

Utjecaj potresnog opterećenja na nosivost čelične teške skele za pridržanje zidova ciglene zgrade

Zajec, Leona

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:851836>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Leona Zajec

**UTJECAJ POTRESNOG OPTEREĆENJA NA NOSIVOST ČELIČNE
TEŠKE SKELE ZA PRIDRŽANJE ZIDOVA CIGLENE ZGRADE**

Diplomski rad

Rijeka, 2021.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij

Konstrukcije

Čelične konstrukcije

Leona Zajec

JMBAG: 0114029188

**UTJECAJ POTRESNOG OPTEREĆENJA NA NOSIVOST ČELIČNE
TEŠKE SKELE ZA PRIDRŽANJE ZIDOVA CIGLENE ZGRADE**

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2021.

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema diplomskog rada

**UTJECAJ POTRESNOG OPTEREĆENJA NA NOSIVOST ČELIČNE TEŠKE SKELE ZA PRIDRŽANJE
ZIDOVA CIGLENE ZGRADE**

**INFLUENCE OF SEISMIC LOADING ON THE LOAD BEARING CAPACITY OF STEEL HEAVY
SCAFFOLDING FOR SUPPORTING THE BRICK BUILDING WALLS**

Kandidatkinja: **LEONA ZAJEC**

Kolegij: **ČELIČNE KONSTRUKCIJE**

Diplomski rad broj: **K-2021-3**

Zadatak:

Potrebno je istražiti i opisati rekonstrukciju građevina metodom zadržavanja fasade. Dati primjere provedenih rekonstrukcija u svijetu i Hrvatskoj. Napraviti pregled tipova privremenih konstrukcija čeličnih skela za pridržavanje fasada. Budući da konstrukcije skela spadaju u privremene konstrukcije, norme ne nalažu potresne proračune za takve vrste konstrukcija. Kako su određeni dijelovi Hrvatske u zadnje vrijeme izloženi učestalim potresnim aktivnostima, postavlja se pitanje jeli prilikom projektiranja potrebno uzeti u obzir potresno djelovanje. Na primjeru Ciglene zgrade u Rijeci na kojoj su za potrebe rekonstrukcije korištene četiri čelične toranjske skele za pridržanje fasadnih zidova, potrebno je provesti proračune nosivosti čeličnih skela pri kojemu treba uzeti u obzir utjecaj potresa. Rezultate je potrebno usporediti s rezultatima proračuna provedenim bez potresnog djelovanja te je potrebno utvrditi postoji li utjecaj potresa na njihovu nosivost. Sve proračune provesti prema važećim propisima.

Tema rada je uručena: 24. veljače 2021.

Mentorica:

doc. dr. sc. Paulina Krolo,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Diplomski rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Leona Zajec

U Rijeci, 31. kolovoza 2021.

ZAHVALA

Veliko hvala mentorici doc.dr.sc. Paulini Krolo na prenesenom znanju, pomoći, strpljenju i uloženom vremenu tijekom pisanja diplomskog rada, ali i tijekom cjelokupnog studiranja.

Hvala svim profesorima, asistentima i tetama u referadi Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci.

Hvala svim prijateljima i kolegama zbog kojih će mi ovaj period života ostati u lijepom sjećanju.

Veliko hvala mojoj obitelji, mami Neni, tati Marijanu, bratu Lovri, baki Danici, kumu Mariu i Antoniu (svijetloj točkici) na podršci, razumijevanju i radovanju mojim uspjesima.

Svi Vi zajedno doveli ste me do uspješnog završetka ovog poglavlja života.

SAŽETAK

U radu je opisana metoda rekonstrukcije zadržavanjem fasade koja se koristi za građevine od velike povijesne i arhitektonske važnosti. Detaljno su opisani postupci koje metoda rekonstrukcije obuhvaća: početna istraživanja građevine, projektiranje privremene konstrukcije za pridržavanje fasade, montaža privremene konstrukcije, uklanjanje unutarnjeg dijela konstrukcije, gradnja nove konstrukcije, čišćenje fasade i demontaža privremene konstrukcije. Na primjerima u svijetu i u Hrvatskoj prikazani su tipovi konstrukcije za zadržavanje fasade: bočne nosive skele, horizontalne i vertikalne skele. Na primjeru Ciglene zgrade, koja se nalazi u Rijeci, napravljen je proračun nosive skele koja se upotrebljavala za pridržanje ciglenih fasadnih zidova. Također, proveden je i proračun nosive skele na potresno djelovanje, čime se želio pokazati utjecaj potresnog opterećenja na nosivost nosive skele. Na kraju, rezultati proračuna bez potresnog opterećenja uspoređeni su s rezultatima s potresnim opterećenjem, te se dolazi do zaključka da potresno djelovanje značajno utječe na nosivost skele.

KLJUČNE RIJEČI: metoda zadržavanja fasade, privremene konstrukcije, nosive skele, Ciglana zgrada, potresno djelovanje

ABSTRACT

The paper describes the method of reconstruction, which is used to retain the facade of buildings of great historical and architectural importance. The procedures described in the reconstruction method include: initial inspection, design of the temporary facade retention structure, erection of the facade retention structure, demolition of existing construction behind the facade, construction of the new structure, cleaning facades and removal of the facade retention structure. Examples in the world and in Croatia show the types of structures for retaining the facade: side scaffolding, horizontal and vertical scaffolding. According to the example of the Ciglana zgrada, located in Rijeka, a calculation of the load-bearing scaffolding was made, which was used to support the brick facade walls. Also, the calculation of the load-bearing scaffolding on seismic load was made to show the influence of the seismic load on the load-bearing capacity of the scaffolding. In the end, the results of the calculation without seismic load are compared with the results with seismic load, and it is concluded that seismic load affects the load-bearing capacity of the scaffolding.

KEYWORDS: retention of facades, temporary structure, load-bearing scaffolding, Ciglana zgrada, seismic load

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. METODA REKONSTRUKCIJE ZADRŽAVANJEM FASADE	3
2.1. Razvoj metode zadržavanja fasade	3
2.2. Razlozi za zadržavanje fasade	5
2.3. Odobrenje konzervatora za planiranje rekonstrukcije građevine metodom zadržavanja fasade.....	5
3. OBNOVA GRAĐEVINA OD ARHITEKTONSKE I POVIJESNE VAŽNOSTI METODOM ZADRŽAVANJA FASADE.....	7
3.1. Preliminarne aktivnosti	7
3.1.1. Identifikacija tipa zgrade	7
3.1.2. Prikladnost metode sanacije zadržavanjem fasade	8
3.1.3. Inicijalno istraživanje građevine.....	9
3.1.4. Ograničenja lokacije građevine	12
3.1.5. Utvrđivanje stanja fasade.....	12
3.1.6. Studija izvedivosti zadržavanja fasade	13
3.2. Projektiranje privremene konstrukcije	14
3.2.1. Uloga privremene konstrukcije za pridržavanje fasade.....	14
3.2.2. Mogućnosti lokacije privremene konstrukcije	14
3.2.3. Vrste nosivih skela	17
3.2.4. Materijali za izradu nosivih skela.....	23
3.2.5. Spojevi između fasade i privremene konstrukcije.....	23
3.2.6. Temelji nosivih skela.....	23
3.2.7. Povezivanje zadržane fasade i nove konstrukcije unutar fasade	24
3.3. Proces od montaže do demontaže skele.....	24
3.4. Čišćenje i popravak fasada.....	26

4. PRIMJERI REKONSTRUKCIJE GRAĐEVINA METODOM ZADRŽAVANJA FASADE U SVIJETU I U HRVATSKOJ	28
4.1. Crispin House, Leeds	28
4.2. Barts Square, London	29
4.3. St James Market, London	30
4.4. De Vere Gardens, London	31
4.5. Seel Street, Liverpool	32
4.6. Zgrada „Euroherz osiguranja“, Rijeka.....	32
4.7. „Revitalizacija kompleksa Benčić – Cigleni i T-objekt“ , Rijeka	34
4.7.1. T-objekt	34
4.7.2. Ciglana zgrada	35
5. PRORAČUN NOSIVE SKELE ZA PRIDRŽAVANJE ZIDOVA FASADE CIGLENE ZGRADE.....	39
5.1. Proces rekonstrukcije Ciglene zgrade.....	39
5.2. Analiza djelovanja	41
5.2.1. Stalno djelovanje	41
5.2.2. Djelovanje snijega	41
5.2.3. Djelovanje vjetra.....	41
5.2.4. Djelovanje potresa: Postupak proračuna s bočnim silama (ekvivalentna statička metoda).....	48
5.3. Model	58
5.3.1. Model fasadnih zidova i nosive skele.....	58
5.3.2. Dijagrami unutarnjih sila	61
5.4. Proračun elemenata nosive skele	67
5.5. Proračun karakterističnih detalja.....	87
6. ZAKLJUČAK.....	104
7. LITERATURA	106
PRILOZI.....	108

POPIS SLIKA

Slika 1: Korištena mehanizacija i radovi na rekonstrukciji Engleske banke tijekom 1926. godine [3].....	4
Slika 2: Prikaz fasade i prazne unutrašnjosti zgrade Engleske banke [3]	4
Slika 3: Ekscentričnost vlastite težine fasadnih zidova [4]	11
Slika 4: Vanjska privremena konstrukcija za pridržavanje fasade [5]	15
Slika 5: Unutarnja privremena konstrukcija za pridržavanje fasade [6]	16
Slika 6: Kombinirana privremena konstrukcija [6]	16
Slika 7: Drveni kosnici [2]	17
Slika 8: Čelični kosnici [1]	18
Slika 9: Bočna nosiva skela za fasade srednje visine [2]	18
Slika 10: Toranjska skela [1]	19
Slika 11: Cijevna skela [1]	19
Slika 12: Razupiranje profilima [1]	20
Slika 13: Rešetkasti razuporni nosač [1]	21
Slika 14: Vanjska i unutarnja vertikalna skela [2].....	22
Slika 15: Spoj fasade i skele pomoću drva i spojnih sredstava [2].....	23
Slika 16: Kuća u Londonu-kontrast između dijela fasade koja je očišćen i dijela koji nije [2]	27
Slika 17: Crispin House, Leeds [7].....	28
Slika 18: Unutarnji dio konstrukcije za pridržavanje fasade [2]	29
Slika 19: Vanjski konstrukcija za pridržavanje fasade [2]	29
Slika 20: Unutarnja konstrukcija za pridržavanje fasade [8].....	30
Slika 21: Vanjska konstrukcija za pridržavanje fasade [8].....	30
Slika 22: Podupiranje fasadnih zidova prilikom izvedbe podruma na dubini od 10 m [8].	31
Slika 23: Privremena konstrukcija za pridržavanje fasade [8]	31
Slika 24: Privremena konstrukcija za pridržavanje fasade [9]	32
Slika 25: Palača Muchovich-Rinaldi [10]	33
Slika 26: Pridržavanje fasadnog zida palače Muchovich-Rinaldi [10]	33
Slika 27: Nova zgrada "Croatia Line" [10]	33
Slika 28: T - objekt [11]	34
Slika 29: Vanjska skela za pridržavanje fasade [12]	35

Slika 30: Unutarnja skela za pridržavanje fasade [12]	35
Slika 31: Oštećena Ciglena zgrada [13]	36
Slika 32: Obnovljena Ciglena zgrada [14]	36
Slika 33: Četiri zadržana vanjska fasadna zida [13].....	37
Slika 34: Izgradnja nove konstrukcije [15].....	37
Slika 35: Ponovno upotrijebljeni stupovi [14].....	37
Slika 36: Teška skela za zadržavanje fasade [16].....	38
Slika 37: Vlastita težina [17]	41
Slika 38: Osnovna brzina vjetra $v_{b,0}$ [19].....	42
Slika 39: Određivanje vjetrovnih zona [18]	46
Slika 40: Prikaz djelovanja vjetra po vjetrovnim zonama.....	47
Slika 41: Djelovanje vjetra [17]	47
Slika 42: Prvi ton vibracija	50
Slika 43: Drugi ton vibracija	51
Slika 44: Prikaz područja zida za potrebe određivanja potresnih sila	53
Slika 45: Centar mase i centar krutosti	55
Slika 46: x, L_e za potresno djelovanje u x smjer	55
Slika 47: x, L_e za potresno djelovanje u y smjeru.....	56
Slika 48: Potresne sile u smjeru x	57
Slika 49: Potresne sile u smjeru y	58
Slika 50: Model fasadnih zidova	59
Slika 51: Model fasadnih zidova i nosive skele	59
Slika 52: Model nosive skele.....	60
Slika 53: Dijagram uzdužnih sila u stupovima	61
Slika 54: Dijagram uzdužnih sila u horizontalnim prečkama.....	61
Slika 55: Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama	62
Slika 56: Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama horizontalne stabilizacije	62
Slika 57: Dijagram uzdužnih sila u kosnicima	63
Slika 58: Otklon stupova	63
Slika 59: Dijagram uzdužnih sila u stupovima	64
Slika 60: Dijagram uzdužnih sila u horizontalnim nosačima	64
Slika 61: Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama	65
Slika 62: Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama horizontalne stabilizacije	65
Slika 63: Dijagram uzdužnih sila u kosnicima	66

Slika 64: Otklon stupova	66
--------------------------------	----

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1: Zgrade pogodne i ne pogodne za zadržavanje fasade [1]</i>	<i>9</i>
<i>Tablica 2: Kategorije terena [18]</i>	<i>43</i>
<i>Tablica 3: Preporučeni koeficijent tlaka C_p za slobodnostojeće zidove i parapete [18] ...</i>	<i>45</i>
<i>Tablica 4: Tlak vjetra na vanjske površine zidova</i>	<i>46</i>
<i>Tablica 5: Vrijednosti parametara za elastični spektar odziva [20]</i>	<i>51</i>
<i>Tablica 6: Debljina zida po visini</i>	<i>58</i>
<i>Tablica 7: Proračun elemenata nosive skele POZ 101</i>	<i>67</i>
<i>Tablica 8: Proračun elemenata nosive skele POZ 102</i>	<i>75</i>
<i>Tablica 9: Proračun elemenata nosive skele POZ 103</i>	<i>78</i>
<i>Tablica 10: Proračun elemenata nosive skele POZ 104</i>	<i>81</i>
<i>Tablica 11: Proračun elemenata nosive skele POZ 105</i>	<i>84</i>
<i>Tablica 12: Proračun DETALJA „A“ (stup – temelj)</i>	<i>87</i>
<i>Tablica 13: Proračun DETALJA „B“ (horizontalna prečka – stup)</i>	<i>94</i>
<i>Tablica 14: Proračun DETALJA „C“ (kosnik – stup)</i>	<i>99</i>
<i>Tablica 15: Usporedba unutarnjih sila dobivenih analizom konstrukcije</i>	<i>104</i>
<i>Tablica 16: Usporedba dimenzija poprečnih presjeka</i>	<i>105</i>

1. UVOD

Gradnja građevina danas je brža i raznolikija nego ikad prije. Građevine imaju različite tlocrtnne oblike, dimenzije, različite vrste konstrukcijskih elemenata, pa danas gotovo da i ne postoje prepreke u projektiranju koje se na neki način ne bi mogle riješiti. Tome je uvelike doprinijela znanost, istraživanje i kombiniranje novih materijala i njihovih svojstava. Međutim, u ne tako davnoj prošlosti, uglavnom su se koristili prirodni materijali za gradnju. Ljudi su nastojali iskoristiti materijal koji su imali u blizini na najbolji mogući način. Svako vremensko razdoblje imalo je svoj stil gradnje, prema tome, danas za mnoge građevine možemo znati u kojem su razdoblju otprilike nastale i koliko su stare. Tada ljudi nisu znali puno o materijalima koje su upotrebljavali, ali su ih koristili na temelju iskustva. Njihovo iskustvo, znanje i logika građenja bili su toliko dobri da mnoge građevine još i danas stoje. Ukoliko su građevine redovito održavane, ne javljaju se veliki problemi. Međutim, postoji puno starih građevina u kojima više nitko ne boravi i one su s vremenom počele propadati. U određenom trenutku one postaju opasne zbog pada njihovih dijelova i urušavanja, te postaju opasne za okolinu. Propadanje građevine počinje polagano, ali vrlo brzo napreduje i u trenutku kada se to primijeti obično postane prekasno za građevinu. Povijesne građevine vrlo su vrijedne, njihova je povijesna i arhitektonska vrijednost jako velika, obično su simbol neke ulice ili mjesta i njihovo se rušenje nastoji izbjeći.

Kada je građevina propala u tolikoj mjeri da je njezina sigurnost za ljude upitna, čak i kada bi se izvršile rekonstrukcije određenih dijelova građevine, onda se dolazi do jedne radikalne metode rekonstrukcije, tzv. metode zadržavanja fasade. To je metoda koja je vrlo složena i njoj prethodi jako detaljno istraživanje građevine, ali isto tako ona omogućuje zadržavanje fasade kao bitnog dijela građevine i najvažnije od svega ponovnu uporabu građevine na siguran način. Zadržavanje fasade kao metoda rekonstrukcije postaje sve češćom metodom posebno u starim gradskim jezgrama, kako bi se sačuvala njena izvorna vizura.

Iako se metoda rekonstrukcije zadržavanjem fasade uvelike primjenjuje u svijetu, u Hrvatskoj to baš nije tako. Neki od razloga su nedostatak propisa, manjak inženjerskog iskustva, zahtjevna organizacija radova, ali i ekonomski razlozi. Do sada su u Hrvatskoj obnovljene tri građevine na ovaj način, a sve su smještene u Rijeci. Prva građevina, bivša zgrada Jugolinije danas zgrada Euroherz osiguranja, rekonstruirana je 1988. godine. Veći dio postojeće konstrukcije je uklonjen, a zadržana su dva fasadna zida. Druga i treća

građevina su objekti bivšeg industrijskog kompleksa Rikard Benčić, T-objekt i Ciglana zgrada. Rekonstrukcija T-objekta započela je 2019. godine ojačavanjem tla tijekom kojeg su se pojavile velike deformacije, nakon kojih je odlučeno da će se rekonstrukcija odvijati metodom zadržavanja fasade. 2020. godine započela je rekonstrukcija Ciglene zgrade. Pomoću metode zadržavanja fasade zadržani su izvorni cigleni fasadni zidovi po kojima i sama građevina nosi ime.

Kako bi rekonstrukcija građevina metodom zadržavanja fasade bila uspješna, veliku ulogu imaju privremene konstrukcije za pridržavanje fasade koje će omogućiti njezinu stabilnost za vrijeme uklanjanja unutarnjeg dijela postojeće građevine te za vrijeme gradnje nove građevine unutar postojećih zidova.

U nastavku je prikazano pet poglavlja kroz koje je detaljno opisana metoda zadržavanja fasade. U drugom je poglavlju opisan razvoj i razlozi primjenjivanja ovakve radikalne metode rekonstrukcije građevina. Kroz treće poglavlje opisuju se koraci koje je potrebno napraviti kako bi metoda zadržavanja fasade bila uspješna: početna istraživanja građevine, projektiranje privremene konstrukcije za pridržavanje fasade, montaža privremene konstrukcije, uklanjanje unutarnjeg dijela konstrukcije, gradnja nove konstrukcije, čišćenje fasade i demontaža privremene konstrukcije. U četvrtom je poglavlju opisano nekoliko primjera rekonstrukcije metodom zadržavanja fasade u svijetu i u Hrvatskoj. Na primjeru Ciglene zgrade u Rijeci, u petom je poglavlju napravljen proračun privremene konstrukcije čelične skele koja se upotrebljavala za pridržavanje ciglenih zidova. Zbog nedavnih jačih potresa na hrvatskom tlu, proveden je proračun privremene konstrukcije na utjecaj potresnog djelovanja. U projektu privremene konstrukcije čelične skele za pridržanje zidova Ciglene zgrade nije uzeto u obzir potresno opterećenje. Privremeni radovi mogu potrajati znatno dulje od predviđenog kada se rade ovako zahtjevne rekonstrukcije pa se postavlja pitanje da li je za takve specifične građevine ipak potrebno uzeti u obzir potresno opterećenje.

U ovom diplomskom radu željelo se pokazati ima li potresno opterećenje utjecaj na nosivost privremene nosive čelične skele koja pridržava ciglene zidove. Usporedba ponašanja je napravljena s nosivom čeličnom skelom bez utjecaja potresnog opterećenja.

2. METODA REKONSTRUKCIJE ZADRŽAVANJEM FASADE

Zadržavanje fasade kao metoda rekonstrukcije građevina koristi se za građevine od velike povijesne i arhitektonske važnosti. Metoda se može definirati kao zadržavanje jednog ili više vertikalnih elemenata koji čine fasadu građevine, a sve unutar građevine se uklanja i gradi se nova konstrukcija. Na taj način izgled stare jezgre gradova ostaje očuvan i zaštićen, a građevine su sigurne za ponovno upotrebu [1].

Metoda zadržavanja fasade može se primjenjivati od malih i jednostavnih do vrlo velikih i složenih fasada, na običnim zgradama i na zgradama koje su dio zaštićene graditeljske baštine. Zadržavanje fasade je primjenjivo za teške nosive zidove od opeke ili kamena, a za lakše fasade primjerice od lijevanog željeza (sredina 19. stoljeća) nije uobičajeno. Zadržavanje fasade može biti planirano, što je češće, ali i neplanirano kada je potrebna brza intervencija nakon eksplozije, požara ili potresa.

2.1. Razvoj metode zadržavanja fasade

Metoda zadržavanja fasade smatra se relativno novom metodom, međutim njezin početak može se primijetiti kod obnavljanja građevina u 18. stoljeću kako bi se povećao njihov društveni status. Tada se preko opeke postavljao kamen, a preko drveta pločice. Jedan od značajnijih primjera bila je obnova Engleske banke koju je obnovio Herbert Baker (1925.-1939.). Stara Engleska banka imala je 3 kata i zidove fasade dužine 500 m, međutim, zbog naglog rasta količine posla pojavila se potreba za većim prostorom. Zidovi fasade su pridržani i poduprti, te su napravljene 3 etaže podruma i 1 etaža u visinu (slika 1. i 2.) [2].



Slika 1: Korištena mehanizacija i radovi na rekonstrukciji Engleske banke tijekom 1926. godine [3]



Slika 2: Prikaz fasade i prazne unutrašnjosti zgrade Engleske banke [3]

2.2. Razlozi za zadržavanje fasade

Postoji nekoliko razloga zadržavanja fasade [2]:

- zadržana fasada čuva povijesnu građu graditeljske baštine, te zadržava povijesnu vizuru ulice ili područja
- zadržavanje fasade je ponekad jeftiniji i brži način obnove u odnosu na gradnju novih zgrada, uključujući i obnovu unutrašnjosti zgrade koja je oštećena požarom
- omogućuje se obnavljanje unutrašnjosti prema modernim zahtjevima korisnika, kao što je promjena visina katova, dodavanje dodatnih katova i stvaranje atrija unutar građevina
- zadržavanje fasade se može provesti nakon nekih izvanrednih događaja, poput požara ili eksplozije, što zahtijeva brzu intervenciju za stabilizaciju, čak i ako naknadna procjena utvrdi da se konačno mora izvršiti rušenje

2.3. Odobrenje konzervatora za planiranje rekonstrukcije građevine metodom zadržavanja fasade

Zadržavanje fasade često se prihvaća kao najprikladnije rješenje u zaštićenim područjima za zgrade koje možda nisu zaštićene, ali su važan dio nekog područja ili se planira očuvati postojeći izgled područja. U slučaju kada zgrada nije dio graditeljske baštine, ali predstavlja mjesto od velike važnosti za lokalno stanovništvo, služi za orijentaciju i postoji zahtjev lokalnog stanovništva da se fasada zgrade zadrži, trebalo bi nastojati odabrati ovu metodu rekonstrukcije.

Postoji mišljenje da je metoda zadržavanja fasade samo sredstvo da bi se dobio pristanak za uklanjanje građevina, posebno u zaštićenim područjima. Najčešće je fasada dio građevine od velike važnosti, ali postoji i mogućnost da unutarnja konstrukcija ili završni slojevi imaju veću važnost od vanjskog dijela građevine (fasade). Jedan od takvih primjera je kazalište u Edinburgu, gdje je dvorana zadržana, a fasada je u potpunosti promijenjena.

Smatra se da je u takvim situacijama, u kojima se raspravlja o građevinama koje su dio graditeljske baštine, bitno da sudjeluju timovi iskusnih inženjera, jer je kod takvih građevina neophodna dobra inženjerska prosudba. Prijedlozi za zadržavanje ili uklanjanje građevine trebali bi potjecati od ranih istraživanja građevina. Na takav bi se način izbjeglo prekasno otkrivanje da je fasada nestabilna ili u puno gorem stanju nego što je prvotno zamišljano.

Prekasno otkrivanje lošeg stanja fasade dovodi do toga da se cijela fasada ili njezin dio moraju zamijeniti replikom, što onda znači da izvorni vanjski izgled nije očuvan.

3. OBNOVA GRAĐEVINA OD ARHITEKTONSKE I POVIJESNE VAŽNOSTI METODOM ZADRŽAVANJA FASADE

Povijesne zgrade i zgrade čije su fasade od velike arhitektonske važnosti, ali one više ne zadovoljavaju zahtjeve nosivosti i uporabivosti, potrebno je obnoviti. Jedan od mogućih načina obnove je metoda zadržavanja fasade. Da bi takav proces obnove bio uspješan potrebno je provesti određene postupke u određeni fazama tijekom cijelog procesa rekonstrukcije. Postupci koje je potrebno obuhvatiti su:

- Preliminarne aktivnosti
- Projektiranje privremene konstrukcije
- Proces od postavljanja privremene konstrukcije do uklanjanja
- Čišćenje i popravak zidanih fasada

3.1. Preliminarne aktivnosti

3.1.1. Identifikacija tipa zgrade

Vrlo je važno identificirati tip zgrade. One će se razlikovati prema materijalima i načinu gradnje ovisno o razdoblju u kojem su izgrađene.

Građevine izgrađene prije 18. st. su gotovo sigurno zaštićene kao dio graditeljske baštine. Njihovi zidovi su uglavnom od opeke ili kamena, neki dijelovi mogu biti drveni (hrast). U ovom razdoblju koristili su se materijali za gradnju najčešće iz lokalnih izvora, zato postoje jako velike razlike u detaljima i stilovima gradnje u različitim područjima. Postoji mogućnost da su neke građevine obnovljene, ali izvorni materijal koji je ostao u njima može biti u jako lošem stanju. Za ove građevine potrebne su posebne studije kako bi se utvrdilo postoji li mogućnost zadržavanja fasade [2].

Građevine izgrađene na prijelazu iz 18. u 19. st. građene su od kamena ili cigle, drvo se upotrebljavalo u unutrašnjosti građevine za podove i krovove. Javne zgrade, obiteljske kuće i industrijske građevine građene su na isti način. Početkom 19. stoljeća u industrijske građevine počinju se uvoditi vatrootporne konstrukcije podova. Razumijevanje ponašanja detalja spajanja zidane konstrukcije ovih građevina bitno je za proces zadržavanja fasade. Prema ovoj metodi unutrašnjost građevine i krovište se uklanjaju, međutim potrebno je obratiti pažnju na njihov način spajanja s fasadom jer njihovim uklanjanjem može doći do oslabljenja fasade [2].

Građevine na prijelazu iz 19. u 20. st. su više i imaju više podzemnih etaža. Nosiva konstrukcija je uglavnom od opeke ili kamena. Unutarnja konstrukcija je također od opeke ili kamena, ali može biti i uokvirena drvena ili čelična konstrukcija. Fasada je najčešće od kamena ili opeke. Početkom 20. stoljeća počinju se upotrebljavati blokovi od terakote i ostakljeni oblici fasada [2],[4].

Građevine iz druge polovice 20. st. smatraju se novijom gradnjom. Nosiva konstrukcija je najčešće od armiranog betona i čeličnih okvira. Fasade su tanke, od opeke ili nekog drugog materijala [4].

3.1.2. Prikladnost metode sanacije zadržavanjem fasade

Zgrade izgrađene do 1950. godine smatraju se pogodnima za zadržavanje fasade, jer su njihove fasade masivne, dok su za novije zgrade građene nakon 1950. godine isplativiji standardni načini sanacije (Tablica 1).

Tablica 1: Zgrade pogodne i ne pogodne za zadržavanje fasade [1]

Zgrade...	...pogodne za ZADRŽAVANJE FASADA	...nisu pogodne za ZADRŽAVANJE FASADA
Vrijeme gradnje	Izgrađene na prijelazu 19. i 20. stoljeća	Novija gradnja, nakon 1950. godine
Tip fasade	Masivna fasada od opeke i / ili kamena	Relativno tanke vanjske obloge od opeke ili drugih materijala
Nosiva konstrukcija	Zidovi od opeke i / ili kamena	Konstrukcije od čeličnih okvira ili armiranog betona
Sekundarni elementi	Unutarnja konstrukcija može biti slična nosivim zidovima ili djelomično uokvirena konstrukcija od čelične i / ili drvene konstrukcije. U nekim slučajevima mogu biti prisutni betonski podovi.	Zidani pregradni zidovi i svi ostali elementi karakteristični za suvremenu gradnju

3.1.3. Inicijalno istraživanje građevine

Istraživanje fasade i cijele konstrukcije vrlo je važno kako bi zadržavanje fasade bilo uspješno. Istraživanje bi se trebalo provesti dovoljno rano i što preciznije da se izbjegnu naknadni problemi kada radovi na građevini započnu. Na taj se način može spriječiti nepotreban trošak koji bi mogao premašiti cijenu inicijalnog istraživanja.

Istraživanje građevine ima tri važna cilja [2]:

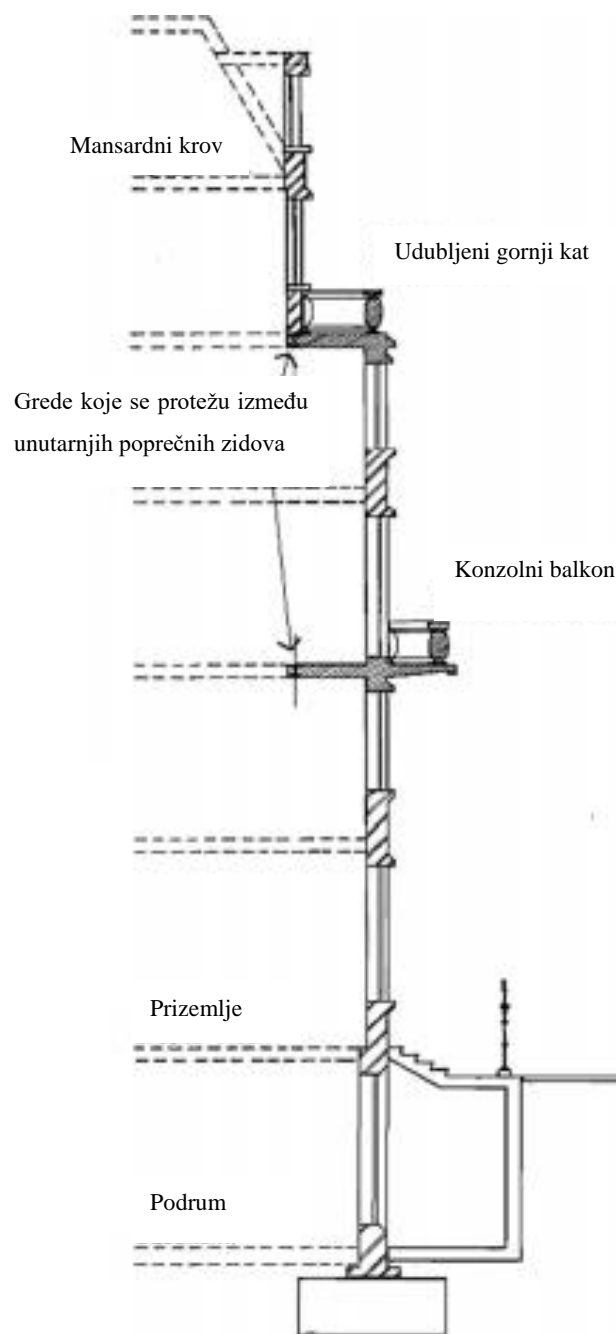
- sakupiti podatke o građevini koji će biti važni za projektiranje privremene i trajne konstrukcije
- utvrditi stanje konstrukcije koja će se zadržati
- utvrditi stanje susjednih građevina gdje je potrebno, kako bi se mogle pratiti tijekom izvođenja radova.

Bitno je pronaći i proučiti dostupnu dokumentaciju, nacrti su često neophodni za dobro razumijevanje građevina. Važno je prikupiti informacije o povijesti mjesta na kojem se nalazi građevina. Informacije o uvjetima tla bitne su za otkrivanje mogućih uzroka pucanja građevina. Iz dostupnih dokumenata i nacрта trebalo bi se saznati sve o životnom vijeku građevine, uključujući i obnove koje su rađene na zgradi. Istraživanje dokumentacije trebalo bi se napraviti prije odlaska na teren jer ukoliko postoje originalni arhitektonski i građevinski nacrti, tada je to puno jeftinije nego detaljni pregled građevine, iako se niti jedan nacrt postojeće zgrade ne bi trebao smatrati potpuno pouzdanim.

