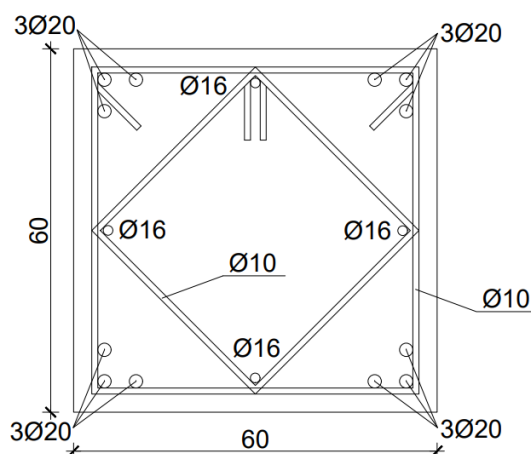
Odabrane vilice za gornje dvije trećine stupa: $\text{Ø}10/30 \text{ cm}$

6.9.2.4. Provjera radnih naprezanja u stupu

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{A} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$N_{Ed} = 710,69 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = \frac{710,69}{60 \cdot 60} = 0,2 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,45 \cdot 3,5 = 1,58 \text{ kN/cm}^2$$



Slika 6.72. Armatura stupa S2

6.10. Proračun temelja

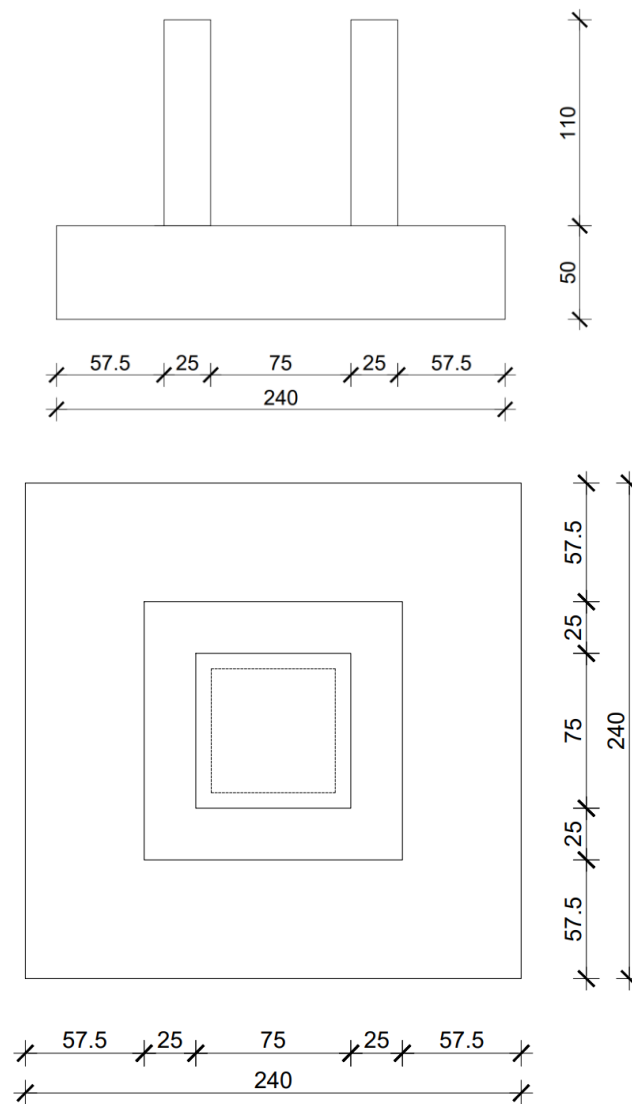
6.10.1. Analiza opterećenja

Konačne rezne sile iz stupa za analizu temelja:

Tablica 6.4. Kombinacije za proračun temelja

| | Kombinacija 1 (uobičajena) | Kombinacija 2 (izvanredna) |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|
| N_{Ed} | 736,27 | 414,77 |
| M_{Ed} | 302,54 | 644,28 |

$$\sigma_{dop} = 0,4 \text{ MN/m}^2 = 400 \text{ kPa}$$



Slika 6.73. Geometrija karakterističnog temelja

$$\gamma_{AB} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$N_T = V_T \cdot \gamma_{AB} = (3,0^2 \cdot 0,6 + (1,25^2 - 0,75^2) \cdot 1,1) \cdot 25 = 162,5 \text{ kN}$$

$$N_{T,Ed} = 1,35 \cdot 162,5 = 219,38 \text{ kN}$$

$$A_T = a_t^2 = 3,0^2 = 9,0 \text{ m}^2$$

$$W_T = \frac{a_t^3}{6} = \frac{3,0^3}{6} = 4,5 \text{ m}^3$$

Rezne sile na plohi temelj-tlo:

Uobičajena kombinacija:

$$N_{Ed}^1 = N_{Ed}^1 + N_T = 736,27 + 219,38 = 955,65 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^1 = M_{Ed}^1 + V_{Ed} \cdot 0,6 = 302,54 + 39,37 \cdot 0,6 = 326,16 \text{ kNm}$$

Izvanredna kombinacija

$$N_{Ed}^1 = N_{Ed}^1 + N_T = 414,77 + 219,38 = 634,15 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^1 = M_{Ed}^1 + V_{Ed} \cdot 0,5 = 644,28 + 89,41 \cdot 0,6 = 697,93 \text{ kNm}$$

Konačne rezne sile za dimenzioniranje temelja:

Tablica 6.5. Konačne kombinacije za proračun temelja

| | Kombinacija 1 (uobičajena) | Kombinacija 2 (izvanredna) |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|
| N_{Ed} | 955,65 | 634,15 |
| M_{Ed} | 326,16 | 697,93 |

6.10.2. Kontrola naprežanja u tlu

$$\sigma_{1,2} \leq \sigma_{tla,dop} = 400 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N_{Ed}}{A} \pm \frac{M_{Ed}}{W}$$

