Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

Visokošolski program Gradbeništvo,
Konstrukcijska smer

Kandidat:
Gregor Čufer

Projekt večetažne poslovne stavbe

Diplomska naloga št.: 214

Mentor:
prof. dr. Jože Korelc

Somentor:
asist. dr. Peter Skuber

Ljubljana, 26. 1. 2006

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **GREGOR ČUFER** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: "**PROJEKT VEČETAŽNE POSLOVNE STAVBE".**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 26.01.2006

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: **006(497.4):624.014.2(043.2)**

Avtor: **Gregor Čufer**

Mentor: **izr. prof. dr. Jože Korelc**

Somentor: **asist. dr. Peter Skuber**

Naslov: **Projekt večetažne poslovne stavbe**

Obseg in oprema: **110 str.**

Ključne besede: **jeklena konstrukcija**

Izvleček:

Diplomsko delo obravnava statični izračun večetažne jeklene stavbe. Prvi del računa obsega globalno analizo konstrukcije. Analiza konstrukcije je bila opravljena po elastični analizi II. reda z upoštevanjem začetnih geometrijskih nepopolnosti konstrukcije. Za izračun notranjih statičnih količin in dimenzioniranje elementov konstrukcije smo uporabili program ESA Prima Win. Za določitev potresne obtežbe smo uporabili metodo ekvivalentne statične obremenitve. Potresno obremenitev nadomestimo z ekvivalentno koncentrirano silo, ki jo razdelimo na posamezne etaže. Velikost te sile je odvisna od mase objekta, lastnega nihajnega časa konstrukcije, izračunanega v omenjenem programu in se določi s pomočjo projektnega spektra odziva. Za prevzem horizontalne obtežbe v vzdolžni smeri uporabimo diagonalno centrično povezje. Medetažna konstrukcija, vključno s streho je zasnovana kot AB plošča na sovprežnih nosilcih. Izračunani so značilni spoji in podane so obremenitve na temelje. Izdelani so pozicijski načrti in delavniški načrti značilnih spojev.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: **006(497.4):624.014.2(043.2)**

Author: **Gregor Čufer**

Supervisor: **prof. dr. Jože Korelc**

Co-Supervisor: **assist. dr. Peter Skuber**

Title: **Design of Multistorey Building**

Notes: **110 p.**

Key words: **steel frame**

Abstract

The present work focuses on the static calculation of a multistorey building. The first part of the calculation is about the global analysis of the construction. The construction analysis was carried out by means of the elastic analysis of second degree and I had to include geometrical imperfections of the construction from the very beginning. To calculate the inner statical quantity and that the elements of the construction could be dimensioned, I used the ESA Prima Win programme. To establish the seismic load of the construction I used the method of the equivalent static load. The seismic load is replaced by the equivalent concentrated force, which is then distributed to all the storeys. The magnitude of the force depends on the first time period of the construction itself – this time is calculated with the help of the already mentioned programme. The magnitude of the force is set by the help of the design spectrum for elastic analysis. To take over the horizontal load in the longitudinal course, we use the concentric braced system.

The construction between storeys, including the roof, is being modeled as an RC (reinforced concrete) slab on composite beams. The calculations are typical joints and also loads that work on foundations. I have also created the position plans of typical joints.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. J. Korelcu in somentorju asist. dr. P. Skuberju. Hvala tudi vsem na katedri, ki so mi omogočili prijetno delovno vzdušje.

Zahvalil bi se tudi svojima staršema, ki sta mi skozi vsa leta študija nudila pomoč.

KAZALO VSEBINE:

1 UVOD

1.1 Namen naloge

Cilj diplomske naloge je statični izračun večetažne poslovne stavbe v jekleni izvedbi. Statični izračun je narejen za pridobitev gradbenega dovoljenja. V tej nalogi sem skušal prikazati potek in metode projektiranja ter dimenzioniranja elementov jeklene konstrukcije po slovenskih standardih EVROCODE. Analiza konstrukcije je bila opravljena po elastični analizi II. reda z upoštevanjem začetnih geometrijskih nepopolnosti konstrukcije. Za izračun notranjih statičnih količin in dimenzioniranje elementov konstrukcije sem uporabil program ESA-Prima Win.

1.2 Opis naloge

Zasnova konstrukcije temelji na arhitekturnih podlagah objekta. Pri globalni analizi sem računal ravninski momentni okvir v prečni smeri in vertikalno povezje v vzdolžni smeri. Medetažna konstrukcija in ravna streha sta iz AB plošče, ki leži na sovprežnih nosilcih in predstavljata togo šipo. V prečni smeri sem obravnaval dva momentna okvirja, in sicer zunanji okvir, na katerega odpade pol toliko vertikalne obtežbe kot na notranji okvir, ter notranji okvir. V vzdolžni smeri pa diagonalno centrično povezje, s katerim prevzamemo horizontalno obtežbo v vzdolžni smeri.

Zaradi večje površine prostorov in več etaž je vzeta zmanjšana koristna obtežba.

Obtežba snega je odvisna od geometrije strehe, geografskega področja kjer objekt stoji in od nadmorske višine.

Vpliv vetra sem obravnaval ločeno za vzdolžno in prečno smer. Hitrost vetra se odčita iz karte in je odvisna od geometrije objekta in izpostavljenosti. V vzdolžni smeri ga prevzame povezje, v prečni smeri pa momentni okvirji. Ločimo zunanji in notranji vpliv vetra na konstrukcijo. Celotni vpliv vetra je upoštevan kot vsota zunanjega in notranjega delovanja.

Za določitev potresne obtežbe sem uporabil metodo ekvivalentne statične obremenitve. Potresno obremenitev nadomestimo z ekvivalentno koncentrirano silo, ki jo razdelimo na posamezne etaže. Velikost te sile je odvisna od mase objekta, lastnega nihajnega časa konstrukcije in se določi s pomočjo projektnega spektra odziva. Pospešek temeljnih tal je $a_g = 0.175$. Za zmanjšanje potresnih sil se pri momentnih okvirjih upošteva faktor obnašanja $q = 6$, pri povezju pa $q = 4$. S tem faktorjem se upošteva sposobnost sipanja energije.

Globalno analizo sem naredil z računalniškim programom ESA Prima Win. Izračunal sem notranje statične količine in pomike za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti z upoštevanjem začetne geometrijske nepopolnosti konstrukcije.

Po izračunu notranjih statičnih količin sem v omenjenem programu dimenzioniral posamezne elemente konstrukcije. Elemente dimenzioniramo na najbolj neugodno obtežno kombinacijo. Ker so notranje sile izračunane po teoriji drugega reda, so uklonske dolžine okoli močne osi enake sistemski dolžini elementov. V računalniškem programu je potrebno posebej podati razdaljo med bočnimi podporami na posameznih elementih zaradi uklona okoli šibke osi in bočne zvrnitve. Izbral sem konstrukcijsko jeklo S 235.

Dimenzioniral sem izbrane spoje konstrukcije in določil težo objekta. Narisal sem delavniški načrt za izbrane spoje in pozicijske načrte.

1.3 Upoštevanje nepopolnosti

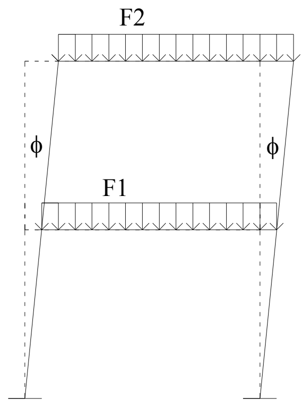
Ločimo:
- globalno nepopolnost konstrukcije
- lokalno nepopolnost konstrukcije
- globalno + lokalno nepopolnost konstrukcije

Pri računski analizi konstrukcije je potrebno na primeren način upoštevati vse pomembne nepopolnosti, ki se lahko pojavijo pri izdelavi in montaži:

- zaostale napetosti in deformacije
- odstopanje od vertikale
- neravnost elementov
- netočno naleganje
- manjše ekscentričnosti v stikih
- nehomogenost materiala

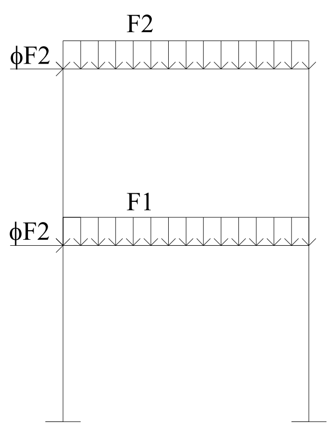
Naštete nepopolnosti lahko upoštevamo z nadomestnimi geometrijskimi nepopolnostmi pri globalni analizi konstrukcije. To lahko storimo na dva načina:

1. Pri geometriji konstrukcije (pri pripravi vhodnih podatkov programa) z vpeljavo kota Φ, ki predstavlja nagib stebrov nepopolnega okvirja od vertikale.



Nadomestna geometrijska nepopolnost ϕ

2. Nadomestna horizontalna obtežba, ki deluje na okvir z idealno geometrijo.



Nadomestne horizontalne sile

Manj obremenjenih stebrov (z osno silo, manjšo od polovice povprečne vrednosti) ne upoštevmo v n_c. Stebrov, ki se ne raztezajo skozi vse etaže, in prečk, ki niso priključene na vse stebre, vključene v n_c, ne upoštevamo.

Nadomestne geometrijske nepopolnosti Φ uporabimo pri globalni analizi okvirjev, izračunane notranje sile pa pri dimenzioniranju posameznih elementov.

Nepopolnost okvirjev je odvisna od:

$\Phi = k_c k_s \Phi_0$

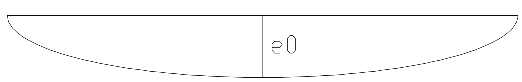
- n_c...št. etaž $\quad k_c = \sqrt{0.5 + \frac{1}{n_c}} \leq 1.0$

- n_s...št. razponov $\quad k_s = \sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}} \leq 1.0$

$\Phi_0 = \frac{1}{200}$

$H_{Sd} \geq 0.15 V_{Sd}$ ... če to velja, potem globalne nepopolnosti ni potrebno upoštevati.

Lokalna nepopolnost:



$e_0 = \alpha(\bar{\lambda} - 0.2)\frac{W_{el}}{A} k_\gamma$ … elastična analiza

$e_0 = \alpha(\bar{\lambda} - 0.2)\frac{W_{pl}}{A} k_\gamma$ … plastična analiza

$\bar{\lambda}$...primerjalna vitkost

α, k_γ...faktorji po EC3

1.4 Odpornost okvirjev proti horizontalni obtežbi

Konstrukcije morajo biti dovolj odporne proti horizontalni obtežbi. Odpornost lahko zagotavljajo okvirji sami s togimi stiki prečka – steber, ki so sposobni prevzeti momentne obremenitve in s tem horizontalno obtežbo, ali z dodatnimi konstruktivnimi sistemi, ki namesto okvirja prevzemajo horizontalno obtežbo (povezja, betonske stene in jedra).

1.4.1 Razdelitev okvirjev na pomične in nepomične

Okvir razvrstimo med pomične okvirje, kadar ne moremo zanemariti povečanja upogibnih momentov zaradi horizontalnih pomikov vozlišč.

$$\frac{V_{Sd}}{V_{cr}} \leq 0.1 \quad \text{…nepomičen okvir (linearna analiza TPR)}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{cr}} \leq 0.1 \quad \text{…pomičen okvir (TDR)}$$

V_{Sd}…projektna vrednost skupne vertikalne obtežbe

V_{cr}…elastična kritična obtežba

1.4.2 Razvrstitev okvirjev na podprte in nepodprte

Okvir je podprt, če je togost podpore glede na horizontalno obtežbo (povezje, betonsko jedro) vsaj petkrat večja od togosti okvirja samega. Podprti okvirji so vedno nepomični, nepodprti okvirji pa so lahko pomični ali nepomični. Pri podprtih okvirjih lahko predpostavimo, da vso horizontalno obtežbo prevzame povezje, ki ga dimenzioniramo glede na:

- horizontalno obtežbo, ki deluje ne podpirani okvir
- horizontalno vertikalno obtežbo, ki deluje neposredno na povezje
- horizontalno obtežbo zaradi nadomestnih geometrijskih nepopolnosti podprtih okvirjev in povezja samega.

Podprte okvirje dimenzioniramo samo glede na vertikalno obtežbo.

1.5 Stabilnost pomičnih okvirjev

1.5.1 Elastična analiza pomičnih okvirjev

Pomične okvirje je potrebno analizirati po teoriji drugega reda ob upoštevanju začetnih geometrijskih nepopolnosti. Pri dimenzioniranju posameznih elementov privzamemo za uklonske dolžine v ravnini okvirja (pri ravninskih okvirjih) kar sistemske dolžine elementov. S tem v fazi dimenzioniranja upoštevamo tudi vpliv lokalnih geometrijskih nepopolnosti elementov. Vpliv globalnih geometrijskih nepopolnosti je zajet v globalni analizi po TDR.

Uklonske dolžine za bočno zvrnitev in uklon izven ravnine okvirja je potrebno določiti glede na način podpiranja v smeri izven ravnine okvirja. Običajno lahko za te uklonske dolžine z zadovoljivo natančnostjo privzamemo razdalje med bočnimi podporami.

Globalno analizo pomičnih okvirjev lahko opravimo tudi po teoriji prvega reda in vplive teorije drugega reda upoštevamo na poenostavljen način:

- upogibne momente po teoriji drugega reda izračunamo tako, da pri rezultatih linearne analize delež upogibnih momentov, ki so posledica horizontalnega pomika vozlišč okvirja povečamo s faktorjem $k_\delta = \frac{1}{1 - V_{Sd}/V_{cr}}$. Metodo lahko uporabljamo, dokler V_{Sd}/V_{cr} ne preseže vrednosti 0.25. Pri dimenzioniranju posameznih elementov privzamemo za uklonske dolžine v ravnini okvirja sistemske dolžine elementov.
- notranje sile izračunamo po teoriji prvega reda, v postopku dimenzioniranja posameznih elementov pa uporabimo dejanske uklonske dolžine. V tem primeru je potrebno delež momentov, ki so posledica horizontalnih pomikov vozlišč, v prečkah in stikih prečka – steber pomnožiti s faktorjem 1.2.