Za otkrivanje općenitog stanja građevine potreban je njezin vizualni pregled. Takav pregled obično se radi s razine tla izvana i unutar zgrade ako je to moguće. Poželjno je napraviti pregled sa susjednih građevina kako bi se vidjeli ostali dijelovi građevine koje s tla nije moguće vidjeti. Na temelju početnog pregleda može se stvoriti slika je li zadržavanje fasade uopće izvedivo. Ponekad fasade mogu biti u jako lošem stanju i njihovo zadržavanje nije moguće.

Rano istraživanje građevina važno je kako bi se na vrijeme otkrilo na koji način se ostvaruje veza fasadnih zidova s unutarnjim zidovima i podovima. Uklanjanje unutarnjeg dijela građevine može značajno utjecati na fasadu i na mogućnost njezinog zadržavanja.

Stare građevine rijetko imaju potpuno vertikalne fasadne zidove bez ikakvih izbočenja stoga se kod fasadnih zidova koji se planiraju zadržati treba provjeriti ekscentričnost vlastite težine. Potrebno je provjeriti stabilnost fasade i njezinih pojedinačnih dijelova, te odrediti kako se opterećenje prenosi do temelja. Za zidove koji su u jednoj ravnini odabir i postavljanje privremene i trajne potporne konstrukcije ne bi trebao biti problem, međutim posebna se pozornost treba obratiti ukoliko fasadni zidovi sadrže balkone, vijence i dr. (slika 3). Kod takvih složenijih fasada uklanjanje podova u unutrašnjosti zgrade moglo bi narušiti stabilnost fasade.



Slika 3: Ekscentričnost vlastite težine fasadnih zidova [4]

Istraživanje temeljnog tla važno je za zadržavanje fasade, ali je važno i za projektiranje nove konstrukcije. Uobičajeno je izvesti nekoliko bušotina unutar i izvan građevine, ispitati čvrstoću i kemijski sastav tla, provjeriti podzemne vode, napraviti ispitivanja in situ ili u laboratoriju kako bi se vidjelo što se događa s tlom i što se može očekivati (slijeganje, uzdizanje tla, konsolidacija). Iako može biti komplicirano, trebalo bi pregledati i stare temelje koji mogu biti oštećeni i oslabljeni prilikom ugradnje kanalizacije, gradnje cesta i sl.

3.1.4. Ograničenja lokacije građevine

Građevine koje je potrebno obnoviti često se nalaze u urbanim središtima gdje je potrebno zadovoljiti sva ograničenja takvih područja pri odabiru konstrukcije za pridržavanje fasade. Često je širina prostora oko zgrade ograničena blizinom drugih zgrada i kolnika. Postavljanje privremene konstrukcije za pridržavanje fasade mogu ograničiti lokalne vlasti i vlasnici susjednih građevina. Takvi bi se problemi trebali riješiti prije nego što se sama privremena konstrukcija počine projektirati. Potrebno je uzeti u obzir blizinu željezničkih pruga koje mogu biti nadzemne ili podzemne, blizinu tunela, prostor za dizalice koje će biti ograničene blizinom susjednih građevina i sl.

3.1.5. Utvrđivanje stanja fasade

Stanje fasade i unutarnje konstrukcije potrebno je utvrditi prije bilo kakve odluke o zadržavanju fasade. Ponekad je oštećenja fasade potrebno popraviti prije početka radova na građevini.

Prije utvrđivanja stanja u kojem se fasada nalazi trebala bi se napraviti mjerenja geometrije fasadnih zidova ili dijelova fasade koji se planiraju zadržati. Pri tome je važno izmjeriti tlocrtnu dimenziju, debljinu i visinu fasadnih zidova i odrediti dimenzije poprečnih presjeka fasadnih zidova. Kod određivanja visine zidova potrebno je odrediti visinu oba lica zida, debljina zida na različitim visinama može biti različita. Između ostalog potrebno je proučiti i detalje otvora.

Ukoliko ne postoji dovoljno pouzdanih dokumenata o konstrukciji bit će potrebno na nekim mjestima otvoriti zidove kako bi se utvrdili detalji, korišteni materijal i njegovo stanje. Potencijalni problemi mogu se prikriti unutar fasade u starijim zgradama. Često se želi ograničiti nepotrebno otvaranje zidova, uzimanje uzoraka za laboratorijsko ispitivanje kako se ne bi izgubile završne obloge. Međutim, upravo zbog toga, problemi se počinju uviđati tijekom radova na građevini i tada je njihova sanacija puno skuplja. Na primjer, prilikom rekonstrukcije jedne zgrade zadržavanjem fasade od opeke i kamena zaključeno je da je fasada u dobrom stanju. Naknadno, tijekom radova na zgradi, nadvoj nad ulaznim vratima slegnuo se za 150 mm preko noći. Tada je otkriveno da su nadvoji drveni i da su u različitim fazama propadanja, a na nekim dijelovima su potpuno istrunuli. Došlo se do zaključka da su drveni nadvoji već korišteni u nekoj prethodnoj zgradi. To je doprinijelo znatno većim troškovima, nego što bi bili da je to otkriveno na samom početku radova [2].

Što su zgrade starije, to je veća vjerojatnost da su doživjele neku sanaciju tijekom svog životnog vijeka i to je potrebno istražiti. Postoji mogućnost da su fasadni zidovi u nekom razdoblju dobili novu oblogu koja možda nije čvrsto zalijepljena ili vezana za postojeći zid.

Zidovi koji povezuju dvije građevine (npr. kuće u nizu) mogu se sastojati od nekoliko tankih slojeva ovisno kako se koji dio objekta obnavljao ili uklanjao. Neki unutarnji zidovi su možda u nekom razdoblju uklonjeni, ali to nije odmah vidljivo zbog obloga. Potporni zidovi mogu služiti samo da prekriju neke starije dijelove građevina koji su bili u lošem stanju. U prošlosti su možda izvedene brze sanacije na oštećenjima u ratovima. Tada se to možda smatralo privremenom mjerom ali je ostalo do danas. Takve promjene koje su se događale na građevinama trebale bi se detaljno istražiti jer mogu utjecati na stabilnost.

Trebalo bi istražiti ima li znakova pomaka zidova, nestabilnih elemenata poput balkona ili vijenaca, jer će možda biti potrebno poduzeti neke privremene mjere. Mogu se pojaviti znakovi korozije željeza, čelika i drugih metala, otpadanje žbuke, truljenje drva, ljuštenje kamena i cigle, na vanjskim uglovima zidova mogu se uočiti nepovezani spojevi. Često se može primijetiti da su gornji dijelovi građevina u lošijem stanju nego donji dijelovi jer su gornji dijelovi izloženiji, skuplji i problematičniji za održavanje.

Nakon detaljnog pregleda trebali bi se utvrditi svi popravci i ojačanja koja je potrebno izvršiti.

3.1.6. Studija izvedivosti zadržavanja fasade

Nakon identifikacije tipa zgrade, utvrđivanja prikladnosti metode rekonstrukcije zadržavanjem fasade, istraživanja fasade i cijele konstrukcije, lokacije građevine, potrebno je izraditi studiju izvedivosti zadržavanja fasade.

Da bi zadržavanje fasade bilo izvedivo potrebno je osigurati njezinu stabilnost u fazi uklanjanja unutarnje konstrukcije i u fazi gradnje nove konstrukcije. Stabilnost je moguće osigurati prikladnom privremenom konstrukcijom koja će služiti kao potpora postojećoj fasadi.

Uklanjanjem unutarnjeg dijela građevine smanjuju se opterećenja na fasadu i njezine temelje, te su fasada i njezini temelji najčešće sposobni izdržati vlastitu težinu. Najčešće će to biti moguće ukoliko su zidovi fasada okomiti, bez nekih izbočenih elemenata koji bi uzrokovali ekscentrično opterećenje. Kod takvih „jednostavnijih“ fasadnih zidova, stabilnost se može postići skelama, koje bočno podupiru fasadne zidove. Ukoliko na fasadnim

zidovima postoje ekscentrični elementi ili veliki otvori, kojima potporu pružaju elementi unutarnje konstrukcije koja se uklanja, tada se stabilnost može postići izvedbom bočnih i vertikalnih elemenata.

Nakon odabira prikladne privremene konstrukcije trebalo bi se proučiti mjesto rada i posebnu pažnju posvetiti tehnologiji gradnje nove konstrukcije i njezinih temelja, smještaju strojeva potrebnih za rad i povezivanju stare fasade s novom konstrukcijom.

3.2. Projektiranje privremene konstrukcije

3.2.1. Uloga privremene konstrukcije za pridržavanje fasade

Uloga privremene konstrukcije je pružanje bočne potpore postojećoj fasadi, od početka uklanjanja unutarnjeg dijela konstrukcije do završetka nove konstrukcije. Privremene konstrukcije su skele koje obavljaju svoju ulogu, a da pritom ne remete radove na građevini. Važno je da se privremene konstrukcije mogu jednostavno instalirati, održavati i ukloniti. Općenito su skele poznate kao radne skele koje se oslanjaju na zgradu te osiguravaju pristup radnika i materijala. Međutim, skele koje pridržavaju fasadu su nosive skele i najčešće su to masivne konstrukcije skela. Instalacija skele mora započeti prije nego se ukloni bilo koji dio postojeće konstrukcije i ne smije se ukloniti sve dok nova građevina u potpunosti ne preuzme svoju nosivu ulogu. Mora omogućiti izgradnju nove konstrukcije oko nje.

Najčešće je konstrukcija za pridržavanje fasade planirana i potrebni su jako opsežni istražni radovi prije nego se odluči za takav tip rekonstrukcije, a nakon toga je potrebno zadovoljiti jako visoke zahtjeve u projektiranju i izvođenju. Međutim, ponekad je nakon izvanrednih događaja poput požara ili eksplozije potrebna hitna stabilizacija građevine. U takvim slučajevima potrebno je istražiti i donijeti brzu odluku može li se građevina na taj način spasiti. Tada se najčešće bira metalna skela ovisno o dostupnosti materijala i brzini postavljanja.

3.2.2. Mogućnosti lokacije privremene konstrukcije

U odnosu na fasadu, privremena konstrukcija može se postaviti unutar fasade, izvan ili kombinirano. Može se zadržati dio postojeće konstrukcije ili iskoristiti dio nove trajne konstrukcije kako bi se osigurala stabilnost fasade u svim fazama. Najprikladnija lokacija za privremenu konstrukciju je izvan fasade jer ne utječe na građevinske radove koji se moraju odvijati unutar fasade. Zadržavanje fasade se u većini slučajeva odvija u gradovima gdje izvan građevina nema dovoljno mjesta za smještaj privremene konstrukcije. Zbog toga se često rade djelomično vanjske i djelomično unutarnje konstrukcije.

Vanjska privremena konstrukcija (slika 4.) omogućava slobodan prostor unutar fasade i ne ometa rad na novoj konstrukciji. Omogućava pristup vanjskom licu fasade te se mogu izvesti potrebna istraživanja, popravci i čišćenje fasade. Nedostaci vanjske konstrukcije su što se prilikom projektiranja takve konstrukcije moraju uzeti u obzir ograničenja poput blizine kolnika, prometnica, javnih usluga i slično. Često će vanjska konstrukcija biti konstruktivno složenija od unutarnje kako bi se zadovoljili svi zahtjevi.



Slika 4: Vanjska privremena konstrukcija za pridržavanje fasade [5]

Unutarnja privremena konstrukcija (slika 5.) zahtjeva jako veliku pažnju pri projektiranju kako bi se uspješno spojili i privremeni i trajni radovi. Elementi takve skele moraju se moći dopremiti i ugraditi unutar postojeće građevine. Dimenzije elemenata su manje što znači da će unutarnja skela imati više spojeva. Podovi unutar postojeće građevine se mogu iskoristiti kao prilazi i za podupiranje horizontalnih elemenata. Postoji manji rizik od pada s visine za razliku od vanjske skele, međutim rad se obavlja u zatvorenom prostoru s teškim elementima i to predstavlja određenu opasnost. Nakon ugradnje unutarnje skele oko nje se ruši postojeća građevina i gradi se nova, pri tome skela mora biti zaštićena kako bi u svim fazama osigurala stabilnost fasade.



Slika 5: Unutarnja privremena konstrukcija za pridržavanje fasade [6]

Kombinirana privremena skela (slika 6.) izvodi se najčešće kada postoje ograničenja zbog kolnika. Povezivanje vanjskog i unutarnjeg dijela skele uglavnom se radi kroz postojeće otvore na fasadi, a rijetko je moguće oblikovati novi otvor na fasadi ukoliko je potreban samo za privremenu konstrukciju.



Slika 6: Kombinirana privremena konstrukcija [6]

3.2.3. Vrste nosivih skela

Nosive skele mogu biti različitih građevinskih oblika od značajno razmaknutih toranjskih skela do trodimenzionalnih cijevnih skela s malim razmacima između elemenata. Izbor vrste skele ovisi o obliku fasade, lokaciji građevine, prisutnosti prometnica i drugih građevina, obliku nove građevine, novim temeljima i slično. Kombiniranje nekoliko različitih vrsta skela pružit će najprikladnije rješenje za potrebe građevine i njezine lokacije.

Tipovi konstrukcije za zadržavanje fasade:

- Bočne nosive skele
- Horizontalne skele
- Vertikalne skele

Bočne nosive skele pružaju privremenu horizontalnu potporu fasadnom zidu. Mogu biti jednostavnije ili složenije. Jednostavne se sastoje od jednog potpornog nosača ili nekoliko njih, a složenije mogu biti konstrukcije znatne visine. Vrlo je važno da se potporni nosači povežu s fasadom na način da joj osiguraju stabilnost. Na slici 7. prikazani su drveni kosnici koji osiguravaju stabilnost zida uslijed rušenja dijela građevine, a slika 8. prikazuje podupiranje čeličnim kosnicima.

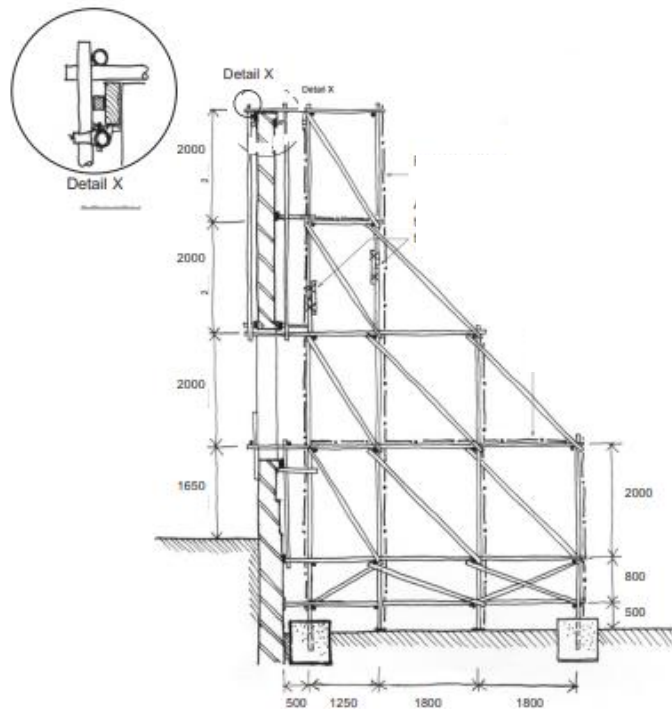


Slika 7: Drveni kosnici [2]



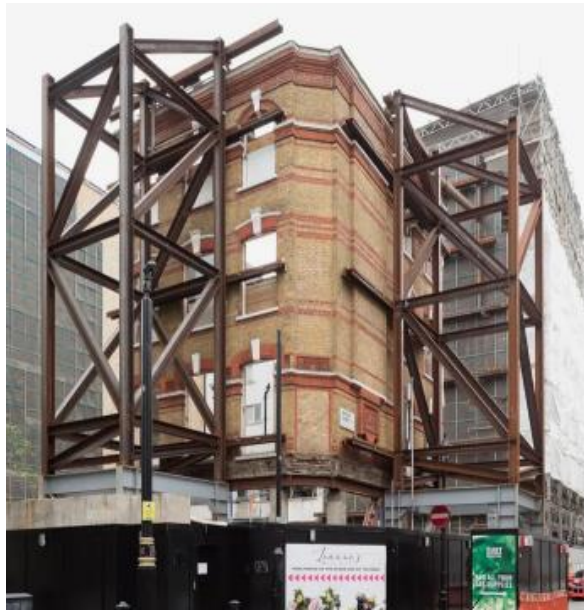
Slika 8: Čelični kosnici [1]

Ovakav oblik skela je na dnu širok a prema vrhu se sužava. Omjer visine skele i dužine na razini tla kreće se između 1:1 i 1:2. Ukoliko se koristi kao vanjska skela, izvan fasade, tada se mogu predvidjeti otvori u mreži elemenata kako bi se osigurao slobodan prostor za kolnik i slično. Na slici 9. prikazan je primjer bočne nosive skele koja se koristi za fasade srednje visine [2].



Slika 9: Bočna nosiva skela za fasade srednje visine [2]

Složenije bočne nosive skele su toranjske skele (slika 10.) i cijevne skele (slika 11.). Toranjska pridržanja rješavaju problem stabilnosti izvan ravnine jer su takve konstrukcije samostojeće i stabilne same po sebi. Najčešće su pravokutnog oblika, a mogu se kombinirati s horizontalnim elementima poput rešetkastih razupora te na taj način stabilizirati veću dužinu zida. Omjer visine i dužine skele najčešće je od 5:1 do 6:1, ukoliko su razmaci skela veći onda je prikladniji manji omjer stranica od 3:1 do 4:1 [2].



Slika 10: Toranjska skela [1]



Slika 11: Cijevna skela [1]

Horizontalne skele su nosive skele koje pružaju potporu nasuprotnim zidovima. Za razliku od bočne nosive skele gdje se opterećenje prenosi na tlo, kod horizontalnih skela opterećenje se prenosi na fasadne zidove. Razupiranje se izvodi pomoću profila ili rešetkastih nosača.

Razupiranje profilima radi se pomoću horizontalno postavljenih profila koji se protežu između fasadnih zidova koji se zadržavaju (slika 12.). Vrsta i veličina profila za razupiranje ovisi o razmaku fasadnih zidova, veličini bočnih opterećenja i zahtjevu za odgovarajuću krutost.



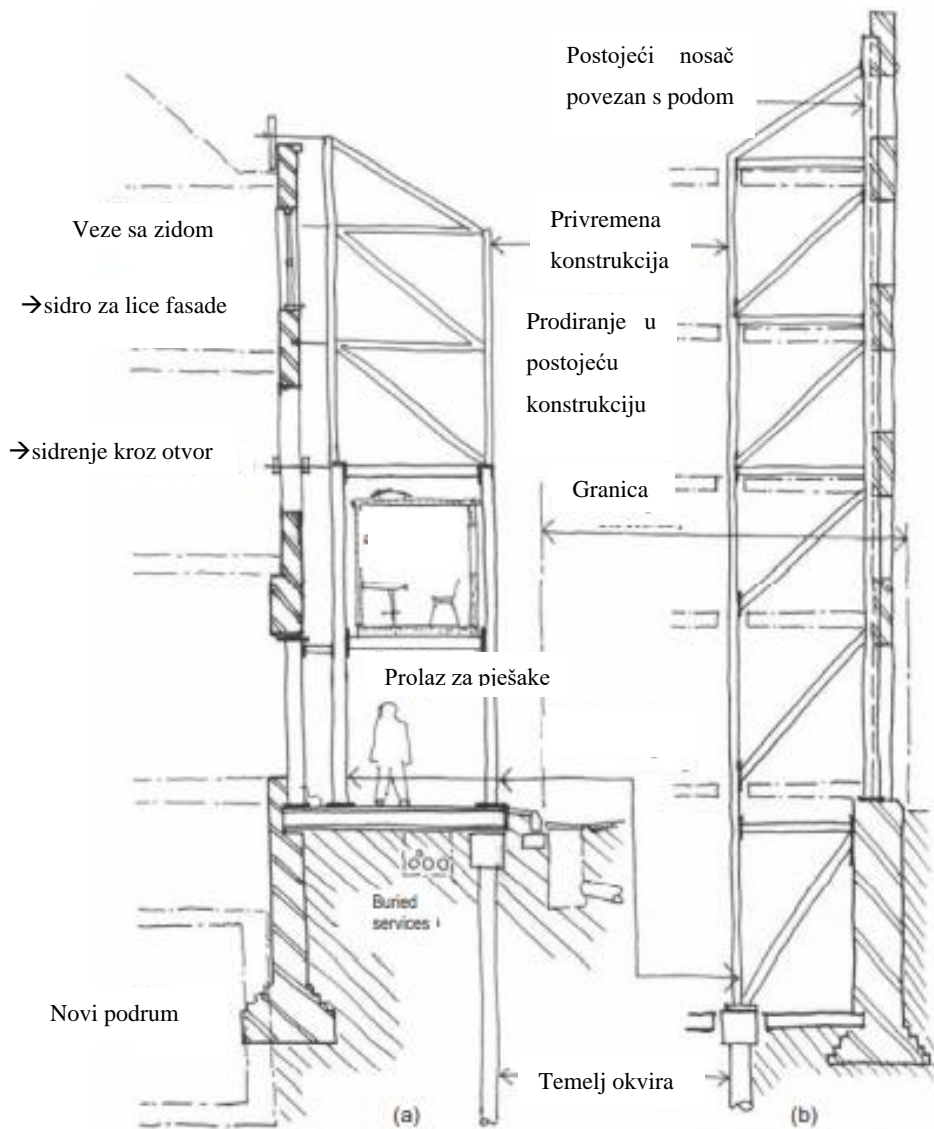
Slika 12: Razupiranje profilima [1]

Razupiranje rešetkastim nosačima koristi se za pridržavanje zidova u sredini zida ili na krajevima. Horizontalni rešetkasti nosači mogu se povezati s vertikalnim elementima privremene konstrukcije ili sa susjednom konstrukcijom. Moguće je izvesti rešetkaste nosače bez potrebe za potporom od razine tla. Na taj način omogućuje se slobodan prostor za rad na novoj konstrukciji (slika 13.). Kod duljih rešetkastih nosača, često je potrebno podupiranje u sredini raspona zbog mogućih većih progiba od vlastite težine, što može uzrokovati iskrivljenje i oštećenje fasadnog zida.



Slika 13: Rešetkasti razuporni nosač [1]

Vertikalne skele najčešće se koriste za rekonstrukciju postojećih temelja i gornjih dijelova fasade, te za gradnju većih otvora na već postojećim zidovima. Na slici 14 a) prikazana je vanjska vertikalna skela, a na slici 14 b) unutarnja vertikalna skela koja je postavljena na postojećoj razini podruma. Omjer dimenzija takvih skela je najčešće 5:1 ili 6:1, vanjske skele obično prate širinu kolnika.



Slika 14: Vanjska i unutarnja vertikalna skela [2]

Uz skele, mogu se koristiti i pomoćni elementi za podupiranje i pomoćni nosači. Ovisno o rasponu fasade, ponekad su potrebni dodatni vertikalni elementi između horizontalnih elemenata. Vertikalni elementi koriste se i za pridržavanje krhkih fasadnih elemenata poput kamenih zidova prije popravka. Za izbočene fasadne elemente treba osigurati vertikalne i bočne podupirače. Stabilnost izbočenih dijelova fasade često ovisi o elementima koji su dio postojeće konstrukcije koja se uklanja. U takvim slučajevima potrebno je osigurati zamjenske privremene i trajne nosače. Otvori se oblažu drvom kako bi zaštitili rubove prilikom montaže skele.

3.2.4. Materijali za izradu nosivih skela

Konstrukcija za pridržavanje fasade sastoji se od komponenata koje su najčešće od čelika. Drvo se u nosivim skelama koristi kao sekundarni materijal. Prednost drva je što je relativno mekan materijal pa neće doći do oštećenja fasade, može se jednostavno prilagoditi potrebama na terenu. Pri većem opterećenju, poprečni presjek drvenog elementa bit će nešto veći od čeličnog presjeka. Stoga je potrebno pažljivo oblikovati vezu između drvenog i čeličnog elementa. Ukoliko se upotrebljava manja nosiva skela, tada se drvo može koristiti kao glavni materijal. Drvene skele često se koriste nakon izvanrednih djelovanja poput eksplozije, požara, potresa i slično, kada je potrebno brzo osigurati stabilnost građevine, a drvo je materijal koji se može brzo nabaviti i prilagoditi situaciji.

3.2.5. Spojevi između fasade i privremene konstrukcije

Nosive skele su konstrukcije koje se proizvode isključivo za namjenu pridržavanja fasada i rijetko kada se mogu ponovno upotrijebiti. Zato su spojevi između fasade i skele osmišljeni uglavnom od strane proizvođača. Jednostavnija spojna sredstva poput čavala i vijaka mogu se koristiti kod slabo opterećenih drvenih skela.

Ukoliko je moguće, fasada se pričvršćuje s unutarnje i vanjske strane pomoću potporne konstrukcije. Spojevi između unutarnjeg i vanjskog dijela izvode se kroz otvore, te se na taj način izbjegava bušenje fasade za sidra (slika 15.). Otvore je potrebno zaštititi, a stakla na prozorima se uglavnom uklanjaju i zamjenjuju novim.



Slika 15: Spoj fasade i skele pomoću drva i spojnih sredstava [2]

3.2.6. Temelji nosivih skela

Nosive skele, iako su privremene konstrukcije zahtijevaju neki oblik temeljenja kako bi se opterećenje prenijelo na tlo. Nosive skele su relativno lagane konstrukcije, ali preuzimaju značajno opterećenje od vjetra i ostala bočna opterećenja. Za odabir temeljenja privremene

konstrukcije potrebno je istražiti tlo. Pri temeljenju nosive skele unutar fasade mogu se koristiti temelji postojeće konstrukcije. Ako je moguće, mogu se izvesti trajni novi temelji za novu konstrukciju, te se privremeno koristiti za temeljenje nosive skele. Temeljenje nosive skele izvan fasade nešto je složenije od temeljenja unutar fasade jer su izvan fasade uglavnom javne površine gdje postoje razna ograničenja. Zato se najčešće rade privremeni temelji za skelu i nakon demontaže skele oni se uklanjaju.

3.2.7. Povezivanje zadržane fasade i nove konstrukcije unutar fasade

Vrsta, oblik, izgled, ali i sama prisutnost fasade značajno će utjecati na projektiranje nove konstrukcije. Najbolje bi bilo kada bi nova konstrukcija bila ista kao i stara koja se uklanja, međutim to se rijetko događa. Nova konstrukcija trebala bi osigurati potrebnu stabilnost i povezanost između fasade i nove konstrukcije.

U novoj konstrukciji koja se gradi unutar postojeće fasade, često se rade promjene u odnosu na staru konstrukciju kako bi se prilagodila novim zahtjevima korisnika i propisima. Mijenjaju se visine novih katova u odnosu na visine katova koje su bile u prošlosti. Na taj način dobiva se veći broj katova koje je potrebno uskladiti s postojećim otvorima. Umjesto izvornog kosog krova često se stavlja dodatni kat. Mijenja se raspored pregradnih zidova kako bi se dobili veći otvoreni prostori, a to može utjecati na sposobnost fasade da se odupre opterećenju vjetra. U novoj građevini trebaju se predvidjeti dizala, stubišta, izlazi u nuždi, što stara građevina nije imala, te će i to promijeniti njezinu unutrašnjost. Ponekad je potrebno napraviti nove otvore na fasadi kako bi se omogućio pristup vozilima. To će rijetko biti prihvatljivo kod građevina zaštićene graditeljske baštine. Novi otvori promijenit će i puteve sila kojima se opterećenje prenosi na tlo, što znači da će biti potrebno osigurati neke dodatne potporne konstrukcije. Uz novu konstrukciju, fasade koje su u dobrom stanju mogu ponovno biti nosive i osiguravati stabilnost građevine, za razliku od fasada koje su u lošijem stanju pa nose samo svoju vlastitu težinu i prenose je na postojeće temelje.

Pri projektiranju nove građevine treba uzeti u obzir prisutnost postojeće fasade, te novu građevinu uklopiti s tipom, oblikom i izgledom fasade.

3.3. Proces od montaže do demontaže skele

Rekonstrukcija građevina metodom zadržavanja fasade je vrlo složena u svakoj fazi i zahtijeva pažljivo planiranje svake faze. Pri planiranju redoslijeda faza treba osigurati sigurnost i praktičnost.

Slijed radova koje je potrebno obaviti prije montaže skele [2]:

- Postavljanje zaštitne ograde i osvjtljenja
- Postavljanje zaštite zbog mogućnosti otpadanja dijelova fasade, smanjenja prašine, mogućeg ispadanja alata i sl.
- Osnovni popravci i ojačanje fasade kako bi se omogućilo sigurno pričvršćivanje nosive skele na fasadu
- Ispitivanje privremenog povezivanja fasade i privremene konstrukcije
- Podupiranje postojećih temelja ako je potrebno
- Oblikovanje bitnih otvora za pristup kroz fasadu
- Postavljanje mjerača pomaka na fasadi

Slijed radova pri montaži skele [2]:

- Postavljanje nosive skele
- Povezivanje skele privremenim vezama za postojeću fasadu i pri tom osigurati „meku“ zaštitu između fasade i skele
- Postaviti dodatnu zaštitnu foliju otpornu na prašinu i vremenske uvjete, ako je potrebno
- Zaštititi novootkrivene površine koje su prije bile zaštićene od atmosferilija
- Zaštititi fasadu od mogućih mrlja od hrđanja čelične skele ili od drugih privremenih radova
- Ako je potrebno, postaviti mjerače pomaka na skeli

Nakon postavljanja skele može se izvršiti detaljan pregled fasade ukoliko to prije nije bilo moguće. Skelu i fasadu je potrebno kontrolirati tijekom svih faza. Konstrukcija za pridržavanje fasade cijelo vrijeme treba biti osigurana i zaštićena od svih oštećenja tijekom izvođenja radova. Poželjno je privremenu konstrukciju od čelika zaštititi od korozije u slučaju da se privremena konstrukcija upotrebljava duže od planiranog, a drvena građa bi trebala biti zdrava. Pomaci fasade i privremene konstrukcije trebali bi se konstantno pratiti kako bi bili unutar propisanih granica.

Nakon postavljanja nosive skele, počinje uklanjanje postojeće konstrukcije unutar fasade. Postoji veliki izbor tehnika uklanjanja ukoliko se skela u potpunosti nalazi izvan fasade. Ako je skela izvedena unutar fasade tada ju je potrebno osigurati od oštećenja prilikom uklanjanja postojeće konstrukcije.

Uklanjanjem postojeće konstrukcije stvara se prostor za gradnju nove konstrukcije. Ponekad je prilikom gradnje nove konstrukcije potrebno raditi izmjene na privremenoj skeli, međutim to bi se trebalo izbjegavati. Izmjene su često potrebne ukoliko građevina u preliminarnim aktivnostima nije dovoljno dobro istražena, te će to uzrokovati dodatne troškove. Nakon izgradnje nove građevine, a prije uklanjanja privremene konstrukcije potrebno je trajno povezati zadržanu fasadu i novu konstrukciju te očistiti i popraviti fasadu, ako je potrebno.

Demontaža skele odvija se u fazama. Ponekad se ona demontira u skladu s napredovanjem gradnje nove konstrukcije, a ponekad se demontira nakon završetka svih radova. To ovisi o uvjetima na lokaciji, a važno je da je u svakom trenutku osigurana stabilnost fasade.

3.4. Čišćenje i popravak fasada

Fasadu je potrebno očistiti i popraviti jer se na taj način osigurava dulji vijek trajanja, zaštita materijala od atmosferilija te građevina dobiva ljepši izgled. Stabilnost je jedan od zahtjeva koji se u svakom slučaju mora zadovoljiti. Vijek trajanja građevine ovisi o otpornosti građevinskog materijala. Niti jedan materijal nije u potpunosti otporan, ali ukoliko nije ispravno zaštićen, doći će do bržeg propadanja konstrukcije. Bitno je odabrati prikladan materijal te ga redovito pregledavati i održavati tijekom životnog vijeka građevine. Čišćenje može poboljšati trajnost uklanjanjem agresivnih naslaga. Adekvatna zaštita od vremenskih uvjeta direktno utječe na trajnost građevine. Na kraju je bitno osigurati prihvatljiv izgled građevine čišćenjem i manjim popravcima.

Čišćenje fasade najbolje je napraviti prije popravaka, jer postoji mogućnost da će se čišćenjem otkriti površinski nedostaci, poput pukotina, koje je potrebno popraviti. Otkrit će se i elementi koje je potrebno ukloniti i zamijeniti. Također, postoji i rizik od oštećenja površina fasade prilikom čišćenja.