Uobičajena kombinacija:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{955,65}{9} \pm \frac{326,16}{4,5}$$

$$\sigma_1 = 178,66 \text{ kPa (tlak)} < 400 \text{ kPa} = \sigma_{tla,dop}$$

$$\sigma_2 = 33,7 \text{ kPa (tlak)} < 400 \text{ kPa} = \sigma_{tla,dop}$$

Izvanredna kombinacija:

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{634,15}{9} \pm \frac{697,93}{4,5}$$

$$\sigma_1 = 225,56 \text{ kPa (tlak)} < 400 \text{ kPa} = \sigma_{tla,dop}$$

$$\sigma_2 = -84,63 \text{ kPa (vlak)} < 400 \text{ kPa} = \sigma_{tla,dop}$$

Redukcija temeljne stope:

$$b' = 3 \cdot (b/2 - e)$$

$$e = \frac{M}{N} = \frac{697,93}{634,15} = 1,1 \text{ m}$$

$$b' = 3 \cdot \left(\frac{b}{2} - e \right) = 3 \cdot \left(\frac{3}{2} - 1,1 \right) = 1,2 \text{ m}$$

$$\sigma_E \cdot a \cdot b'/2 = N$$

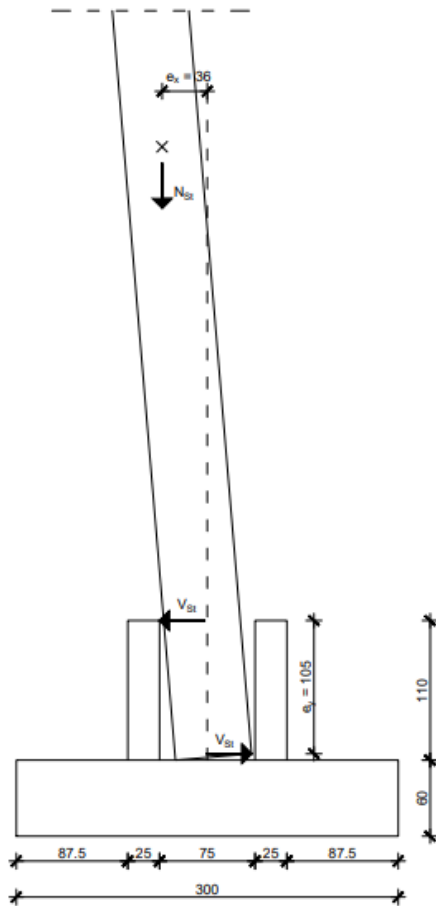
$$\sigma_E = \frac{2 \cdot N}{a \cdot b'} = \frac{2 \cdot 634,15}{3 \cdot 1,2} = 352,31 \text{ kPa}$$

$$\sigma_E = 352,31 \text{ kPa} < 400 \text{ kPa} = \sigma_{tla,dop}$$

6.10.3. Dimenzioniranje temelja

6.10.3.1. Dimenzioniranje na moment savijanja

6.10.3.1.1. Faza montaže



$$e_x = 36 \text{ cm}$$

$$e_y = 105 \text{ cm}$$

$$M_{st} = G_{st} \cdot e_x = 87,3 \cdot 0,36 = 31,43 \text{ kNm}$$

$$V_{st} = \frac{M_{st}}{e_y} = \frac{31,43}{1,05} = 29,93 \text{ kN}$$

$$q_{st} = \frac{V_{st}}{l} = \frac{29,93}{0,75} = 39,91 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = \frac{q_{st} \cdot l^2}{8} = \frac{39,91 \cdot 0,75^2}{8} = 2,81 \text{ kNm}$$

$$b_{odabrano} = 30 \text{ cm}$$

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

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

$$d_1 = h - d = 21 \text{ cm}$$

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

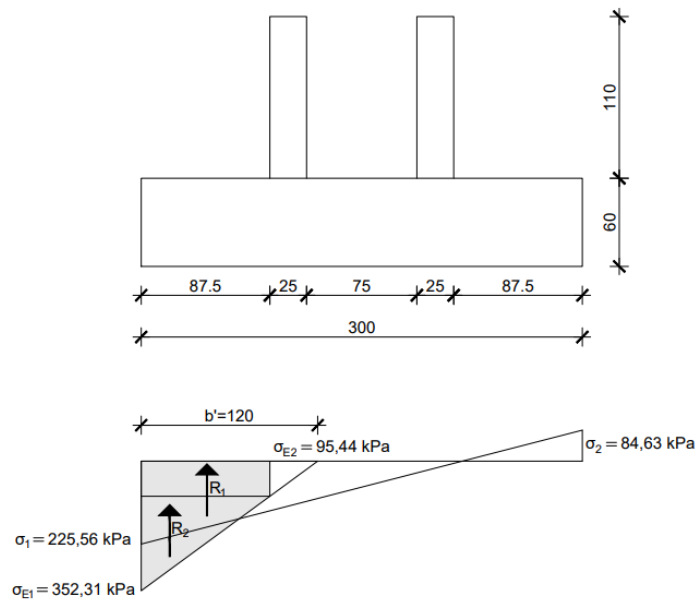
$$\mu_{sd} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{2,81 \cdot 100}{30 \cdot 21^2 \cdot 2,0} = 0,011 \rightarrow \mu_{sd} = 0,013$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 0,6\text{‰}, \zeta = 0,981, \xi = 0,057$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2,81 \cdot 100}{0,981 \cdot 21 \cdot 43,48} = 0,31 \text{ cm}^2$$

Odabrano: 4Ø10 (A_s = 3,14 cm²)