Slovenski standardi, ki so bili uporabljeni v diplomski nalogi:

- SIST ENV 1991-1 Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije: Osnove projektiranja
- SIST ENV 1991-2-1 Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije: Vplivi na konstrukcije – Gostote, lastne teže in koristne obtežbe
- SIST ENV 1991-2-3 Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije: Vplivi na konstrukcije - Obtežbe snega
- SIST ENV 1991-2-4 Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije: Vplivi na konstrukcije - Vplivi vetra
- SIST ENV 1993-1-1 Projektiranje jeklenih konstrukcij: Splošna pravila in pravila za stavbe
- SIST ENV 1994 Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona: Splošna pravila in pravila za stavbe
- OSIST ENV 1998-1-1 Projektiranje potresno odpornih konstrukcij: Splošna pravila – Potresna obtežba in splošne zahteve za konstrukcije
- OSIST ENV 1998-1-2 Projektiranje potresno odpornih konstrukcij: Splošna pravila – Splošna pravila za stavbe
- OSIST ENV 1998-1-3 Projektiranje potresno odpornih konstrukcij: Splošna pravila – Posebna pravila za različne materiale in elemente

2 TEHNIČNO POROČILO

2.1 ZASNOVA

Izdelan je statični račun nosilne jeklene konstrukcije poslovne stavbe na Jesenicah.

Tlorisne dimenzije objekta so 20.0 m × 19.8 m. Konstrukcija ima pritličje in 9 etaž. Višina pritličja je 3.6 m, višina ostalih etaž pa 3.0 m. Projekt je narejen v skladu s slovenskim standardom EVROCODE.

2.2 STATIČNI SISTEM

Statični sistem predstavlja v smeri X pet momentnih okvirjev. V momentnem okvirju so priključki togi. V smeri Y pa so na momentni okvir členkasto priključene prečke s koncentričnim diagonalnim povezjem, s katerim prevzamemo horizontalno obtežbo v vzdolžni smeri. Medetažna konstrukcija in ravna streha sta iz AB plošče, ki leži na sovprežnih nosilcih. Streha in sovprežni strop predstavljajo togo šipo in zagotavljajo horizontalno togost. Začetna nepopolnost je upoštevana z začetnim nagibom konstrukcije glede na vertikalo.

2.3 OBTEŽBA

-lastna obtežba (streha 5.17 kN/m^2; medetažna konstrukcija 4.65 kN/m^2; fasada 0.5 kN/m^2; predelne stene 0.8 kN/m^2; parapet na strehi 7.5 kN/m)

- koristna obtežba (pisarne 3.0 kN/m^2; streha 0.75 kN/m^2; stopnice 3.0 kN/m^2)
- sneg (s = 2.16 kN/m^2)
- veter – hitrost vetra je 25 m/s
- potres – računski pospešek tal je 0,175g (g = pospešek prostega pada)

2.4 MATERIAL

Nosilna konstrukcija objekta se izvede v jeklu kvalitete S 235. Armatura v sovprežnem stropu je kvalitete S 500. Medetažna plošča je iz armiranega betona, kvalitete C 25/30. Mozniki NELSON f_y/f_u = 350/450 kN/mm^2.

2.5 IZBRANI PREREZI

Nosilna konstrukcija je sestavljena iz dveh zunanjih in treh notranjih momentnih okvirjev. Pri zunanjemu okvirju so zunanji stebri iz profilov HEA 400, notranji pa iz profilov HEA 500. Prečke zunanjega okvirja so iz profilov IPE 360 in IPE 400. Notranji momenti okvir, ki je bolj obremenjen, pa je sestavljen iz zunanjih stebrov HEA 700 in notranjih stebrov HEA 800. Prečke v zunanjih poljih, dolžine 6.8 m, so iz profilov IPE 450, prečke v notranjem polju, razpona 6.2 m in manjšo obtežbo, pa iz profilov IPE 330. V vzdolžni smeri so momentni okvirji med seboj povezani s prečkami profila IPE 300. Natezne diagonale, za prevzem horizontalne obtežbe v vzdolžni smeri, se z višino zmanjšujejo in so iz votlih cevi premera 139,7 mm različnih debelin. Sekundarni nosilci sovprežnega stropa so iz profilov IPE 200.

2.6 PRIKLJUČKI

Momentni spoj primarnega nosilca in stebra prečnega okvirja je vijačen z visokovrednimi vijaki 12×M20 10.9 preko čelne pločevine ≠ 180/30/580. Čelna pločevina je s čelnimi zvari pritrjena na prečko. Stebri so na mestu priključkov ojačani.

Členkasti spoj sekundarnega nosilca na primarni nosilec je vijačen z visokovrednimi vijaki 3×M12 10.9 preko vezne pločevine ≠ 45/6/140. Vezna pločevina je z dvostranskim kotnim zvarom 5mm⊿125mm privarjena na stojino primarnega nosilca.

Priključek nateznih diagonal na nosilno konstrukcijo je vijačen z visokovrednimi vijaki 3×M33 10.9 preko vezne pločevine ≠ 200/24/630. Zvar med vezno pločevino in diagonalo je kotni 6mm⊿250mm.

Priključek stebra na temelj je vijačen s sidri 6×M30 preko čelne pločevine ≠ 480/28/1500. Čelna pločevina je z dvostranskim kotnim zvarom 8mm⊿550mm pritrjena na stojino stebra in z enostranskim kotnim zvarom 10mm⊿1400mm na vezni pločevini ≠ 690/30/1400, ki sta z enostranskimi kotnimi zvari 5mm⊿600mm pritrjeni na pasnici stebra.

Priključki primarnega nosilca na steber, povezja na steber in stebra na temelj so polnonosilni.

2.7 DINAMIČNA ANALIZA

Stavba stoji v VII. potresni coni. Potresne sile so določene s projektnim spektrom odziva za elastično analizo, ki upošteva disipacijo potresne energije. Konstrukcija je potresnovarno projektirana v skladu s posebnimi pravili, ki veljajo za gradnjo jeklenih konstrukcij na potresnih območjih OSIST ENV 1998. Za momentne okvirje se upošteva faktor obnašanja q = 6, za povezje pa q = 4. S tem faktorjem se upošteva sposobnost sipanja energije.

2.8 STREHA

Konstrukcijski sklop ravne, pohodne, toplotno izolirane in vodotesne strehe je: -prodec [10 cm], HI, TI [10 cm], AB plošča [12 cm], jekleni nosilec.

2.9 FASADA

Objekt ima stekleno montažno fasado. Podkonstrukcija za fasado iz aluminija, ki je pritrjena na glavno nosilno konstrukcijo ni predmet projekta. Fasada je tipska, proizvajalca IMPOL-MONTAL.

2.10 DVIGALA

Jašek za dvigalo je samostojni objekt v AB izvedbi, dilatacijsko ločen od nosilne jeklene konstrukcije. Debelina sten je 20 cm. Strojnica dvigala se nahaja pod streho in je prezračevana preko zračnikov.

2.11 INŠTALACIJE

Vertikalne inštalacije potekajo preko inštalacijskih odprtin (jaški). Horizontalne inštalacije potekajo pod visečim stropom. Na zahtevo inštalaterja pa se horizontalni vodi lahko vodijo preko stojin prečk, katere pa je potrebno primerno ojačati.

2.12 IZDELAVA IN MONTAŽA KONSTRUKCIJSKIH ELEMENTOV

Pri izdelavi in montaži konstrukcijskih elementov je potrebno upoštevati določila ENV 1090-1. S pravilnim vrstnim redom montaže je potrebno zagotoviti stabilnost konstrukcije v času montaže. Sovprežne nosilce moramo v času montaže vertikalno in bočno podpreti. Vertikalne podpore damo na sredino nosilca, bočne podpore pa so na razdalji 70 cm. Posebno pozornost je potrebno posvetiti geometrijskim tolerancam ter izdelavi in kontroli kvalitete zvarov. Mere v načrtih so nominalne in jih je potrebno natančno določiti glede na dejansko geometrijo konstrukcije. Spremembe na nosilni konstrukciji so dovoljene samo v soglasju z odgovornim projektantom. Zagotoviti je potrebno strokovni nadzor nad izvajanjem jeklene konstrukcije. Nadzor mora opraviti strokovnjak za jeklene konstrukcije.

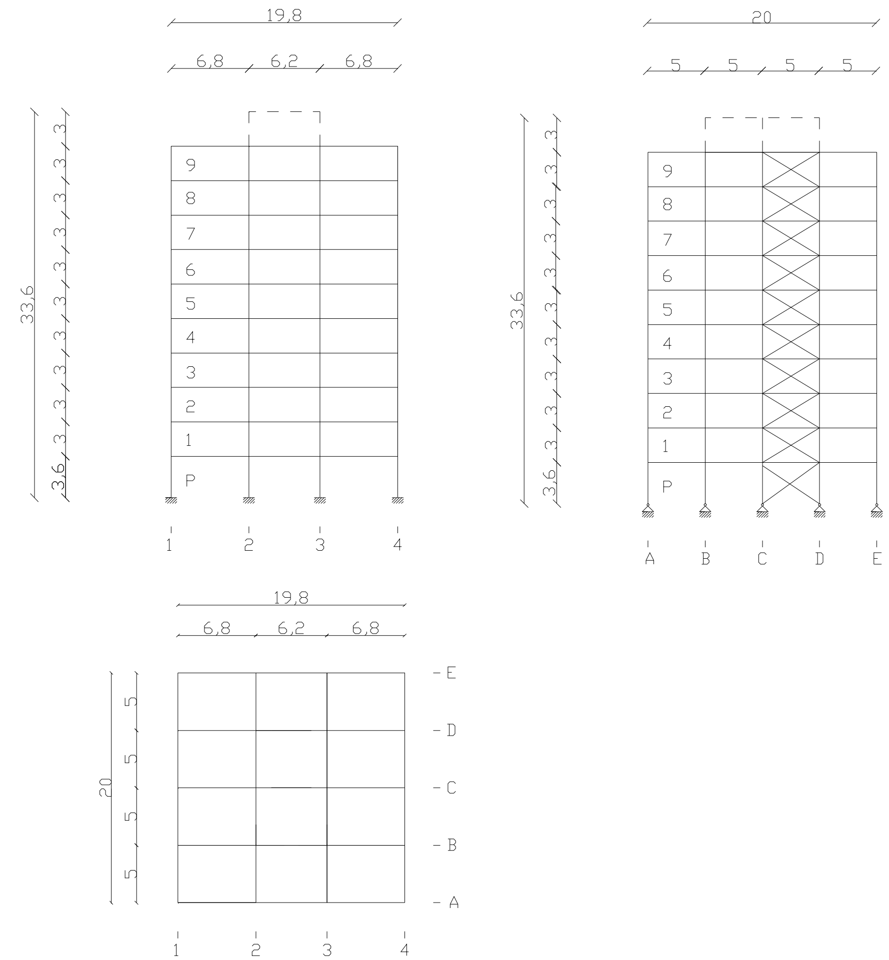
2.13 PROTIKOROZIJSKA ZAŠČITA STAVBE

Vsi jekleni elementi morajo biti protikorozijsko zaščiteni. Predlagamo uporabo enega temeljnega in dveh prekrivnih premazov v skupni debelini suhega filma 0.15-0.20 mm. Vsa poškodovana mesta je potrebno po montaži očistiti in protikorozijsko zaščititi. Pred nanosom temeljnega premaza morajo biti konstrukcijski elementi očiščeni s peskanjem.

3 GLOBALNA ANALIZA

3.1 Zasnova

Nosilno konstrukcijo poslovne stavbe predstavlja pet momentnih okvirjev, ki so razvrščeni v vzdolžni smeri na medsebojni razdalji 5.0 m. Pravokotno na momentne okvirje so členkasto priključene prečke, ki s koncentričnim diagonalnim povezjem, ki nastopa v osi 1 in 4, prevzemajo horizontalno obtežbo v vzdolžni smeri. V vsaki osi imamo eno vertikalno povezje. Priključki momentnih okvirjev na AB stebre so togi, priključki sekundarnih okvirjev z diagonalnim centričnim povezjem pa so členkasti. Višina pritličja znaša 3.6 m, višina ostalih etaž pa je 3.0 m. Strop je sovprežen, sestavljen iz valjanih prečk I prereza in AB plošče. Sovprežnost je zagotovljena z mozniki. Streha, ki je mišljena kot sovprežni strop, je ravna s parapetom višine 1.5 m. Vsi jekleni elementi konstrukcije so iz jekla S 235.