Popravak i čišćenje fasada starih građevina zahtjevan je posao, ali je još zahtjevniji ukoliko je građevina zaštićena. U tom slučaju fasadi se pristupa s oprezom. Bitno je zadovoljiti temeljne zahtjeve i ne pretjerivati u čišćenju kako se fasada ne bi oštetila. Popravljanje fasade mora se izvesti s istim ili sličnim materijalima. Kod starih zgrada, treba uzeti u obzir da se na fasadi nakupio sloj gradske prljavštine, te će se čišćenjem stvoriti kontrast na fasadi između čistog i nečistog dijela. Slika 16. prikazuje kuću u Londonu, gdje je dio fasade očišćen i dio koji nije.



Slika 16: Kuća u Londonu-kontrast između dijela fasade koja je očišćen i dijela koji nije [2]

4. PRIMJERI REKONSTRUKCIJE GRAĐEVINA METODOM ZADRŽAVANJA FASADE U SVIJETU I U HRVATSKOJ

Metoda rekonstrukcije zadržavanjem fasade kod građevina od arhitektonske važnosti raširena je diljem svijeta, te se primjenjuje već duže vrijeme. Posebno je važna u državama i gradovima gdje postoje stare zgrade od arhitektonske važnosti. Mnogo primjera primjene ove metode rekonstrukcije može se pronaći u Velikoj Britaniji, neke povijesne građevine su već obnovljene na taj način, a na popisu zaštićenih nalazi se više od 376 000 građevina, čija bi obnova metodom zadržavanja fasade omogućila ponovnu upotrebu građevina, ali i očuvanje povijesne vizure gradova. U nastavku su dani primjeri sanacija građevina metodom zadržavanja fasade u Velikoj Britaniji, te tri primjera u Hrvatskoj.

4.1. Crispin House, Leeds

Crispin House je zgrada izgrađena 1915. godine kao tvornica za proizvodnju odjeće. Rekonstruirana je 2018. godine metodom zadržavanja fasade, pri čemu je dobiveno 76 apartmana. Zgrada je visoka 25 m, a fasada je napravljena od crvene cigle s nadvojima od vapnenca. (slika 17.)



Slika 17: Crispin House, Leeds [7]

Unutrašnjost građevine je uklonjena, napravljen je novi podrum i fasada je zadržana. Za pridržavanje fasade tijekom uklanjanja građevine i gradnje podruma bila je potrebna velika količina nosivih skela. Privremena konstrukcija zauzela bi cijeli prolaz za pješake, te se trebala osmisliti skela koja bi zauzela manju površinu i omogućila prolazak pješaka. To je postignuto uvođenjem toranjskih skela koje zauzimaju manju tlocrtnu površinu. Na slici 18.

prikazan je dio unutarnjih greda koje služe za pridržavanje i povezivanje s vanjskom konstrukcijom za pridržavanje, koja je prikazana na slici 19.



Slika 18: Unutarnji dio konstrukcije za pridržavanje fasade [2]



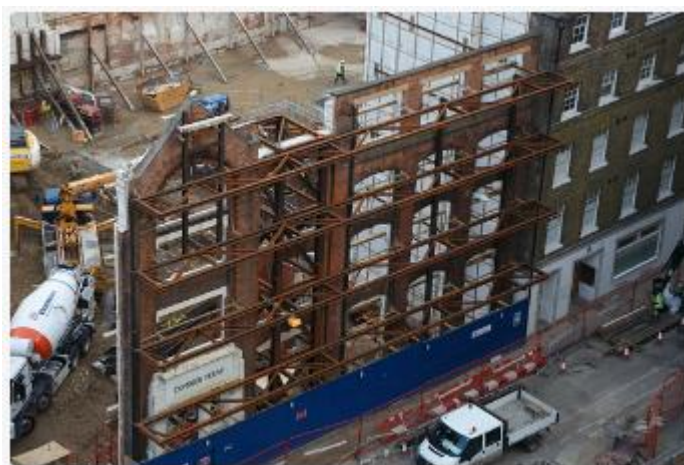
Slika 19: Vanjski konstrukcija za pridržavanje fasade [2]

4.2. Barts Square, London

Prilikom rekonstrukcije uskog gradskog područja uklonjeno je nekoliko građevina pri čemu su zadržana 4 fasadna zida, visine 18 m i duljine 8-80 m. Sve unutar građevina je uklonjeno, a zadržane fasadne zidove pridržavale su horizontalne skele. Građeni su novi podrumi, što znači da je i postojeće podrumske zidove trebalo poduprijeti za vrijeme gradnje. (slika 20. i 21.)



Slika 20: Unutarnja konstrukcija za pridržavanje fasade [8]



Slika 21: Vanjska konstrukcija za pridržavanje fasade [8]

4.3. St James Market, London

Tijekom sanacije građevine uklonjena je njezina unutrašnjost, a zadržani su fasadni zidovi ukupne duljine 140 m i visine 22 m. Kako bi se mogao izgraditi podrum i kako bi se omogućilo temeljnije toranjske skele zidovi su se podupirali na dubini od 10 m. (slika 22.)



Slika 22: Podupiranje fasadnih zidova prilikom izvedbe podruma na dubini od 10 m [8]

4.4. De Vere Gardens, London

Rekonstrukcija je obuhvaćala rušenje hotela koji se sastojao od niza kuća i zadržavanja fasade ukupne duljine 200 m i visine 20 m. Izgrađen je i novi podrum na dubini 10 m. Privremena konstrukcija za zadržavanje fasade projektirana je na način da se što više smanji utjecaj na stanovnike i da se zauzme što manji broj parkirnih mjesta što je i postignuto uporabom horizontalne skele (slika 23.).



Slika 23: Privremena konstrukcija za pridržavanje fasade [8]

4.5. Seel Street, Liverpool

Liverpool je jedan od britanskih gradova, koji je unatoč Drugom svjetskom ratu zadržao jako puno građevina koje su danas zaštićene. 1991. godine istraživanjem starih zgrada otkrilo se da je više od jedne trećine zgrada u jako lošem stanju. Jedna od takvih zgrada je u ulici Seel koja je propala do mjere kada se više nije moglo sigurno pristupiti u unutrašnjost, što znači da se nije mogao zadržati niti jedan dio unutrašnjosti zgrade. Radovi na građevini obavljani su bez ulaska u zgradu i poduzeti su samo hitni radovi.

Zgrada je izgrađena krajem 18. stoljeća, tradicionalna nosiva zidana konstrukcija na tri etaže. S obzirom da je pristup unutrašnjosti bio nemoguć zbog izrazito lošeg stanja, zaključeno je da je jedino moguće rješenje sanacije zadržavanje fasade i uklanjanje unutrašnjosti postojeće zgrade. Stražnji fasadni zidovi nisu se mogli zadržati jer su se urušili. Viši dijelovi prednjih fasadnih zidova postali su nestabilni zbog prodiranja vode, te su uklonjeni. Prije uklanjanja gornjih dijelova zidova, napravljen je detaljan fotografski zapis, jer su žlijebovi, kamen i cigla zadržani i ponovno upotrijebljeni. Kao privremena konstrukcija za zadržavanje fasade upotrijebljeni su potporni konzolni okviri prikazani na slici 24.



Slika 24: Privremena konstrukcija za pridržavanje fasade [9]

4.6. Zgrada „Euroherz osiguranja“, Rijeka

Palača Muchovich-Rinaldi izgrađena je 1890. godine u Rijeci (slika 25.). 1988. godine započinje rekonstrukcija građevine uklanjanjem većeg dijela palače i dogradnjom novog dijela. Nova građevina postaje simbolom pomorske moći grada Rijeke, kao sjedište najvećeg hrvatskog brodarskog poduzeća, zgrada „Croatia Line“. Rekonstrukcijom građevine zadržana su dva fasadna zida (slika 26.), nekadašnje palače, koji čine jugozapadni dio nove građevine (slika 27.).



Slika 25: Palača Mučović-Rinaldi [10]



Slika 26: Pridržavanje fasadnog zida palače Mučović-Rinaldi [10]



Slika 27: Nova zgrada "Croatia Line" [10]

4.7. „Revitalizacija kompleksa Benčić – Cigleni i T-objekt“ , Rijeka

Nekadašnji industrijski kompleks „Rikard Benčić“ izgrađen je u 18. stoljeću. Prvo je to bila rafinerija šećera, nakon toga tvornica duhana, zatim tvornica motora i traktora, a 1995. godine kompleks je zatvoren i započinje njegovo propadanje.

Rekonstrukcija kompleksa započela je 2017. godine, a obuhvatila je prenamjenu H-objekta u Muzej moderne i suvremene umjetnosti, Tvornice Šećera u Muzej grada Rijeke, Ciglene zgrade u Dječju kuću i T-objekta u Gradsku knjižnicu. Ciglana zgrada i T-objekt rekonstruirani su metodom zadržavanja fasade.

4.7.1. T-objekt

T-objekt izgrađen je u 19. stoljeću za potrebe tvornice za preradu duhana (slika 28.). Rekonstrukcija zgrade započela je 2019. godine ojačavanjem tla tijekom kojeg je došlo do deformacija i oštećenja konstruktivnih elemenata. Kako bi se spriječilo urušavanje cijele građevine odabrana je metoda rekonstrukcije zadržavanja fasade. Zadržani su fasadni zidovi koje pridržava cijevna skela tijekom cijelog procesa uklanjanja unutarnje konstrukcije i izgradnje nove armirano betonske konstrukcije. Izvorni čelični stupovi su sačuvani i ponovno će biti upotrijebljeni u unutrašnjosti nove konstrukcije (slika 29. i 30.).



Slika 28: T - objekt [11]



Slika 29: Vanjska skela za pridržavanje fasade [12]



Slika 30: Unutarnja skela za pridržavanje fasade [12]

4.7.2. Ciglana zgrada

Ciglana zgrada je izgrađena krajem 19. stoljeća i služila je kao sušara tvornice duhana. 90-ih godina prošlog stoljeća zgrada je napuštena i započelo je njezino propadanje. Oštećenjem pokrova došlo je do prodora vode u unutrašnjost zgrade pri čemu je propala drvena krovna konstrukcija i čelična konstrukcija u nižim etažama. U potpunosti je uništeno krovšte i međukatna konstrukcija, te se unutrašnjost zgrade nikako nije mogla zadržati i obnoviti (slika 31.). 2020. godine započela je njezina rekonstrukcija i prenamjena u Dječju kuću, kao prvu dječju kuću u Hrvatskoj. Sama građevina prepoznatljiva je po svojoj ciglenoj fasadi po

kojoj nosi i ime, te je i to jedan od razloga njezine rekonstrukcije metodom zadržavanja fasade (slika 32.).



Slika 31: Oštećena Ciglena zgrada [13]



Slika 32: Obnovljena Ciglena zgrada [14]

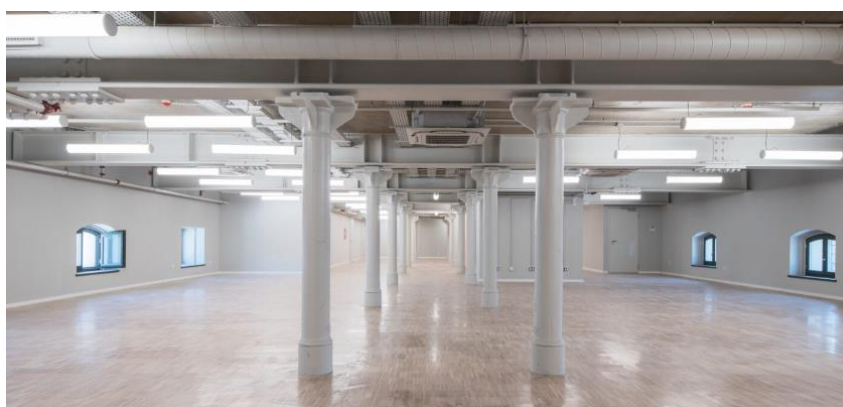
Tijekom rekonstrukcije zadržana su 4 vanjska fasadna zida, a unutarnji dio konstrukcije je uklonjen (slika 33.). Unutar fasadnih zidova izgrađena je nova armiranobetonska i čelična konstrukcija koja je s fasadnim zidovima povezana čeličnim sidrima. Četiri etaže su armiranobetonske, a peta etaža izvedena je kao čelična konstrukcija s oblogom od lima (slika 34.). Također, osim fasadnih zidova zadržani su i čelični stupovi koji sada prekrivaju nove nosive stupove, te na taj način unose dio povijesti u unutrašnjost zgrade (slika 35.).



Slika 33: Četiri zadržana vanjska fasadna zida [13]



Slika 34: Izgradnja nove konstrukcije [15]



Slika 35: Ponovno upotrijebljeni stupovi [14]

Kako bi se omogućilo zadržavanje fasade, uklanjanje unutarnje konstrukcije i izgradnja nove konstrukcije upotrijebljene su četiri teške čelične toranjske skele, projektirane isključivo za tu namjenu i ovu zgradu (slika 36.).



Slika 36: Teška skela za zadržavanje fasade [16]

U nastavku je dan proračun teške nosive skele za pridržavanje fasade upravo na ovom primjeru Ciglene zgrade.

5. PRORAČUN NOSIVE SKELE ZA PRIDRŽAVANJE ZIDOVA FASADE CIGLENE ZGRADE

5.1. Proces rekonstrukcije Ciglene zgrade

Proces rekonstrukcije građevina od arhitektonske važnosti opisan je u 3. poglavlju. Zbog specifičnog načina rekonstrukcije građevina, postupak cijelog procesa jednak je kod svih građevina pa tako i kod Ciglene zgrade te je u nastavku opisan tijekom rekonstrukcije na primjeru Ciglene zgrade (podaci su korišteni iz projekta izrađenog od strane AEC d.o.o. tvrtka za projektiranje, nadzor nad gradnjom i turizam).

Preliminarne aktivnosti:

a) Identifikacija tipa zgrade

Ciglenu zgradu izgrađenu je krajem 19. stoljeća tijekom industrijskog razvoja grada Rijeke. Zidovi su napravljeni od opeke, a stropovi su čelični oslonjeni na čelične stupove i zidove od opeke.

b) Prikladnost metode sanacije

Pripada skupini građevina izgrađenih na prijelazu iz 19. u 20. stoljeće koje su zbog masivnih fasada pogodne za rekonstrukciju ovog tipa.

c) Inicijalno istraživanje

Istraživanjem temeljnog tla dobiveno je tlo kategorije D.

Vanjskim i unutarnjim pregledom građevine ustanovljeno je da su fasadni zidovi potpuno vertikalni, bez balkona i drugih izbočenja. Debljina fasadnih zidova promjenjiva je po visini (75 cm, 60 cm, 45 cm). Unutrašnjost građevine razdijeljena je središnjim zidom koji se uklanja. Zbog oštećenja pokrova došlo je do urušavanja krovništa i propadanja drvene i čelične građe. Na nekim dijelovima ustanovljeno je mrvljenje i otpadanje žbuke i ciglene građe koja nije dvostruko pečena.

d) Ograničenje lokacije građevine

Građevina je smještena u urbanom središtu sa dovoljno prostora oko građevine za postavljanje privremene konstrukcije za pridržavanje fasade. Prilikom projektiranja nosive

skele potrebno je uzeti u obzir da se građevina nalazi na području Potoka, te je potrebno voditi računa o podzemnim vodama.

e) Utvrđivanje stanja fasade

Tlocrtna dimenzija fasadnih zidova su 36,85 x 16,30 m i visine 14,70 m. Veći dio zidova izgrađen je od kvalitetne opeke i u dobrom je stanju, na manjem dijelu uočeno mrvljenje opeke (koja nije dvostruko pečena). Otvori na fasadnim zidovima su manjih dimenzija.

f) Studija izvedivosti zadržavanja fasade

Nakon uklanjanja unutarnjeg dijela građevine zidovi fasade su okomiti, bez izbočenih elemenata i temelji fasadnih zidova mogu izdržati vlastitu težinu. Stabilnost zidova postiže se skelom koja bočno podupire zidove.

Projektiranje privremene konstrukcije:

a) Mogućnost lokacije

Privremenu konstrukciju moguće je smjestiti izvan građevine kao najprikkladniji položaj za neometano odvijanje radova unutar građevine.

b) Vrsta nosive skele

Za vrstu nosive skele odabrana je toranjska skela, kao složeniji oblik bočne nosive skele.

c) Materijali

Nosiva skela je polumontažna, izrađena od čelika S235.

d) Spojevi između fasade i privremene konstrukcije

Fasada i privremena konstrukcija povezane su višenamjenskim pojasevima koji se postavljaju u razini otvora, zatezačima i kosnicima.

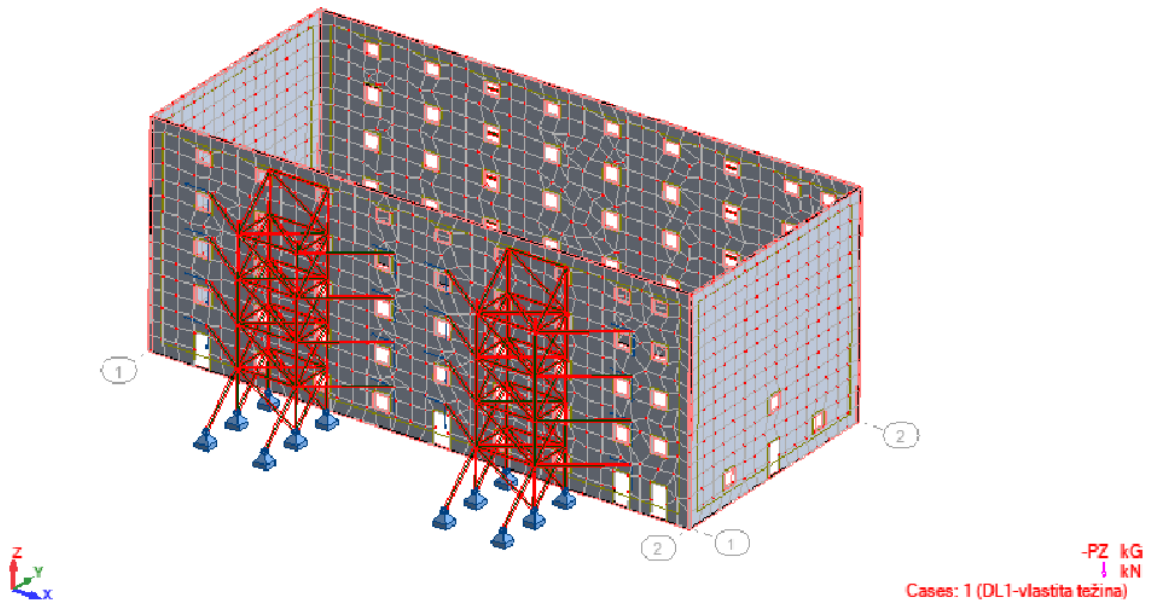
e) Temeljenje nosive skele

Nosiva skela temelji se na AB ploči s teretom za ravnotežu. Temelji nisu proračunati u okviru ovog rada.

5.2. Analiza djelovanja

5.2.1. Stalno djelovanje

Vlastita težina (slika 37.) uzeta u programu „Autodesk Robot Structural Analysis“ uz pomoć opcije „selfweight“.



Slika 37: Vlastita težina [17]

5.2.2. Djelovanje snijega

Djelovanje snijega nije uzeto u obzir jer su zidovi tanki i mala je površina koja preuzima opterećenje od snijega.

5.2.3. Djelovanje vjetra

Analiza djelovanja vjetra provedena je prema normi HRN EN 1991-1-4:2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije [18], HRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012 Nacionalni dodatak [19].

Građevina je smještena u Rijeci, gdje osnovna brzina vjetra v_{b0} , prema hrvatskom nacionalnom dodatku, iznosi 30 m/s (slika 38.). Budući da je građevina specifična, proračun je napravljen s višom razinom vjetra zbog mjere predostrožnosti, jer je zgrada takva da joj može biti ugrožena stabilnost zbog djelovanja vjetra.

Promjenjivo djelovanje vjetra (izvadak iz HRN EN 1991-1-4: 2012. i NA)



Slika 38: Osnovna brzina vjetra $v_{b,0}$ [19]

Osnovna brzina vjetra dobiva se prema izrazu (1):

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad (1)$$

gdje je

c_{dir} – faktor smjera vjetra ($c_{dir}=1$)

c_{season} – faktor godišnjeg doba ($c_{season}=1$)

$v_{b,0}$ – temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra

$v_{b,0} = 35 \text{ m/s}$ (na strani sigurnosti)

$$v_b = 1 \times 1 \times 35 = 35 \text{ m/s}$$

Osnovni tlak vjetra dobiva se prema izrazu (2):

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 \quad (2)$$

gdje je

ρ – gustoća zraka ($\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$)

$$q_b = \frac{1}{2} \times 1,25 \times 35^2 / 1000 = 0,77 \text{ kN/m}^2$$

Visina građevine iznosi 14,70 m ($z=14,70 \text{ m}$), a proračun vjetra proveden je za $z=14,70 \text{ m}$ i za $z=10,00 \text{ m}$ kako bi se dobila nejednolika raspodjela opterećenja od vjetra po visini građevine.

Prema Tablici 2 za kategoriju terena odabrana je kategorija IV.

Tablica 2: Kategorije terena [18]

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

Faktor terena dobiva se prema izrazu (3):

$$k_r = 0,19 \times \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (3)$$

gdje je

z_0 – duljina hrapavosti ($z_0=1 \text{ m}$ za IV. Kategoriju)

$z_{0,II}$ – duljina hrapavosti za II. Kategoriju ($z_{0,II}=0,05$ m)

$$kr = 0,19 \times \left(\frac{1}{0,05}\right)^{0,07} = 0,23$$

Koeficijent hrapavosti terena dobiva se prema izrazu (4):

$$Cr(z) = kr \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (4)$$

$$Cr(z = 14,70m) = 0,23 \times \ln\left(\frac{14,70}{1}\right) = 0,63$$

Srednja brzina vjetra dobiva se prema izrazu (5):

$$v_m(z) = C_r(z) \times C_0(z) \times v_b \quad (5)$$

gdje je

$C_0(z)$ – faktor vertikalne razvedenosti terena ($C_0(z)=1$)

$$v_m(z = 14,70m) = 0,63 \times 1 \times 35 = 22,04 \text{ m/s}$$

Intenzitet turbulencije dobiva se prema izrazu (6):

$$I_v(z) = \frac{k_l}{C_0(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (6)$$

gdje je

k_l – faktor turbulencije ($k_l=1$)

$$I_v(z = 14,70m) = \frac{1}{1 \times \ln\left(\frac{14,70}{1}\right)} = 0,37$$

Tlak pri vršnoj brzini dobiva se prema izrazu (7):

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

Za $z=14,70$ m

$$q_p(z = 14,70m) = [1 + 7 \times 0,37] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 22,04^2 / 1000 = 1,09 \text{ kN/m}^2$$

Za $z=10$ m

$$q_p(z = 10m) = [1 + 7 \times 0,43] \times \frac{1}{2} \times 1,25 \times 18,88^2 / 1000 = 0,90 \text{ kN/m}^2$$

Proračun djelovanja vjetra na fasadne zidove građevine proveden je kao za samostojeće zidove koji se nastavljaju iza ugla.

Tlak vjetra na vanjske površine zidova dobiva se prema izrazu (8):

$$w_e = q_p(z) \times C_p \quad (8)$$

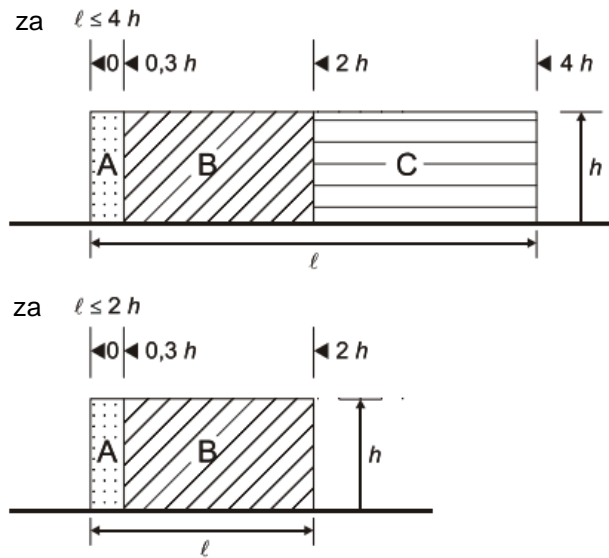
gdje je

C_p – koeficijent vanjskog tlaka

Koeficijent vanjskog tlaka određuje se prema Tablici 3. za koeficijent punoće $\varphi=1$, jer su otvori relativno mali i za određene zone koje se određuju prema slici 39.

Tablica 3: Preporučeni koeficijenti tlaka C_p za slobodnostojeće zidove i parapete [18]

PUNOĆA	PODRUČJE		A	B	C	D
$\varphi=1$	Slobodni kraj zida	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$l/h=5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
	Zid se nastavlja iz ugla u duljini $\geq h$		2,1	1,8	1,4	1,2
$\varphi=0,8$			1,2	1,2	1,2	1,2
*Smije se upotrebljavati linearna interpolacija za duljine iza ugla između 0,0 i h						



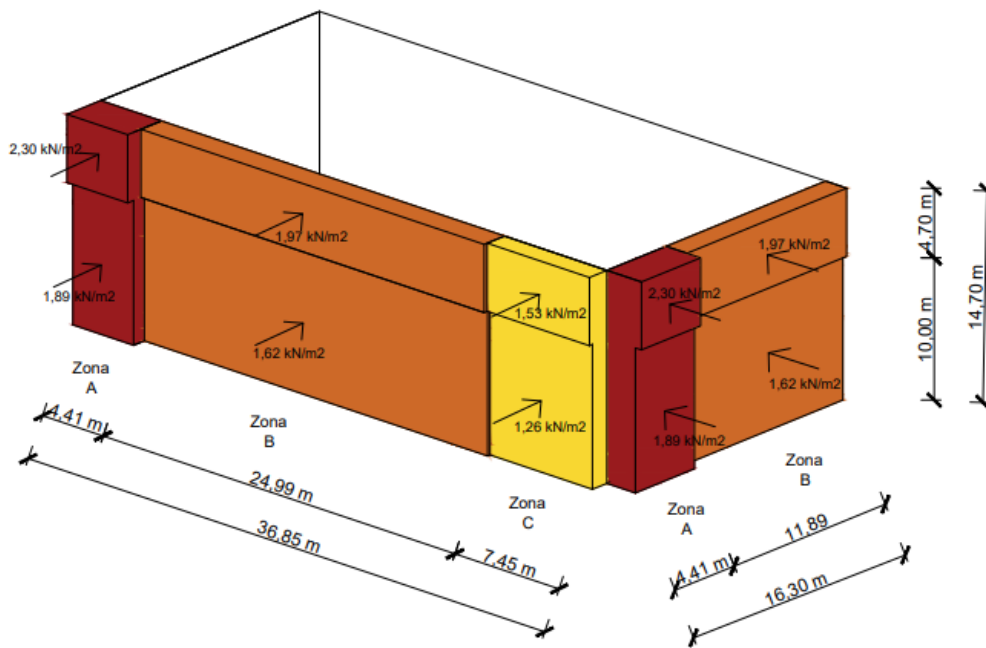
Slika 39: Određivanje vjetrovnih zona [18]

Tlak vjetra na vanjske površine zidova prema izrazu (8) iznosi:

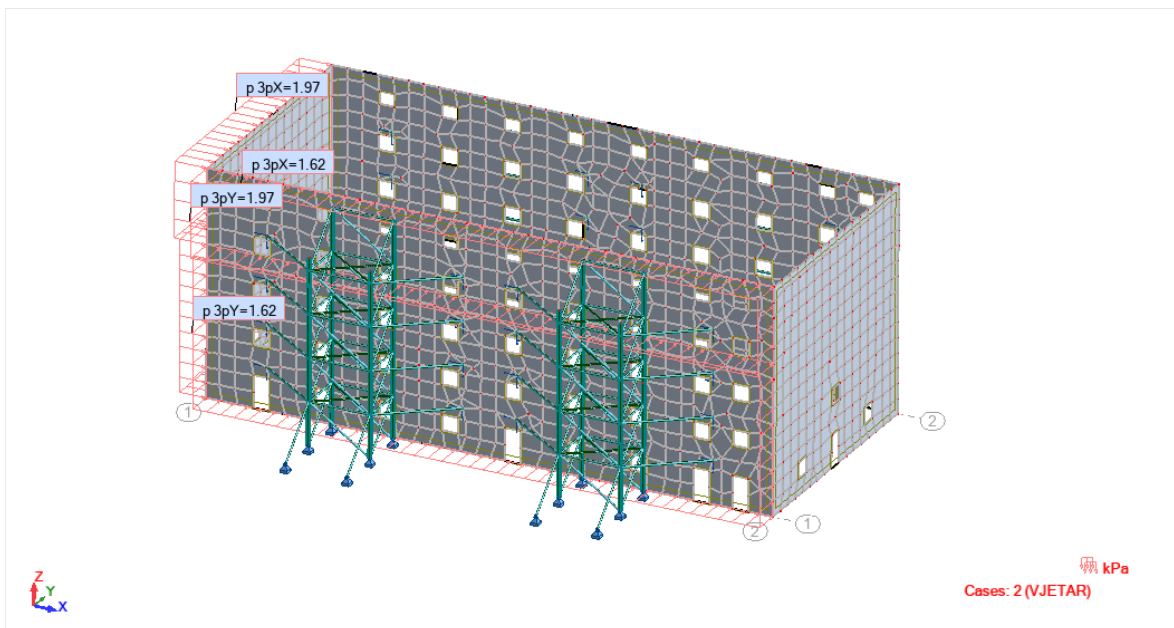
Tablica 4: Tlak vjetra na vanjske površine zidova

Zona	Visina [m]	q_p [kN/m ²]	C_p	w_e [kN/m ²]
A	h=14,70 m	1,09	2,1	2,30
	h=10,00 m	0,90	2,1	1,89
B	h=14,70 m	1,09	1,8	1,97
	h=10,00 m	0,90	1,8	1,62
C	h=14,70 m	1,09	1,4	1,53
	h=10,00 m	0,90	1,4	1,26

Na slici 40 dan je prikaz vjetra po vjetrovnim zonama. Mjerodavna je zona B, te je u programu „Autodesk Robot Structural Analysis“ na cijelom zidu definirano opterećenje prema zoni B, što se može vidjeti na slici 41.



Slika 40: Prikaz djelovanja vjetra po vjetrovnim zonama



Slika 41: Djelovanje vjetra [17]

5.2.4. Djelovanje potresa: Postupak proračuna s bočnim silama (ekvivalentna statička metoda)

Potresno djelovanje određuje se prema normi HRN EN 1998-1 [20].

Postupak proračuna s bočnim silama koristi se za konstrukcije kod kojih osnovni oblik vibracija ima bitan utjecaj na odziv konstrukcije na potres. Najčešće su to konstrukcije koje su pravilne po visini i čiji je osnovni period vibracija, u dva glavna smjera, manji od $4T_c$ ili 2 s. Ekvivalentnom statičkom metodom dobiva se ekvivalentna statička sila u podnožju zgrade (base shear).