6.10.3.1.2. Faza eksploatacije



Slika 6.74. Raspodjela naprezanja na temeljnoj plohi

$$R_1 = 95,44 \cdot 0,875 \cdot 3 = 250,53 \text{ kN}$$

$$R_2 = \frac{(352,31 - 95,44) \cdot 0,875}{2} \cdot 3 = 337,14 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 250,53 \cdot \frac{0,875}{2} + 337,14 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,875 = 306,27 \text{ kNm}$$

$$b = 300 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$d_1 = 7 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 53 \text{ cm}$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{306,27 \cdot 100}{300 \cdot 53^2 \cdot 2,0} = 0,016 \rightarrow \mu_{sd} = 0,017$$

$$\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}, \varepsilon_{c2} = 0,7\text{‰}, \zeta = 0,977, \xi = 0,065$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{306,27 \cdot 100}{0,977 \cdot 53 \cdot 43,48} = 13,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = \frac{12,88}{3,0} = 4,3 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Potrebna minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot A_c = 0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 100 \cdot 60 = 9,98 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabrano: Ø14/15 cm ($A_s = 10,78 \text{ cm}^2/\text{m}'$)

6.10.3.2. Dimenioniranje na poprečnu silu

$$V_{Ed} = 89,41 \text{ kN}$$

$$\text{Beton: C30/37} \rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = \frac{35}{1,5} = 20,0 \text{ MPa} = 2,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Armatura: B500B} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$$

Za klasu betona C30/37: $\rho_{min} = 0,001$

$$\rho_L = \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{4 \cdot \emptyset 10}{25 \cdot 110} = \frac{3,14}{2750} = 0,0011$$

$$b_w = 110 \text{ cm}$$

$$d = 25 - 5 = 20 \text{ cm}$$

Poprečna sila koju presjek može preuzeti bez poprečne armature:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{200}} = 2,0 < 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0,0$$

$$C_{Rdc} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,0011 \cdot 30)^{1/3} + 0] \cdot 1100 \cdot 200$$

$$V_{Rd,c} = 78,61 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c}$ mora biti veća od:

$$V_{Rd,c} \geq [v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 2^{\frac{3}{2}} \cdot 35^{\frac{1}{2}} = 0,586$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,586 + 0,15 \cdot 0,0] \cdot 1100 \cdot 200$$

$V_{Rd,c} < 128,92 \text{ kN} \rightarrow$ uvjet nije zadovoljen

$V_{Rd,c} = 128,92 \text{ kN}$

Odabir minimalne spone: $\text{Ø}10/30$ ($A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$)

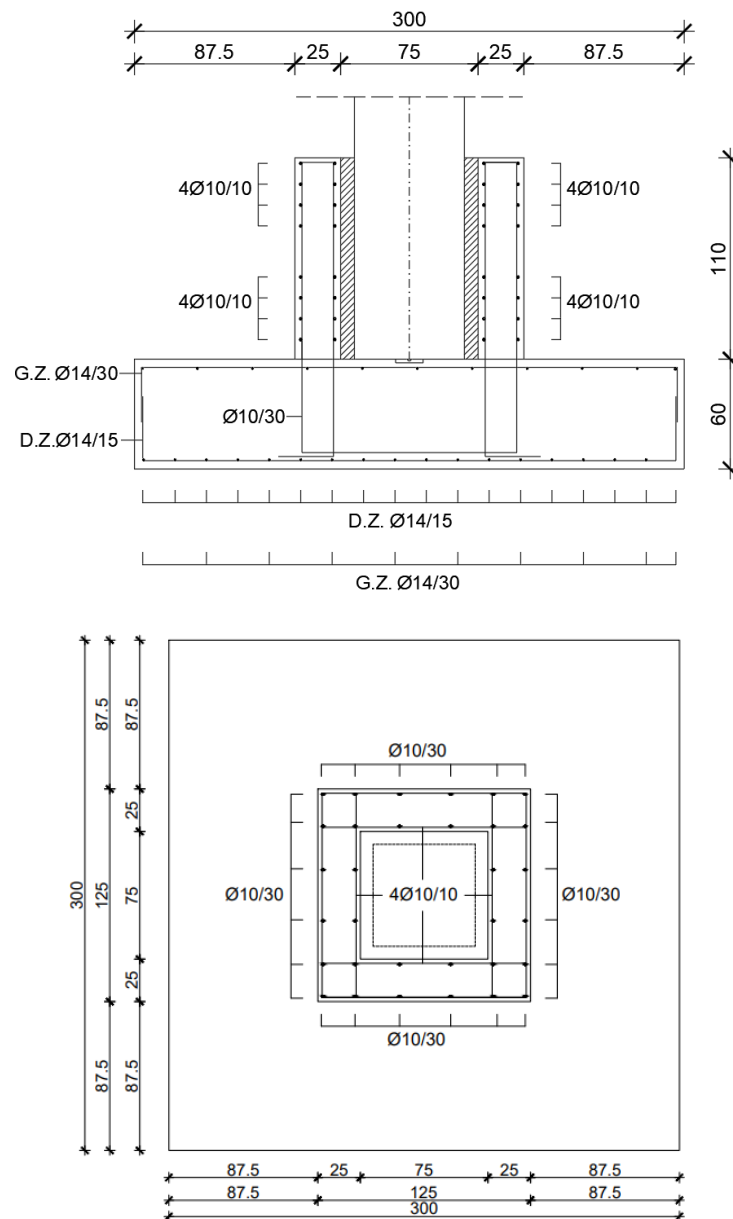
Ukupna nosivost betona i odabrane poprečne armature:

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = V_{Rd,c} + \frac{m \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{s_w} = 128,92 + \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 20)}{30}$$

$$=$$

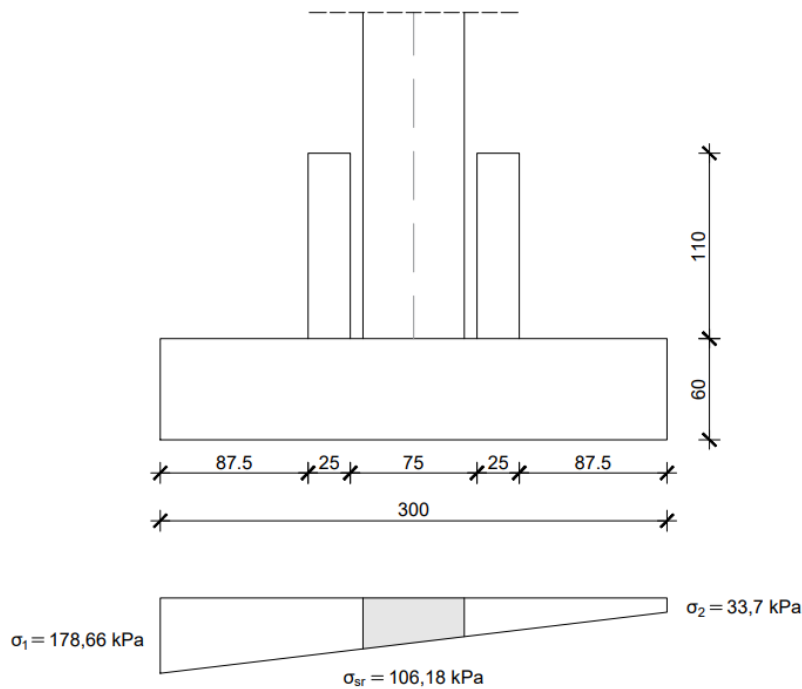
$$= 128,92 + 41,22 = 170,14 \text{ kN} > V_{Ed} = 89,41 \text{ kN}$$

Odabrano: $\text{Ø}10/30 \text{ cm}$ ($A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$)



Slika 6.75. Armatura temelja

6.10.3.3. Dimenzioniranje na proboj ploče



Slika 6.76. Raspodjela naprezanja na temeljnoj plohi

$$\sigma_{sr} \approx \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{178,66 + 33,7}{2} = 106,18 \text{ kPa} = 106,18 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{Ed} = \sigma_{sr} \cdot A = 106,18 \cdot 0,6^2 = 38,22 \text{ kN}$$

$$d_1 = 7 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 53 \text{ cm}$$

Maksimalno posmično naprezanje koje izaziva proboj:

$$v_{Ed} = \beta \cdot \frac{N_{Ed}}{u_{cr}}$$

$$\beta = 1,0 \rightarrow \text{simetrično naprezanje stup}$$

$$u_{cr} = 4 \cdot a + 2 \cdot (2 \cdot d) \cdot \pi \rightarrow \text{opseg probijanja stupa kroz ploču}$$

$$u_{cr} = 4 \cdot 0,6 + 2 \cdot (2 \cdot 0,53) \cdot \pi = 9,06 \text{ m}$$

$$v_{Ed} = 1,0 \cdot \frac{38,22}{9,06} = 0,042 \text{ kN/cm}$$

Nosivost betona i armature temelja bez armature za osiguranje proboja:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp})$$

$$C_{Rd,c} = 0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{530}} = 1,61 < 2,0$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ix} + \rho_{iy}} = \frac{10,78 \frac{cm^2}{m'} \cdot 3,0 m}{300 \cdot 60} = 0,0018 < 0,02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,61^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0,392$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,61 \cdot (100 \cdot 0,0018 \cdot 30)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 0 \geq 0,392 + 0,15 \cdot 0$$

$$v_{Rd,c} = 0,34 \text{ kN/cm}^2 < 0,39 \text{ kN/cm}^2$$

$$v_{Rd,c} = 0,39 \text{ kN/cm}^2 > v_{Ed} = 0,0425 \text{ kN/cm}^2$$

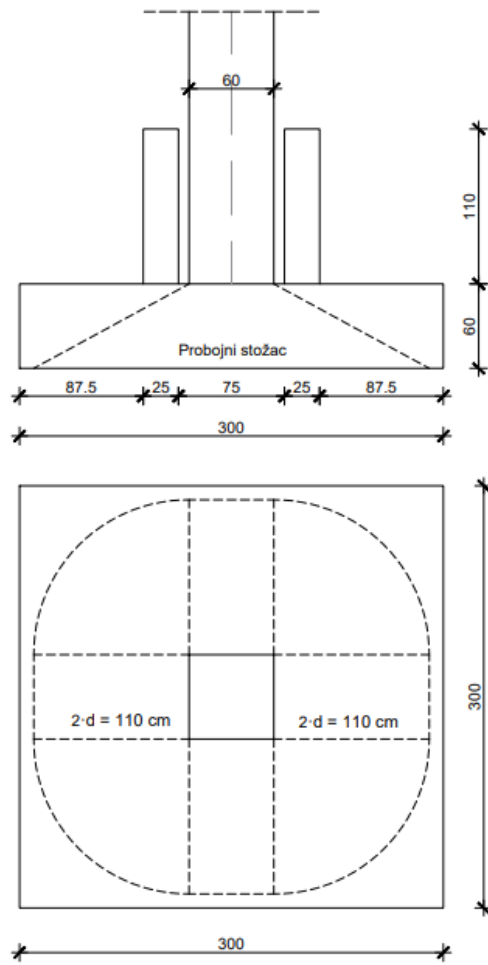
Armatura za osiguranje proboja nije potrebna.

Posmični napon ne smije prijeći maksimalnu vrijednost:

$$v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v_{min} \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,51 \cdot 2,0 = 0,408 \text{ kN/cm}^2$$

$$v_{min} = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{200}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{200}\right) = 0,51$$

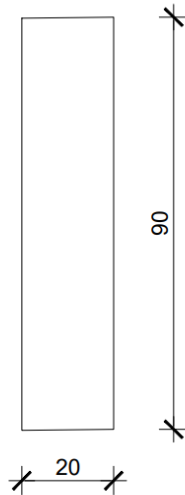
$$v_{Rd,max} = 0,408 \text{ kN/cm}^2 > v_{Ed} = 0,042 \text{ kN/cm}$$



Slika 6.77. Kontrolna površina proboja i probojni stožac

6.11. Proračun temeljne grede

6.11.1. Analiza opterećenja



Slika 6.78. Presjek temeljne grede

Vlastita težina:

$$g = \gamma_{AB} \cdot A$$

$$\gamma_{AB} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$g = 25 \cdot (0,2 \cdot 0,9) = 4,5 \text{ kN/m}$$