3.2 Obtežba

3.2.1 Lastna in stalna obtežba

3.2.1.1 RAVNA STREHA

-prodec [10cm]:	$0.1\ m*18\ kN/m^3 = 1.8\ kN/m^2$
-HI:	$0.1\ kN/m^2$
-TI [10cm]:	$0.1\ m*0.2\ kN/m^3 = 0.02\ kN/m^2$
-parna zapora:	$0.05\ kN/m^2$
-AB plošča [12cm]:	$0.12\ m*25\ kN/m^3 = 3.0\ kN/m^2$
-jekleni nosilec	$\underline{0.2\ kN/m^2}$
	$G_S = 5.17\ kN/m^2$

3.2.1.2 MEDETAŽNA KONSTRUKCIJA

-finalna obloga:	$0.1\ kN/m^2$
-armirani cementni estrih [5cm]:	$0.05\ m*25\ kN/m^3 = 1.25\ kN/m^2$
-TI + spuščeni strop:	$0.1\ kN/m^2$
-AB plošča [12cm]:	$0.12\ m*25\ kN/m^3 = 3.0\ kN/m^2$
-jekleni nosilec:	$\underline{0.2\ kN/m^2}$
	- $G_{M.K.} = 4.65\ kN/m^2$

3.2.1.3 PREDELNE STENE

- $G_{P.S.} = 0.8\ kN/m^2$

3.2.1.4 FASADA

- $G_F = 0.5\ kN/m^2$

3.2.1.5 PARAPET NA STREHI

- $G_P = 7.5\ kN/m$

3.2.1.6 STOPNICE

-$G_{st.} = 1.5\ kN/m$

3.2.2 Spremenljiva obtežba

3.2.2.1 KORISTNA OBTEŽBA

B...pisarne q_p=3.0 kN/m^2

stopnišče q_s=3.0 kN/m^2

streha q_{strehe}= 0.75 kN/m^2

- redukcijski faktor:

$\alpha_A = \frac{5}{7}\psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1.0$ $\alpha_A \geq 0.6$ $\psi_0 = 0.7$ (pisarne) $A_0 = 10\,m^2$

$A = 25\,m^2$

$$\alpha_A = \frac{5}{7} * 0.7 + \frac{10\,m^2}{25\,m^2} \leq 1.0$$

$$\alpha_A = 0.9 \leq 1.0$$

- redukcija v primeru več etaž (n>2)

$$\alpha_n = \frac{2 + (n-2)\psi_0}{n}$$

Tabela 3.1: Redukcija koristne obtežbe

n	α_n	α_A	$q_{PISARNE}$		$q_{STOPNICE}$	
1=P	/	0,9	2,70	kN/m^2	3,0	kN/m^2
2	/	0,9	2,70	kN/m^2	3,0	kN/m^2
3	0,90	0,9	2,43	kN/m^2	3,0	kN/m^2
4	0,85	0,9	2,30	kN/m^2	3,0	kN/m^2
5	0,82	0,9	2,21	kN/m^2	3,0	kN/m^2
6	0,8	0,9	2,16	kN/m^2	3,0	kN/m^2
7	0,79	0,9	2,13	kN/m^2	3,0	kN/m^2
8	0,78	0,9	2,11	kN/m^2	3,0	kN/m^2
9	0,77	0,9	2,08	kN/m^2	3,0	kN/m^2
10	0,76	0,9	2,05	kN/m^2	3,0	kN/m^2
11	0,75	0,9	2,03	kN/m^2	3,0	kN/m^2

3.2.2.2 SNEG

Na snežni karti s štirimi conami izberemo cono, v kateri se nahaja naš objekt in v odvisnosti od nadmorske višine odčitamo iz tabele s_K.

Jesenice; n.v. 600 m → cona C → $s_K = 2.7\ kN/m^2$

$s = \mu_i C_e C_t s_K$ μ_i...oblikovni koeficient – odvisen od: - vrste kritine
- naklona kritine

$$\mu_i = 0.8$$

$$C_e = 1.0$$

$$C_t = 1.0$$

$$s = 0.8 * 1.0 * 1.0 * 2.7\ kN/m^2 = 2.16\ kN/m^2$$

3.2.2.3 VETER

Na karti za veter s tremi conami izberemo cono, v kateri se nahaja naš objekt.

Jesenice → cona A → $v_{ref.0} = 25\ m/s$

Veter v prečni smeri prevzamejo okvirji, v vzdolžni smeri pa povezja.

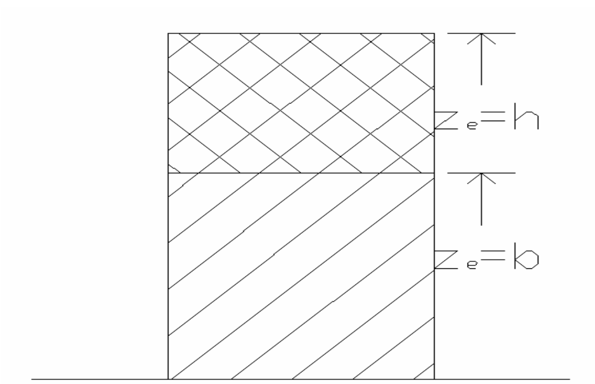
$q_{ref.} = \rho \frac{v_{ref.}^2}{2}$ $\rho = 1.25\ kg/m^3$...gostota zraka

$$q_{ref.} = 1.25\ kg/m^3 * \frac{(25\ m/s)^2}{2}$$

$$q_{ref.} = 0.39\ kN/m^2$$

3.2.2.3.1 Zunanji vpliv vetra

$$W_e = q_{ref.} C_e(z_e) C_{pe}$$



$C_e(z_e) = 2.1$

$C_e(z_e) = 1.7$

$C_{pe} = C_{pe10}$ ... dejanska površina je večja od $10m^2$

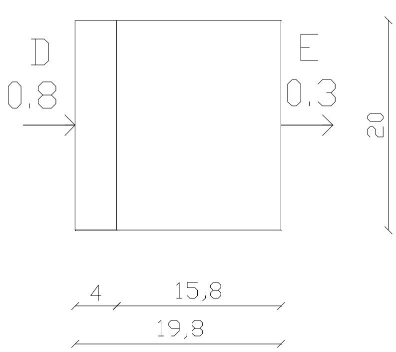
$C_{pe} = C_{pe1}$ ... dejanska površina je med $1m^2$ in $10m^2$

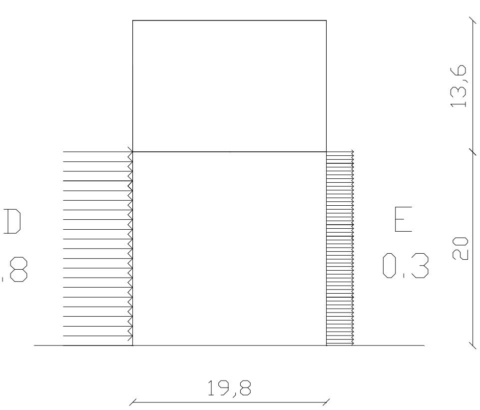
Veter v prečni smeri

$z_e \leq 20\,m$

$$\frac{d}{h} = \frac{19.8\,m}{33.6\,m} = 0.59 \leq 1.0$$

$e = b = 20\,m$





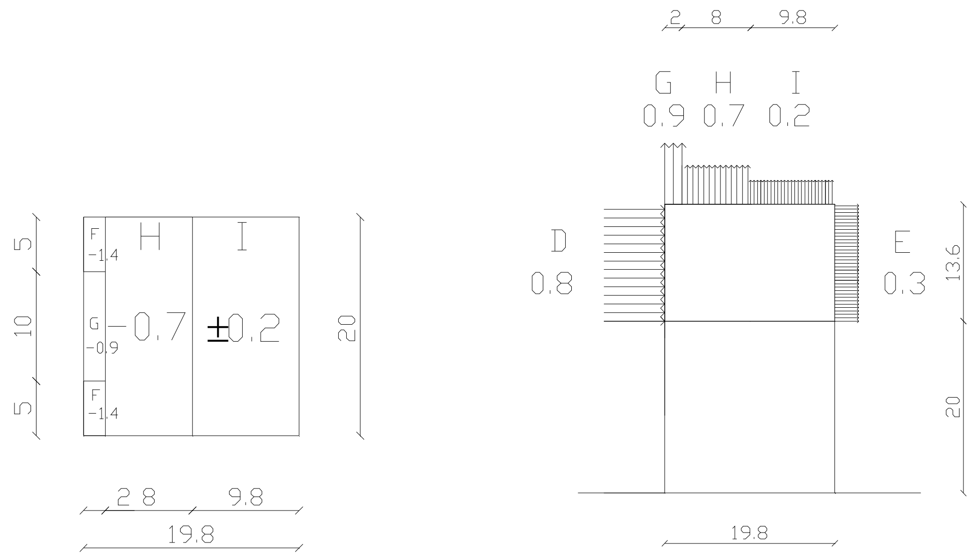
$$W_E^D = 0.39\,kN/m^2 * 1.7 * 0.8 = 0.53\,kN/m^2$$

$$W_E^E = 0.39\,kN/m^2 * 1.7 * 0.3 = 0.20\,kN/m^2$$

- ravna streha

$20\ \text{m} \leq z_e \leq 33.6\ \text{m}$

$e = b = 20\ \text{m}$



$$W_E^D = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.8 = 0.66\ \text{kN/m}^2$$

$$W_E^E = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.3 = 0.25\ \text{kN/m}^2$$

$$W_E^G = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.9 = 0.74\ \text{kN/m}^2$$

$$W_E^H = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.7 = 0.57\ \text{kN/m}^2$$

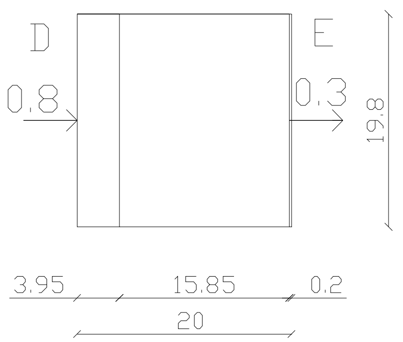
$$W_E^I = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.2 = 0.16\ \text{kN/m}^2$$

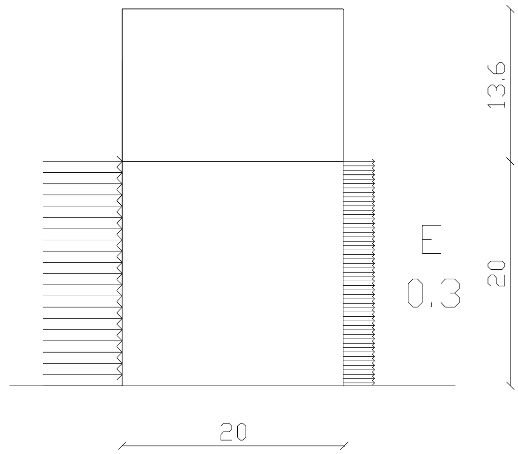
Veter v vzdolžni smeri

$z_e \leq 20\ \text{m}$

$$\frac{d}{h} = \frac{20\ \text{m}}{33.6\ \text{m}} = 0.60 \leq 1.0$$

$e = b = 19.8\ \text{m}$





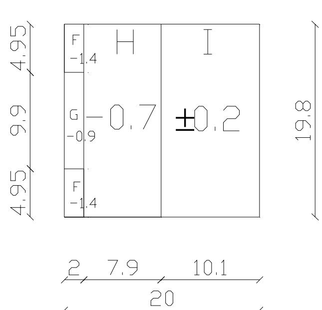
$$W_E^D = 0.39\ \mathrm{kN/m^2} * 1.7 * 0.8 = 0.53\ \mathrm{kN/m^2}$$

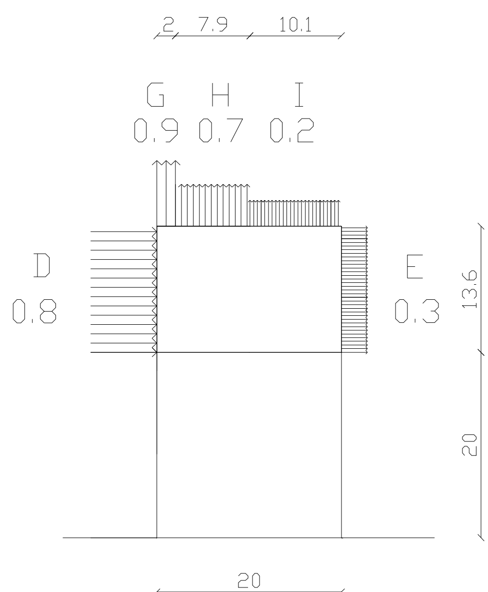
$$W_E^E = 0.39\ \mathrm{kN/m^2} * 1.7 * 0.3 = 0.2\ \mathrm{kN/m^2}$$

- ravna streha

$20\ \mathrm{m} \le z_e \le 33.6\ \mathrm{m}$

$e = b = 19.8\ \mathrm{m}$





$W_E^D = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.8 = 0.66\ \text{kN/m}^2$

$W_E^E = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.3 = 0.25\ \text{kN/m}^2$

$W_E^G = 0.39\text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.9 = 0.74\text{kN/m}^2$

$W_E^H = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.7 = 0.57\ \text{kN/m}^2$

$W_E^I = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * 0.2 = 0.16\ \text{kN/m}^2$

3.2.2.3.2 Notranji vpliv vetra

$W_i = q_{ref.} C_e(z_i) C_{pi}$

$z_i = z_e \Rightarrow C_e(z_i) = C_e(z_e) = 1.7$ oz. $z_i = z_e \Rightarrow C_e(z_i) = C_e(z_e) = 2.1$

$C_{pi} = -0.25$ ... notranji srk

$z_e \leq 20\ \text{m}$

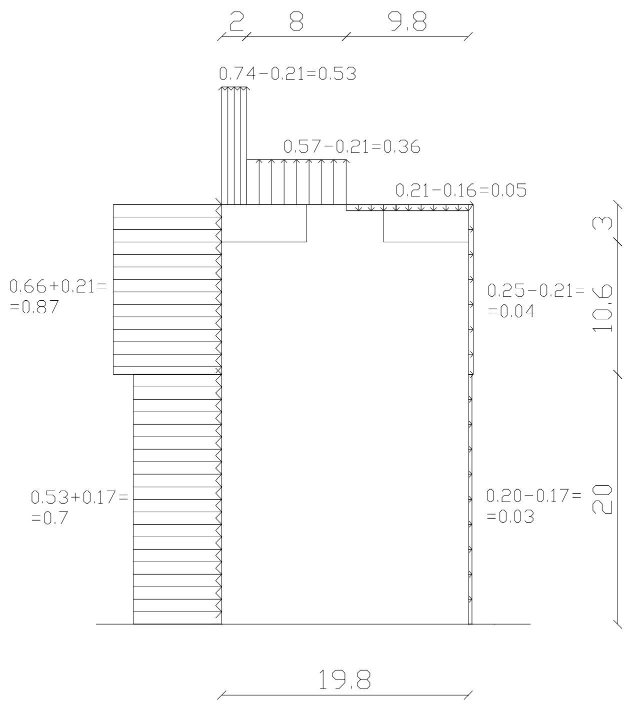
$W_I = 0.39 * 1.7 * (-0.25) = -0.17\ \text{kN/m}^2$