Ukupna horizontalna potresna sila F_b u podnožju zgrade dobiva se prema izrazu (9):

$$F_b = S_d(T_1) \times m \times \lambda \quad (9)$$

gdje je

$S_d(T_1)$ – ordinata proračunskog spektra odziva za period T_1

m – ukupna masa zgrade iznad temelja ili iznad stropne ploče krutog podruma

λ – popravni faktor

Određivanje proračunskog spektra odziva:

Lokacija građevine: Rijeka

Kategorija tla: D

Visina građevine: $H=14,70$ m

Debljina zidova: $d=0,60$ m (zbog pojednostavljenja usvojena je debljina zida od 60 cm jednoliko po cijeloj visini zidova)

Proračunsko ubrzanje tla dobiva se prema izrazu (10):

$$a_g = a_{gR} \times \gamma_I \quad (10)$$

gdje je

a_{gR} – poredbeno vršno ubrzanje tla razreda A ($a_{gR}=0,2 \cdot g$)

γ_I – faktor važnosti za zgrade (II. Kategorija: $\gamma_I=1$)

$$a_g = 0,2 \times g \times 1 = 0,2g$$

Faktor ponašanja iznosi: $q=2$

Prvi period vibracija građevine određuje se prema izrazu (11):

$$T_1 = C_t \times H^{\frac{3}{4}} \quad (11)$$

gdje je

H – visina zgrade

C_t – dobiva se prema izrazu (12)

$$C_t = \frac{0,075}{\sqrt{Ac}} \quad (12)$$

gdje je

Ac – ukupna proračunska površina presjeka nosivih zidova u prvom katu zgrade u m^2 , a dobiva se prema izrazu (13)

$$Ac = \sum \left[A_i \times \left[0,2 + \left(\frac{l_{wi}}{H} \right)^2 \right] \right] \quad (13)$$

gdje je

A_i – učinkovita površina presjeka nosivog zida i prvog kata zgrade u promatranom smjeru

l_{wi} – duljina nosivog zida u prvom katu u smjeru usporednim s djelovanjem sila uz ograničenje $l_{wi}/H \leq 0,9$

$$A_{ix} = 36,85 \times 0,60 = 22,11 m^2$$

$$A_{iy} = 16,30 \times 0,60 = 9,78 m^2$$

Prema izrazu (13) slijedi:

$$A_{cx} = 2 \times \left[22,11 \times \left[0,2 + \left(\frac{36,85}{14,70} \right)^2 \right] \right] = 286,73 m^2$$

$$\frac{l_{wi}}{H} = \frac{36,85}{14,70} = 2,51 > 0,9$$

$$A_{cy} = 2 \times \left[9,78 \times \left[0,2 + \left(\frac{16,30}{14,70} \right)^2 \right] \right] = 27,96 \text{ m}^2$$

Prema izrazu (12) slijedi:

$$C_{ty} = \frac{0,075}{\sqrt{27,96}} = 0,014$$

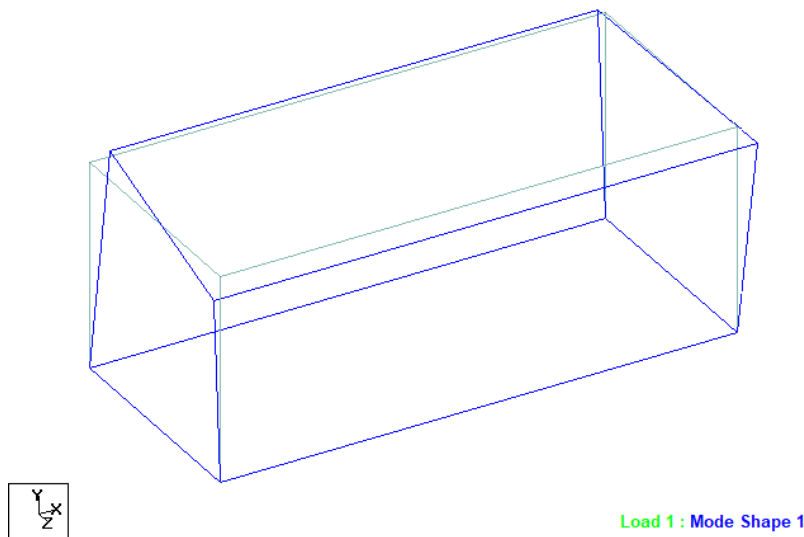
Prema izrazu (11) prvi period vibracija iznosi:

$$T_1 = 0,014 \times 14,70^{\frac{3}{4}} = 0,10 \text{ s}$$

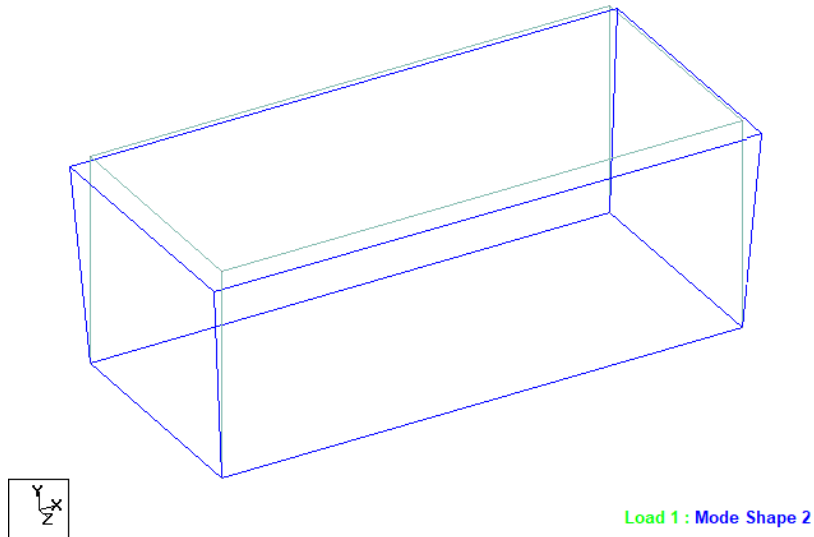
Ekvivalentna statička metoda za proračun osnovnog perioda vibracija primjenjiva je za zgrade s katovima, budući da je promatrana građevina specifična, sastavljena od četiri zida, osnovni period vibracija određen je u programu Staad [21], kako bi njegova vrijednost bila što točnija. Na slikama 42 i 43 prikazani su prvi i drugi ton vibracija.

Osnovni period vibracija dobiven modalnom analizom u Staad-u iznosi:

$$T_1 = 0,19 \text{ s}$$



Slika 42: Prvi ton vibracija



Slika 43: Drugi ton vibracija

Proračunski spektar odziva za period T_1 za $0 \leq T \leq T_B$ dobiva se prema izrazu (14):

$$S_d(T) = a_g \times S \times \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \times \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (14)$$

Za tip tla D vrijednosti parametra T_B iznosi 0,2 s, a vrijednost S iznosi 1,35 prema tablici 5.

Tablica 5: Vrijednosti parametara za elastični spektar odziva [20]

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

$$S_d(T) = 0,2 \times g \times 1,35 \times \left[\frac{2}{3} + \frac{0,19}{0,2} \times \left(\frac{2,5}{2} - \frac{2}{3} \right) \right] = 0,33g$$

Određivanje ukupne mase zgrade iznad temelja:

Masa građevine u trenutku kada djeluje potres određuje se prema sljedećoj kombinaciji djelovanja (15):

$$\sum G_{k,i} + \sum \psi_{E,i} \times Q_{k,i} \quad (15)$$

gdje je

$G_{k,i}$ – karakteristično stalno djelovanje

$\psi_{E,i}$ – koeficijent

$Q_{k,i}$ – karakteristično promjenjivo djelovanje

Prema pravilima, ukupna projektna horizontalna sila F_b raspoređuje se na sve katove građevine, budući da ovdje nema katova horizontalne sile će se rasporediti u razini prihvata kosnika skele i na samom vrhu zgrade. Na istim su visinama proračunate težine za određivanje potresnih sila (slika 44).

$$\gamma_{zida} = 16,5 \text{ kN/m}^3$$

$$d_{zida} = 0,6 \text{ m}$$

$$h = 14,70 \text{ m:} \quad W_{1x} = (36,85 \times 1,75 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 1276,85 \text{ kN}$$

$$W_{1y} = (16,30 \times 1,75 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 564,80 \text{ kN}$$

$$W_1 = 1841,65 \text{ kN}$$

$$h = 11,20 \text{ m:} \quad W_{2x} = (36,85 \times 3,15 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 2298,33 \text{ kN}$$

$$W_{2y} = (16,30 \times 3,15 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 1016,63 \text{ kN}$$

$$W_2 = 3314,96 \text{ kN}$$

$$h = 8,40 \text{ m:} \quad W_{3x} = (36,85 \times 2,80 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 2042,96 \text{ kN}$$

$$W_{3y} = (16,30 \times 2,80 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 903,67 \text{ kN}$$

$$W_3 = 2946,63 \text{ kN}$$

$h=5,60 \text{ m: } W_{4,x} = (36,85 \times 2,80 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 2042,96 \text{ kN}$

$W_{4,y} = (16,30 \times 2,8 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 903,67 \text{ kN}$

$W_4 = 2946,63 \text{ kN}$

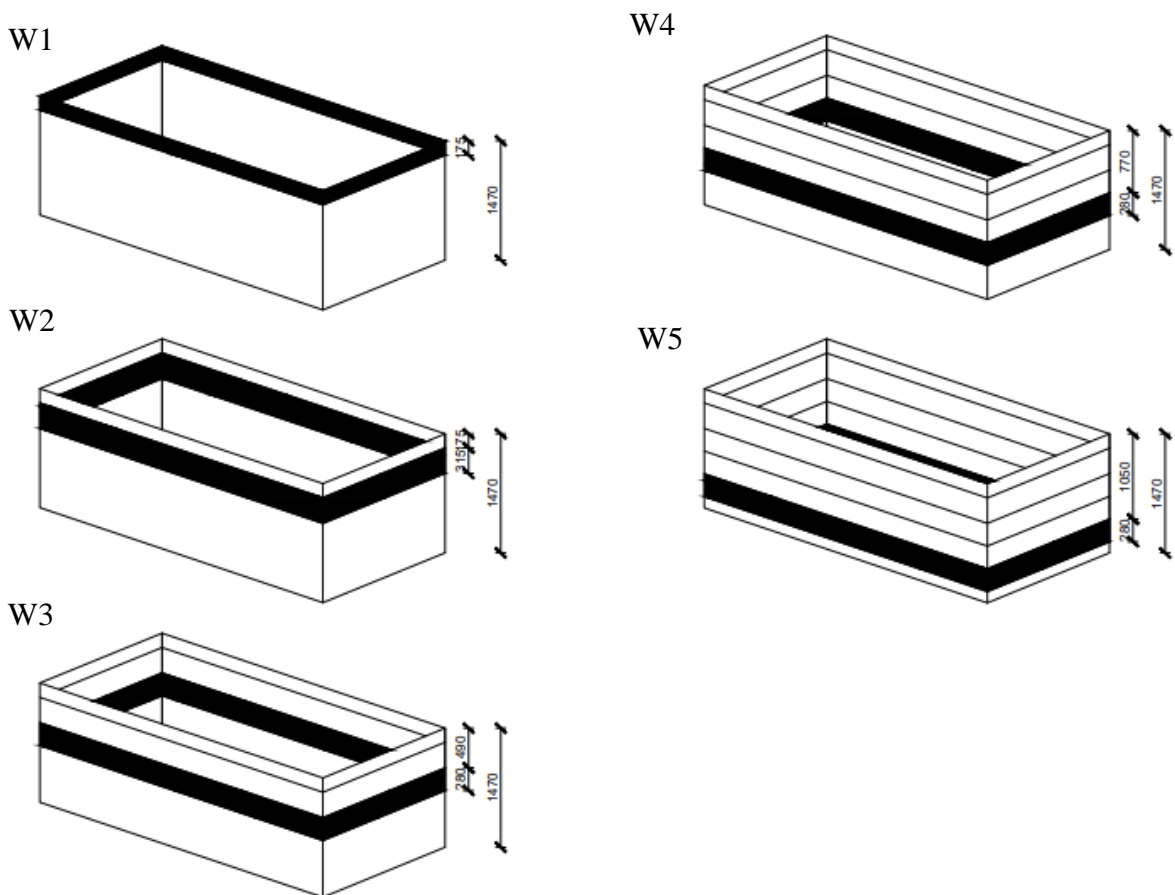
$h=2,80 \text{ m: } W_{5,x} = (36,85 \times 2,80 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 2042,96 \text{ kN}$

$W_{5,y} = (16,30 \times 2,8 \times 0,60 \times 16,5) \times 2 = 903,67 \text{ kN}$

$W_5 = 2946,63 \text{ kN}$

Ukupna težina iznosi:

$\sum W_i = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 13996,5 \text{ kN}$



Slika 44: Prikaz područja zida za potrebe određivanja potresnih sila

Popravni faktor λ :

Popravni faktor λ iznosi 1.

Prema izrazu (9) ukupna horizontalna potresna sila F_b iznosi:

$$F_b = 0,33 \times g \times \frac{13996,5}{g} \times 1 = 4618,85 \text{ kN}$$

Potresna sila F_b raspodjeljuje se po visini zgrade prema izrazu (16):

$$F_i = F_b \times \frac{z_i \times W_i}{\sum z_j \times W_j} \quad (16)$$

gdje je

z_i – visina težine W_i iznad razine unosa potresnog djelovanja u konstrukciju

$$F_1 = 4618,85 \times \frac{1841,65 \times 14,70}{1841,65 \times 14,70 + 3314,96 \times 11,20 + 2946,63 \times 8,4 + 2946,63 \times 5,6 + 2946,63 \times 2,8}$$

$$F_1 = 1099,73 \text{ kN}$$

$$F_2 = 4618,85 \times \frac{3314,96 \times 11,20}{1841,65 \times 14,70 + 3314,96 \times 11,20 + 2946,63 \times 8,4 + 2946,63 \times 5,6 + 2946,63 \times 2,8}$$

$$F_2 = 1508,20 \text{ kN}$$

$$F_3 = 4618,85 \times \frac{2946,63 \times 8,40}{1841,65 \times 14,70 + 3314,96 \times 11,20 + 2946,63 \times 8,4 + 2946,63 \times 5,6 + 2946,63 \times 2,8}$$

$$F_3 = 1005,46 \text{ kN}$$

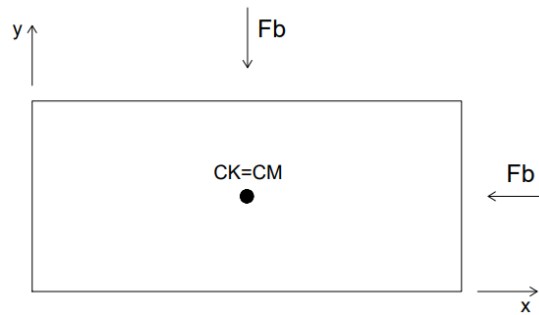
$$F_4 = 4618,85 \times \frac{2946,63 \times 5,60}{1841,65 \times 14,70 + 3314,96 \times 11,20 + 2946,63 \times 8,4 + 2946,63 \times 5,6 + 2946,63 \times 2,8}$$

$$F_4 = 670,31 \text{ kN}$$

$$F_5 = 4618,85 \times \frac{2946,63 \times 2,80}{1841,65 \times 14,70 + 3314,96 \times 11,20 + 2946,63 \times 8,4 + 2946,63 \times 5,6 + 2946,63 \times 2,8}$$

$$F_5 = 335,15 \text{ kN}$$

Centar mase i centar krutosti prikazani su na slici 45.



Slika 45: Centar mase i centar krutosti

1) Potresno djelovanje u uzdužnom x smjeru

Centar masa i centar krutosti se podudaraju te neće doći do pojave torzijskih momenata od potresne sile. Kako bi se u obzir uzeli slučajni torzijski učinci potresne sile povećavaju se faktorom δ .

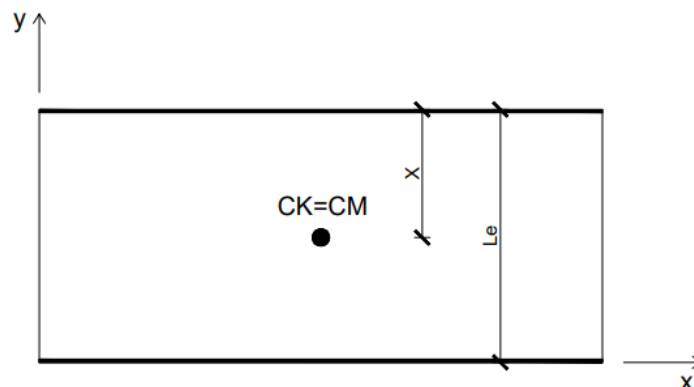
Faktor δ dobiva se prema izrazu (17):

$$\delta = 1 + 0,6 \times \frac{x}{Le} \quad (17)$$

gdje je

x – udaljenost promatranog elementa od središta masa (slika 46)

Le – razmak između dva najudaljenija ukružujuća elementa mjereno okomito na smjer promatranog potresnog djelovanja (slika 47)



Slika 46: x , Le za potresno djelovanje u x smjer

$$\delta = 1 + 0,6 \times \frac{8,15}{16,30} = 1,3$$

Uvećane potresne sile za smjer x iznose:

$$F_{1,x} = 1,3 \times 1099,73 = 1429,65 \text{ kN}$$

$$F_{2,x} = 1,3 \times 1508,20 = 1960,66 \text{ kN}$$

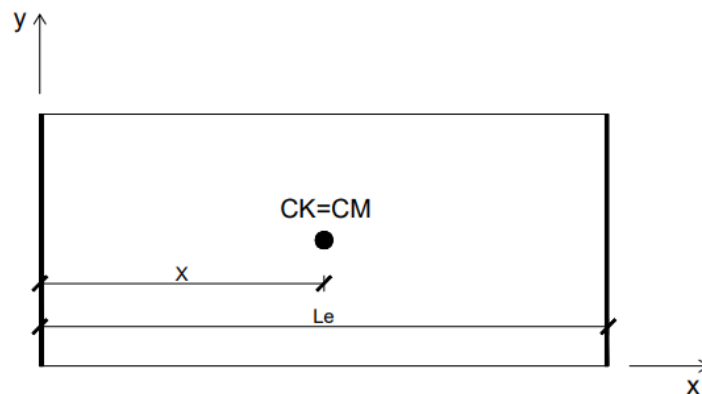
$$F_{3,x} = 1,3 \times 1005,46 = 1307,09 \text{ kN}$$

$$F_{4,x} = 1,3 \times 670,31 = 871,40 \text{ kN}$$

$$F_{5,x} = 1,3 \times 335,15 = 435,68 \text{ kN}$$

2) Potresno djelovanje u poprečnom y smjeru

Faktor δ prema izrazu (17) iznosi (slika 47):



Slika 47: x , Le za potresno djelovanje u y smjeru

$$\delta = 1 + 0,6 \times \frac{18,425}{36,85} = 1,3$$

Uvećane potresne sile za smjer y iznose:

$$F_{1,y} = 1,3 \times 1099,73 = 1429,65 \text{ kN}$$

$$F_{2,y} = 1,3 \times 1508,20 = 1960,66 \text{ kN}$$

$$F_{3,y} = 1,3 \times 1005,46 = 1307,09 \text{ kN}$$

$$F_{4,y} = 1,3 \times 670,31 = 871,40 \text{ kN}$$

$$F_{5,y} = 1,3 \times 335,15 = 435,68 \text{ kN}$$

Za dimenzioniranje je mjerodavna potresna kombinacija djelovanja prema izrazu (18):

$$\sum G_{k,j} + A_{Ed} + P_k + \sum \psi_{s,i} \times Q_{k,i} \quad (18)$$

gdje je

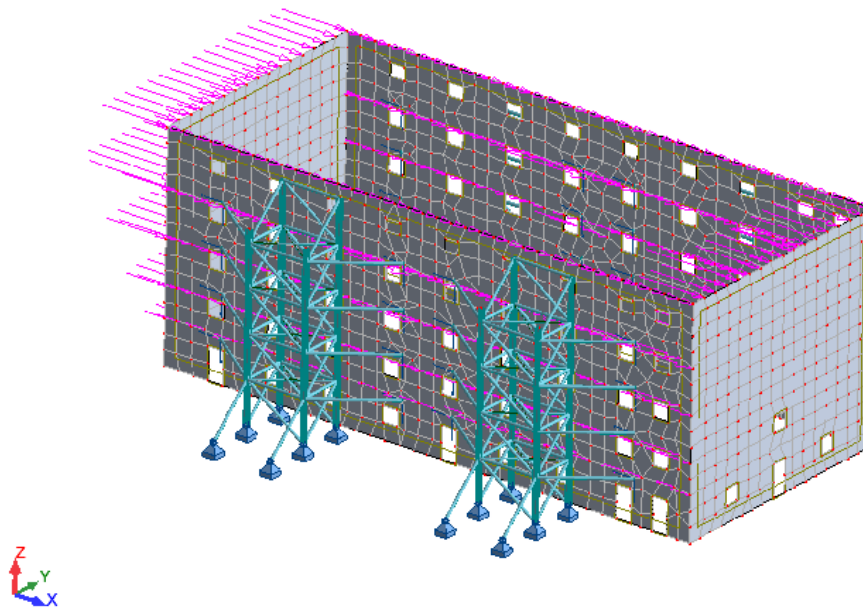
$G_{k,j}$ – karakteristično stalno djelovanje

A_{Ed} – horizontalna komponenta proračunskog potresnog djelovanja

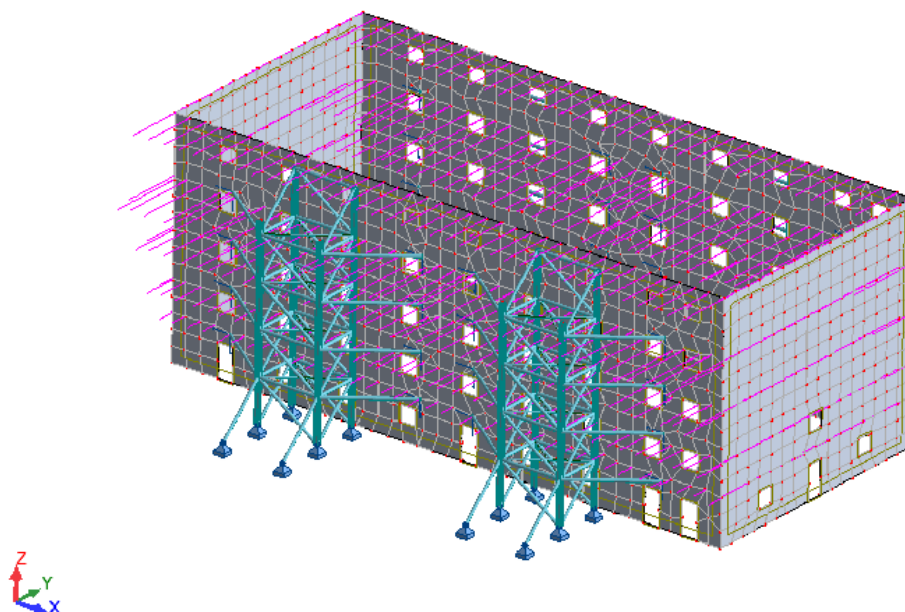
P_k – utjecaj prednapinjanja

$Q_{k,i}$ – karakteristično promjenjivo djelovanje

Potresno opterećenje raspoređeno je u obliku koncentriranih sila u po visini građevini, u razini prihvata kosnika i na vrhu građevine, na način da je zbroj svih raspoređenih sila jednak ukupnoj sili. Slike 48 i 49 prikazuju raspodjelu potresnih sila u x i y smjeru.



Slika 48: Potresne sile u smjeru x



Slika 49: Potresne sile u smjeru y

5.3. Model

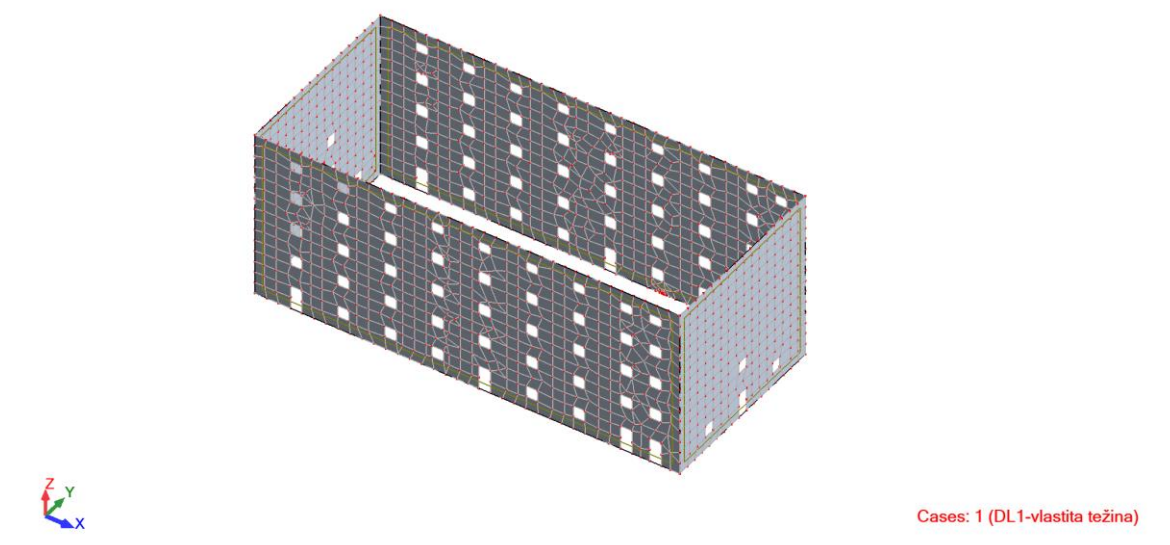
5.3.1. Model fasadnih zidova i nosive skele

Model Ciglene zgrade za potrebe proračuna elemenata nosive skele, čija je svrha preuzeti horizontalne sile od djelovanja vjetrova i potresa tijekom izgradnje nove zgrade unutar postojećih fasadnih zidova, izrađen je u programu „Autodesk Robot Structural Analysis“ [17].

Model je napravljen za fazu u kojoj su uklonjeni svi unutarnji dijelovi postojeće zgrade. Četiri vanjska fasadna zida čine pravilni pravokutni oblik tlocrtnih dimenzija 36,85 x 16,30 m (slika 50). Visina svakog zida je 14,70 m. Zidovi su napravljeni u punoj klasičnoj opeci, čija zapreminska težina iznosi 16,5 kN/m³. Debljina zidova promjenjiva je po visina zida (Tablica 6). Radi pojednostavljenja zidovi su modelirani jednake debljine (60 cm) po cijeloj visini.

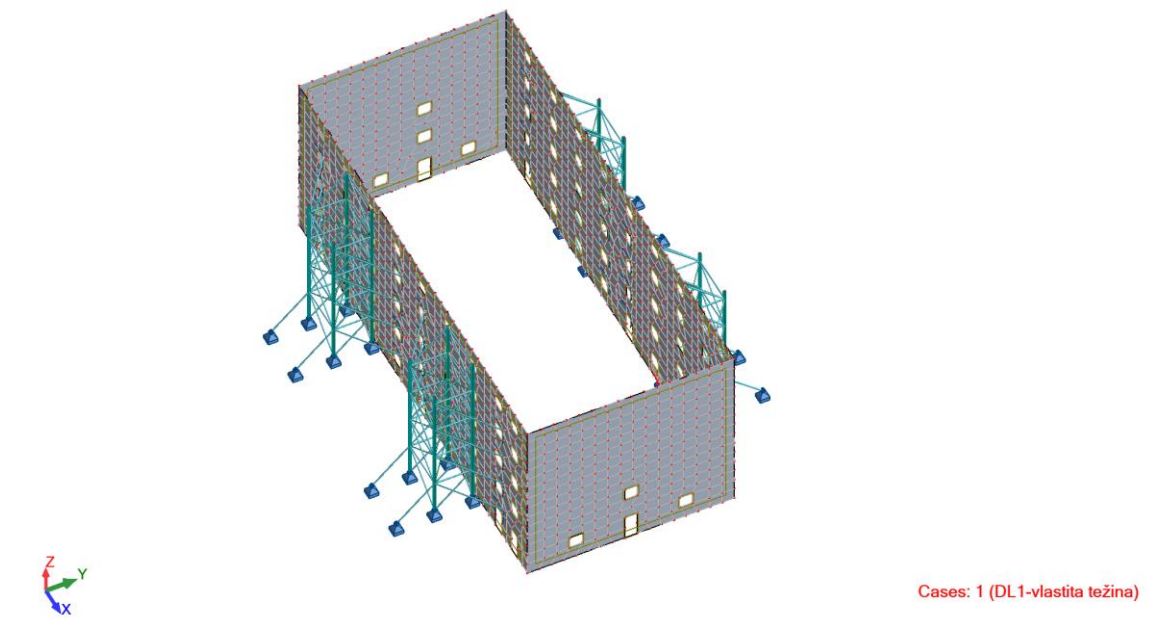
Tablica 6: Debljina zida po visini

Visina zida	Debljina zida
0 – 5,88 m	75 cm
5,88 – 11,76 m	60 cm
11,76 – 14,70 m	45 cm



Slika 50: Model fasadnih zidova

Ulogu pridržavanja zidova imaju četiri toranjske skele koje su postavljene s vanjskih strana fasadnih zidova (slika 51).

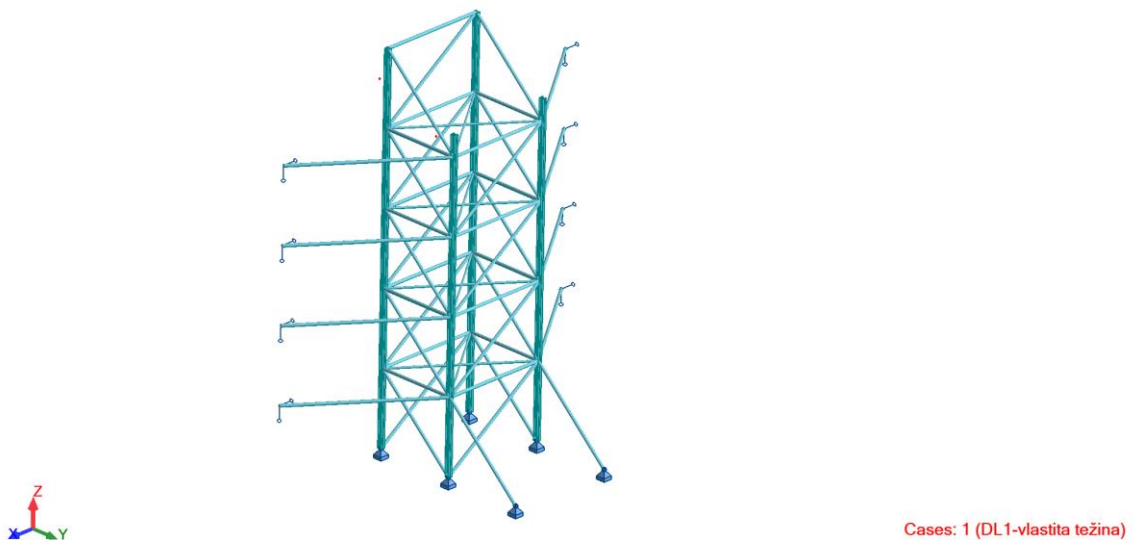


Slika 51: Model fasadnih zidova i nosive skele

Uloga nosive skele (slika 52) je pridržanje postojećih fasadnih zidova Ciglene zgrade. Svi elementi skele izrađeni su od čelika kvalitete S235. Skela se sastoji od četiri stupa profila HEA 160. Visina stupova je 12 m i 14 m, što je ujedno i visina skele. Na svakih 2,8 m visine nalaze se horizontalni nosači kružnog cijevnog poprečnog presjeka $\Phi 108$ mm s debljinom

stijenke 5,6 mm. Od istih kružnih cijevnih profila izrađene su dijagonale i kosnici. Horizontalna stabilizacija izrađena je od punih profila promjera 70 mm, a nalazi se na svakih 2,8 m visine.

Priključak stupa na temelj izveden je kao zglobni. Priključak kosnika na zid je također izveden kao zglobni pri čemu je dopušteno gibanje u smjeru y kako bi se omogućili pomaci zida tijekom djelovanja vjetra i potresa u dozvoljenim granicama.



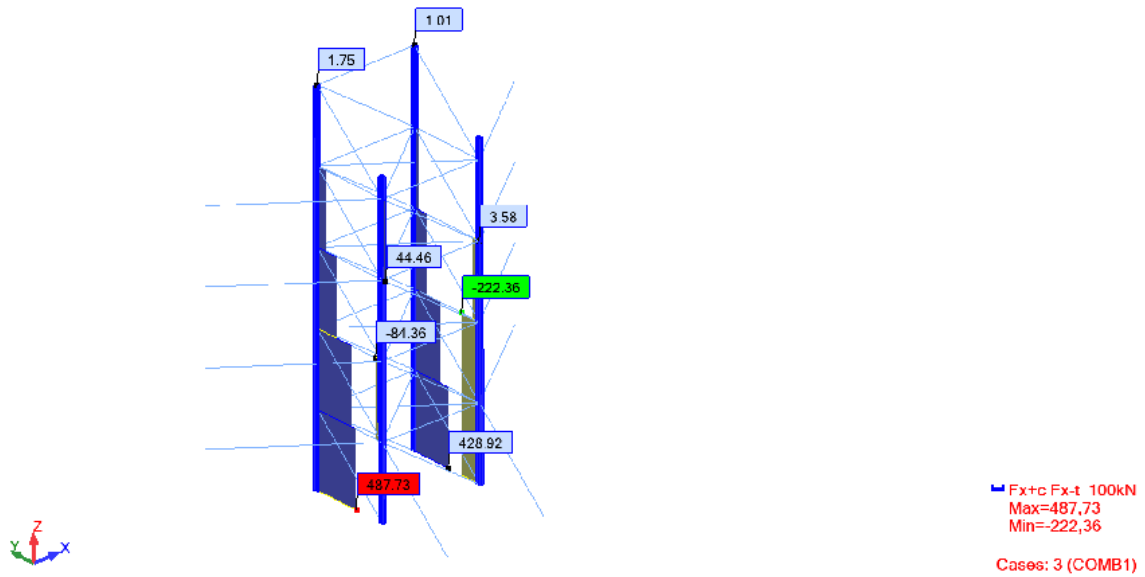
Slika 52: Model nosive skele

Na fasadne zidove djeluje njihova vlastita težina i vjetar, čiji ih pritisak pokušava srušiti. Preko kosnika se opterećenje prenosi sa zidova na skelu i na taj način skela sprječava rušenje zidova. Kao izvanredno djelovanje može se pojaviti potres, koji se najčešće ne uzima u obzir prilikom proračuna privremenih konstrukcija. Potresno opterećenje proračunato je pomoću ekvivalentne statičke metode, prema kojoj se horizontalno opterećenje raspoređuje u razini katova. Budući da ovdje nema katova, sile su raspoređene u razini prihвата kosnika na zid i na samom vrhu zgrade.