Dodatno stalno opterećenje (opterećenje fasadnog panela):

$$\Delta g = 25 \cdot (2 \cdot 8,9 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,15 \cdot 0,20) = 32,65 \text{ kN/m}$$

Ukupno opterećenje:

$$q = 1,35 \cdot (4,5 + 32,65) = 50,15 \text{ kN/m}$$

6.11.2. Kontrola naprezanja u tlu

$$\sigma = \frac{50,15 \text{ kN/m}}{0,2 \text{ m}} = 250,75 \text{ kN/m}^2 < 400 \text{ kN/m}^2 = \sigma_{tla,dop}$$

7. LITERATURA

- [1] A. Harapin, J. Radnić: Osnove betonskih konstrukcija, interna skripta – zapisi s predavanja; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, Split, rujan 2020.
- [2] A. Harapin, J. Radnić: Betonske konstrukcije 2 – materijali za vježbe; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu, Split, listopad 2021.
- [3] I. Tomičić: Betonske konstrukcije – treće izmijenjeno i dopunjeno izdanje, Zagreb, 1996.
- [4] EN 1990:2008 Eurokod - Osnove projektiranja konstrukcija (EN 1990:2008 + A1:2005 + AC:2008)
- [5] EN 1991: Eurokod 1 – Djelovanja na konstrukcije (EN 1991:2002 ▪ EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 – Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1- 1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004 + AC:2008)
- [6] EN 1998:2008 Eurokod 8 – Projektiranje konstrukcija otpornih na potres – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004)