$20\ \text{m} \leq z_e \leq 33.6\ \text{m}$

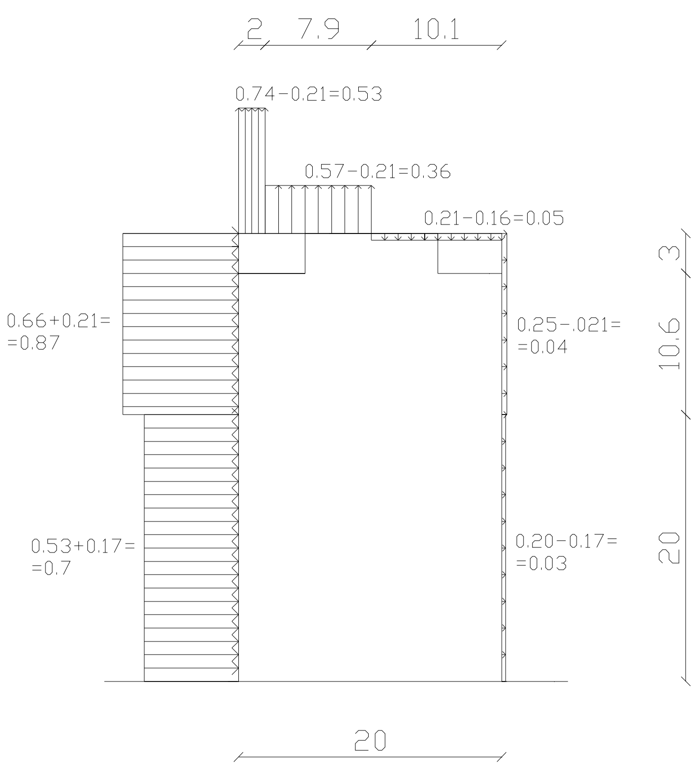
$W_I = 0.39\ \text{kN/m}^2 * 2.1 * (-0.25) = -0.21\ \text{kN/m}^2$

3.2.2.3.3 Notranji + zunanji vpliv vetra

Veter v prečni smeri [kN/m^2]



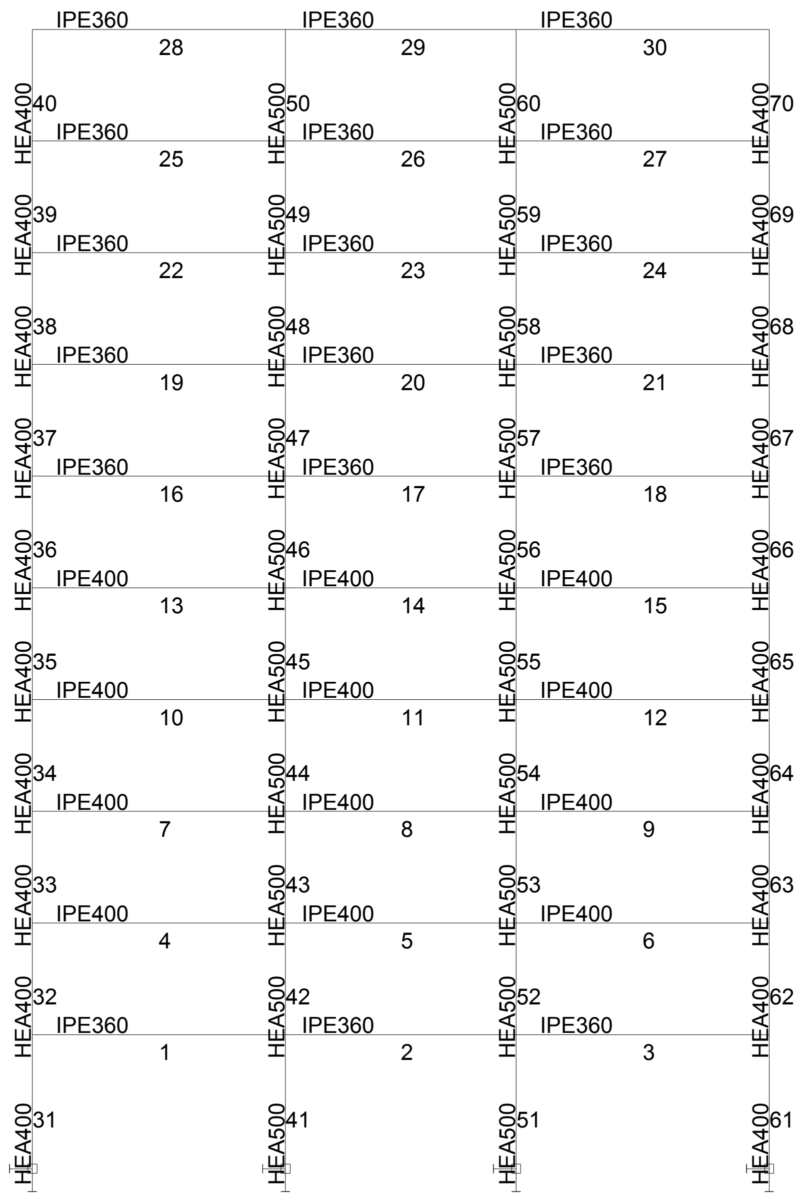
Veter v vzdolžni smeri [kN/m^2]



3.3 Statična analiza

3.3.1 Zunanji prečni okvir

3.3.1.1 RAČUNSKI MODEL



3.3.1.2 OBTEŽNE SHEME

Oznake obtežb:

-točkovne obtežbe:

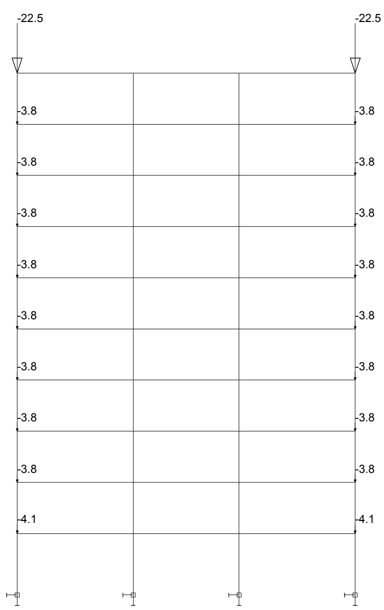
- G_P...parapet na strehi
- G_F...fasada
- G_{F1}...fasada v spodnji etaži

- linijske obtežbe:

- G_s...streha
- G_p...parapet na strehi
- G_f...fasada
- $G_{m.k.}$...medetažna konstrukcija
- $G_{p.s.}$...predelne stene
- G_{f1}...fasada v spodnji etaži

3.3.1.2.1 Stalna in lastna obtežba (po etažah i=1-10):

-točkovna obtežba [kN]:



$G_{10} = G_P + G_F = 18.75\ kN + 3.75\ kN = 22.5\ kN$

$G_2\text{-}G_9 = G_F = 3.75\ kN$

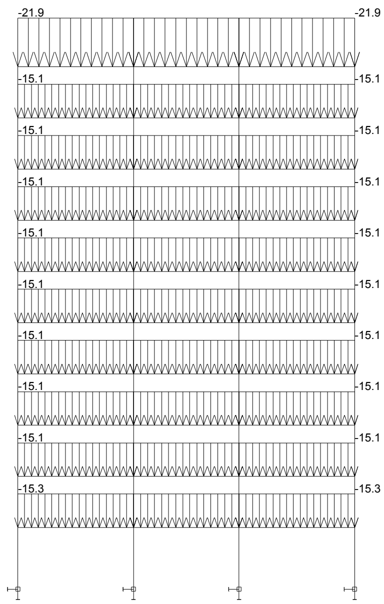
$G_1 = G_{F1} = 4.1\ kN$

$G_P = 7.5\ kN/m * 2.5\ m = 18.75\ kN$

$G_F = 0.5\ kN/m^2 * 3\ m * 2.5\ m = 3.75\ kN$

$G_{F1} = 0.5\ kN/m^2 * 3.3\ m * 2.5\ m = 4.1\ kN$

-linijska obtežba [kN/m]:



$G_{10} = G_s+G_p+G_f = 12.925$ kN/m+7.5 kN/m+1.5 kN/m = 21.9 kN/m

G_2-$G_9 = G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_f = 11.625$ kN/m+2.0 kN/m+1.5 kN/m = 15.1 kN/m

$G_1 = G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_{f1} = 11.625$ kN/m+2.0 kN/m+1.65 kN/m = 15.3 kN/m

G_s=5.17 kN/m^2*2.5 m=12.925 kN/m

G_p = 7.5 kN/m

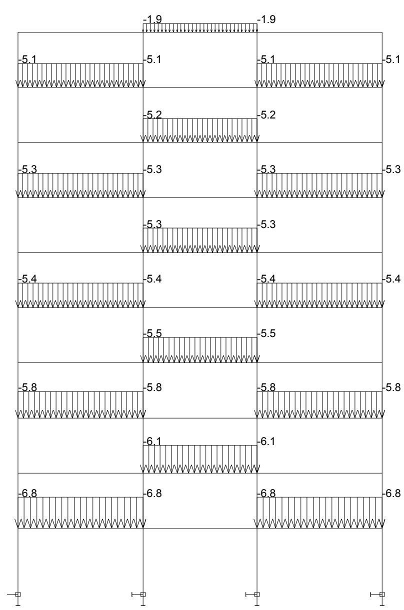
G_f = 0.5 kN/m^2*3m = 1.5 kN/m

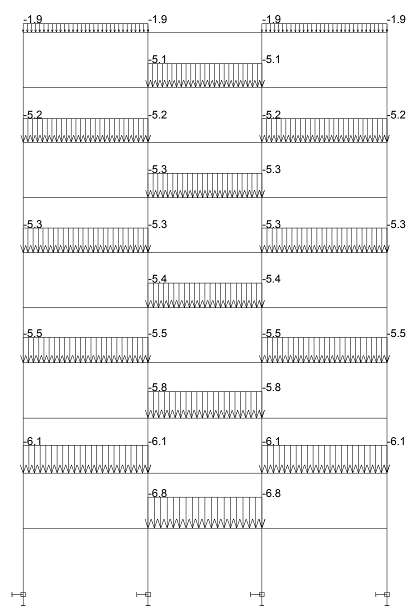
$G_{m.k.}$ = 4.65 kN/m^2*2.5 m = 11.625 kN/m

$G_{p.s.}$ = 0.8 kN/m^2*2.5 m = 2.0 kN/m

G_{f1} = 0.5 kN/m^2*3.3 m = 1.65 kN/m

3.3.1.2.2 Koristna obtežba (po etažah i=1-10) [kN/m]:





q_1 = 2.70 kN/m^2*2.5 m = 6.75 kN/m

q_2 = 2.43 kN/m^2*2.5 m = 6.075 kN/m

q_3 = 2.30 kN/m^2*2.5 m = 5.75 kN/m

q_4 = 2.21 kN/m^2*2.5 m = 5.525 kN/m

q_5 = 2.16 kN/m^2*2.5 m = 5.40 kN/m

q_6 = 2.13 kN/m^2*2.5 m = 5.325 kN/m

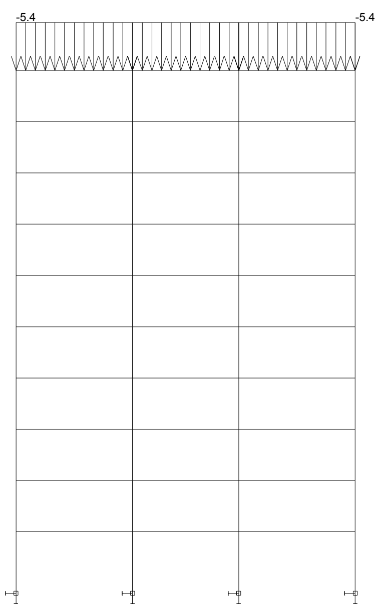
q_7 = 2.11 kN/m^2*2.5 m = 5.275 kN/m

q_8 = 2.08 kN/m^2*2.5 m = 5.2 kN/m

q_9 = 2.05 kN/m^2*2.5 m = 5.125 kN/m

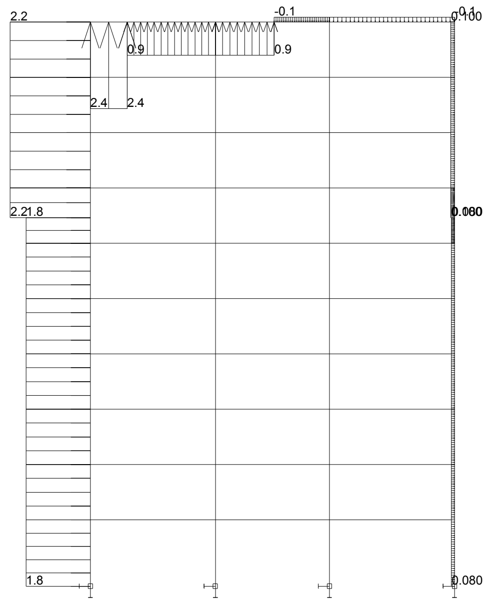
q_{10} = 0.75 kN/m^2*2.5 m = 1.9 kN/m

3.3.1.2.3 Obtežba s snegom [kN/m]:



q_S = 2.16 kN/m^2*2.5 m = 5.4 kN/m

3.3.1.2.4 Obtežba z vetrom [kN/m]:



$w_1 = 0.7\ kN/m^2 * 2.5\ m = 1.8\ kN/m$

$w_2 = 0.87\ kN/m^2 * 2.5\ m = 2.2\ kN/m$

$w_3 = 0.94\ kN/m^2 * 2.5\ m = 2.4\ kN/m$

$w_4 = 0.36\ kN/m^2 * 2.5\ m = 0.9\ kN/m$

$w_5 = 0.05\ kN/m^2 * 2.5\ m = 0.1\ kN/m$

$w_6 = 0.04\ kN/m^2 * 2.5\ m = 0.1\ kN/m$

$w_7 = 0.03\ kN/m^2 * 2.5\ m = 0.08\ kN/m$

3.3.1.3 OBTEŽNE KOMBINACIJE

3.3.1.3.1 MSN

$$\sum_{j} \gamma_{G,j} G_{K,j} + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{K,i}$$

C1.) 1.35G + 1.5Q + 1.5*0.6S + 1.5*0.6W

C2.) 1.35G + 1.5W + 1.5*0.7Q + 1.5*0.6S

C3.) 1.35G + 1.5S + 1.5*0.7Q + 1.5*0.6W

C4.) 1.0G + 1.5W

C5.) 1.35G + 1.5Q(šahovnica1) + 1.5*0.6S + 1.5*0.6W

C6.) 1.35G + 1.5Q(šahovnica2) + 1.5*0.6S + 1.5*0.6W

3.3.1.3.2 MSU

$$\sum G_{K,j} + Q_{K,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{K,i}$$

C7.) G + 0.9*(Q + S + W)

C8.) G + W

3.3.1.4 ZAČETNA NEPOPOLNOST

Začetna nepopolnost velja za zunanji in notranji okvir.