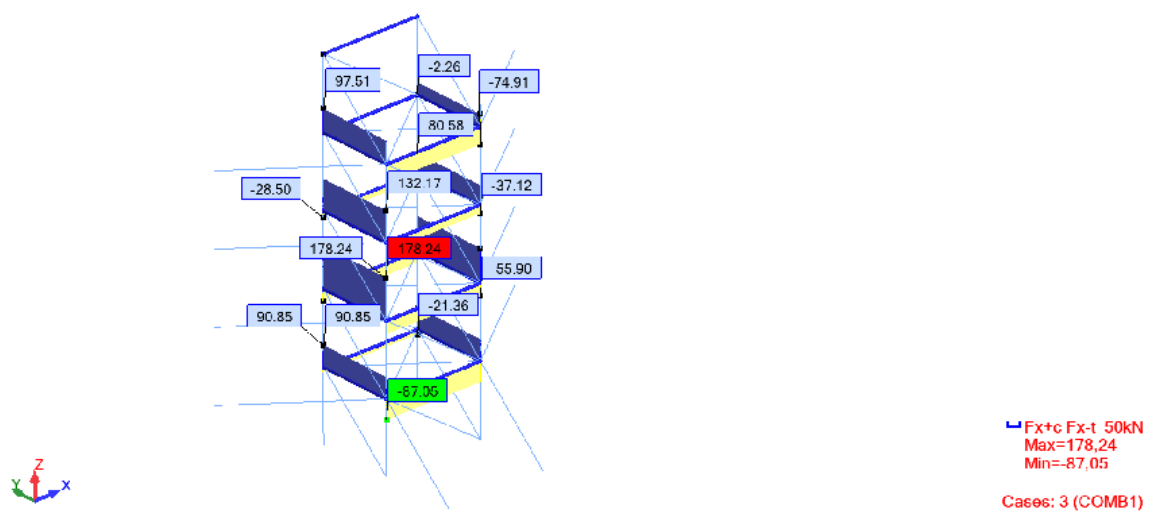
5.3.2. Dijagrami unutarnjih sila

Dijagrami unutarnjih sila za kombinaciju:

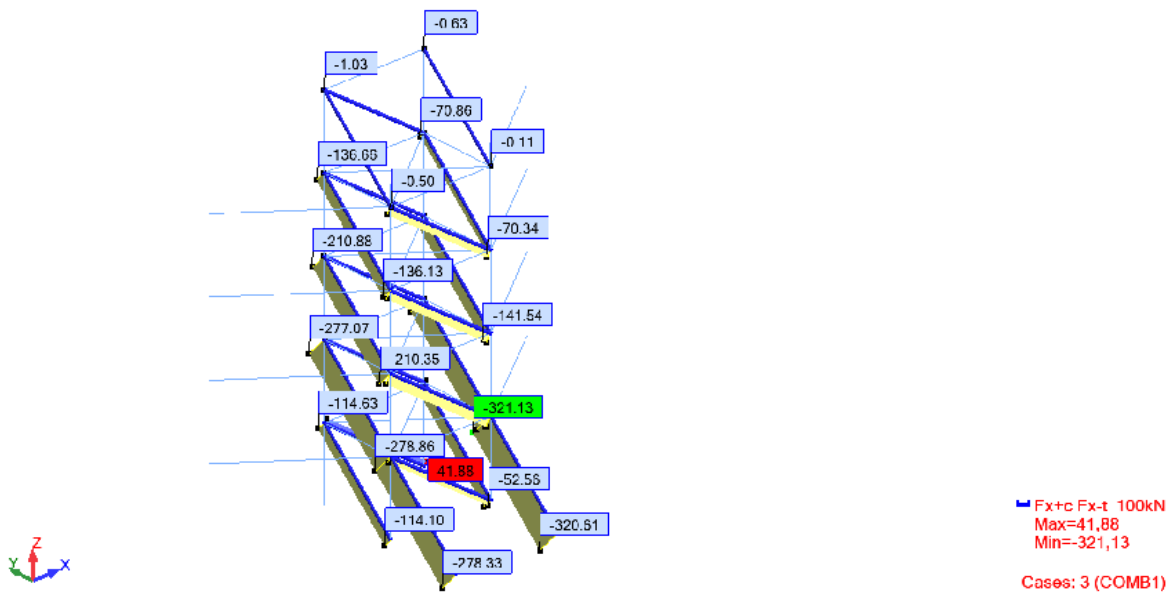
$$1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k$$



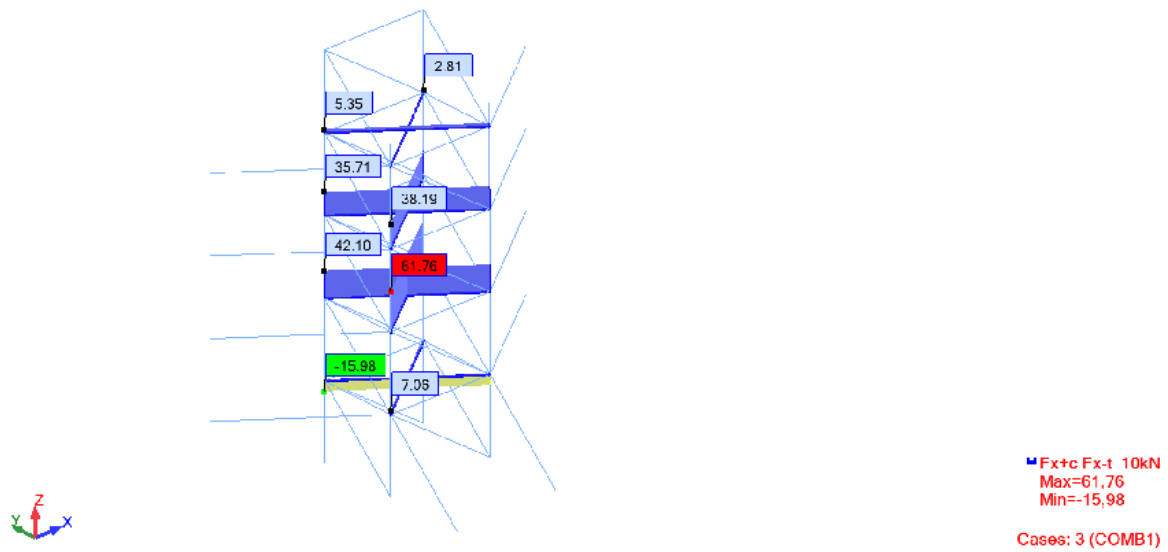
Slika 53: Dijagram uzdužnih sila u stupovima



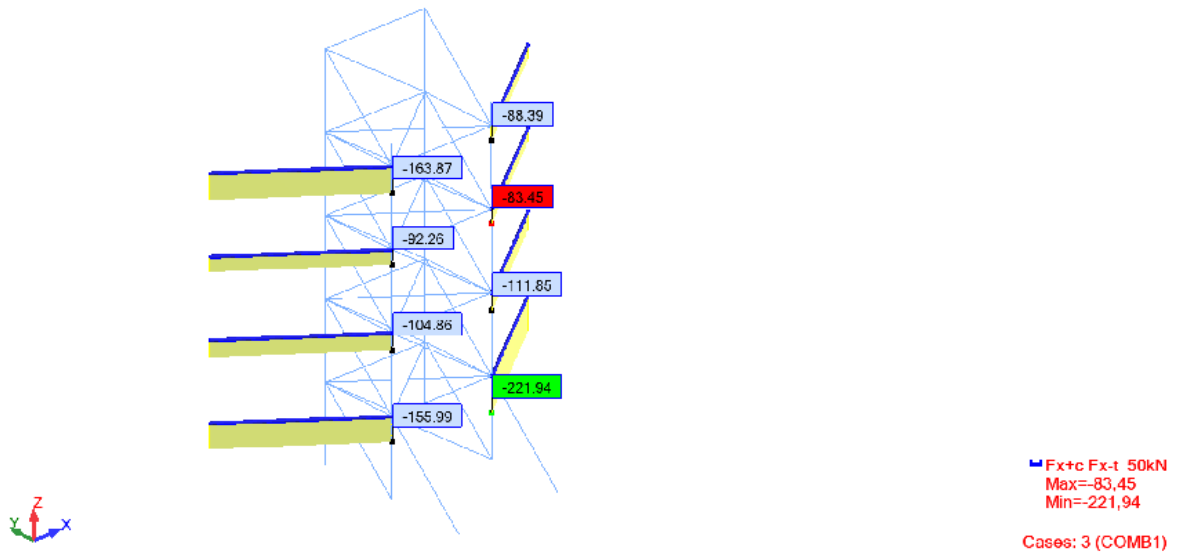
Slika 54: Dijagram uzdužnih sila u horizontalnim prečkama



Slika 55: Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama



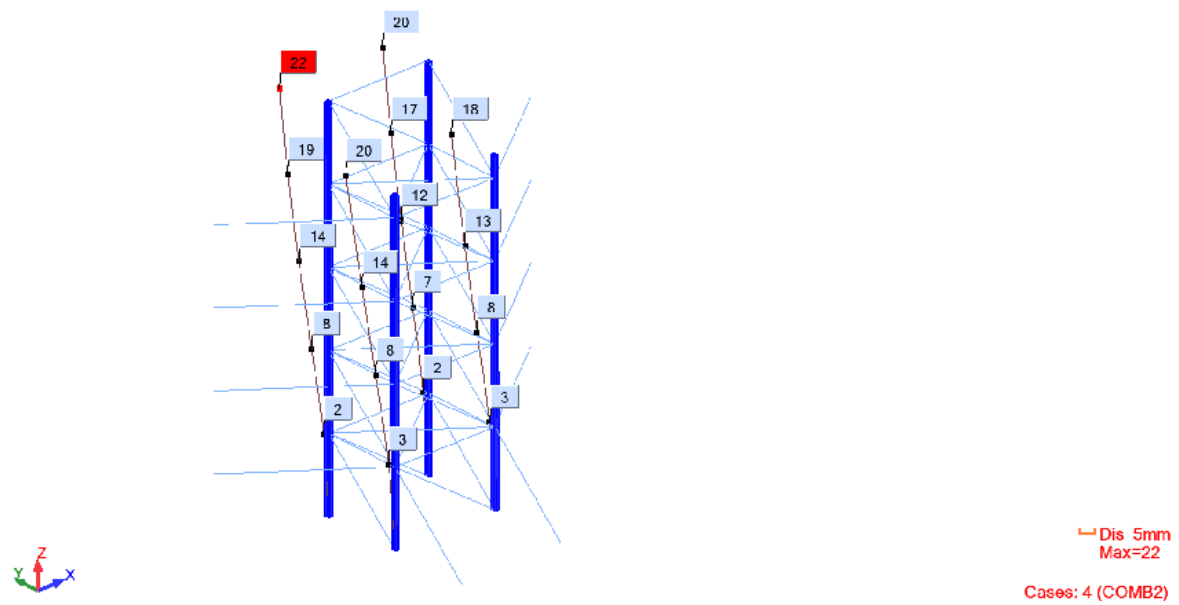
Slika 56: Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama horizontalne stabilizacije



Slika 57: Dijagram uzdužnih sila u kosnicima

Otklon stupova za kombinaciju:

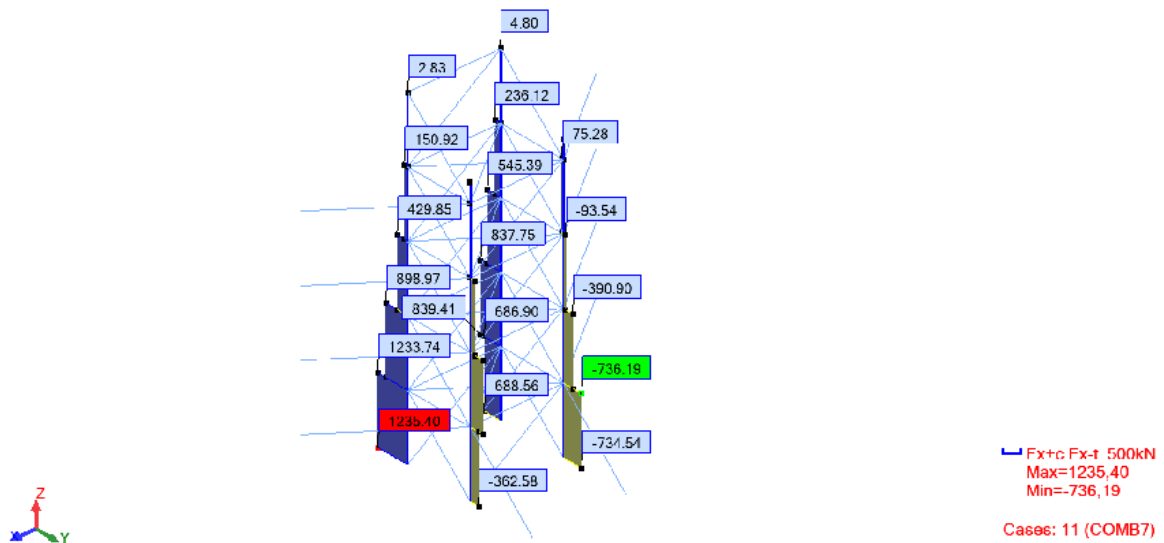
$$1 \times G_k + 1 \times Q_k$$



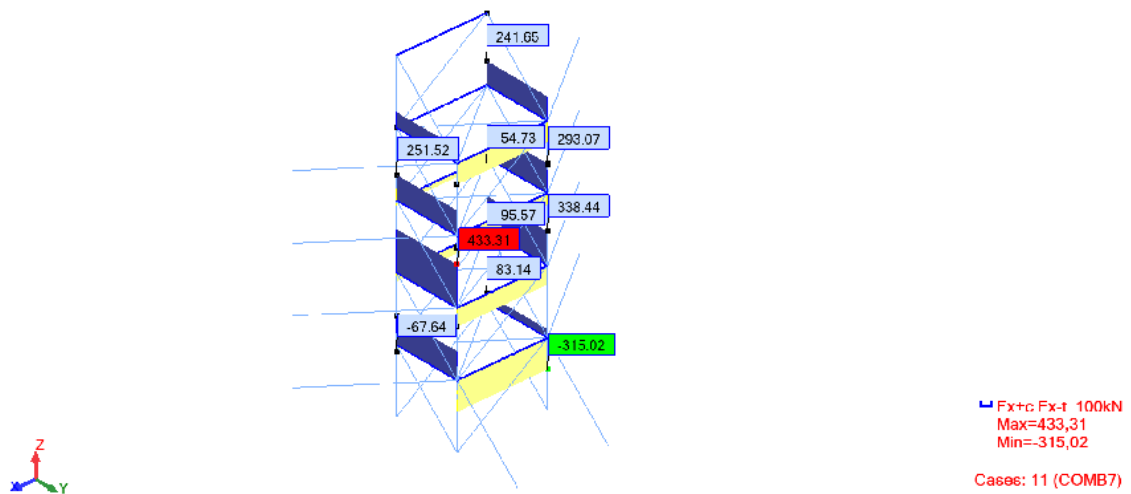
Slika 58: Otklon stupova

Dijagrami unutarnjih sila za kombinaciju:

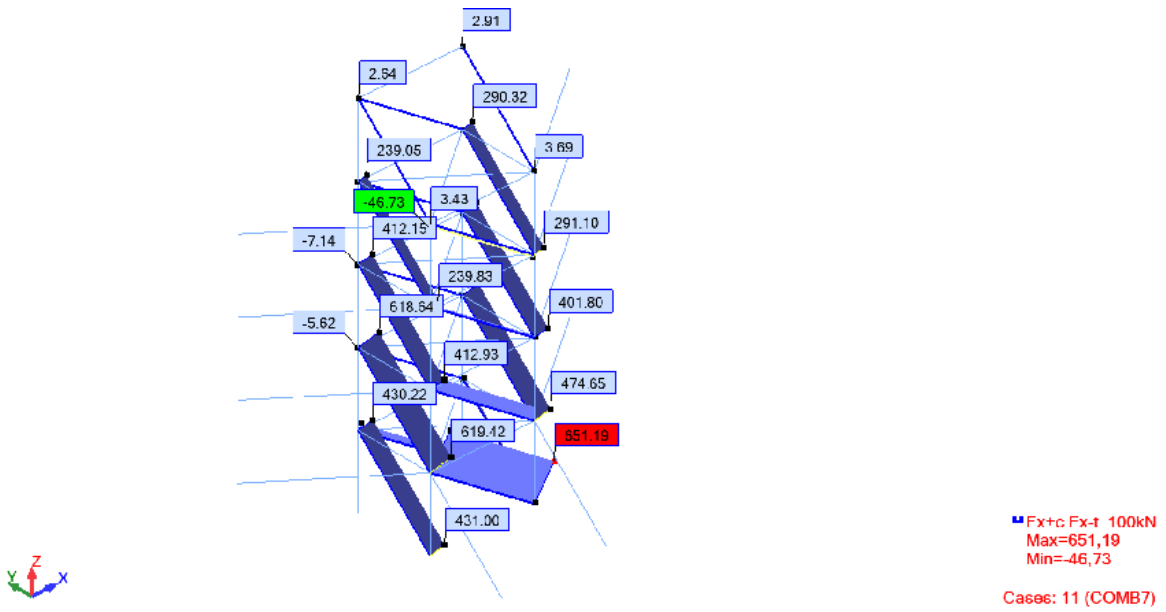
$$G_k + A_{Ed}$$



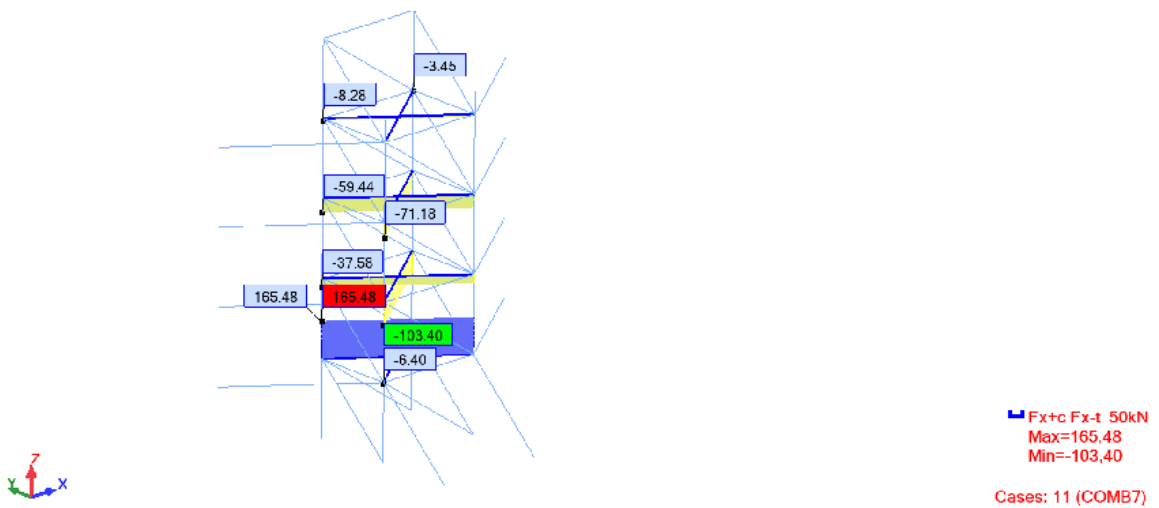
Slika 59: Dijagram uzdužnih sila u stupovima



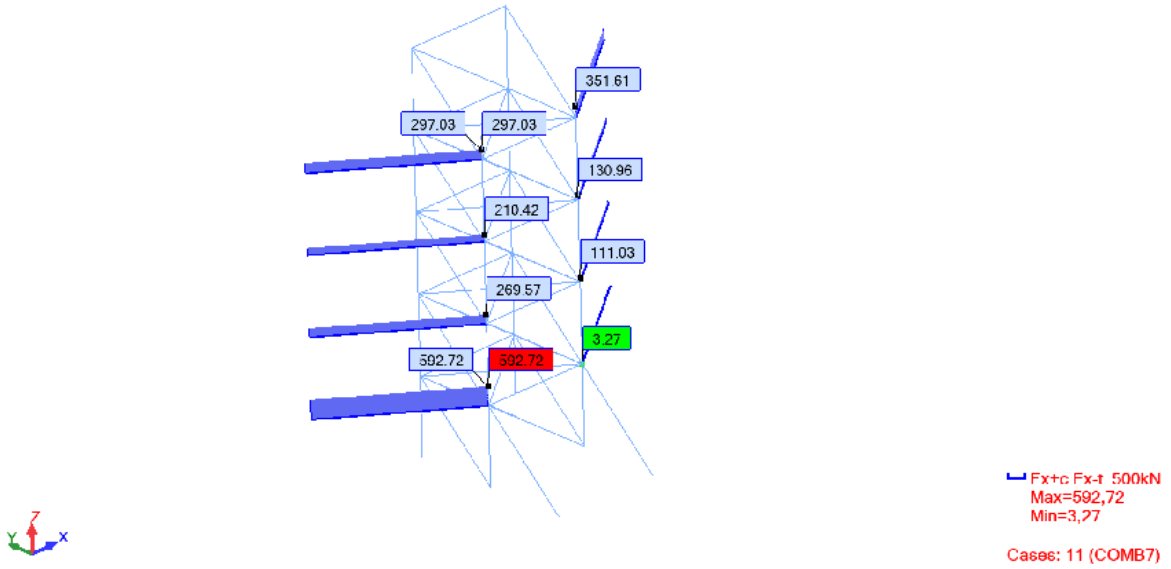
Slika 60: Dijagram uzdužnih sila u horizontalnim nosačima



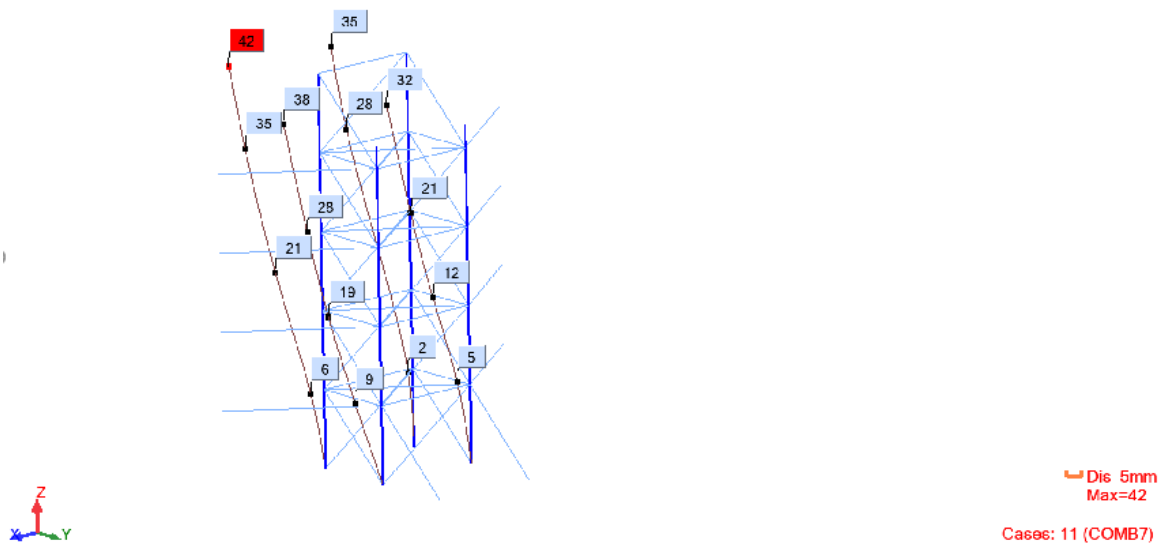
Slika 61: Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama



Slika 62: Dijagram uzdužnih sila u dijagonalama horizontalne stabilizacije



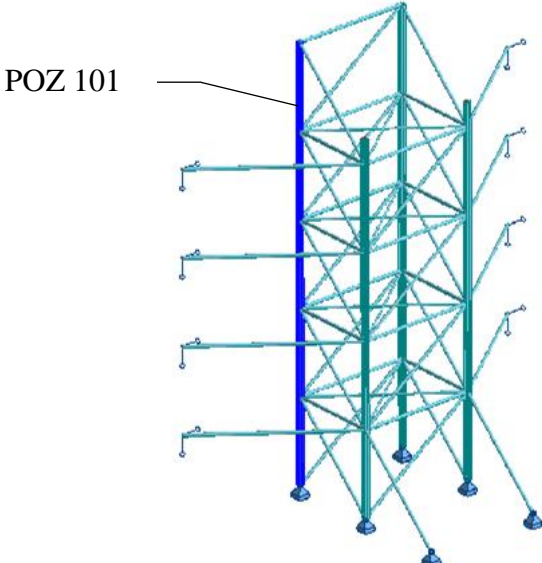
Slika 63: Dijagram uzdužnih sila u kosnicima



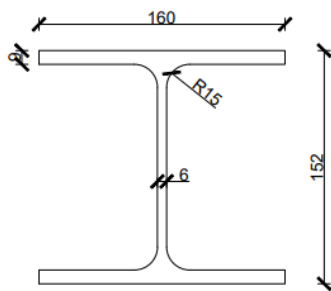
Slika 64: Otklon stupova

5.4. Proračun elemenata nosive skele

Tablica 7: Proračun elemenata nosive skele POZ 101

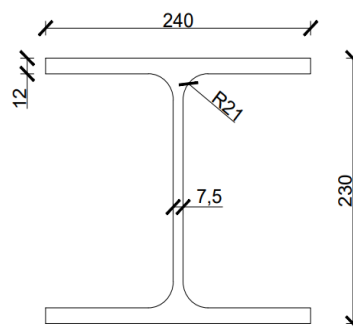
POZ 101 - stup	
	
Dimenzioniranje elemenata za kombinaciju djelovanja	Dimenzioniranje elemenata za potresnu kombinaciju
$1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k$	$G_k + 1,2 \times A_{Ek}$

HEA 160



S235	
b [mm]	160
h [mm]	152
r [mm]	15
tf [mm]	9
tw [mm]	6
A [cm ²]	38,77
Iy [cm ⁴]	1673
Iz [cm ⁴]	615,6

HEA 240



S235	
b [mm]	240
h [mm]	230
r [mm]	21
tf [mm]	12
tw [mm]	7,5
A [cm ²]	76,84
Iy [cm ⁴]	7763
Iz [cm ⁴]	2769

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

Mjerodavne unutarnje sile

 $N_{Ed} = 487,73 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} = 1,14 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} = 3,19 \text{ kNm}$ $N_{Ed} = 1235,40 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} = 7,30 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} = 16,23 \text{ kNm}$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Klasifikacija hrpta (unutarnji element):Tlak i savijanje

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \times \varepsilon}{13 \times \alpha - 1} \quad (19)$$

gdje je

 c – ravni dio hrpta t -debljina hrptaKlasifikacija hrpta (unutarnji element):Tlak i savijanje

Omjer ravnog dijela i debljine hrpta dobiva se prema izrazu (20):

$$\frac{c}{t} = \frac{230 - 2 \times 12 - 2 \times 21}{7,5} = 21,87$$

<p>α – koeficijent</p> <p>$\varepsilon=1$</p> <p>Omjer ravnog dijela i debljine hrpta dobiva se prema izrazu (20):</p> $\frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{h-2t_f-2r}{t_w} \quad (20)$ $\frac{c}{t} = \frac{152-2\times 9-2\times 15}{6} = 17,33$ <p>Koeficijent α dobiva se prema izrazu (21):</p> $\alpha = \frac{1}{d} \times \left(\frac{d}{2} + a \right) \quad (21)$ <p>gdje je</p> <p>d – ravni dio hrpta</p> <p>a – pomak neutralne osi koji se dobiva prema izrazu (22)</p> $a = \frac{N_{Ed}}{2 \times t_w \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \quad (22)$ <p>gdje je</p> <p>t_w – debljina hrpta</p> <p>f_y – granica popuštanja ($f_y=235$ N/mm²)</p> <p>$\gamma_{M,0}$ – parcijalni koeficijent ($\gamma_{M,0}=1$)</p> $a = \frac{487,73}{2 \times 6 \times \frac{23,5}{1}} = 17,30 \text{ cm}$ <p>Koeficijent α slijedi iz izraza (21):</p> $\alpha = \frac{1}{10,4} \times \left(\frac{10,4}{2} + 17,30 \right) = 2,16,$ <p>ako je $\alpha > 1$, usvaja se $\alpha = 1$</p> <p>Prema uvjetu (19) slijedi:</p> $17,33 \leq \frac{396 \times 1}{13 \times 1 - 1} = 33,00$	<p>Pomak neutralne osi dobiva se prema izrazu (22):</p> $a = \frac{1235,40}{2 \times 7,5 \times \frac{23,5}{1}} = 35,23 \text{ cm}$ <p>Koeficijent α slijedi iz izraza (21):</p> $\alpha = \frac{1}{16,4} \times \left(\frac{16,4}{2} + 35,23 \right) = 2,65,$ <p>ako je $\alpha > 1$, usvaja se $\alpha = 1$</p> <p>Prema uvjetu (19) slijedi:</p> $21,87 \leq \frac{396 \times 1}{13 \times 1 - 1} = 33,00$ <p>Hrbat je klasa 1.</p> <p><u>Klasifikacija pojasnice (vanjski element):</u></p> <p><u>tlak</u></p> <p>Omjer ravnog dijela i debljine pojasnice dobiva se prema izrazu (24):</p> $\frac{c}{t} = \frac{\frac{240}{2} - \frac{7,5}{2} - 21}{12} = 7,94$ <p>Prema uvjetu (23) slijedi:</p> $7,94 \leq 9$ <p>Pojasnica je klasa 1.</p> <p>Poprečni presjek je klasa 1.</p>
---	--

<p>Hrbat je klasa 1.</p> <p><u>Klasifikacija pojasnice (vanjski element):</u> tlak</p> <p>Uvjet za klasu 1:</p> $\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon \quad (23)$ <p>gdje je</p> <p>c – ravni dio pojasnice t – debljina pojasnice $\varepsilon = 1$</p> <p>Omjer ravnog dijela i debljine pojasnice dobiva se prema izrazu (24):</p> $\frac{c}{t} = \frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} \quad (24)$ $\frac{c}{t} = \frac{\frac{160}{2} - \frac{6}{2} - 15}{9} = 6,89$ <p>Prema uvjetu (23) slijedi:</p> $6,89 \leq 9$ <p>Pojasnica je klasa 1.</p> <p>Poprečni presjek je klasa 1.</p>	
<p>Otpornost poprečnog presjeka</p>	
<p><u>Otpornost na tlak</u></p> <p>Računska otpornost poprečnog presjeka na tlak dobiva se prema izrazu (25):</p>	<p><u>Otpornost na tlak</u></p> <p>Računska otpornost poprečnog presjeka na tlak dobiva se prema izrazu (25):</p> $N_{c,Rd} = \frac{76,84 \times 23,5}{1} = 1805,74 \text{ kN}$

$N_{c,Rd} = \frac{A \times fy}{\gamma_{M0}} \quad (25)$ $N_{c,Rd} = \frac{38,77 \times 23,5}{1} = 911,095 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (26):</p> $N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad (26)$ $487,73 < 911,095 \text{ kN}$ $53,53 \%$ <p>Provjere otpornosti poprečnog presjeka na posmik i savijanje nisu napravljene, jer je njihov utjecaj zanemariv.</p> <p>Profil HEA 160 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.</p>	<p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (26):</p> $1242,02 < 1805,74 \text{ kN}$ $68,78 \%$ <p>Provjere otpornosti poprečnog presjeka na posmik i savijanje nisu napravljene, jer je njihov utjecaj zanemariv.</p> <p>Profil HEA 240 zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.</p>
Otpornost elementa	
<p><u>Otpornost na izvijanje</u></p> <p>Otpornost elementa na izvijanje dobiva se prema izrazu (27):</p> $N_{b,Rd} = \chi \times \frac{A \times fy}{\gamma_{M1}} \quad (27)$ <p>gdje je</p> <p>χ – koeficijent redukcije</p> <p>A – površina poprečnog presjeka</p> <p>fy – granica popuštanja</p> <p>γ_{M1} – parcijalni faktor sigurnosti za element ($\gamma_{M1} = 1$)</p> <p>Koeficijent redukcije dobiva se prema izrazu (28):</p> $\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (28)$ <p>gdje je</p> <p>λ – svedena vitkost</p>	<p><u>Otpornost na izvijanje</u></p> <p><u>Izvijanje oko osi y:</u></p> <p>$L_{cr,y} = 2,8 \text{ m}$</p> <p>Prema izrazu (30) slijedi:</p> $N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 7763}{280^2} = 20522,61 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (29) slijedi:</p> $\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{76,84 \times 23,5}{20522,61}} = 0,30$ <p>$h/b = 0,95 < 1,2$</p> <p>Os y-y → krivulja izvijanja b</p> <p>$\alpha = 0,34$</p> <p>Prema izrazu (31) slijedi:</p> $\phi_y = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,30 - 0,2) + 0,30^2]$ $\phi_y = 0,56$