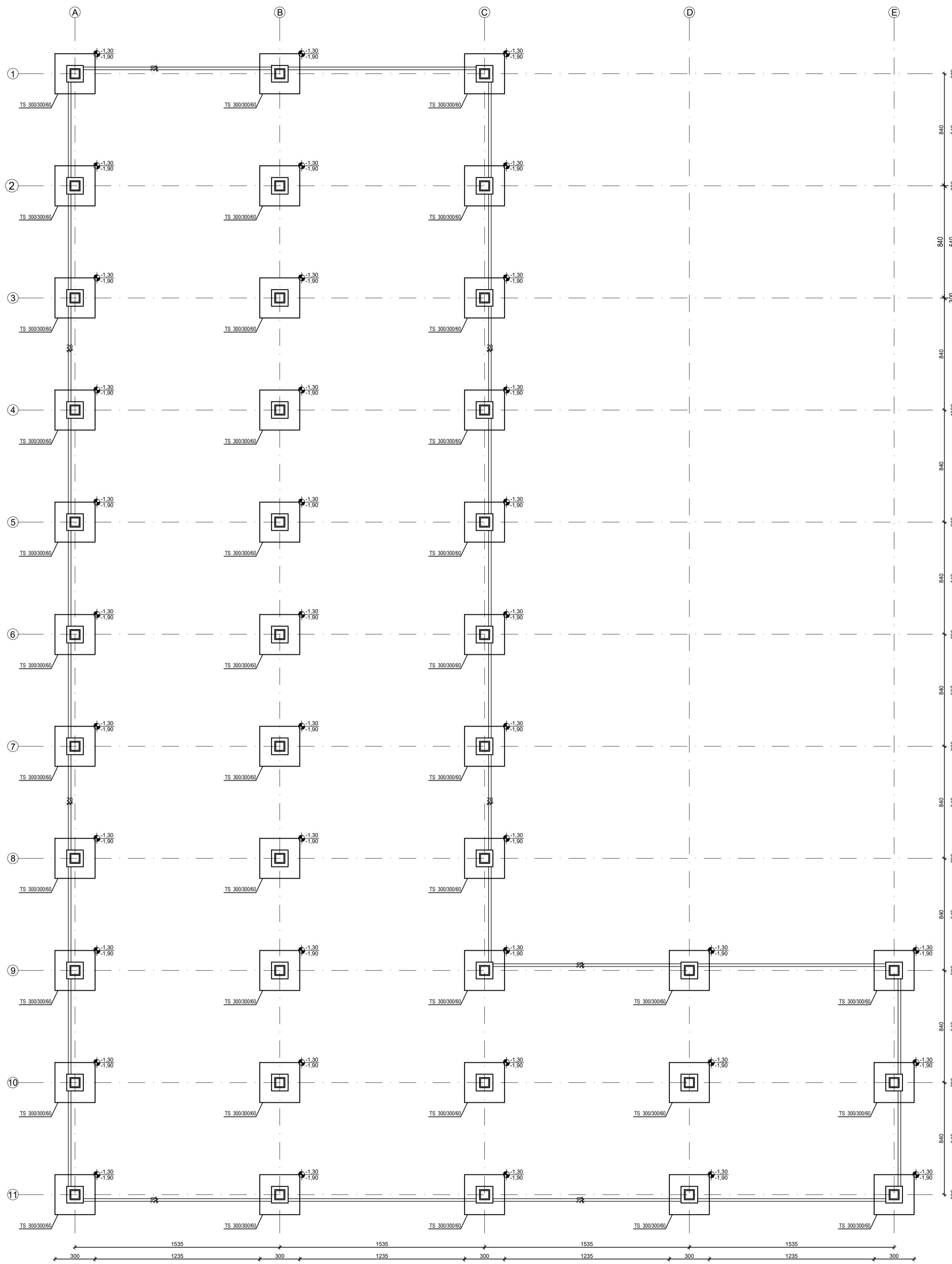
8. GRAFIČKI PRILOZI

List 1. - Tlocrt – Plan pozicija temelja M1:200

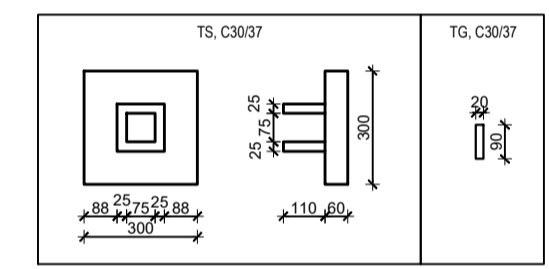
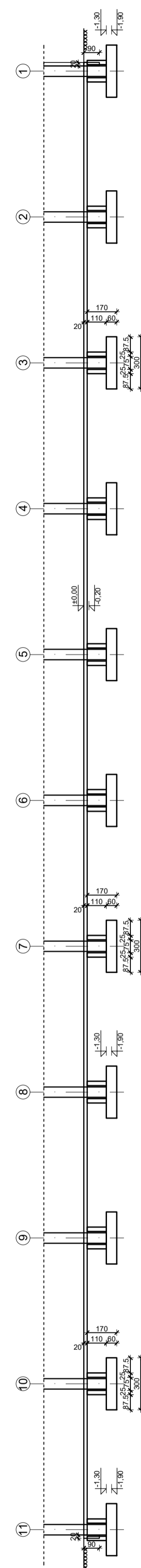
List 2. - Tlocrt – Plan pozicija stupova M1:200

List 3. - Tlocrt – Plan pozicija konstruktivnih elemenata u razini krova M1:200

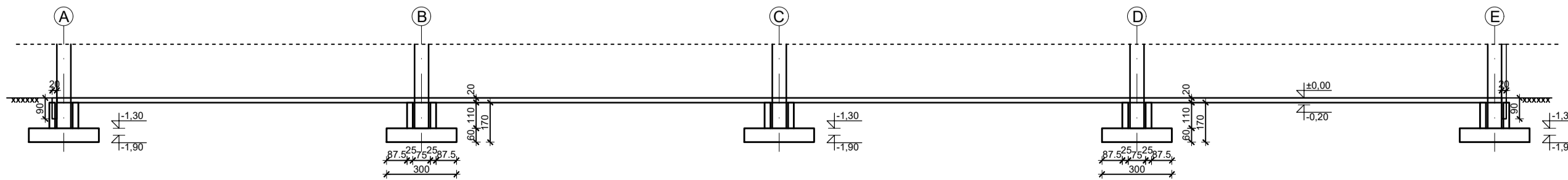
List 4. - Presjeci M1:100

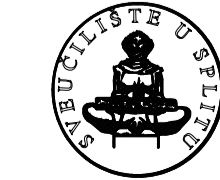


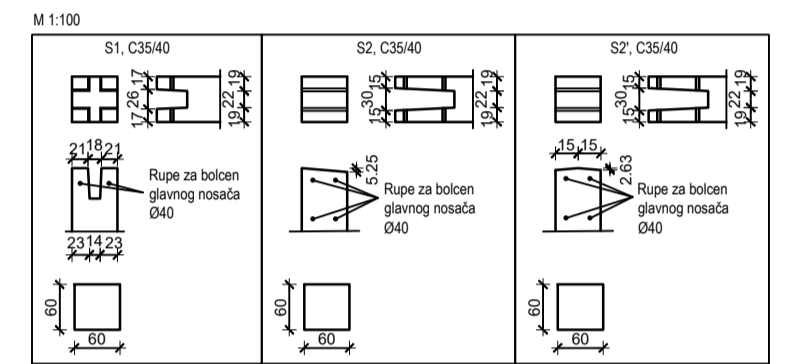
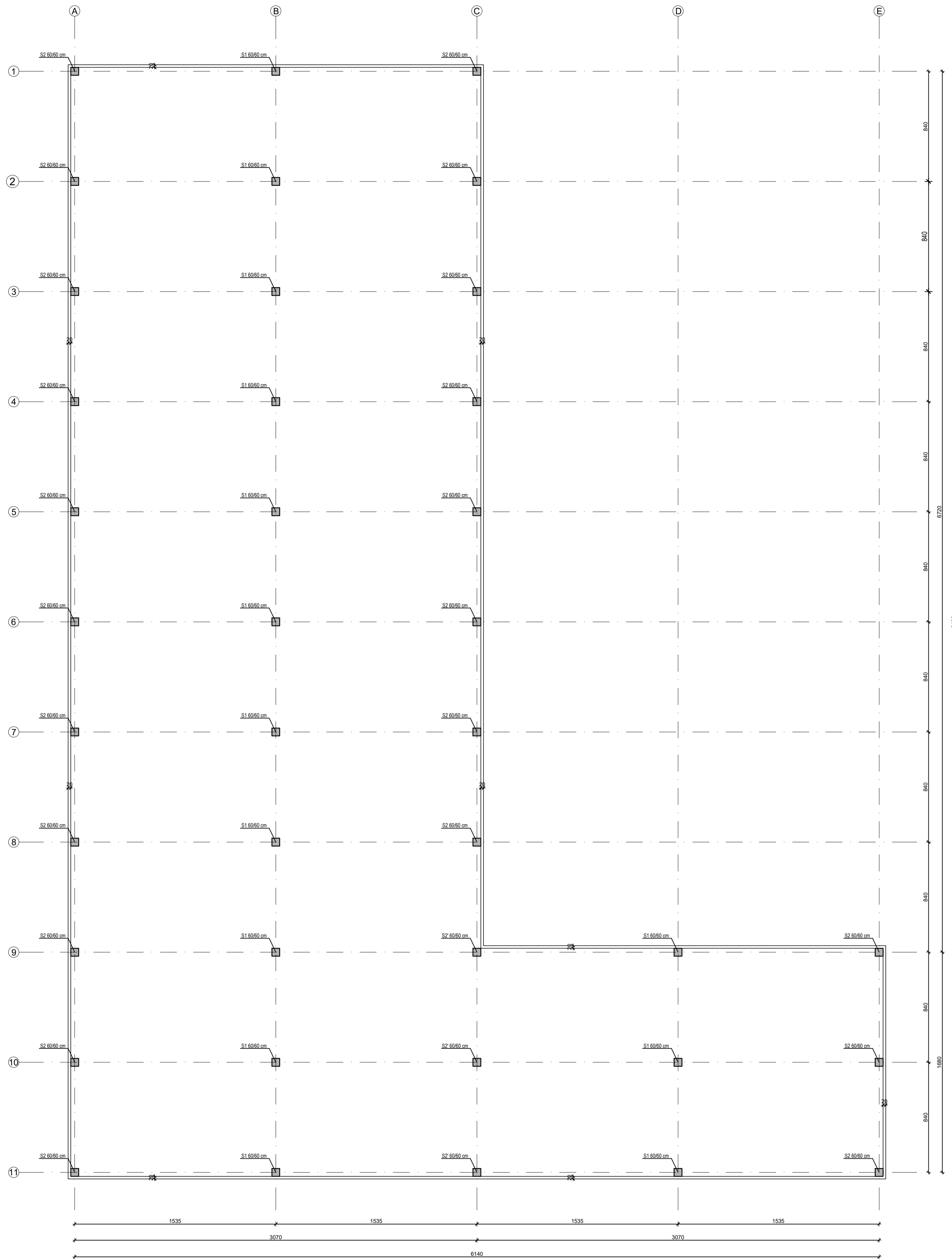
Presjek - Os A