$\varphi = k_c k_s \varphi_0$ $\qquad \varphi = 0.00239$

$$\varphi_0 = \frac{1}{200}$$

$$k_c = \sqrt{\left(0.5 + \frac{1}{n_c}\right)} = \sqrt{\left(0.5 + \frac{1}{10}\right)} = 0.87 \le 1.0$$

n_c …število stebrov etaže $\qquad n_c = 4$

$$k_s = \sqrt{\left(0.2 + \frac{1}{n_s}\right)} = \sqrt{\left(0.2 + \frac{1}{10}\right)} = 0.55 \le 1.0$$

n_s …število etaž $\qquad n_s = 10$

3.3.1.5 DIMENZIONIRANJE

3.3.1.5.1 MSN

Dimenzioniranje s programom ESA-Prima Win.

3.3.1.5.2 MSU

3.3.1.5.2.1 Kontrola horizontalnih pomikov

-večetažna zgradba: -posamezna etaža: $\delta \leq \frac{h}{300}$

Tabela 3.2: Horizontalni pomiki po etažah

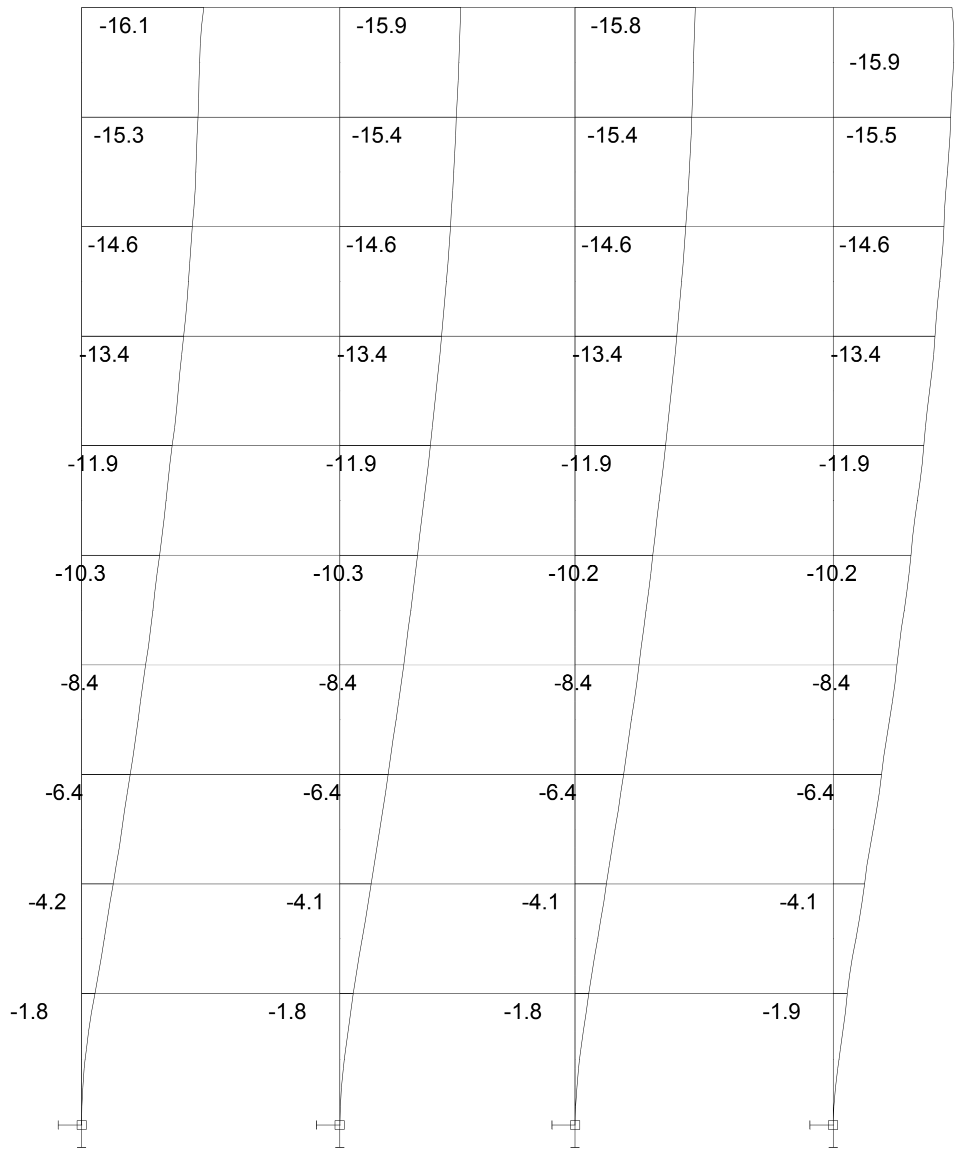
	u_i[mm]	δ[mm]	≤	h/300[mm]
P	1,85	1,85	≤	12
1	4,16	2,31	≤	10
2	6,40	2,24	≤	10
3	8,44	2,04	≤	10
4	10,26	1,82	≤	10
5	11,94	1,68	≤	10
6	13,44	1,5	≤	10
7	14,60	1,16	≤	10
8	15,46	0,86	≤	10
9	16,09	0,63	≤	10

-celotna višina zgradbe: $\delta \leq \frac{H}{500}$

Tabela 3.3: Horizontalni pomik celotne zgradbe

δ [mm]	≤	H/500 [mm]
16,09	≤	61,20

Horizontalni pomik zgradbe pri MSU [mm]:



3.3.1.5.2.2 Kontrola vertikalnih pomikov

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 \leq \frac{L}{250}$$

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300}$$

δ_1 …upogibek nosilca zaradi stalne obtežbe takoj po nanosu obtežbe

δ_2 …upogibek zaradi spremenljive obtežbe in upogibki zaradi časovno odvisnih pojavov pod vplivom stalne obtežbe

Tabela 3.4: Vertikalni pomik krajnega polja

$\delta_1+\delta_2$ [mm]	$\leq$	L/250 [mm]
11,20	$\leq$	27,20

Tabela 3.5: Vertikalni pomik notranjega polja

$\delta_1+\delta_2$ [mm]	$\leq$	L/250 [mm]
9,30	$\leq$	24,80

Kontrola reakcij:

$$\sum q_{Vi} = \sum V_i$$

Račun reakcij glede na podane vertikalne obtežbe:

$$\sum q_{Vi} = 1.35 * (\Sigma G) + 1.5 * (\Sigma Q)$$

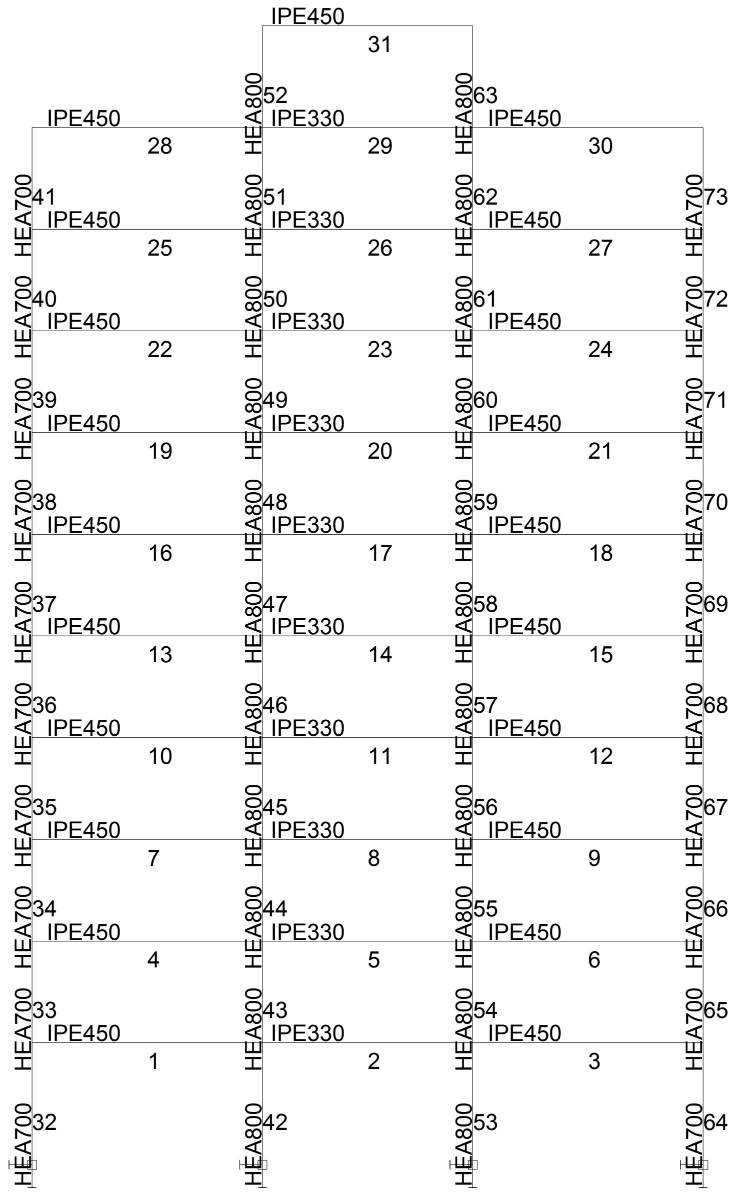
$$\sum q_{Vi} = 1.35 * (3245.61\,\text{kN}) + 1.5 * (1035.5\,\text{kN}) = 5935\,\text{kN}$$

Reakcije so rezultat programa ESA Prima Win:

$$\sum V_i = 5935\,\text{kN}$$

3.3.2 Notranji prečni okvir

3.3.2.1 RAČUNSKI MODEL



3.3.2.2 OBTEŽNE SHEME

Oznake obtežb:

-točkovne obtežbe:

G_P...parapet na strehi

G_F...fasada

G_{F1}...fasada v spodnji etaži

- linijske obtežbe:

G_s...streha

G_p...parapet na strehi

G_f...fasada

$G_{m.k.}$...medetažna konstrukcija

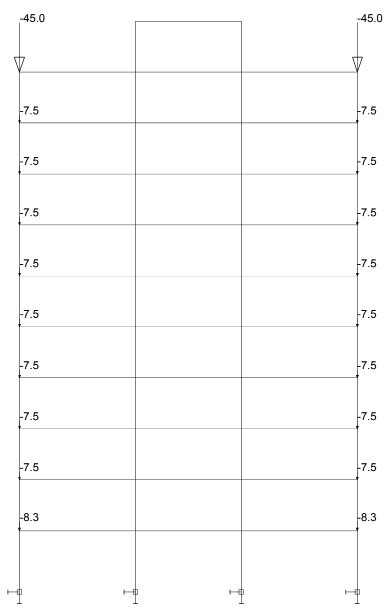
$G_{p.s.}$...predelne stene

G_{f1}...fasada v spodnji etaži

$G_{st.}$...stopnice

3.3.2.2.1 Lastna in stalna obtežba (po etažah i=1-11):

-točkovna obtežba [kN]:



$G_{10} = G_P+G_F = 37.5$ kN+7.5 kN = 45.0 kN

G_2-$G_9 = G_F = 7.5$ kN

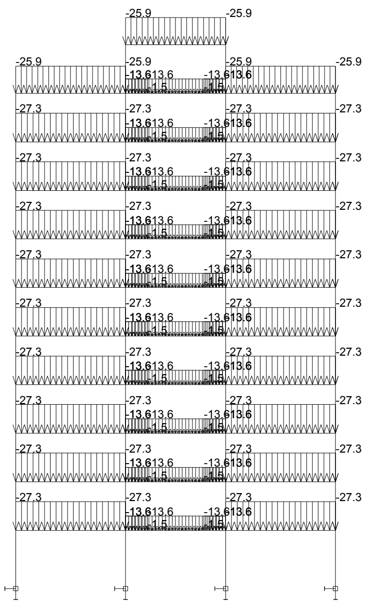
$G_1 = G_{F1} = 8.3$ kN

$G_P = 7.5$ kN/m*5.0 m = 37.5 kN

$G_F = 0.5$ kN/m^2*3 m*5.0 m = 7.5 kN

$G_{F1} = 0.5$ kN/m^2*3.3 m*5.0 m = 8.3 kN

-linijska obtežba [kN/m]:



$G_{11} = G_s = 22.9$ kN/m

-krajno polje:

$G_{10} = G_s = 22.9$ kN/m

G_1-$G_9 = G_{m.k.}+G_{p.s.}= 23.25$ kN/m+4.0 kN/m = 27.3 kN/m

-notranje polje:

G_1-$G_{10} = G_{m.k.}/2+G_{p.s.}/2= 11.625$ kN/m+2.0 kN/m = 13.6 kN/m

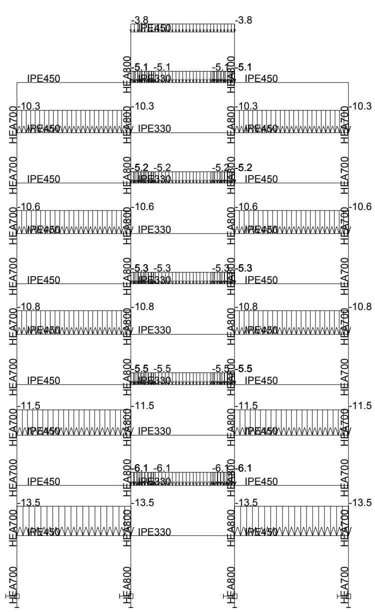
$G_{st.}$ =1.5 kN/m

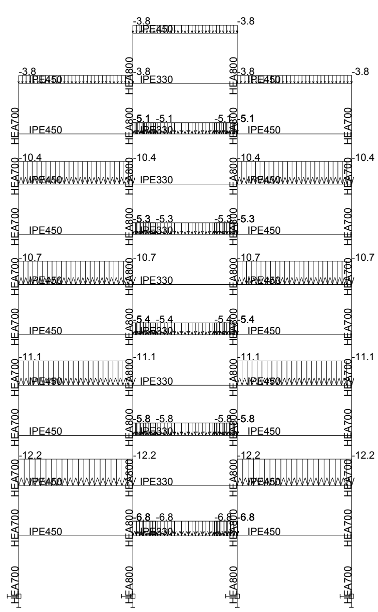
$G_s = 5.17$ kN/m^2*5.0m = 25.9 kN/m

$G_{m.k.} = 4.65$ kN/m^2*5.0 m = 23.25 kN/m

$G_{p.s.} = 0.8$ kN/m^2*5.0 m = 4.0 kN/m

3.3.2.2.2 Koristna obtežba (po etažah i=1-11) [kN/m]:





$q_{st.} = 3$ kN/m^2*2.5 m = 7.5 kN/m

-notranje polje

q_1 = 2.70 kN/m^2*2.5 m = 6.75 kN/m

q_2 = 2.43 kN/m^2*2.5 m = 6.075 kN/m

q_3 = 2.30 kN/m^2*2.5 m = 5.75 kN/m

q_4 = 2.21 kN/m^2*2.5 m = 5.525 kN/m

q_5 = 2.16 kN/m^2*2.5 m = 5.40 kN/m

q_6 = 2.13 kN/m^2*2.5 m = 5.325 kN/m

q_7 = 2.11 kN/m^2*2.5 m = 5.275 kN/m

q_8 = 2.08 kN/m^2*2.5 m = 5.20 kN/m

q_9 = 2.05 kN/m^2*2.5 m = 5.125 kN/m

q_{10} = 2.03 kN/m^2*2.5 m = 5.075 kN/m

q_{11} = 0.75 kN/m^2*5.0 m = 3.75 kN/m

–zunanje polje

q_1 = 2.70 kN/m^2*5.0 m = 13.50 kN/m

q_2 = 2.43 kN/m^2*5.0 m = 12.15 kN/m

q_3 = 2.30 kN/m^2*5.0 m = 11.50 kN/m

q_4 = 2.21 kN/m^2*5.0 m = 11.05 kN/m

q_5 = 2.16 kN/m^2*5.0 m = 10.80 kN/m

q_6 = 2.13 kN/m^2*5.0 m = 10.65 kN/m

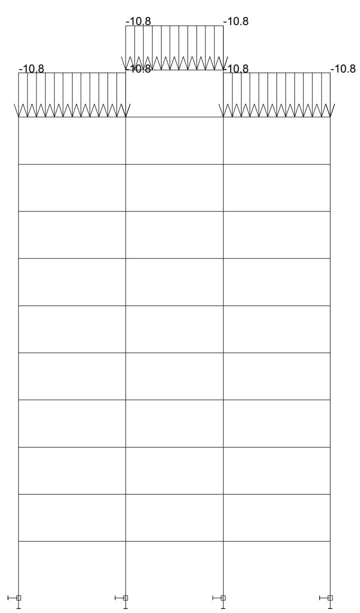
q_7 = 2.11 kN/m^2*5.0 m = 10.55 kN/m

q_8 = 2.08 kN/m^2*5.0 m = 10.40 kN/m

q_9 = 2.05 kN/m^2*5.0 m = 10.25 kN/m

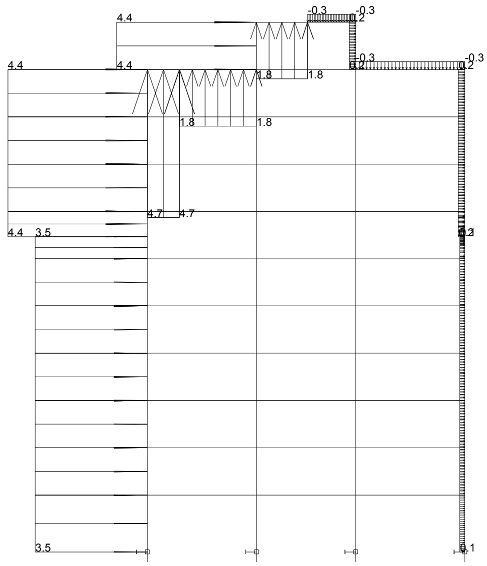
q_{10} = 0.75 kN/m^2*5.0 m = 3.75 kN/m

3.3.2.2.3 Obtežba s snegom [kN/m]:



q_S = 2.16 kN/m^2*5.0 m = 10.8 kN/m

3.3.2.2.4 Obtežba z vetrom [kN/m]:



$w_1 = 0.7\ kN/m^2 * 5.0\ m = 3.58\ kN/m$

$w_2 = 0.87\ kN/m^2 * 5.0\ m = 4.4\ kN/m$

$w_3 = 0.94\ kN/m^2 * 5.0\ m = 4.7\ kN/m$

$w_4 = 0.36\ kN/m^2 * 5.0\ m = 1.8\ kN/m$

$w_5 = 0.05\ kN/m^2 * 5.0\ m = 0.3\ kN/m$

$w_6 = 0.04\ kN/m^2 * 5.0\ m = 0.2\ kN/m$

$w_7 = 0.03\ kN/m^2 * 5.0\ m = 0.2\ kN/m$

3.3.2.3 OBTEŽNE KOMBINACIJE

3.3.2.3.1 MSN

$$\sum_j \gamma_{G,j} G_{K,j} + \gamma_{Q,1} Q_{K,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{K,i}$$

C1.) 1.35G + 1.5Q + 1.5*0.6S + 1.5*0.6W

C2.) 1.35G + 1.5W + 1.5*0.7Q + 1.5*0.6S

C3.) 1.35G + 1.5S + 1.5*0.7Q + 1.5*0.6W

C4.) 1.0G + 1.5W

C5.) 1.35G + 1.5Q(šahovnica1) + 1.5*0.6S + 1.5*0.6W

C6.) 1.35G + 1.5Q(šahovnica2) + 1.5*0.6S + 1.5*0.6W

3.3.2.3.2 MSU

$$\sum G_{K,j} + Q_{K,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{K,i}$$

C7.) G + 0.9*(Q + S + W)

C8.) G + W

5.2.5 DIMENZIONIRANJE

5.2.5.1 MSN

Dimenzioniranje s programom ESA-Prima Win.

3.3.2.5.2 MSU

3.3.2.5.2.1 Kontrola horizontalnih pomikov

-večetažna zgradba: -posamezna etaža: $\delta \leq \frac{h}{300}$

Tabela 3.6: Horizontalni pomiki po etažah

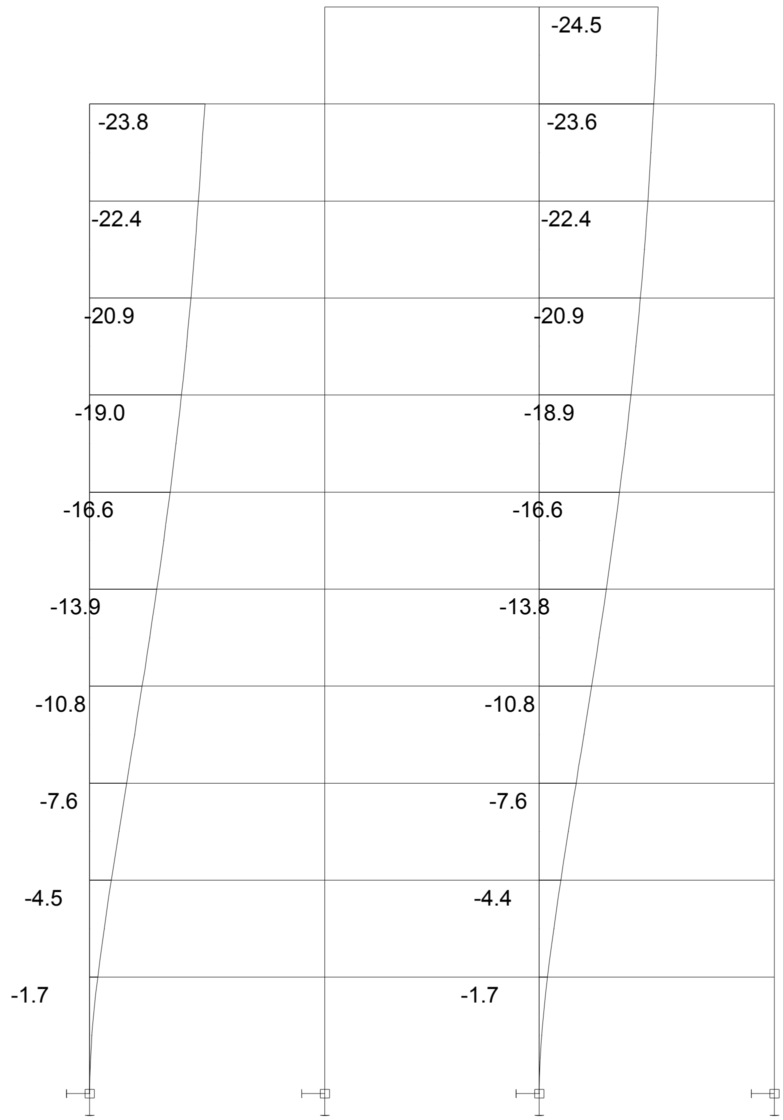
	u_i[mm]	δ[mm]	≤	h/300[mm]
P	1,74	1,7	≤	12
1	4,46	2,7	≤	10
2	7,64	3,2	≤	10
3	10,84	3,2	≤	10
4	13,87	3,0	≤	10
5	16,60	2,7	≤	10
6	18,96	2,4	≤	10
7	20,90	1,9	≤	10
8	22,44	1,5	≤	10
9	23,82	1,4	≤	10
10	24,59	0,8	≤	10

-celotna višina zgradbe: $\delta \leq \frac{H}{500}$

Tabela 3.7: Horizontalni pomik celotne zgradbe

δ [mm]	≤	H/500 [mm]
24,59	≤	67,20

Horizontalni pomik zgradbe pri MSU [mm]:



3.3.2.5.2.2 Kontrola vertikalnih pomikov

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 \leq \frac{L}{250}$$

$$\delta \leq \frac{L}{300}$$

δ_1 …upogibek nosilca zaradi stalne obtežbe takoj po nanosu obtežbe

δ_2 …upogibek zaradi spremenljive obtežbe in upogibki zaradi časovno odvisnih pojavov pod vplivom stalne obtežbe

Tabela 3.8: Vertikalni pomik krajnega polja

$\delta_1+\delta_2$ [mm]	$\leq$	L/250 [mm]
9,81	$\leq$	27,20

Tabela 3.9: Vertikalni pomik notranjega polja

$\delta_1+\delta_2$ [mm]	$\leq$	L/250 [mm]
11,76	$\leq$	24,80

Kontrola reakcij:

$$\sum q_{Vi} = \sum V_i$$

Račun reakcij glede na podane vertikalne obtežbe:

$$\sum q_{Vi} = 1.35 * (\Sigma G) + 1.5 * (\Sigma Q)$$

$$\sum q_{Vi} = 1.35 * (5338.86\ \text{kN}) + 1.5 * (2202.7\ \text{kN}) = 10511.5\ \text{kN}$$

Reakcije so rezultat programa ESA Prima Win:

$$\sum V_i = 2 * 1070.50\ \text{kN} + 2 * 3285.3\ \text{kN} = 10511.6\ \text{kN}$$

4 **DINAMIČNA ANALIZA** (OSIST ENV 1998-1-1)

Objekt stoji v VII. potresni coni. Računski pospešek pri potresu je 0.175g.

Pri nelinearnem izračunu dinamične analize smo uporabili metodo Newton-Raphson. Pri določevanju notranjih sil smo upoštevali vpliv teorije drugega reda.