<p>ϕ – pomoćni koeficijent</p> <p>Svedena vitkost dobiva se prema izrazu (29):</p> $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} \quad (29)$ <p>gdje je</p> <p>N_{cr} – elastična kritična sila izvijanja</p> <p>Elastična kritična sila izvijanja dobiva se prema izrazu (30):</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_{cr}^2} \quad (30)$ <p>gdje je</p> <p>E – modul elastičnosti čelika ($E=210$ GPa)</p> <p>L_{cr} – kritična duljina izvijanja</p> <p>I – moment inercije</p> <p>Pomoćni koeficijent ϕ dobiva se prema izrazu (31):</p> $\phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (31)$ <p>gdje je</p> <p>α – koeficijent ovisan o krivulji izvijanja</p> <p>λ – svedena vitkost</p> <p><u>Izvijanje oko osi y:</u></p> <p>$L_{cr,y} = 2,8$ m</p> <p>Prema izrazu (30) slijedi:</p> $N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1673}{280^2} = 4422,82 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (29) slijedi:</p> $\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{38,77 \times 23,5}{4422,82}} = 0,45$	<p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $\chi_y = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,30^2}} = 0,97$ <p><u>Izvijanje oko osi z:</u></p> <p>$L_{cr,z} = 2,8$ m</p> <p>Prema izrazu (30) slijedi:</p> $N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 2769}{280^2} = 7320,25 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (29) slijedi:</p> $\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{76,84 \times 23,5}{7320,25}} = 0,50$ <p>$h/b = 0,95 < 1,2$</p> <p>Os z-z \rightarrow krivulja izvijanja c</p> <p>$\alpha = 0,49$</p> <p>Prema izrazu (31) slijedi:</p> $\phi_z = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,50 - 0,2) + 0,50^2]$ <p>$\phi_z = 0,70$</p> <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $\chi_z = \frac{1}{0,70 + \sqrt{0,70^2 - 0,50^2}} = 0,84$ <p>Mjerodavni koeficijent redukcije dobiva se prema izrazu (32):</p> $\chi = \min(0,97; 0,84) = 0,84$ <p>Prema izrazu (27) slijedi:</p> $N_{b,Rd} = 0,84 \times \frac{76,84 \times 23,58}{1,1} = 1386,90 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (33):</p> $1242,02 \leq 1386,90 \text{ kN}$ <p>89,55 %</p>
---	---

$$h/b=0,95 < 1,2$$

Os y-y → krivulja izvijanja b

$$\alpha=0,34$$

Prema izrazu (31) slijedi:

$$\phi_y = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,45 - 0,2) + 0,45^2]$$

$$\phi_y = 0,65$$

Prema izrazu (28) slijedi:

$$\chi_y = \frac{1}{0,65 + \sqrt{0,65^2 - 0,45^2}} = 0,90$$

Izvijanje oko osi z:

$$L_{cr,z} = 2,8 \text{ m}$$

Prema izrazu (30) slijedi:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 615,6}{280^2} = 1627,43 \text{ kN}$$

Prema izrazu (29) slijedi:

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{38,77 \times 23,5}{1627,43}} = 0,75$$

$$h/b=0,95 < 1,2$$

Os z-z → krivulja izvijanja c

$$\alpha=0,49$$

Prema izrazu (31) slijedi:

$$\phi_z = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (0,75 - 0,2) + 0,75^2]$$

$$\phi_z = 0,91$$

Prema izrazu (28) slijedi:

$$\chi_z = \frac{1}{0,91 + \sqrt{0,91^2 - 0,75^2}} = 0,69$$

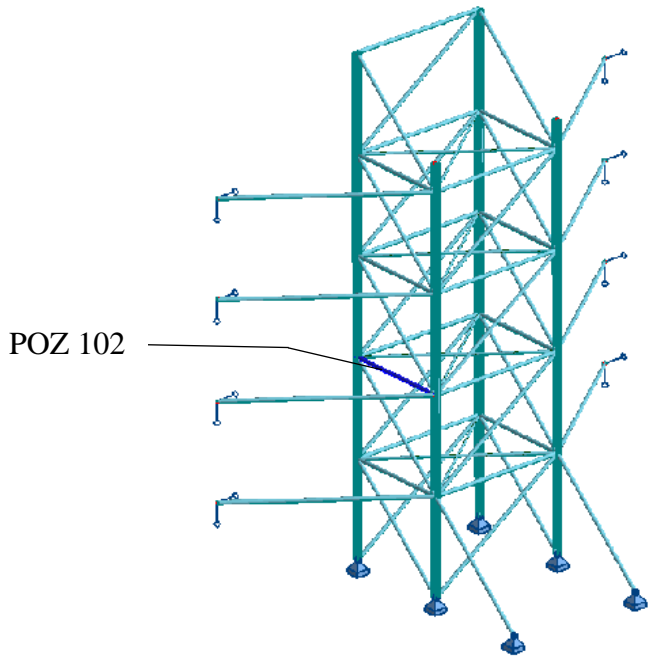
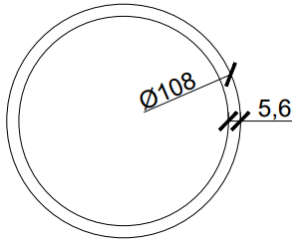
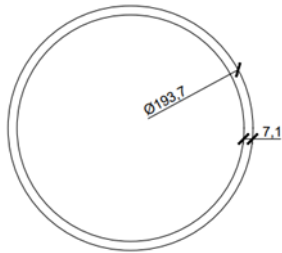
Mjerodavni koeficijent redukcije dobiva se prema izrazu (32):

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) \quad (32)$$

Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.

<p style="text-align: center;">$\chi = \min(0,90; 0,69) = 0,69$</p> <p>Prema izrazu (27) slijedi:</p> $N_{b,Rd} = 0,69 \times \frac{38,77 \times 23,5}{1,1} = 575,36 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (33):</p> $N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \quad (33)$ $487,73 \leq 575,36 \text{ kN}$ $84,77 \%$ <p>Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.</p>	
GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI	
<p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (34):</p> $w < \frac{H}{300} \quad (34)$ <p>gdje je</p> <p>w – najveći horizontalni pomak vrha stupa uslijed vanjskog djelovanja</p> <p>H – visina stupa</p> <p>$H/300$ – maksimalno dopušteni horizontalni pomak</p> <p>$w=22 \text{ mm}$</p> <p>$H=14000 \text{ mm}$</p> $22 < \frac{14000}{300} = 46,67 \text{ mm}$ $47,14 \%$ <p>Provjera GSU zadovoljava.</p>	<p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (34):</p> <p>$w=42 \text{ mm}$</p> <p>$H=14000 \text{ mm}$</p> $42 < \frac{14000}{300} = 46,67 \text{ mm}$ $90,00 \%$ <p>Provjera GSU zadovoljava.</p>

Tablica 8: Proračun elemenata nosive skele POZ 102

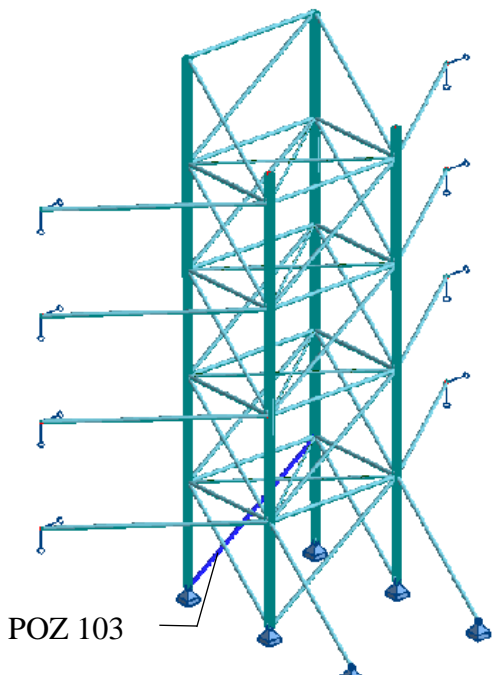
POZ 102 – horizontalni nosač																					
																					
<p>Dimenzioniranje elemenata za kombinaciju djelovanja</p> $1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k$	<p>Dimenzioniranje elemenata za potresnu kombinaciju</p> $G_k + 1,2 \times A_{Ek}$																				
<p>Okrugli cijevni profil 108/5,6 mm</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">S235</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d [mm]</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>t [mm]</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>A [cm²]</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>I [cm⁴]</td> <td>237</td> </tr> </tbody> </table>	S235		d [mm]	108	t [mm]	5,6	A [cm ²]	18	I [cm ⁴]	237	<p>Okrugli cijevni profil 193,7/7,1</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">S235</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d [mm]</td> <td>193,7</td> </tr> <tr> <td>t [mm]</td> <td>7,1</td> </tr> <tr> <td>A [cm²]</td> <td>41,6</td> </tr> <tr> <td>I [cm⁴]</td> <td>1814</td> </tr> </tbody> </table>	S235		d [mm]	193,7	t [mm]	7,1	A [cm ²]	41,6	I [cm ⁴]	1814
S235																					
d [mm]	108																				
t [mm]	5,6																				
A [cm ²]	18																				
I [cm ⁴]	237																				
S235																					
d [mm]	193,7																				
t [mm]	7,1																				
A [cm ²]	41,6																				
I [cm ⁴]	1814																				
GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI																					
Mjerodavne unutarnje sile																					
$N_{Ed} = 178,24 \text{ kN}$	$N_{Ed} = 433,31 \text{ kN}$																				

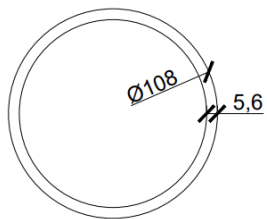
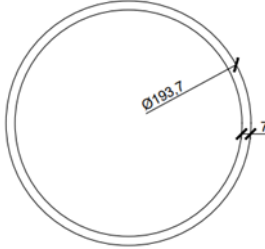
Klasifikacija poprečnog presjeka	
<p>Uvjet za klasu 1:</p> $\frac{d}{t} \leq 50 \times \varepsilon^2 \quad (35)$ <p>gdje je d – promjer cijevi t – debljina stijenke cijevi $\varepsilon = 1$</p> $\frac{108}{5,6} \leq 50 \times 1^2$ $19,29 \leq 50,00$ <p>Poprečni presjek je klasa 1.</p>	<p>Uvjet za klasu 1 slijedi iz izraza (35):</p> $\frac{193,7}{7,1} \leq 50 \times 1^2$ $27,78 \leq 50,00$ <p>Poprečni presjek je klasa 1.</p>
Otpornost poprečnog presjeka	
<p><u>Otpornost poprečnog presjeka na tlak</u></p> <p>Proračunska nosivost na tlačnu silu dobiva se prema izrazu (36):</p> $N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad (36)$ <p>gdje je A – površina poprečnog presjeka f_y – granica popuštanja ($f_y=235 \text{ N/mm}^2$) γ_{M0} – parcijalni koeficijent ($\gamma_{M0} = 1$)</p> $N_{c,Rd} = \frac{18 \times 23,5}{1} = 423 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti:</p> $N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad (37)$ $178,24 \leq 423 \text{ kN}$ $42,14 \%$ <p>Profil zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.</p>	<p><u>Otpornost poprečnog presjeka na tlak</u></p> <p>Proračunska nosivost na tlačnu silu dobiva se prema izrazu (36):</p> $N_{c,Rd} = \frac{41,6 \times 23,5}{1} = 977,6 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (37)</p> $433,31 \leq 977,6 \text{ kN}$ $44,32 \%$ <p>Profil zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.</p>
Otpornost elementa	
<u>Otpornost elementa na izvijanje</u>	<u>Otpornost elementa na izvijanje</u>

<p>Uvjet nosivosti:</p> $N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \quad (38)$ <p>$L_{cr} = 3,0 \text{ m}$</p> <p>Prema izrazu (30) slijedi:</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 237}{300^2} = 545,79 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (29) slijedi:</p> $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{18 \times 23,5}{545,79}} = 0,88$ <p>→ krivulja izvijanja a</p> <p>$\alpha = 0,21$</p> <p>Prema izrazu (31) slijedi:</p> $\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,88 - 0,2) + 0,88^2]$ <p>$\phi = 0,96$</p> <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $\chi = \frac{1}{0,96 + \sqrt{0,96^2 - 0,88^2}} = 0,75$ <p>Proračunska nosivost na izvijanje dobiva se prema izrazu (27):</p> $N_{b,Rd} = 0,75 \times \frac{18 \times 23,5}{1,1} = 287,15 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (38) slijedi:</p> $178,24 \leq 287,15$ <p style="text-align: center;">62,07 %</p> <p>Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.</p>	<p>$L_{cr} = 3,0 \text{ m}$</p> <p>Prema izrazu (30) slijedi:</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1814}{300^2} = 4177,47 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (29) slijedi:</p> $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{41,6 \times 23,5}{4177,47}} = 0,48$ <p>→ krivulja izvijanja a</p> <p>$\alpha = 0,21$</p> <p>Prema izrazu (31) slijedi:</p> $\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,48 - 0,2) + 0,48^2]$ <p>$\phi = 0,65$</p> <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $\chi = \frac{1}{0,65 + \sqrt{0,65^2 - 0,48^2}} = 0,93$ <p>Proračunska nosivost na izvijanje dobiva se prema izrazu (27):</p> $N_{b,Rd} = 0,93 \times \frac{41,6 \times 23,5}{1,1} = 825,84 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (38) slijedi:</p> $433,31 \leq 825,84$ <p style="text-align: center;">52,47 %</p> <p>Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.</p>
GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI	
<p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (39):</p> $w \leq \frac{L}{200} \quad (39)$ <p>gdje je</p> <p>w – progib</p>	<p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (39):</p> <p>w = 2 mm</p> <p>L = 3000 mm</p> $2 < \frac{3000}{200} = 15 \text{ mm}$

<p>L – duljina elementa</p> <p>$L/200$ – maksimalno dopušteni progib</p> <p>w=1 mm</p> <p>L=3000 mm</p> $1 < \frac{3000}{200} = 15 \text{ mm}$ <p>6,67 %</p> <p>Provjera GSU zadovoljava.</p>	<p>13,33 %</p> <p>Provjera GSU zadovoljava.</p>
---	--

Tablica 9: Proračun elemenata nosive skele POZ 103

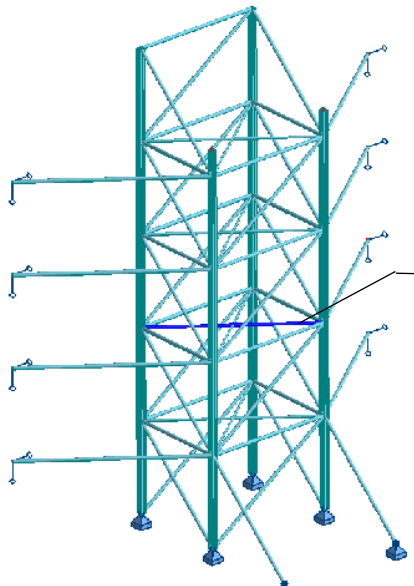
POZ 103 - dijagonala	
	
<p>Dimenzioniranje elemenata za kombinaciju djelovanja</p> $1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k$	<p>Dimenzioniranje elemenata za potresnu kombinaciju</p> $G_k + 1,2 \times A_{Ek}$

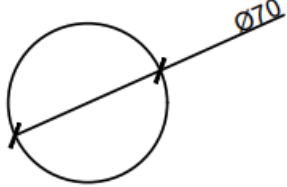
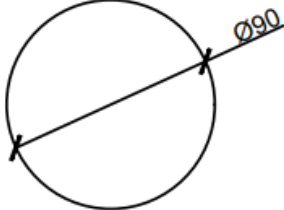
<p>Okrugli cijevni profil 108/5,6 mm</p>  <table border="1" data-bbox="395 488 662 768"> <thead> <tr> <th colspan="2">S235</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d [mm]</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>t [mm]</td> <td>5,6</td> </tr> <tr> <td>A [cm²]</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>I [cm⁴]</td> <td>237</td> </tr> </tbody> </table>	S235		d [mm]	108	t [mm]	5,6	A [cm ²]	18	I [cm ⁴]	237	<p>Okrugli cijevni profil 193,7/7,1 mm</p>  <table border="1" data-bbox="978 517 1244 797"> <thead> <tr> <th colspan="2">S235</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d [mm]</td> <td>193,7</td> </tr> <tr> <td>t [mm]</td> <td>7,1</td> </tr> <tr> <td>A [cm²]</td> <td>41,6</td> </tr> <tr> <td>I [cm⁴]</td> <td>1814</td> </tr> </tbody> </table>	S235		d [mm]	193,7	t [mm]	7,1	A [cm ²]	41,6	I [cm ⁴]	1814
S235																					
d [mm]	108																				
t [mm]	5,6																				
A [cm ²]	18																				
I [cm ⁴]	237																				
S235																					
d [mm]	193,7																				
t [mm]	7,1																				
A [cm ²]	41,6																				
I [cm ⁴]	1814																				
GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI																					
Mjerodavne unutarnje sile																					
$N_{Ed} = 41,88 \text{ kN}$	$N_{Ed} = 651,19 \text{ kN}$																				
Klasifikacija poprečnog presjeka																					
<p>Uvjet za klasu 1 slijedi iz izraza (35):</p> $\frac{d}{t} \leq 50 \times \varepsilon^2$ $\frac{108}{5,6} \leq 50 \times 1^2$ $19,29 \leq 50,00$ <p>Poprečni presjek je klasa 1.</p>	<p>Uvjet za klasu 1 slijedi iz izraza (35):</p> $\frac{193,7}{7,1} \leq 50 \times 1^2$ $27,28 \leq 50,00$ <p>Poprečni presjek je klasa 1.</p>																				
Otpornost poprečnog presjeka																					
<p><u>Otpornost poprečnog presjeka na tlak</u></p> <p>Proračunska nosivost na tlačnu silu dobiva se prema izrazu (36):</p> $N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$ $N_{c,Rd} = \frac{18 \times 23,5}{1} = 423 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (37)</p> $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$	<p><u>Otpornost poprečnog presjeka na tlak</u></p> <p>Proračunska nosivost na tlačnu silu dobiva se prema izrazu (36):</p> $N_{c,Rd} = \frac{41,6 \times 23,5}{1} = 977,6 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (37)</p> $651,19 \leq 977,6 \text{ kN}$ <p style="text-align: center;">66,61 %</p>																				

$41,88 \leq 423 \text{ kN}$ $9,90 \%$ Profil zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.	Profil zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.
Otpornost elementa	
<u>Otpornost elementa na izvijanje</u> $L_{cr} = 4,88 \text{ m}$ Prema izrazu (30) slijedi: $N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 237}{488^2} = 206,27 \text{ kN}$ Prema izrazu (29) slijedi: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{18 \times 23,5}{206,27}} = 1,43$ →krivulja izvijanja a $\alpha = 0,21$ Prema izrazu (31) slijedi: $\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (1,43 - 0,2) + 1,43^2]$ $\phi = 1,65$ Prema izrazu (28) slijedi: $\chi = \frac{1}{1,65 + \sqrt{1,65^2 - 1,43^2}} = 0,40$ Proračunska nosivost na izvijanje dobiva se prema izrazu (27): $N_{b,Rd} = 0,40 \times \frac{18 \times 23,5}{1,1} = 154,82 \text{ kN}$ Prema izrazu (38) slijedi: $41,88 \leq 154,82$ $27,05 \%$ Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.	<u>Otpornost elementa na izvijanje</u> $L_{cr} = 4,88 \text{ m}$ Prema izrazu (30) slijedi: $N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1814}{488^2} = 1578,76 \text{ kN}$ Prema izrazu (29) slijedi: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{41,6 \times 23,5}{1578,76}} = 0,79$ →krivulja izvijanja a $\alpha = 0,21$ Prema izrazu (31) slijedi: $\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,79 - 0,2) + 0,79^2]$ $\phi = 0,87$ Prema izrazu (28) slijedi: $\chi = \frac{1}{0,87 + \sqrt{0,87^2 - 0,79^2}} = 0,80$ Proračunska nosivost na izvijanje dobiva se prema izrazu (27): $N_{b,Rd} = 0,80 \times \frac{41,6 \times 23,5}{1,1} = 713,74 \text{ kN}$ Prema izrazu (38) slijedi: $651,19 \leq 713,74$ $91,24 \%$ Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.
GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI	
Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (34):	Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (34):

$w \leq \frac{L}{200}$	
w=2,5 mm	w=3 mm
L=4880 mm	L=4880 mm
$2,5 < \frac{4880}{200} = 24,40 \text{ mm}$	$3 < \frac{4880}{200} = 24,40 \text{ mm}$
10,25 %	12,30 %
Provjera GSU zadovoljava.	Provjera GSU zadovoljava.

Tablica 10: Proračun elemenata nosive skele POZ 104

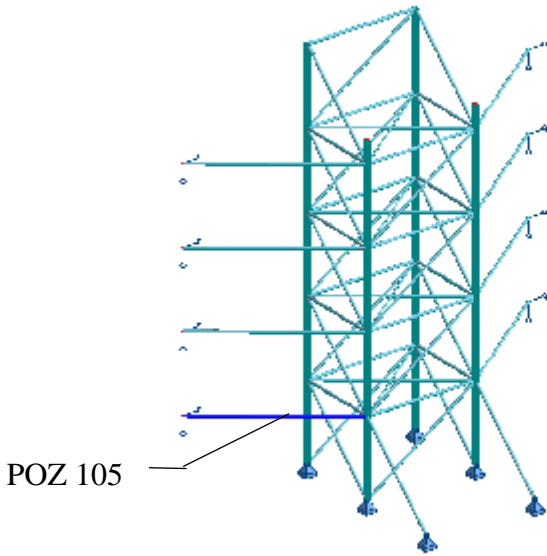
POZ 104 – horizontalna stabilizacija	
	
Dimenzioniranje elemenata za kombinaciju djelovanja $1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k$	Dimenzioniranje elemenata za potresnu kombinaciju $G_k + 1,2 \times A_{Ek}$

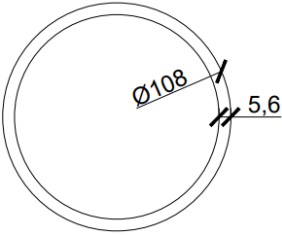
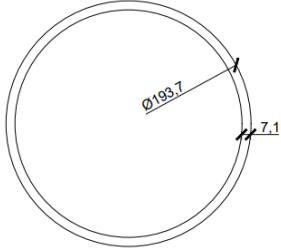
<p>Okrugli puni profil d=70 mm</p>  <table border="1" data-bbox="379 593 673 817"> <tr><td colspan="2">S235</td></tr> <tr><td>d [mm]</td><td>70</td></tr> <tr><td>A [cm²]</td><td>38,48</td></tr> <tr><td>I [cm⁴]</td><td>117,86</td></tr> </table>	S235		d [mm]	70	A [cm ²]	38,48	I [cm ⁴]	117,86	<p>Okrugli puni profil d=90 mm</p>  <table border="1" data-bbox="957 593 1251 817"> <tr><td colspan="2">S235</td></tr> <tr><td>d [mm]</td><td>90</td></tr> <tr><td>A [cm²]</td><td>63,62</td></tr> <tr><td>I [cm⁴]</td><td>322,06</td></tr> </table>	S235		d [mm]	90	A [cm ²]	63,62	I [cm ⁴]	322,06
S235																	
d [mm]	70																
A [cm ²]	38,48																
I [cm ⁴]	117,86																
S235																	
d [mm]	90																
A [cm ²]	63,62																
I [cm ⁴]	322,06																
GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI																	
Mjerodavne unutarnje sile																	
N _{c,Ed} = 61,76 kN	N _{c,Ed} = 165,48 kN																
Otpornost poprečnog presjeka																	
<p><u>Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu</u></p> <p>Proračunska nosivost na tlačnu silu dobiva se prema izrazu (36):</p> $N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$ $N_{c,Rd} = \frac{38,48 \times 23,5}{1} = 904,28 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (37)</p> $N_{c,Ed} \leq N_{c,Rd}$ $61,76 \leq 904,28 \text{ kN}$ $6,83 \%$	<p><u>Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu</u></p> <p>Proračunska nosivost na tlačnu silu dobiva se prema izrazu (36):</p> $N_{c,Rd} = \frac{63,62 \times 23,5}{1} = 1495,01 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (37)</p> $N_{c,Ed} \leq N_{c,Rd}$ $165,48 \leq 1495,01 \text{ kN}$ $11,07 \%$ <p>Profil zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.</p>																

Profil zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.	
Otpornost elementa	
<p><u>Otpornost elementa na izvijanje</u></p> <p>$L_{cr} = 5,00 \text{ m}$</p> <p>Prema izrazu (30) slijedi:</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 117,86}{500^2} = 97,71 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (29) slijedi:</p> $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{38,48 \times 23,5}{97,71}} = 3,04$ <p>→ krivulja izvijanja c</p> <p>$\alpha = 0,49$</p> <p>Prema izrazu (31) slijedi:</p> $\phi = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (3,04 - 0,2) + 3,04^2]$ $\phi = 5,82$ <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $\chi = \frac{1}{5,82 + \sqrt{5,82^2 - 3,04^2}} = 0,09$ <p>Proračunska nosivost na izvijanje dobiva se prema izrazu (27):</p> $N_{b,Rd} = 0,09 \times \frac{38,48 \times 23,5}{1,1} = 76,19 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $61,76 \leq 76,19$ $81,06 \%$ <p>Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.</p>	<p><u>Otpornost elementa na izvijanje</u></p> <p>$L_{cr} = 5,00 \text{ m}$</p> <p>Prema izrazu (30) slijedi:</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 322,06}{500^2} = 267 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (29) slijedi:</p> $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{63,62 \times 23,5}{267}} = 2,37$ <p>→ krivulja izvijanja c</p> <p>$\alpha = 0,49$</p> <p>Prema izrazu (31) slijedi:</p> $\phi = 0,5 \times [1 + 0,49 \times (2,37 - 0,2) + 2,37^2]$ $\phi = 3,83$ <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $\chi = \frac{1}{3,83 + \sqrt{3,83^2 - 2,37^2}} = 0,15$ <p>Proračunska nosivost na izvijanje dobiva se prema izrazu (27):</p> $N_{b,Rd} = 0,15 \times \frac{63,62 \times 23,5}{1,1} = 198,63 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $165,48 \leq 198,63$ $83,31 \%$ <p>Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.</p>
GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI	
<p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (29):</p> $w \leq \frac{L}{200}$	<p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (29):</p> <p>$w = 6 \text{ mm}$</p> <p>$L = 5000 \text{ mm}$</p>

$w=5 \text{ mm}$ $L=5000 \text{ mm}$ $5 < \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$ 20% Provjera GSU zadovoljava.	$6 < \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$ 24% Provjera GSU zadovoljava.
--	---

Tablica 11: Proračun elemenata nosive skele POZ 105

POZ 105 - kosnik	
	
Dimenzioniranje elemenata za kombinaciju djelovanja $1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k$	Dimenzioniranje elemenata za potresnu kombinaciju $G_k + 1,2 \times A_{Ek}$

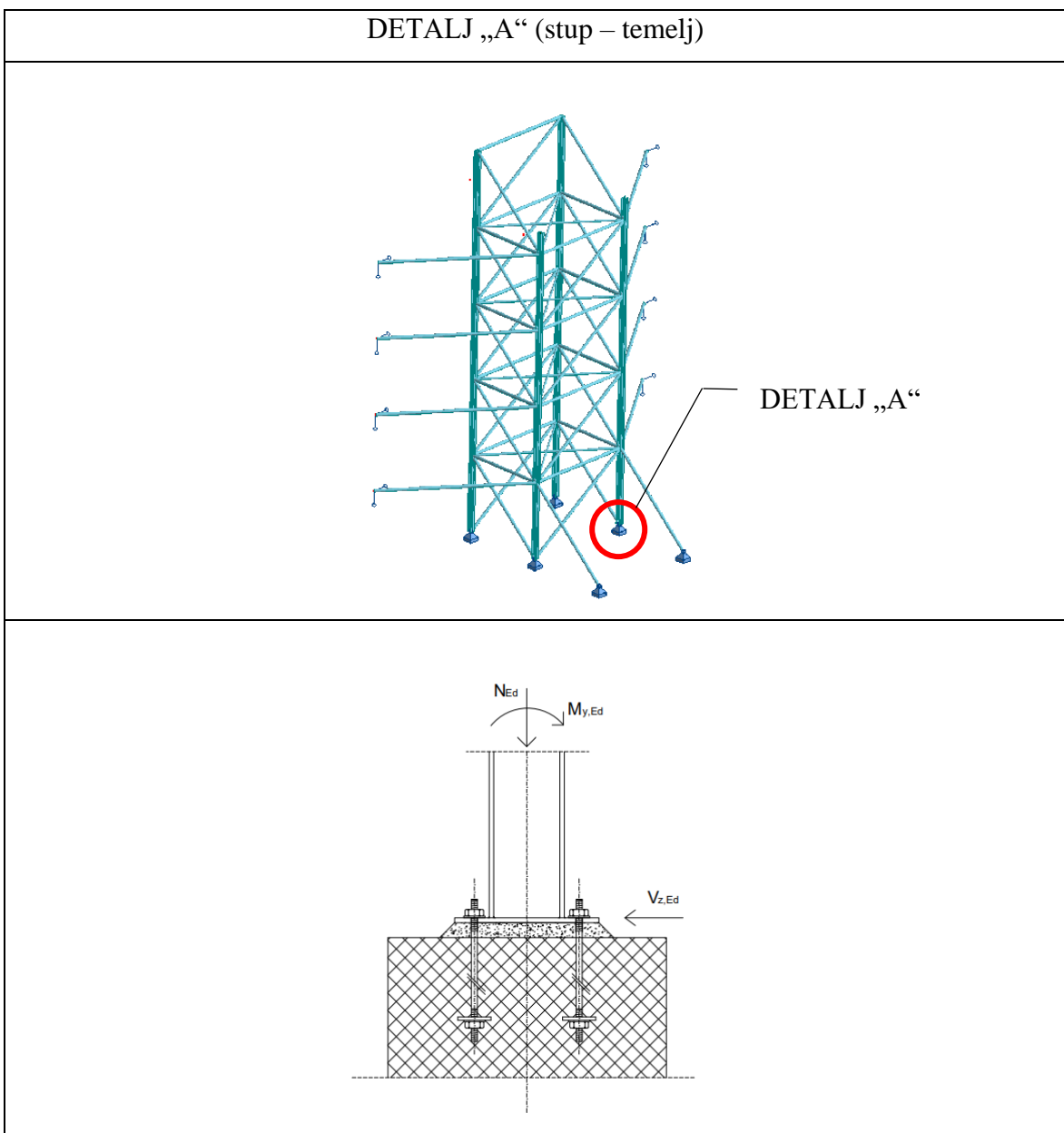
<p>Okrugli cijevni profil 108/5,6 mm</p>  <table border="1" data-bbox="391 508 660 788"> <tr><th colspan="2">S235</th></tr> <tr><td>d [mm]</td><td>108</td></tr> <tr><td>t [mm]</td><td>5,6</td></tr> <tr><td>A [cm²]</td><td>18</td></tr> <tr><td>I [cm⁴]</td><td>237</td></tr> </table>	S235		d [mm]	108	t [mm]	5,6	A [cm ²]	18	I [cm ⁴]	237	<p>Okrugli cijevni profil 193,7/7,1</p>  <table border="1" data-bbox="979 508 1249 788"> <tr><th colspan="2">S235</th></tr> <tr><td>d [mm]</td><td>193,7</td></tr> <tr><td>t [mm]</td><td>7,1</td></tr> <tr><td>A [cm²]</td><td>41,6</td></tr> <tr><td>I [cm⁴]</td><td>1814</td></tr> </table>	S235		d [mm]	193,7	t [mm]	7,1	A [cm ²]	41,6	I [cm ⁴]	1814
S235																					
d [mm]	108																				
t [mm]	5,6																				
A [cm ²]	18																				
I [cm ⁴]	237																				
S235																					
d [mm]	193,7																				
t [mm]	7,1																				
A [cm ²]	41,6																				
I [cm ⁴]	1814																				
GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI																					
Mjerodavne unutarnje sile																					
$N_{c,Ed} = 135,80 \text{ kN}$	$N_{c,Ed} = 592,72 \text{ kN}$																				
Klasifikacija poprečnog presjeka																					
<p>Uvjet za klasu 1 slijedi iz izraza (25):</p> $\frac{d}{t} \leq 50 \times \varepsilon^2$ $\frac{108}{5,6} \leq 50 \times 1^2$ $19,3 \leq 50,00$ <p>Poprečni presjek je klasa 1.</p>	<p>Uvjet za klasu 1 slijedi iz izraza (25):</p> $\frac{193,7}{7,1} \leq 50 \times 1^2$ $27,28 \leq 50,00$ <p>Poprečni presjek je klasa 1.</p>																				
Otpornost poprečnog presjeka																					
<p><u>Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu</u></p> <p>Proračunska nosivost na tlačnu silu dobiva se prema izrazu (26):</p> $N_{c,Rd} = \frac{18 \times 23,5}{1} = 423 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (27)</p> $N_{c,Ed} \leq N_{c,Rd}$ $135,80 \leq 423 \text{ kN}$	<p><u>Otpornost poprečnog presjeka na uzdužnu tlačnu silu</u></p> <p>Proračunska nosivost na tlačnu silu dobiva se prema izrazu (26):</p> $N_{c,Rd} = \frac{41,6 \times 23,5}{1} = 977,60 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (27)</p> $592,72 \leq 977,60 \text{ kN}$ $60,63 \%$																				