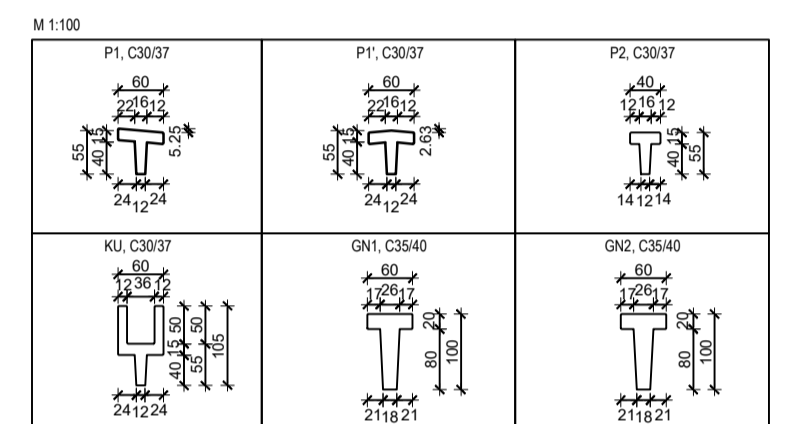
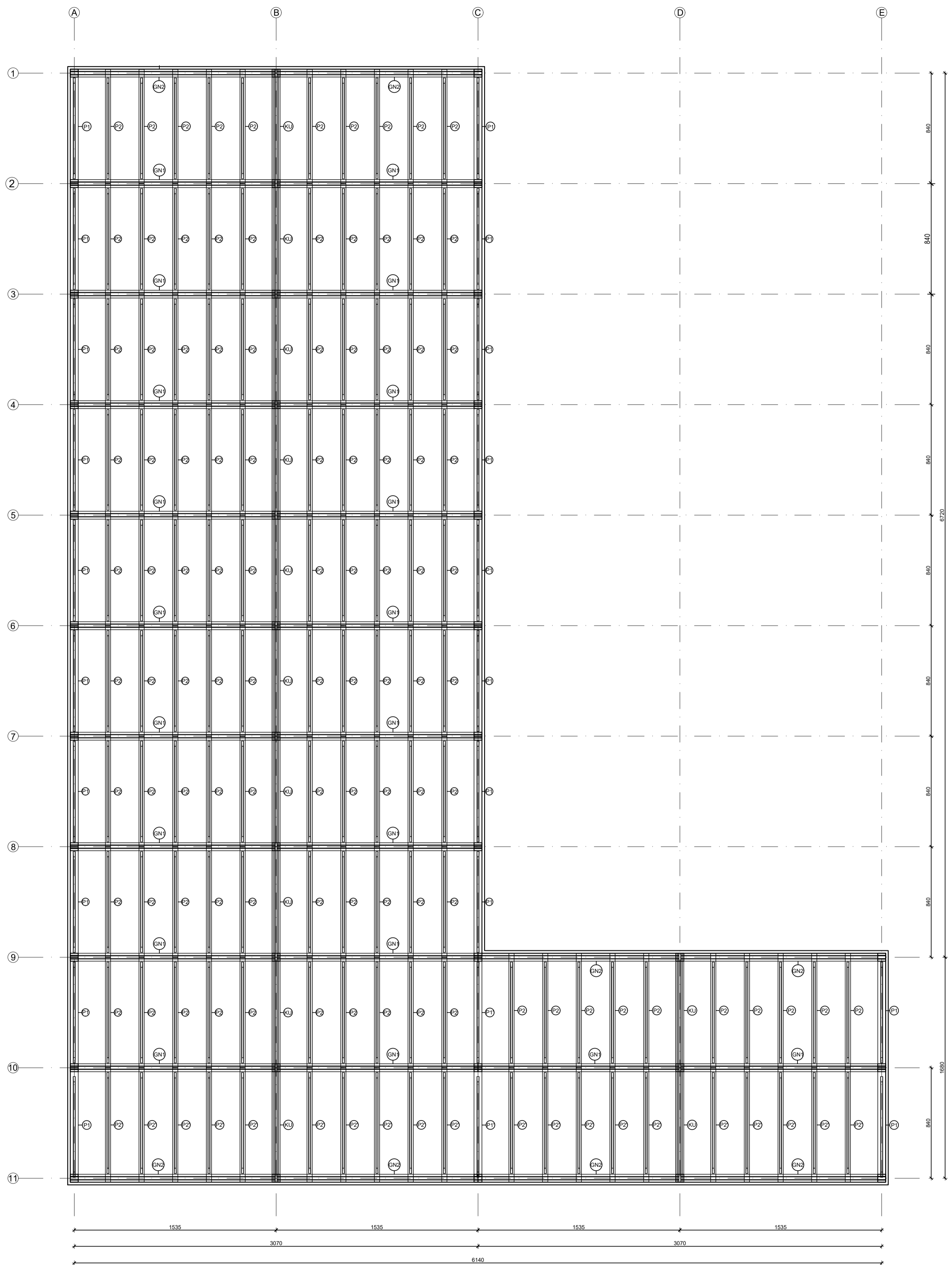
Presjek - Os 10



| | | | |
|---|---|---------------------------------------|-----------|
|  <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | DIPLOMSKI RAD | | |
| | TEMA: GLAVNI PROJEKT POSLOVNO-PROIZVODNE AB MONTAŽNE HALE | | |
| | STUDENT: Antea Flegar | MENTOR: Doc. dr. sc. Marina Sunara | |
| | SADRŽAJ: TLOCRT - PLAN POZICIJA TEMELJA | MJERILO: 1:200 | PRILOG: 1 |
| DATUM: srpanj 2023. | | | |