4.1. **Dinamična analiza pri zunanjem prečnem okvirju** (OSIST ENV 1998-1-2)

4.1.1. IZRAČUN NIHAJNEGA ČASA

$$T_1 = c_t H^{\frac{3}{4}} \qquad T_1(ESA) = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{0.594\ Hz} = 1.68\ s$$

$$c_t = 0.085 \qquad \nu = 0.594\ Hz$$

$$T_1 = 0.085 * (30.6\ m)^{\frac{3}{4}} = 1.11\ s$$

Upoštevamo nihajni čas izračunan s programom ESA Prima Win.

4.1.2 DOLOČITEV MAS IN POTRESNIH SIL

$$\sum_j G_{k,j} + \sum_i \psi_{E,i} Q_{k,i} \qquad \psi_{E,i} = \varphi * \psi_{2,i} \qquad \varphi = 1.0 ...\text{za zadnjo etažo}$$

$$\varphi = 0.5 ...\text{za ostale etaže}$$

$$\psi_{2,i} = 0.3 ...\text{za pisarne}$$

Določitev mas po posameznih etažah, ki odpadejo na en okvir (i=1-10):

Oznake obtežb:

- točkovne obtežbe
  - G_P...parapet na strehi
  - G_F...fasada
  - G_{F1}...fasada v spodnji etaži
- linijske obtežbe
  - G_s...streha
  - G_p...parapet na strehi
  - G_f...fasada
  - G_{f1}...fasada v spodnji etaži
  - $G_{m.k}$....medetažna konstrukcija
  - $G_{p.s}$....predelne stene
  - q_s...koristna obtežba strehe
  - q_i (i=1-10)...koristna obtežba po etažah

- Masa v 10. etaži (z = 30.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 360: 57.10 kg/m*19.80 m = 1130.58 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*1.50 m = 465 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*1.50 m = 375 kg

∑=1970.58 kg

-stalna obtežba:

$(2G_P+2G_F+(G_s+G_p+G_f)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

$= (2*18.75\ kN+2*3.75\ kN+(12.93\ kN/m+7.5\ kN/m+1.50\ kN/m)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= 48849.54 kg

-koristna obtežba:

$q_s = (1.875\ kN/m*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 = 3784.40\ kg$

$M_{10} = (1970.58\ kg+48849.54\ kg)+0.3*3784.40\ kg = 51955.44\ kg$

- Masa v 9. etaži (z = 27.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 360: 57.10 kg/m*19.80 m = 1130.58 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*3.0 m = 930.0 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*3.0 m = 750.0 kg

∑=2810.58 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+(G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_f)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

$= (2*3.75\ kN+(11.63\ kN/m+2.0\ kN/m+1.50\ kN/m)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= 31302.14 kg

-koristna obtežba:

$q_9 = (7.5\ kN/m*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 = 15137.62\ kg$

$M_9 = (2810.58\ kg +31302.14\ kg)+0.15*15137.62\ kg = 36383.36\ kg$

- Masa v 8. etaži (z = 24.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 360: 57.10 kg/m*19.80 m = 1130.58 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*3.0 m = 930.0 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*3.0 m = 750.0 kg

∑=2810.58 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+(G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_f)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

$=(2*3.75\ kN+(11.63\ kN/m+2.0\ kN/m+1.50\ kN/m)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= 31302.14 kg

-koristna obtežba:

$q_8 = (7.5\ kN/m*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 = 15137.62\ kg$

$M_8 = (2810.58\ kg + 31302.14\ kg)+0.15*15137.2\ kg = 36383.3\ kg$

- Masa v 7. etaži (z = 21.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 360: 57.10 kg/m*19.80 m = 1130.58 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*3.0 m = 930.0 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*3.0 m = 750.0 kg

∑=2810.58 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+(G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_f)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

$= (2*3.75\ kN+(11.63\ kN/m+2.0\ kN/m+1.50\ kN/m)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= 31302.14 kg

-koristna obtežba:

$q_7 = (7.5\ kN/m*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 = 15137.62\ kg$

$M_7 = (2810.58\ kg + 31302.14\ kg)+0.15*15137.2\ kg = 36383.3\ kg$

- Masa v 6. etaži (z = 18.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 360: 57.10 kg/m*19.80 m = 1130.58 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*3.0 m = 930.0 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*3.0 m = 750.0 kg

∑=2810.58 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+(G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_f)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

$= (2*3.75\ kN+(11.63\ kN/m+2.0\ kN/m+1.50\ kN/m)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= 31302.14 kg

-koristna obtežba:

q_6 = (7.5 kN/m*19.80 m)*1000/9.81 m/s^2 = 15137.62 kg

M_6 = (2810.58 kg +31302.14 kg)+0.15*15137.2 kg = 36383.3 kg

- Masa v 5. etaži (z = 15.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 400: 66.30 kg/m*19.80 m = 1312.74 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*3.0 m = 930.0 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*3.0 m = 750.0 kg

∑=2992.74 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+(G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_f)$*19.80 m)*1000/9.81 m/s^2 =

= (2*3.75 kN+(11.63 kN/m+2.0 kN/m+1.50 kN/m)*19.80 m)*1000/9.81 m/s^2 =

= 31302.14 kg

-koristna obtežba:

q_5 = (7.5 kN/m*19.80 m)*1000/9.81 m/s^2 = 15137.62 kg

M_5 = (2992.74 kg +31302.14 kg)+0.15*15137.2 kg = 36565.46 kg

- Masa v 4. etaži (z = 12.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 400: 66.30 kg/m*19.80 m = 1312.74 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*3.0 m = 930.0 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*3.0 m = 750.0 kg

∑=2992.74 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+(G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_f)$*19.80 m)*1000/9.81 m/s^2 =

= (2*3.75 kN+(11.63 kN/m+2.0 kN/m+1.50 kN/m)*19.80 m)*1000/9.81 m/s^2 =

= 31302.14 kg

-koristna obtežba:

q_4 = (7.5 kN/m*19.80 m)*1000/9.81 m/s^2 = 15137.62 kg

M_4 = (2992.74 kg +31302.14 kg)+0.15*15137.2 kg = 36565.46 kg

- Masa v 3. etaži (z = 9.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 400: 66.30 kg/m*19.80 m = 1312.74 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*3.0 m = 930.0 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*3.0 m = 750.0 kg

∑=2992.74 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+(G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_f)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

$= (2*3.75\ kN+(11.63\ kN/m+2.0\ kN/m+1.50\ kN/m)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= 31302.14 kg

-koristna obtežba:

$q_3 = (7.5\ kN/m*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 = 15137.62\ kg$

$M_3 = (2992.74\ kg + 31302.14\ kg)+0.15*15137.2\ kg = 36565.46\ kg$

- Masa v 2. etaži (z = 6.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 400: 66.30 kg/m*19.80 m = 1312.74 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*3.0 m = 930.0 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*3.0 m = 750.0 kg

∑=2992.74 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+(G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_f)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

$= (2*3.75\ kN+(11.63\ kN/m+2.0\ kN/m+1.50\ kN/m)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= 31302.14 kg

-koristna obtežba:

$q_2 = (7.5\ kN/m*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 = 15137.62\ kg$

$M_2 = (2992.74\ kg + 31302.14\ kg)+0.15*15137.2\ kg = 36565.46\ kg$

- Masa v 1. etaži (z = 3.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 360: 57.10 kg/m*19.80 m = 1130.58 kg

HEA 500: 155 kg/m*2*3.0 m = 1023.0 kg

HEA 400: 125 kg/m*2*3.0 m = 825.0 kg

∑=2978.58 kg

-stalna obtežba:

$(2G_{F1}+(G_{m.k.}+G_{p.s.}+G_{f1})*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

$= (2*4.13\ kN+(11.63\ kN/m+2.0\ kN/m+1.65\ kN/m)*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= 31681.35 kg

-koristna obtežba:

$q_1 = (7.5\ kN/m*19.80\ m)*1000/9.81\ m/s^2 = 15137.62\ kg$

$M_1 = (2978.58kg +31681.35\ kg)+0.15*15137.62\ kg = 36930.57\ kg$

$$S_d(T_1) = a_g S \frac{2.5}{q}\left[\frac{T_C}{T_1}\right] \geq 0.2a_g ; T_C \leq T \leq T_D$$

$$0.5\,s \leq T1 = 1.68\,s \leq 2.0\,s$$

$$S_d(T_1) = 0.175 * 9.81\,m/s^2 * 1.2 * \frac{2.5}{6} * \left[\frac{0.5\,s}{1.68\,s}\right] \geq 0.2 * 0.175 * 9.81\,m/s^2$$

$$S_d(T_1) = 0.2555\,m/s^2 \geq 0.3434\,m/s^2$$

$$F_b = S_d(T_1) m\lambda$$

$$F_b = 0.3434\,m/s^2 * 375512.06\,kg * 1.0 = 128.93\,kN$$

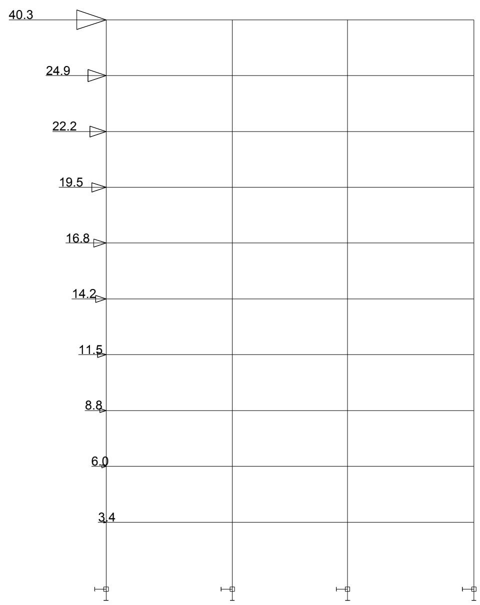
x = 10 m

L_e = 20 m

$$F_i = F_b \frac{s_i m_i}{\sum_j s_j m_j} \qquad \delta = 1 + 0.6\frac{x}{L_e} \qquad F_i = F_i \delta$$

F_1=	2,57	kN	δ=	1,3	F_1=	3,35	kN
F_2=	4,65	kN	δ=	1,3	F_2=	6,04	kN
F_3=	6,74	kN	δ=	1,3	F_3=	8,76	kN
F_4=	8,83	kN	δ=	1,3	F_4=	11,48	kN
F_5=	10,92	kN	δ=	1,3	F_5=	14,20	kN
F_6=	12,95	kN	δ=	1,3	F_6=	16,83	kN
F_7=	15,03	kN	δ=	1,3	F_7=	19,53	kN
F_8=	17,10	kN	δ=	1,3	F_8=	22,23	kN
F_9=	19,18	kN	δ=	1,3	F_9=	24,93	kN
F_{10}=	30,97	kN	δ=	1,3	F_{10}=	40,26	kN

Potresna obtežba [kN]:



4.1.3 POTRESNA OBTEŽNA KOMBINACIJA

$$\sum G_{k,j} + \gamma_I A_{Ed} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

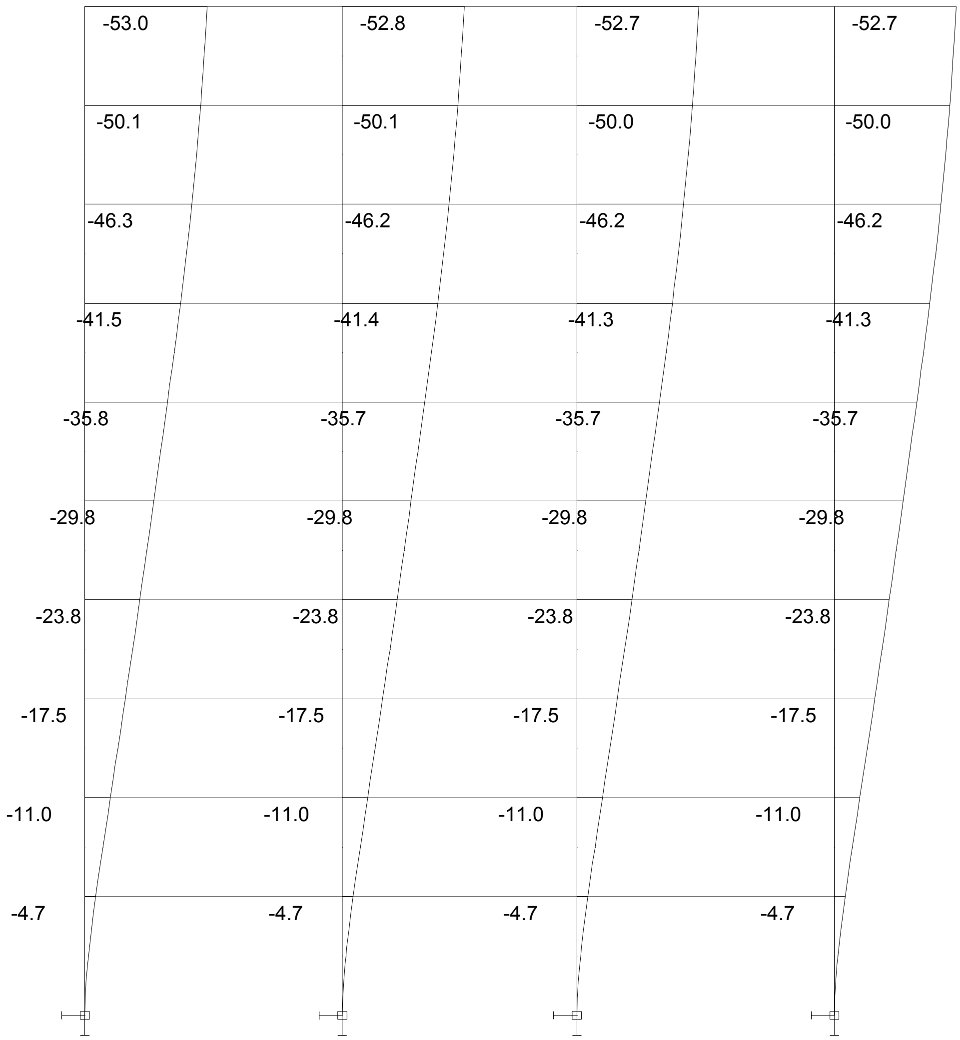
4.1.4 KONTROLA POMIKOV

$d_r \nu \leq 0.0075h$ $d_r = (u_i - u_{i-1})q$ $\nu = 0.5$

	u_i[mm]	h_i[mm]
1	4,69	3600
2	11,05	3000
3	17,52	3000
4	23,82	3000
5	29,85	3000
6	35,79	3000
7	41,45	3000
8	46,31	3000
9	50,15	3000
10	52,97	3000