32,10 %	Profil zadovoljava provjere otpornosti na razini poprečnog presjeka.
Otpornost elementa	
<p><u>Otpornost elementa na izvijanje</u></p> <p>$L_{cr} = 5,00 \text{ m}$</p> <p>Prema izrazu (30) slijedi:</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 237}{500^2} = 196,48 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (19) slijedi:</p> $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{18 \times 23,5}{196,48}} = 1,47$ <p>→krivulja izvijanja a</p> <p>$\alpha = 0,21$</p> <p>Prema izrazu (31) slijedi:</p> $\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (1,47 - 0,2) + 1,47^2]$ $\phi = 1,71$ <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $\chi = \frac{1}{1,71 + \sqrt{1,71^2 - 1,47^2}} = 0,39$ <p>Proračunska nosivost na izvijanje dobiva se prema izrazu (27):</p> $N_{b,Rd} = 0,39 \times \frac{18 \times 23,5}{1,1} = 148,66 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $135,80 \leq 148,66$ $91,35 \%$ <p>Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.</p>	<p><u>Otpornost elementa na izvijanje</u></p> <p>$L_{cr} = 5,00 \text{ m}$</p> <p>Prema izrazu (30) slijedi:</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 21000 \times 1814}{500^2} = 1503,89 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (19) slijedi:</p> $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{41,6 \times 23,5}{1503,89}} = 0,81$ <p>→krivulja izvijanja a</p> <p>$\alpha = 0,21$</p> <p>Prema izrazu (31) slijedi:</p> $\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,81 - 0,2) + 0,81^2]$ $\phi = 0,89$ <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $\chi = \frac{1}{0,89 + \sqrt{0,89^2 - 0,81^2}} = 0,79$ <p>Proračunska nosivost na izvijanje dobiva se prema izrazu (27):</p> $N_{b,Rd} = 0,79 \times \frac{41,6 \times 23,5}{1,1} = 703,97 \text{ kN}$ <p>Prema izrazu (28) slijedi:</p> $592,72 \leq 703,97$ $84,20 \%$ <p>Provjera otpornosti elementa na izvijanje zadovoljava.</p>
GRANIČNO STANJE UPORABIVOSTI	
Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (34):	Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (34):

<p>w=1,5 mm</p> <p>L=5000 mm</p> $1,5 < \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$ <p>6 %</p> <p>Provjera GSU zadovoljava.</p>	<p>w=2 mm</p> <p>L=5000 mm</p> $2 < \frac{5000}{200} = 25 \text{ mm}$ <p>8 %</p> <p>Provjera GSU zadovoljava.</p>
--	--

5.5. Proračun karakterističnih detalja

Tablica 12: Proračun DETALJA „A“ (stup-temelj)



Proračun detalja na djelovanje vlastite težine i vjetra $1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k$	Proračun detalja na djelovanje potresa $G_k + 1,2 \times A_{Ek}$																																																				
Djelovanja																																																					
$N_{Ed} = 487,73 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} = 1,14 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} = 3,19 \text{ kN}$	$N_{Ed} = 1235,40 \text{ kN}$ $V_{z,Ed} = 7,30 \text{ kN}$ $M_{y,Ed} = 16,23 \text{ kNm}$																																																				
<table border="1"> <tr><td>Čelik</td><td>S235</td></tr> <tr><td colspan="2">Vijci</td></tr> <tr><td>M12</td><td>k.v.4.6.</td></tr> <tr><td>d</td><td>12 mm</td></tr> <tr><td>d0</td><td>13 mm</td></tr> <tr><td>A</td><td>84,3 mm²</td></tr> <tr><td>e1</td><td>40 mm</td></tr> <tr><td>e2</td><td>30 mm</td></tr> <tr><td>p1</td><td>212 mm</td></tr> <tr><td>p2</td><td>160 mm</td></tr> <tr><td colspan="2">Ploča</td></tr> <tr><td>a x b</td><td>292 x 220</td></tr> <tr><td>t</td><td>10 mm</td></tr> </table>	Čelik	S235	Vijci		M12	k.v.4.6.	d	12 mm	d0	13 mm	A	84,3 mm ²	e1	40 mm	e2	30 mm	p1	212 mm	p2	160 mm	Ploča		a x b	292 x 220	t	10 mm	<table border="1"> <tr><td>Čelik</td><td>S235</td></tr> <tr><td colspan="2">Vijci</td></tr> <tr><td>M12</td><td>k.v.6.8.</td></tr> <tr><td>d</td><td>12 mm</td></tr> <tr><td>d0</td><td>13 mm</td></tr> <tr><td>A</td><td>84,3 mm²</td></tr> <tr><td>e1</td><td>40 mm</td></tr> <tr><td>e2</td><td>30 mm</td></tr> <tr><td>p1</td><td>290 mm</td></tr> <tr><td>p2</td><td>240 mm</td></tr> <tr><td colspan="2">Ploča</td></tr> <tr><td>a x b</td><td>370 x 300</td></tr> <tr><td>t</td><td>10 mm</td></tr> </table>	Čelik	S235	Vijci		M12	k.v.6.8.	d	12 mm	d0	13 mm	A	84,3 mm ²	e1	40 mm	e2	30 mm	p1	290 mm	p2	240 mm	Ploča		a x b	370 x 300	t	10 mm
Čelik	S235																																																				
Vijci																																																					
M12	k.v.4.6.																																																				
d	12 mm																																																				
d0	13 mm																																																				
A	84,3 mm ²																																																				
e1	40 mm																																																				
e2	30 mm																																																				
p1	212 mm																																																				
p2	160 mm																																																				
Ploča																																																					
a x b	292 x 220																																																				
t	10 mm																																																				
Čelik	S235																																																				
Vijci																																																					
M12	k.v.6.8.																																																				
d	12 mm																																																				
d0	13 mm																																																				
A	84,3 mm ²																																																				
e1	40 mm																																																				
e2	30 mm																																																				
p1	290 mm																																																				
p2	240 mm																																																				
Ploča																																																					
a x b	370 x 300																																																				
t	10 mm																																																				
VIJCI																																																					
<u>Otpornost vijaka na odrez</u> Proračunska otpornost vijka na odrez dobiva se prema izrazu (40): $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \quad (40)$ gdje je α_v – koeficijent (za k.v.6.8. $\rightarrow \alpha_v=0,5$) f_{ub} – vlačna čvrstoća vijka A – površina vijka kroz navoj ($A=A_s$)	<u>Otpornost vijaka na odrez</u> Proračunska otpornost vijka na odrez dobiva se prema izrazu (40): $F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 600 \times 84,3}{1,25} = 20,32 \text{ kN}$ Proračunska otpornost 4 vijka na odrez dobiva se prema izrazu (41):																																																				

γ_{M2} - parcijalni koeficijent sigurnosti za priključak ($\gamma_{M2} = 1,25$)

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times 400 \times 84,3}{1,25} = 16,19 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost 4 vijka na odrez dobiva se prema izrazu (41):

$$\overline{F_{v,Rd}} = F_{v,Rd} \times n \times m \quad (41)$$

gdje je

n – broj vijaka

m – broj reznih površina

$$\overline{F_{v,Rd}} = 16,19 \times 4 \times 1 = 64,74 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (42):

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{v,Rd}} \quad (42)$$

$$1,14 < 64,74 \text{ kN}$$

$$1,76 \%$$

Vijci na odrez zadovoljavaju.

Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču rupe dobiva se prema izrazu (43):

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \quad (43)$$

gdje je

k_1 – koeficijent (okomito na smjer naprezanja)

α_b – koeficijent (u smjeru naprezanja)

f_u - čvrstoća

d – promjer vijka

t – debljina ploče

$$\overline{F_{v,Rd}} = 20,32 \times 4 \times 1 = 80,93 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (42):

$$7,30 < 80,93 \text{ kN}$$

$$9,02 \%$$

Vijci na odrez zadovoljavaju.

Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču rupe dobiva se prema izrazu (43):

Za krajnje vijke:

$$k_1 = \min(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5)$$

$$k_1 = \min(4,76; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1)$$

$$\alpha_b = \min(1,02; 1,67; 1) = 1$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{40}{3 \times 13} = 1,02$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1 \times 360 \times 12 \times 10}{1,25} = 86,40 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču 4 rupe dobiva se prema izrazu (44):

$$\overline{F_{b,Rd}} = 86,4 \times 4 = 345,6 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (45):

$$7,30 < 345,6 \text{ kN}$$

$$2,11 \%$$

γ_{M2} - parcijalni koeficijent sigurnosti za priključak ($\gamma_{M2} = 1,25$)

Za krajnje vijke:

$$k_l = \min(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5)$$

$$k_l = \min(4,76; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1) = \min(1,03; 1,11; 1) = 1$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{40}{3 \times 13} = 1,03$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1 \times 360 \times 12 \times 10}{1,25} = 86,40 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču 4 rupe dobiva se prema izrazu (44):

$$\overline{F_{b,Rd}} = F_{b,Rd} \times n \quad (44)$$

gdje je

n – broj rupa

$$\overline{F_{b,Rd}} = 86,40 \times 4 = 345,6 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (45):

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{b,Rd}} \quad (45)$$

$$1,14 < 345,6 \text{ kN}$$

$$0,33 \%$$

Zadovoljen je pritisak po omotaču rupe.

Otpornost vijaka na vlak

Zadovoljen je pritisak po omotaču rupe.

Otpornost vijaka na vlak

$$x = 370 - 40 - 70 - \frac{12}{2} = 254 \text{ mm}$$

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{x} = \frac{16,23}{0,254} = 63,90 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost vijka na vlak dobiva se prema izrazu (46):

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 600 \times 84,3}{1,25} = 36,42 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost 2 vijka na vlak dobiva se prema izrazu (47):

$$\overline{F_{t,Rd}} = 36,42 \times 2 = 72,84 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (48):

$$63,90 < 72,84 \text{ kN}$$

$$87,73 \%$$

Vijci zadovoljavaju na vlak.

Interakcija odreza i vlaka

Interakcija odreza i vlaka slijedi iz izraza (49):

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{7,30}{4} = 1,83 \text{ kN}$$

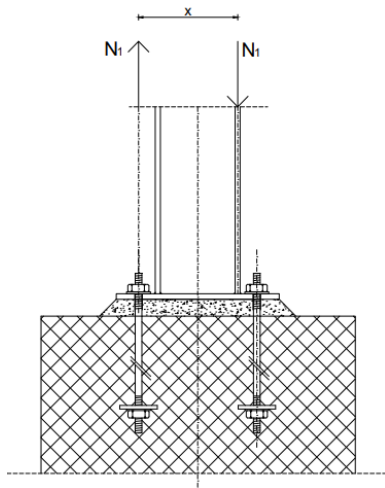
$$F_{t,Ed} = \frac{N_1}{2} = \frac{63,90}{2} = 31,95 \text{ kN}$$

$$\frac{1,83}{20,23} + \frac{31,95}{1,4 \times 36,42} \leq 1$$

$$0,72 < 1$$

$$72 \%$$

Vijci zadovoljavaju.



$$x = 292 - 40 - 70 - \frac{9}{2} = 177,5 \text{ mm}$$

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{x} = \frac{3,19}{0,1775} = 17,97 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost vijka na vlak dobiva se prema izrazu (46):

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \quad (46)$$

k_2 – koeficijent (za vijke koji nemaju upuštenu glavu $k_2 = 0,9$)

f_{ub} – vlačna čvrstoća vijka

A_s – površina vijka kroz navoj

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 400 \times 84,3}{1,25} = 24,28 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost 2 vijka na vlak dobiva se prema izrazu (47):

$$\overline{F_{t,Rd}} = F_{t,Rd} \times n \quad (47)$$

gdje je

n – broj vijaka

$$\overline{F_{t,Rd}} = 24,28 \times 2 = 48,56 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (48):

$$N_{Ed} \leq \overline{F_{t,Rd}} \quad (48)$$

$$N_1 \leq \overline{F_{t,Rd}}$$

$$17,97 < 48,56 \text{ kN}$$

$$37,01 \%$$

Vijci zadovoljavaju na vlak.

Interakcija odreza i vlaka

Interakcija odreza i vlaka slijedi iz izraza

(49):

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (49)$$

gdje je

$F_{v,Ed}$ – posmično djelovanje na 1 vijak

$F_{v,Rd}$ – proračunska otpornost vijka na odrez

$F_{t,Ed}$ - vlačno djelovanje na 1 vijak

$F_{t,Rd}$ – proračunska otpornost vijka na vlak

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{1,14}{4} = 0,29 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_1}{2} = \frac{17,97}{2} = 8,99 \text{ kN}$$

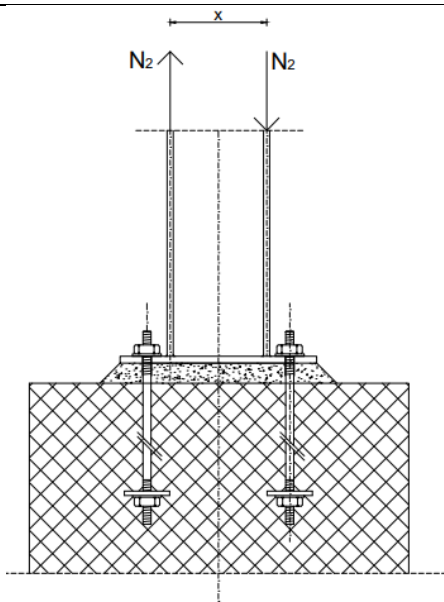
$$\frac{0,29}{16,18} + \frac{8,99}{1,4 \times 24,28} \leq 1$$

$$0,28 < 1$$

$$28 \%$$

Vijci zadovoljavaju.

ZAVAR



$$x = h - \frac{t_f}{2} - \frac{t_f}{2} = 152 - 9 = 143 \text{ mm}$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x} = \frac{3,19}{0,143} = 22,31 \text{ kN}$$

Proračunsko djelovanje na zavar dobiva se prema izrazu (50):

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{z,Ed}^2} \quad (50)$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_2^2 + \left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{22,31^2 + 0,57^2} = 22,32 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost zavora dobiva se prema izrazu (51):

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}} \times a \times \sum L}{\beta_w \times \gamma_{M2}} \quad (51)$$

gdje je

f_u – vlačna čvrstoća ploče

a – debljina zavora ($a=4 \text{ mm}$)

β_w – koeficijent ($S235 \rightarrow \beta_w=0,8$)

$$x = h - \frac{t_f}{2} - \frac{t_f}{2} = 230 - 12 = 218 \text{ mm}$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x} = \frac{16,23}{0,218} = 74,45 \text{ kN}$$

Proračunsko djelovanje na zavar dobiva se prema izrazu (50):

$$F_{w,Ed} = \sqrt{74,45^2 + \left(\frac{7,30}{2}\right)^2} = 74,54 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost zavora dobiva se prema izrazu (51):

$$\sum L = b + (b - t_w - 2 \times r)$$

$$\sum L = 240 + (240 - 7,5 - 2 \times 21)$$

$$\sum L = 430,5 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{36}{\sqrt{3}} \times 0,4 \times 43,05}{0,8 \times 1,25} = 357,91 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (52):

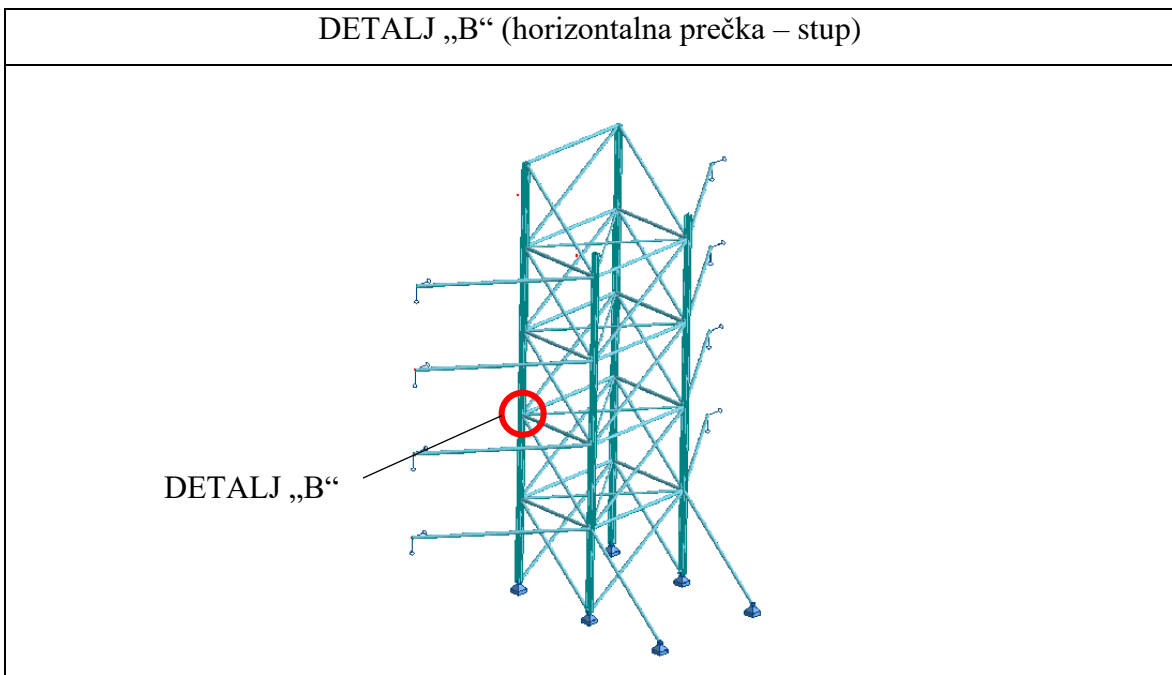
$$74,54 < 357,91 \text{ kN}$$

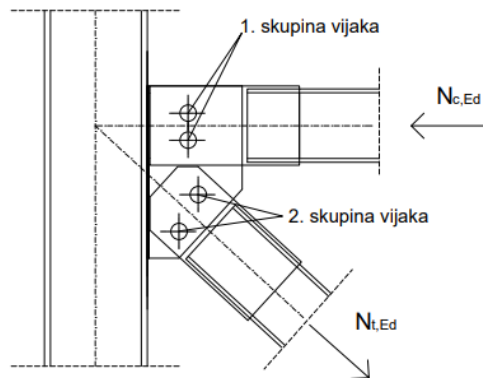
$$20,83 \%$$

Zavar zadovoljava.

<p>γ_{M2} - parcijalni koeficijent sigurnosti za priključak ($\gamma_{M2} = 1,25$)</p> <p>ΣL – ukupna duljina zavora</p> $\sum L = b + (b - t_w - 2 \times r)$ $\sum L = 160 + (160 - 6 - 2 \times 15) = 284 \text{ mm}$ $F_{w,Rd} = \frac{\frac{36}{\sqrt{3}} \times 0,4 \times 28,4}{0,8 \times 1,25} = 236,11 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (52):</p> $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (52)$ $22,32 < 236,11 \text{ kN}$ $9,45 \%$ <p>Zavar zadovoljava.</p>	
--	--

Tablica 13: Proračun DETALJA „B“ (horizontalna prečka – stup)





Proračun detalja na djelovanje vlastite težine i vjetra
 $1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k$

Proračun detalja na djelovanje potresa
 $G_k + 1,2 \times A_{Ek}$

Djelovanja

$N_{c,Ed} = 178,24 \text{ kN}$
 $N_{t,Ed} = 277,07 \text{ kN}$

$N_{c,Ed} = 442,39 \text{ kN}$
 $N_{t,Ed} = 673,67 \text{ kN}$

Čelik	S235
Vijci	
M24	k.v.10.9.
Lim	
t1	10 mm
t2	10 mm
t3	10 mm

Čelik	S235
Vijci	
M22	k.v.10.9.
Lim	
t1	10 mm
t2	10 mm
t3	10 mm

VIJCI

Otpornost vijaka na odrez

a) Za 1. skupinu vijaka
 Proračunska otpornost vijka na odrez dobiva se prema izrazu (40):

Otpornost vijaka na odrez

a) Za 1. skupinu vijaka
 Proračunska otpornost vijka na odrez dobiva se prema izrazu (40):

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 1000 \times 353}{1,25} = 141,2 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost 2 vijka na odrez dobiva se prema izrazu (41):

$$\overline{F_{v,Rd}} = 141,2 \times 2 \times 1 = 282,40 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (42):

$$178,24 < 282,40 \text{ kN}$$

$$63 \%$$

b) Za 2. skupinu vijaka

Proračunska otpornost vijka na odrez dobiva se prema izrazu (40):

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 1000 \times 353}{1,25} = 141,2 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost 2 vijka na odrez dobiva se prema izrazu (41):

$$\overline{F_{v,Rd}} = 141,2 \times 2 \times 1 = 282,40 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (42):

$$277,07 < 282,40 \text{ kN}$$

$$98,11 \%$$

Vijci na odrez zadovoljavaju.

Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

a) Za 1. skupinu vijaka

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču rupe dobiva se prema izrazu (43):

Za krajnje vijke:

$$k_t = \min\left(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 1000 \times 303}{1,25} = 121,2 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost 4 vijka na odrez dobiva se prema izrazu (41):

$$\overline{F_{v,Rd}} = 141,2 \times 4 \times 1 = 484,80 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (42):

$$442,39 < 484,80 \text{ kN}$$

$$91,25 \%$$

b) Za 2. skupinu vijaka

Proračunska otpornost vijka na odrez dobiva se prema izrazu (40):

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 1000 \times 303}{1,25} = 121,2 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost 6 vijka na odrez dobiva se prema izrazu (41):

$$\overline{F_{v,Rd}} = 121,2 \times 6 \times 1 = 727,2 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (42):

$$673,67 < 727,20 \text{ kN}$$

$$92,64 \%$$

Vijci na odrez zadovoljavaju.

Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

a) Za 1. skupinu vijaka

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču rupe dobiva se prema izrazu (43):

Za krajnje vijke:

$$k_t = \min\left(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$$

$$k_l = \min(2, 6; 2, 5) = 2, 5$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1) = \min(1, 03; 2, 78; 1) = 1$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{80}{3 \times 26} = 1, 03$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2, 5 \times 1 \times 360 \times 24 \times 10}{1, 25} = 172, 80 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču 2 rupe dobiva se prema izrazu (44):

$$\overline{F_{b,Rd}} = 172, 80 \times 2 = 345, 6 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi prema izrazu (45):

$$178, 24 < 345, 6 \text{ kN}$$

$$51, 57 \%$$

b) Za 2. skupinu vijaka

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču rupe dobiva se prema izrazu (43):
Za krajnje vijke:

$$k_l = \min(2, 8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1, 7; 2, 5)$$

$$k_l = \min(2, 6; 2, 5) = 2, 5$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1)$$

$$\alpha_b = \min(0, 83; 2, 78; 1) = 0, 83$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{65}{3 \times 26} = 0, 83$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2, 5 \times 0, 83 \times 360 \times 24 \times 10}{1, 25} = 144 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču 2 rupe dobiva se prema izrazu (44):

$$k_l = \min(3, 55; 2, 5) = 2, 5$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1) = \min(0, 76; 2, 78; 1) = 0, 76$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{55}{3 \times 24} = 0, 76$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2, 5 \times 0, 76 \times 360 \times 22 \times 10}{1, 25} = 121 \text{ kN}$$

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču 4 rupe dobiva se prema izrazu (44):

$$\overline{F_{b,Rd}} = 121 \times 2 = 484 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti slijedi prema izrazu (45):

$$442, 39 < 484 \text{ kN}$$

$$91, 40 \%$$

b) Za 2. skupinu vijaka

Proračunska otpornost na pritisak po omotaču rupe dobiva se prema izrazu (43):
Za krajnje vijke:

$$k_l = \min(2, 8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1, 7; 2, 5)$$

$$k_l = \min(3, 55; 2, 5) = 2, 5$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1)$$

$$\alpha_b = \min(0, 77; 2, 78; 1) = 0, 77$$

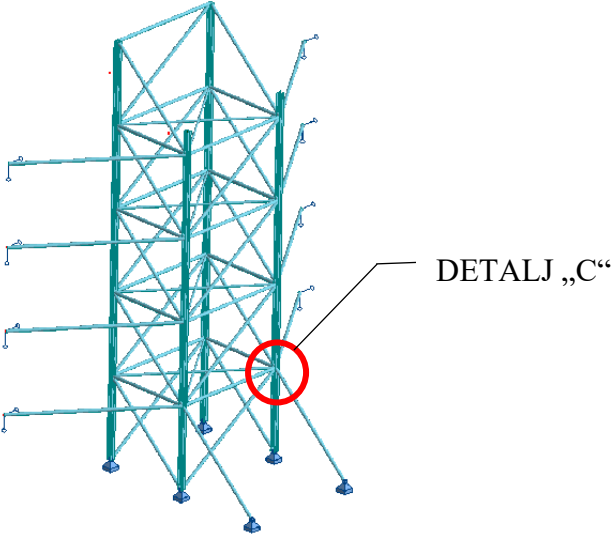
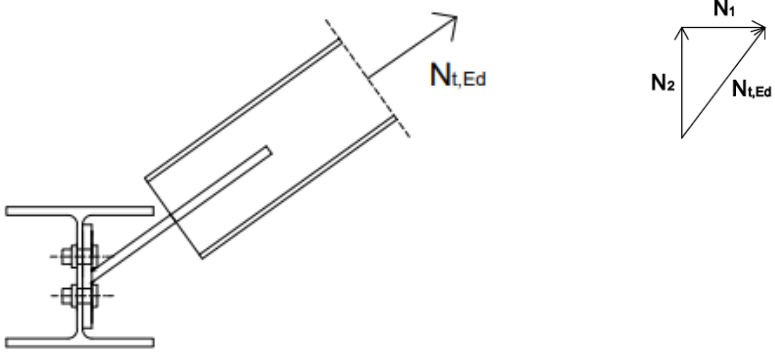
$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{55}{3 \times 24} = 0, 77$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2, 5 \times 0, 77 \times 360 \times 24 + 2 \times 10}{1, 25} = 121$$

kN

$\overline{F_{b,Rd}} = 144 \times 2 = 288 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi prema izrazu (45):</p> $277,07 < 288 \text{ kN}$ $96,20 \%$ <p>Zadovoljen je pritisak po omotaču rupe.</p>	<p>Proračunska otpornost na pritisak po omotaču 6 rupa dobiva se prema izrazu (44):</p> $\overline{F_{b,Rd}} = 121 \times 6 = 726 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi prema izrazu (45):</p> $673,67 < 726 \text{ kN}$ $92,79 \%$ <p>Zadovoljen je pritisak po omotaču rupe.</p>
<p>ZAVAR</p>	
<p>Proračunsko djelovanje na zavar dobiva se prema izrazu (50):</p> $F_{w,Ed} = \sqrt{277,07^2} = 277,07 \text{ kN}$ <p>Proračunska otpornost zavara dobiva se prema izrazu (51):</p> $\sum L = 254 \text{ mm}$ $F_{w,Rd} = \frac{\frac{36}{\sqrt{3}} \times 0,6 \times 25,4}{0,8 \times 1,25} = 316,76 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (52):</p> $277,07 < 316,76 \text{ kN}$ $87,47 \%$ <p>Zavar zadovoljava.</p>	<p>Proračunsko djelovanje na zavar dobiva se prema izrazu (50):</p> $F_{w,Ed} = \sqrt{673,67^2} = 673,67 \text{ kN}$ <p>Proračunska otpornost zavara dobiva se prema izrazu (51):</p> $\sum L = 380 \text{ mm}$ $F_{w,Rd} = \frac{\frac{36}{\sqrt{3}} \times 0,4 \times 38}{0,8 \times 1,25} = 315,93 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (52):</p> $277,07 < 315,93 \text{ kN}$ $87,69 \%$ <p>Zavar zadovoljava.</p>

Tablica 14: Proračun DETALJA „C“ (kosnik – stup)

DETALJ „C“	
	
	
Proračun detalja na djelovanje vlastite težine i vjetra $1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k$	Proračun detalja na djelovanje potresa $G_k + 1,2 \times A_{Ek}$
Djelovanja	
$N_{t,Ed} = 221,9 \text{ kN}$ $N_1 = 133,14 \text{ kN}$ $N_2 = 177,52 \text{ kN}$	$N_{t,Ed} = 585,94 \text{ kN}$ $N_1 = 351,56 \text{ kN}$ $N_2 = 468,75 \text{ kN}$

Čelik	S235	Čelik	S235
Vijci		Vijci	
M16	k.v.10.9.	M16	k.v.10.9.
d	24 mm	d	22 mm
d0	26 mm	d0	24 mm
A	353 mm ²	A	303 mm ²
e1	35 mm	e1	50 mm
e2	50 mm	e2	50 mm
p1	42 mm	p1	80 mm
p2	100 mm	p2	80 mm
t	10 mm	t	10 mm

VIJCI

<u>Otpornost vijaka na odrez</u>	<u>Otpornost vijaka na odrez</u>
<p>Proračunska otpornost vijka na odrez dobiva se prema izrazu (40):</p> $F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 1000 \times 353}{1,25} = 141,2 \text{ kN}$ <p>Proračunska otpornost 4 vijka na odrez dobiva se prema izrazu (41):</p> $\overline{F_{v,Rd}} = 141,2 \times 4 \times 1 = 564,8 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (42):</p> $N_2 \leq \overline{F_{v,Rd}}$ $177,52 < 564,8 \text{ kN}$ $31,43 \%$ <p>Vijci na odrez zadovoljavaju.</p> <p><u>Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala</u></p>	<p>Proračunska otpornost vijka na odrez dobiva se prema izrazu (40):</p> $F_{v,Rd} = \frac{0,5 \times 1000 \times 303}{1,25} = 121,2 \text{ kN}$ <p>Proračunska otpornost 6 vijka na odrez dobiva se prema izrazu (41):</p> $\overline{F_{v,Rd}} = 121,2 \times 6 \times 1 = 727,20 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (42):</p> $N_2 \leq \overline{F_{v,Rd}}$ $468,75 < 727,20 \text{ kN}$ $64,46 \%$ <p>Vijci na odrez zadovoljavaju.</p> <p><u>Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala</u></p>

<p>Proračunska otpornost na pritisak po omotaču rupe dobiva se prema izrazu (43):</p> <p>Za krajnje vijke:</p> $k_l = \min(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5)$ $k_l = \min(3,68; 2,5) = 2,5$ $\alpha_b = \min(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1)$ $\alpha_b = \min(0,45; 2,78; 1) = 0,45$ $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{35}{3 \times 26} = 0,45$ $F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 0,45 \times 360 \times 24 \times 6}{1,25} = 46,52 \text{ kN}$ <p>Proračunska otpornost na pritisak po omotaču 4 rupe dobiva se prema izrazu (44):</p> $\overline{F_{b,Rd}} = 46,52 \times 4 = 186,09 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (45):</p> $N_2 \leq \overline{F_{b,Rd}}$ $177,52 < 186,09 \text{ kN}$ $95,39 \%$ <p>Zadovoljen je pritisak po omotaču rupe.</p> <p><u>Otpornost vijaka na vlak</u></p> <p>Proračunska otpornost vijka na vlak dobiva se prema izrazu (46):</p> $F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 1000 \times 353}{1,25} = 254,16 \text{ kN}$	<p>Proračunska otpornost na pritisak po omotaču rupe dobiva se prema izrazu (43):</p> <p>Za krajnje vijke:</p> $k_l = \min(2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5)$ $k_l = \min(4,13; 2,5) = 2,5$ $\alpha_b = \min(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1)$ $\alpha_b = \min(0,69; 2,78; 1) = 0,69$ $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{50}{3 \times 24} = 0,69$ $F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 0,69 \times 360 \times 22 \times 10}{1,25} = 110,00 \text{ kN}$ <p>Proračunska otpornost na pritisak po omotaču 6 rupe dobiva se prema izrazu (44):</p> $\overline{F_{b,Rd}} = 110 \times 6 = 660 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (45):</p> $N_2 \leq \overline{F_{b,Rd}}$ $468,75 < 660 \text{ kN}$ $71,02 \%$ <p>Zadovoljen je pritisak po omotaču rupe.</p> <p><u>Otpornost vijaka na vlak</u></p> <p>Proračunska otpornost vijka na vlak dobiva se prema izrazu (46):</p> $F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 1000 \times 303}{1,25} = 218,16 \text{ kN}$
---	---

<p>Proračunska otpornost 4 vijka na vlak dobiva se prema izrazu (47):</p> $\overline{F_{t,Rd}} = 254,16 \times 4 = 1016,64 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (48):</p> $N_1 \leq \overline{F_{t,Rd}}$ $133,14 < 1016,64 \text{ kN}$ $13,10 \%$ <p>Vijci zadovoljavaju na vlak.</p> <p><u>Interakcija odreza i vlaka</u></p> <p>Interakcija odreza i vlaka slijedi iz izraza (49):</p> $F_{v,Ed} = \frac{N_2}{4} = \frac{177,52}{4} = 44,38 \text{ kN}$ $F_{t,Ed} = \frac{N_1}{4} = \frac{133,14}{4} = 33,29 \text{ kN}$ $\frac{44,38}{141,20} + \frac{33,2}{1,4 \times 44,38} \leq 1$ $0,41 < 1$ 41% <p>Vijci zadovoljavaju.</p>	<p>Proračunska otpornost 6 vijka na vlak dobiva se prema izrazu (47):</p> $\overline{F_{t,Rd}} = 218,16 \times 6 = 1308,96 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (48):</p> $N_1 \leq \overline{F_{t,Rd}}$ $351,56 < 1308,96 \text{ kN}$ $26,86 \%$ <p>Vijci zadovoljavaju na vlak.</p> <p><u>Interakcija odreza i vlaka</u></p> <p>Interakcija odreza i vlaka slijedi iz izraza (49):</p> $F_{v,Ed} = \frac{N_2}{6} = \frac{468,75}{6} = 78,13 \text{ kN}$ $F_{t,Ed} = \frac{N_1}{6} = \frac{351,56}{6} = 58,59 \text{ kN}$ $\frac{78,13}{121,20} + \frac{58,59}{1,4 \times 218,16} \leq 1$ $0,84 < 1$ 84% <p>Vijci zadovoljavaju.</p>
ZAVAR	
<p>Proračunsko djelovanje na zavar dobiva se prema izrazu (50):</p> $F_{w,Ed} = \sqrt{N_1^2 + N_2^2}$ $F_{w,Ed} = \sqrt{133,14^2 + 177,52^2} = 221,9 \text{ kN}$ <p>Proračunska otpornost zavara dobiva se prema izrazu (51):</p>	<p>Proračunsko djelovanje na zavar dobiva se prema izrazu (50):</p> $F_{w,Ed} = \sqrt{N_1^2 + N_2^2}$ $F_{w,Ed} = \sqrt{351,56^2 + 468,75^2} = 585,94 \text{ kN}$ <p>Proračunska otpornost zavara dobiva se prema izrazu (51):</p>

<p>$\sum L = 200 \text{ mm}$</p> $F_{w,Rd} = \frac{\frac{36}{\sqrt{3}} \times 0,6 \times 20}{0,8 \times 1,25} = 249,42 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (52):</p> $221,9 < 249,42 \text{ kN}$ <p style="text-align: center;">89 %</p> <p>Zavar zadovoljava.</p>	<p>$\sum L = 420 \text{ mm}$</p> $F_{w,Rd} = \frac{\frac{36}{\sqrt{3}} \times 0,7 \times 42}{0,8 \times 1,25} = 611,07 \text{ kN}$ <p>Uvjet nosivosti slijedi iz izraza (52):</p> $585,94 < 611,07 \text{ kN}$ <p style="text-align: center;">95,88 %</p> <p>Zavar zadovoljava.</p>
---	---

6. ZAKLJUČAK

Metoda rekonstrukcije građevina zadržavanjem fasade sve se češće primjenjuje kako bi se građevine od povijesne važnosti ponovno mogle upotrebljavati na siguran način, a da pritom njihov vanjski izgled ostane očuvan kao dio povijesti nekog grada. U ovakvoj metodi rekonstrukcije veliku važnost imaju privremene konstrukcije koje omogućuju uklanjanje unutarnjeg dijela konstrukcije i izgradnju nove građevine unutar postojećih fasadnih zidova. Privremene konstrukcije, kao što i sam naziv govori, potrebne su privremeno, međutim njihova je uloga jako velika i potrebna je velika pažnja pri njihovom projektiranju. Zbog njihove privremene upotrebe, one se uglavnom proračunavaju na djelovanja vlastite težine, vjetra i snijega, sva izvanredna djelovanja se zanemaruju. Često, privremeni radovi mogu potrajati dulje od predviđenog te je u ovom radu uzeto u obzir potresno djelovanje kao izvanredno djelovanje koje se može pojaviti. Uspoređeni su rezultati dobiveni proračunom bez potresnog opterećenja i s potresnim opterećenjem. U Tablici 15 dana je usporedba unutarnjih sila koje su dobivene analizom konstrukcije bez potresnog opterećenja i sa potresnim opterećenjem. Tablica 16 prikazuje za koliko je potrebno povećati dimenzije poprečnih presjeka elemenata nosive skele zbog utjecaja potresa.