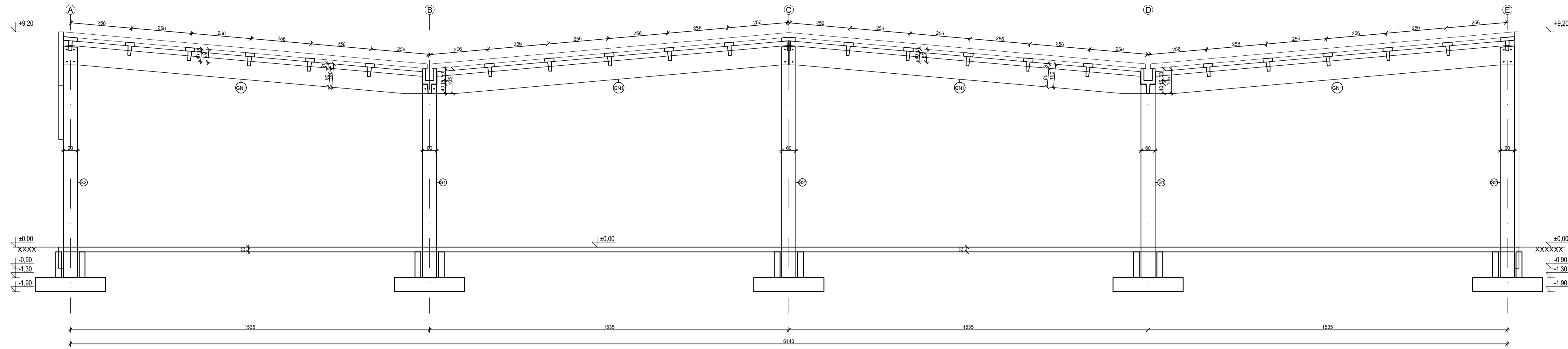


| | | | | | |
|---|--|---|--|----------------------------|--|
|  | | | | DIPLOMSKI RAD | |
| TEMA: | | GLAVNI PROJEKT POSLOVNO-PROIZVODNE AB MONTAŽNE HALE | | | |
| STUDENT: | | Antea Flegar | | MENTOR: | |
| | | | | Doc. dr. sc. Marina Sunara | |
| SADRŽAJ: | | TLOCRT - PLAN POZICIJA STUPOVA | | MJERILO: 1:200 | |
| DATUM: | | srpanj 2023. | | PRILOG: 2 | |

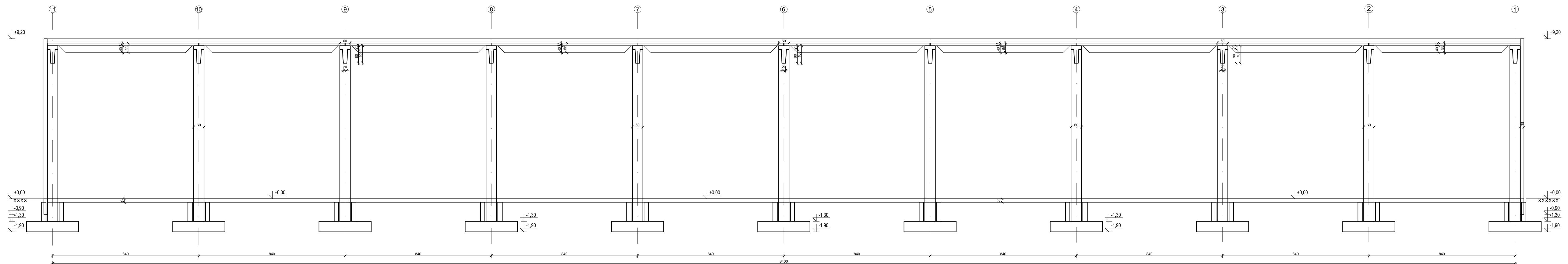


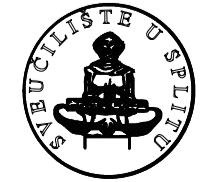
| | | |
|--|--|---------------------------------------|
| <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA I ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p> | DIPLOMSKI RAD | |
| | TEMA: GLAVNI PROJEKT POSLOVNO-PROIZVODNE AB MONTAŽNE HALE | |
| | STUDENT: Antea Flegar | MENTOR: Doc. dr. sc. Marina Sunara |
| | SADRŽAJ: PLAN POZICIJA ELEMENTA U RAZINI KROVA | MJERILO: 1:200 |
| DATUM: srpanj 2023. | | PRILOG: 3 |

Presjek - Os 10



Presjek - Os A



| | | |
|--|--|---------------------------------------|
|  <p> <small> SVEUČILIŠTE U ŠPILTU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA RESTAURACIJSKU KONSTRUKCIJU I MOSTOVE 21000 ŠPILT, MATICE HRVATSKE 15 </small> </p> | DIPLOMSKI RAD | |
| | TEMA: GLAVNI PROJEKT POSLOVNO-PROIZVODNE AB MONTAŽNE HALE | |
| | STUDENT: Antea Flegar | MENTOR: Doc. dr. sc. Marina Sunara |
| | ŠARŽER: PRESJECI | MERIL: 1:100 |
| DATUM: srpanj 2023. | | PRILOG: 4 |