Tablica 15: Usporedba unutarnjih sila dobivenih analizom konstrukcije

	Analiza konstrukcije bez potresnog opterećenja	Analiza konstrukcije s potresnim opterećenjem	Postotak povećanja unutarnjih sila
STUP	$N_{Ed}=487,73 \text{ kN}$	$N_{Ed}=1235,40 \text{ kN}$	60,52 %
	$V_{z,Ed}=1,14 \text{ kN}$	$V_{z,Ed}=7,30 \text{ kN}$	84,38 %
	$M_{y,Ed}=3,19 \text{ kNm}$	$M_{y,Ed}=16,23 \text{ kNm}$	80,35 %
HORIZONTALNI NOSAČ	$N_{Ed}=178,24 \text{ kN}$	$N_{Ed}=433,31 \text{ kN}$	58,87 %
DIJAGONALA	$N_{Ed}=41,88 \text{ kN}$	$N_{Ed}=651,19 \text{ kN}$	93,57 %
HORIZONTALNA STABILIZACIJA	$N_{Ed}=61,76 \text{ kN}$	$N_{Ed}=165,48 \text{ kN}$	62,68 %
KOSNIK	$N_{Ed}=135,80 \text{ kN}$	$N_{Ed}=592,72 \text{ kN}$	77,09 %

Tablica 16: Usporedba dimenzija poprečnih presjeka

	Poprečni presjek bez potresnog opterećenja	Poprečni presjek s potresnim opterećenjem	Postotak povećanja presjeka
STUP	HEA 160	HEA 240	49,54 %
HORIZONTALNI NOSAČ	Ø 108/5,6	Ø 193,7/7,1	56,73 %
DIJAGONALA	Ø 108/5,6	Ø 193,7/7,1	56,73 %
HORIZONTALNA STABILIZACIJA	Ø 70	Ø 90	39,52 %
KOSNIK	Ø 108/5,6	Ø 193,7/7,1	56,73 %

Prema rezultatima koji su dobiveni proračunom i prikazani tablično vidi se da potresno djelovanje značajno utječe na nosivost skele. Vidljivo je povećanje unutarnjih sila za više od 50 % u svim elementima, a u nekim povećanje prelazi i 80 %. Povećanje unutarnjih sila rezultira i povećanjem dimenzija poprečnih presjeka za ~ 50 %.

Ukoliko u proračunu privremene konstrukcije skele za pridržavanje zida nije uzeto u obzir potresno opterećenje, pri djelovanju potresnog opterećenja moguće je da će biti ugrožena nosivost i stabilnost zida i same nosive skele.

Stoga je kod projektiranja privremenih konstrukcija potrebno razmotriti je li racionalno uzeti u obzir potresno opterećenje, posebno ako se radi o građevinskim radovima koji mogu trajati duži period.

7. LITERATURA

- [1] Krolo, P., Mrak, P., Čelične konstrukcije nosivih skela za pridržavanje fasade u procesu rekonstrukcije povijesnih građevina, Ciklus predavanja: Znanjem za Zagreb (i Hrvatsku) – Zagrebu od Rijeke, Rijeka, 2021.
- [2] Bussel, M., Lazarus, D., Ross, P., Retention of masonry facades-best practice guide. CIRIA C579, London, 2003.
- [3]<https://www.bankofengland.co.uk/museum/online-collections/archive-gallery/rebuilding-of-the-bank> ,23.3.2021.
- [4] Goodchild Kaminski, Retention of major facades, London, 1989.
- [5] <https://urbantoronto.ca/news/2020/02/throwback-thursday-westinghouse-building-and-king-blue-condos> , 28.4.2021.
- [6] www.careys.co/scudder-demolition/projects/lots-road , 28.4.2021.
- [7] <http://www.fairhurst.co.uk/project/crispin-house/> ,27.3.2021.
- [8] <https://wentworth-house.co.uk/projects/> , 29.3.2021.
- [9] <http://www.coleman-group.co.uk/projects/details.aspx?positionId=260> , 30.4.2021.
- [10] <http://www.lokalpatrioti-rijeka.com/forum/viewtopic.php?p=80518> , 7.5.2021.
- [11] <https://www.rijeka.hr/potpisan-ugovor-o-radovima-na-rekonstrukciji-buduce-zgrade-gradske-knjiznice/> , 27.4.2021.
- [12] <https://gkr.hr/Magazin/Novosti/Vijesti-iz-Bencica-11-do-temelja-ociscen-t-objekt-i-prve-police-u-buducjoj-djecjoj-knjiznici> , 27.4.2021.
- [13] <https://rijeka2020.eu/o-epk-projektu/obnova-zgrada/djecja-kuca/> ,10.4.2021.
- [14] <http://pogledaj.to/arhitektura/djecja-kuca-u-rijeci/> ,10.4.2021.
- [15]<https://rijeka2020.eu/djecja-kuca-napreduje-u-izgradnji-u-buducem-art-kvartu/> ,10.4.2021.
- [16] <https://torpedo.media/radovi-na-t-objektu-i-ciglenu-kuca-rikard-bencic/> ,10.4.2021.

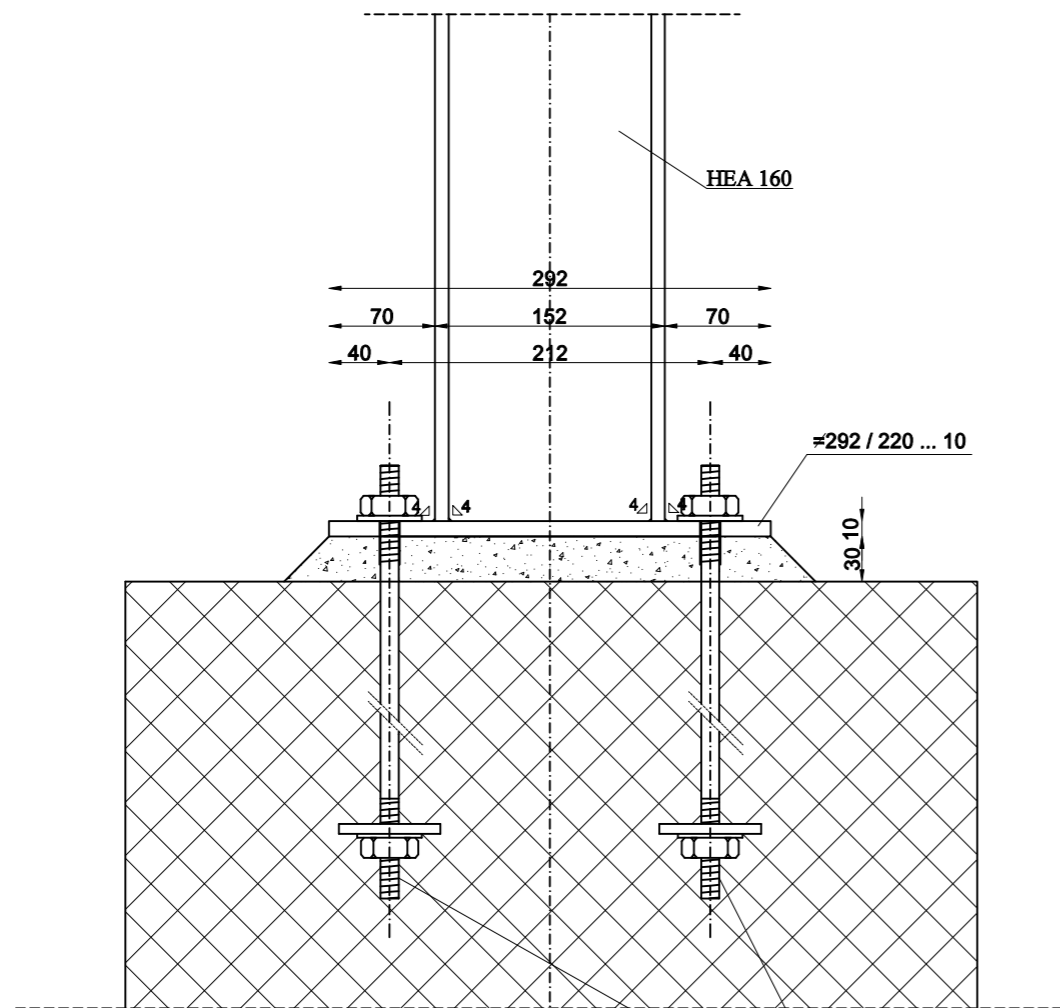
- [17] Robot Structural Analysis Professional, BIM structural analysis software for engineers, Autodesk, student version, dostupno na <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>
- [18] HRN EN 1991-1-4:2012 Eurocod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanje vjetra, Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2012
- [19] nHRN EN 1991-1-4:2012/NA Eurocod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanje vjetra – Nacionalni dodatak, Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2012
- [20] HRN EN 1998-1:2008- Eurokod 8 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade - Zagreb: HZN/TO 548, Konstrukcijski eurokodovi, 2008.
- [21] STAAD.Pro, 3D Structural Analysis and Design Software, Bentley, student version, dostupno na <https://www.bentley.com/en/products/product-line/structural-analysis-software/staadpro>

PRILOZI

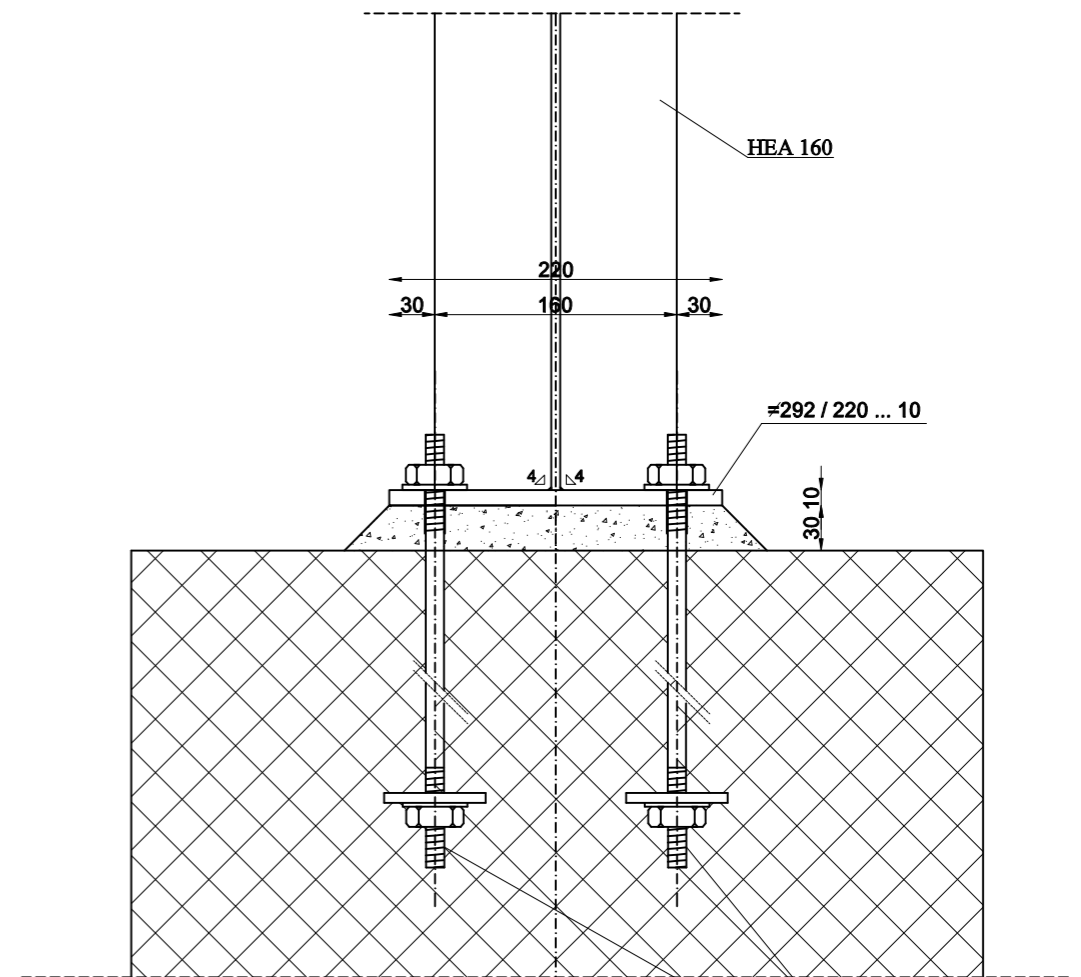
List 1: Detalj A, M 1:5

List 2: Detalj B, M 1:5

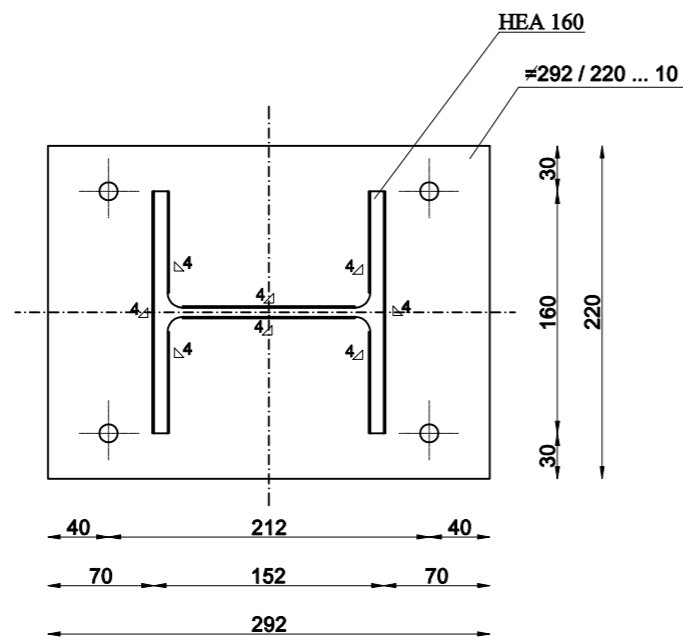
List 3: Detalj C, M 1:5



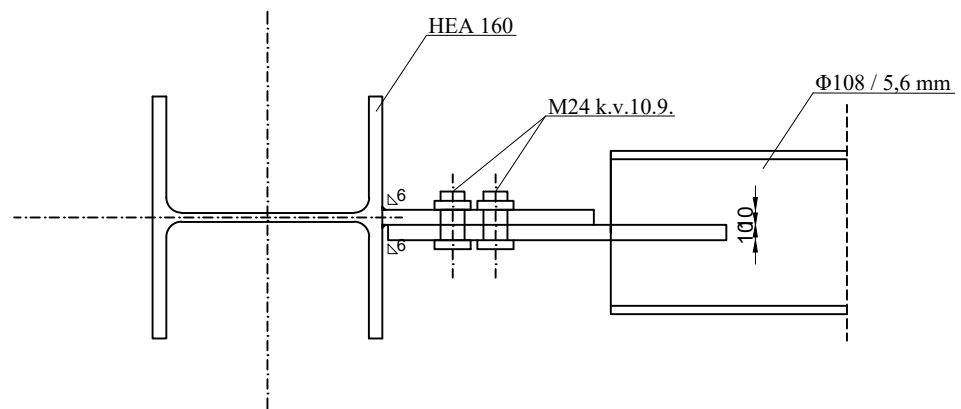
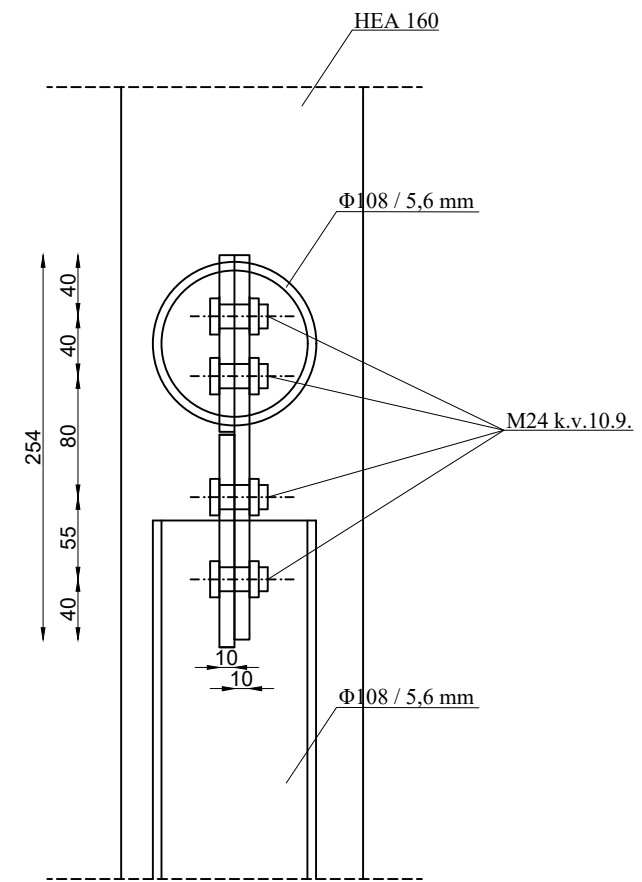
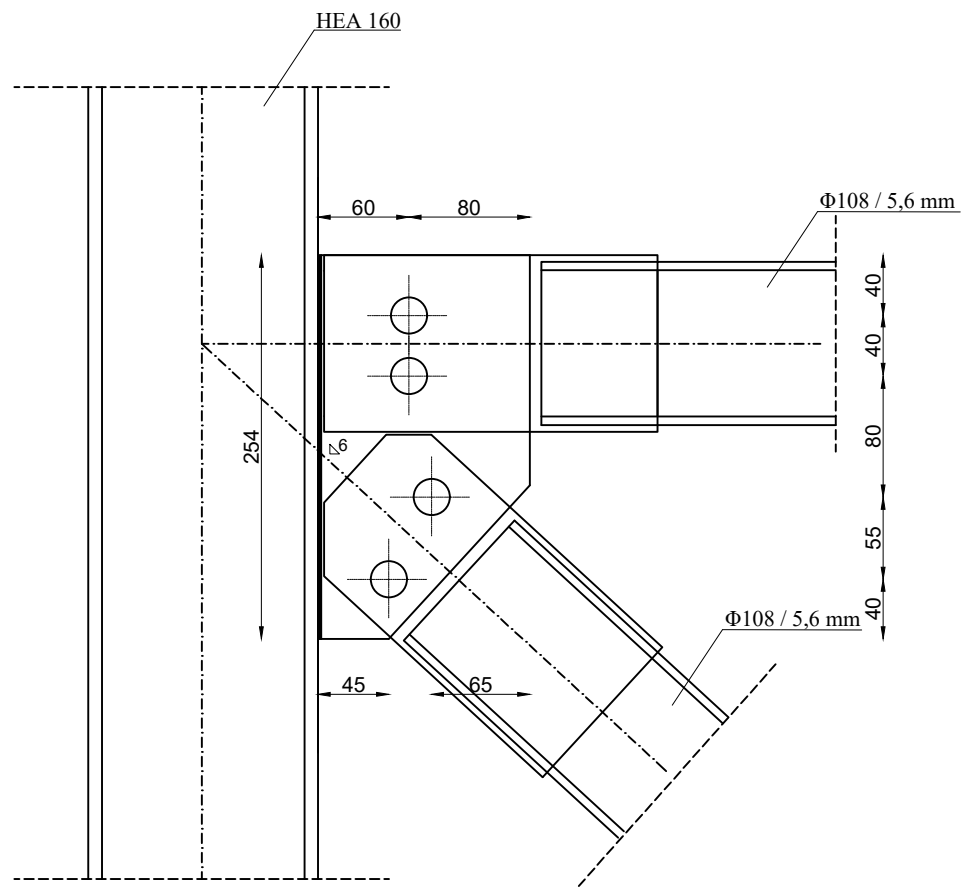
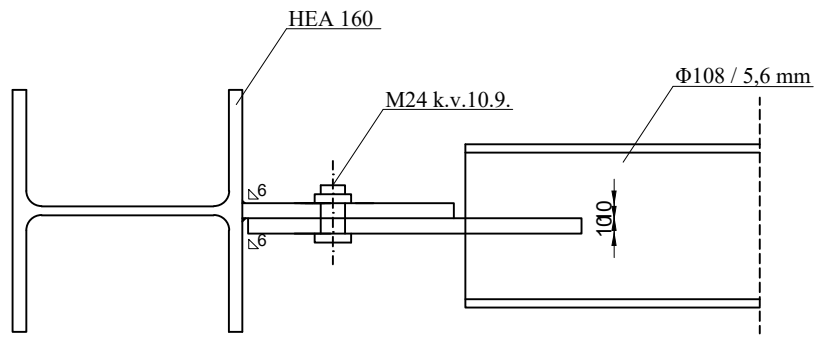
SIDRENI VIJAK 4xM12 k.v.4.6.
S PODLOŽNOM PLOČICOM



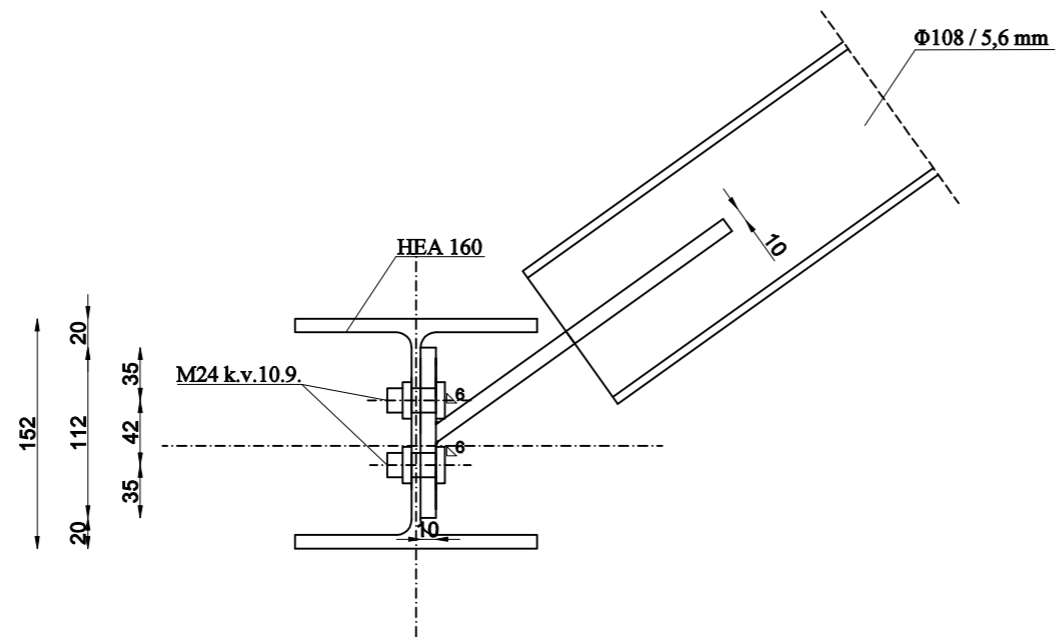
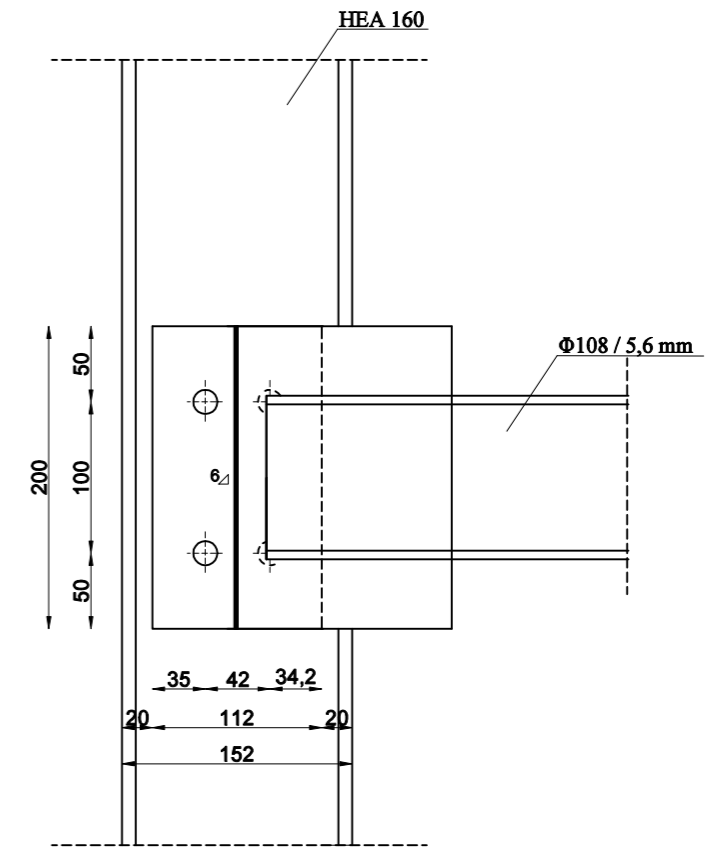
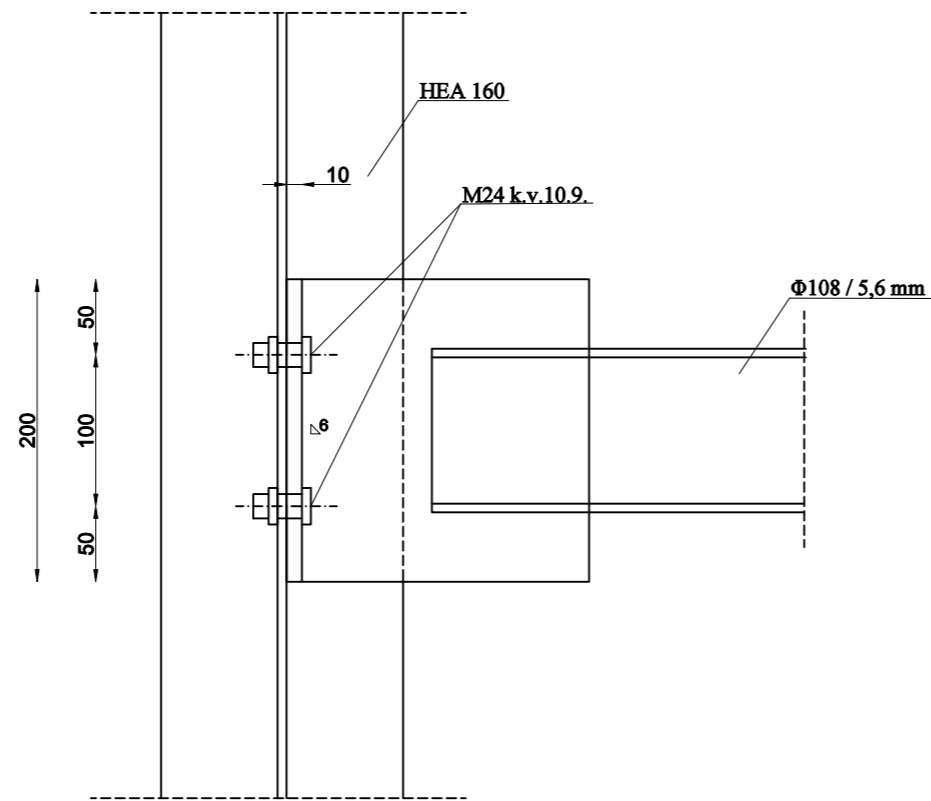
SIDRENI VIJAK 4xM12 k.v.4.6.
S PODLOŽNOM PLOČICOM



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad		Sadržaj nacrt:	
Utjecaj potresnog opterećenja na nosivost čelične teške skele za pridržanje zidova ciglene zgrade		Detalj A	
Student: Leona Zajec		Kolegij: Čelične konstrukcije	
Mentor: doc.dr.sc. Paulina Krolo	Datum: IX 2021.	Mjerilo: 1:5	List: 1



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad		Sadržaj nacrt:	
Utjecaj potresnog opterećenja na nosivost čelične teške skele za pridržanje zidova ciglene zgrade		Detalj B	
Student: Leona Zajec		Kolegij: Čelične konstrukcije	
Mentor: doc.dr.sc. Paulina Krolo	Datum: IX 2021.	Mjerilo: 1:5	List: 2



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad		Sadržaj nacрта:	
Utjecaj potresnog opterećenja na nosivost čelične teške skele za pridržanje zidova ciglene zgrade		Detalj C	
Student: Leona Zajec		Kolegij: Čelične konstrukcije	
Mentor: doc.dr.sc. Paulina Krolo	Datum: IX 2021.	Mjerilo: 1:5	List: 3