$d_r\nu$[mm]		≤	0,0075h[mm]	
14,07	mm	≤	27	mm
19,08	mm	≤	22,5	mm
19,41	mm	≤	22,5	mm
18,9	mm	≤	22,5	mm
18,09	mm	≤	22,5	mm
17,82	mm	≤	22,5	mm
16,98	mm	≤	22,5	mm
14,58	mm	≤	22,5	mm
11,52	mm	≤	22,5	mm
8,46	mm	≤	22,5	mm

Pomik zgradbe pri potresu [mm]:



Vpliv teorije II. reda:

	$P_{tot.}$[kN]	u_i[mm]	d_r[mm]	$V_{tot.}$[kN]	h_i[mm]
1	3692,90	4,69	28	167,61	3600
2	3330,60	11,05	38	164,27	3000
3	2975,70	17,52	39	158,23	3000
4	2621,60	23,82	38	149,46	3000
5	2268,20	29,85	36	137,99	3000
6	1915,30	35,79	36	123,79	3000
7	1564,40	41,45	34	106,96	3000
8	1213,60	46,31	29	87,43	3000
9	863,10	50,15	23	65,19	3000
10	512,90	52,97	17	40,26	3000

$\theta = \frac{P_{tot.} d_r}{V_{tot.} h} \leq 0.10$ $0.1 \leq \theta \leq 0.25; k_\delta = \frac{1}{1-\theta}$

θ	$\leq$	0,10		k_δ
0,1722	$\geq$	0,10	→	1,2081
0,2579	$\geq$	0,10	→	1,3475
0,2434	$\geq$	0,10	→	1,3216
0,2210	$\geq$	0,10	→	1,2837
0,1982	$\geq$	0,10	→	1,2473
0,1838	$\geq$	0,10	→	1,2252
0,1656	$\geq$	0,10	→	1,1984
0,1349	$\geq$	0,10	→	1,1560
0,1017	$\geq$	0,10	→	1,1132
0,0718	$\leq$	0,10		1,0774

Okvir razvrstimo med pomične okvirje, kadar ne moremo zanemariti povečanja upogibnih momentov zaradi horizontalnih pomikov vozlišč. Za nepomične štejemo okvirje, pri katerih velja: $\theta = \frac{P_{tot.} d_r}{V_{tot.} h} \leq 0.1$ $\Rightarrow$ V mojem primeru gre za pomičen okvir. V tem primeru moramo okvir dimenzionirati po teoriji drugega reda ob upoštevanju začetnih geometrijskih nepopolnosti.

Potresne sile so izračunane po teoriji prvega reda. Vpliv teorije drugega reda upoštevamo tako, da notranje sile povečamo s faktorjem $k_\delta = \frac{1}{1-\theta}$. Metodo lahko uporabljamo, dokler velja razmerje $\theta = \frac{P_{tot.} d_r}{V_{tot.} h} \leq 0.25$.

4.1.5 POSEBNA PRAVILA ZA MOMENTNE OKVIRJE (OSIST ENV 1998-1-3)

- vmesni stebri:

$\Sigma W_{pl,y}^{steber\ HEA\ 500} \geq \Sigma W_{pl,y}^{nosilec\ IPE\ 360}$ $\Sigma W_{pl,y}^{steber\ HEA\ 500} \geq \Sigma W_{pl,y}^{nosilec\ IPE\ 400}$

$3949.00\ cm^3 \geq 1019.00\ cm^3$ $3949.00 cm^3 \geq 1307.00\ cm^3$

- zunanji stebri:

$\Sigma W_{pl,y}^{steber\ HEA\ 400} \geq \Sigma W_{pl,y}^{nosilec\ IPE\ 360}$ $\Sigma W_{pl,y}^{steber\ HEA\ 400} \geq \Sigma W_{pl,y}^{nosilec\ IPE\ 400}$

$2*2562.00\ cm^3 \geq 1019.00\ cm^3$ $2*2562.00\ cm^3 \geq 1307.00\ cm^3$

$5124.00\ cm^3 \geq 1019.00\ cm^3$ $5124.00\ cm^3 \geq 1307.00\ cm^3$

4.1.5.1 Posebna pravila za prečke:

- Prečke: IPE 360

$M_{Ed} = 128.53$ kNm

$N_{Ed} = 95.53$ kN

$V_{Ed} = 149.65$ kN $\quad\quad V_{Ed,M} = 70.23$ kN

$V_{Ed,G} = 79.42$ kN

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{128.53\,\text{kNm}}{217.70\,\text{kNm}} = 0.59 \leq 1.0$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} W_{pl} = \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10} * 1019\,\text{cm}^3 = 217.70\,\text{kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{95.53\,\text{kN}}{1553.14\,\text{kN}} = 0.06 \leq 0.15$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} A = \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10} * 72.70\,\text{cm}^2 = 1553.14\,\text{kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{149.65\,\text{kN}}{369.44\,\text{kN}} = 0.41 \leq 0.5$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} A_s = \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10 * \sqrt{3}} * 29.95\,\text{cm}^2 = 369.44\,\text{kN}$$

- Prečke: IPE 400

$M_{Ed} = 157.66$ kNm

$N_{Ed} = 23.81$ kN

$V_{Ed} = 148.32$ kN $\quad\quad V_{Ed,M} = 90.07$ kN

$V_{Ed,G} = 58.25$ kN

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{157.66\,\text{kNm}}{279.22\,\text{kNm}} = 0.57 \leq 1.0$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} W_{pl} = \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10} * 1307.00\,\text{cm}^3 = 279.22\,\text{kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{23.81\,kN}{1805.23\,kN} = 0.01 \leq 0.15$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} A = \frac{23.50\,kN/cm^2}{1.10} * 84.50\,cm^2 = 1805.23\,kN$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{148.32\,kN}{441.32\,kN} = 0.34 \leq 0.5$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} A_s = \frac{23.50\,kN/cm^2}{1.10 * \sqrt{3}} * 35.78\,cm^2 = 441.32\,kN$$

4.1.5.2 Posebna pravila za stebre:

- Stebri: HEA 400

$N_{Ed,G}$ = 686.05 kN $M_{Ed,G}$ = 77.70 kNm $V_{Ed,G}$ = 37.53 kN

$N_{Ed,E}$ = 170.99 kN $M_{Ed,E}$ = 115.75 kNm $V_{Ed,E}$ = 34.33 kN

Strižna nosilnost panela stojine stebra v območju spoja prečka–steber mora zadoščati pogoju:

- Steber HEA 400 na mestu stikovanja s prečko IPE 360:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} = \frac{181.21\,kN}{404.32\,kN} = 0.45 \leq 1.0$$

$M_{Ed,spodaj}$ = 3160.00 kNcm

$M_{Ed,zgoraj}$ = 2240.00 kNcm

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}^{spodaj} + M_{Ed}^{zgoraj}}{h_w^{nosilca}} = \frac{3160.00\,kNcm + 2240\,kNcm}{29.80\,cm} = 181.21\,kN$$

$$V_{wp,Rd} = c_{nosilca}\, t_w^{stebra} \frac{f_y^{stebra}}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} = 29.80\,cm * 1.10\,cm * \frac{23.50\,kN/cm^2}{1.10 * \sqrt{3}} = 404.32\,kN$$

- Steber HEA 400 na mestu stikovanja s prečko IPE 400:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} = \frac{247.73\ \text{kN}}{449.09\ \text{kN}} = 0.55 \leq 1.0$$

$M_{Ed,spodaj} = 4010.00$ kNcm

$M_{Ed,zgoraj} = 4190.00$ kNcm

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}^{spodaj} + M_{Ed}^{zgoraj}}{h_w^{nosilca}} = \frac{4010.00\ \text{kNcm} + 4190\ \text{kNcm}}{33.10\ \text{cm}} = 247.73\ \text{kN}$$

$$V_{wp,Rd} = c_{nosilca} t_w^{stebra} \frac{f_y^{stebra}}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} = 33.10\ \text{cm} * 1.10\ \text{cm} * \frac{23.50\ \text{kN/cm}^2}{1.10 * \sqrt{3}} = 449.09\ \text{kN}$$

Za prečno silo v stebru V_{Ed}, ki izhaja iz globalne analize okvirja, mora veljati:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{55.94\ \text{kN}}{550.31\ \text{kN}} = 0.10 \leq 0.5$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} A_s = \frac{23.50\ \text{kN/cm}^2}{1.10\sqrt{3}} * 44.62\ \text{cm}^2 = 550.31\ \text{kN}$$

-Stebri: HEA 500

$N_{Ed,G} = 1167.76$ kN $\quad M_{Ed,G} = 16.96$ kNm $\quad V_{Ed,G} = 8.39$ kN

$N_{Ed,E} = 34.43$ kN $\quad M_{Ed,E} = 217.73$ kNm $\quad V_{Ed,E} = 64.89$ kN

Strižna nosilnost panela stojine stebra v območju spoja prečka–steber mora zadoščati pogoju:

- Steber HEA 500 na mestu stikovanja s prečko IPE 360:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} = \frac{377.18\ \text{kN}}{441.07\ \text{kN}} = 0.86 \leq 1.0$$

$M_{Ed,spodaj} = 4770.00$ kNcm

$M_{Ed,zgoraj} = 6470.00$ kNcm

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}^{spodaj} + M_{Ed}^{zgoraj}}{h_w^{nosilca}} = \frac{4770.00\,\text{kNcm} + 6470\,\text{kNcm}}{29.80\,\text{cm}} = 377.18\,\text{kN}$$

$$V_{wp,Rd} = c_{nosilca}\, t_w^{stebra} \frac{f_y^{stebra}}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} = 29.80\,\text{cm} * 1.20\,\text{cm} * \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10 * \sqrt{3}} = 441.07\,\text{kN}$$

- Steber HEA 500 na mestu stikovanja s prečko IPE 400:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} = \frac{450.76\,\text{kN}}{489.92\,\text{kN}} = 0.92 \leq 1.0$$

$M_{Ed,spodaj} = 6660.00$ kNcm

$M_{Ed,zgoraj} = 8260.00$ kNcm

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}^{spodaj} + M_{Ed}^{zgoraj}}{h_w^{nosilca}} = \frac{6660.00\,\text{kNcm} + 8260\,\text{kNcm}}{33.10\,\text{cm}} = 450.76\,\text{kN}$$

$$V_{wp,Rd} = c_{nosilca}\, t_w^{stebra} \frac{f_y^{stebra}}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} = 33.10\,\text{cm} * 1.20\,\text{cm} * \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10 * \sqrt{3}} = 489.92\,\text{kN}$$

Za prečno silo v stebru V_{Ed}, ki izhaja iz globalne analize okvirja, mora veljati:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{75.21\,\text{kN}}{754.27\,\text{kN}} = 0.10 \leq 0.5$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} A_s = \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10\sqrt{3}} * 61.15\,\text{cm}^2 = 754.27\,\text{kN}$$

4.2 Dinamična analiza pri notranjem prečnem okvirju (OSIST ENV 1998-1-2)

4.2.1 IZRAČUN NIHAJNEGA ČASA

$T_1 = c_t H^{\frac{3}{4}}$

$c_t = 0.085$

$T_1 = 0.085 * (33.6\,\mathrm{m})^{\frac{3}{4}} = 1.19\,\mathrm{s}$

$T_1(\mathrm{ESA}) = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{0.585\,\mathrm{Hz}} = 1.71\,\mathrm{s}$

$\nu = 0.585\,\mathrm{Hz}$

Upoštevamo nihajni čas izračunan s programom ESA Prima Win.

4.2.2 DOLOČITEV MAS IN POTRESNIH SIL

$\sum_j G_{k,j} + \sum_i \psi_{E,i} Q_{k,i}$ $\psi_{E,i} = \varphi * \psi_{2,i}$

$\varphi = 1.0$...za zadnjo etažo

$\varphi = 0.5$...za ostale etaže

$\psi_{2,i} = 0.3$...za pisarne

Določitev mas po posameznih etažah, ki odpadejo na en okvir:

Oznake obtežb:

- točkovne obtežbe
  - G_P...parapet na strehi
  - G_F...fasada
  - G_{F1}...fasada v spodnji etaži
  - G_{st}...stopnice
- linijske obtežbe
  - G_s...streha
  - G_p...parapet na strehi
  - G_f...fasada
  - G_{f1}...fasada v spodnji etaži
  - $G_{m.k}$....medetažna konstrukcija
  - $G_{p.s}$....predelne stene
  - q_s...koristna obtežba strehe
  - qst....koristna obtežba stopnic
  - q_i (i=1-10)...koristna obtežba po etažah

- Masa v 11. etaži (z = 33.60 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*6.20 m = 481.12 kg

HEA 800: 224 kg/m*2*1.5 m = 672.0 kg

∑=1153.12 kg

-stalna obtežba:

G_s = (25.85 kN/m*6.2 m) *1000/9.81 m/s2 = 16337.41 kg

-koristna obtežba:

q_s = (3.75 kN/m*6.20 m)*1000/9.81 m/s^2 = 2370.03 kg

M_{11} = (1153.12 kg +16337.41 kg)+0.3*2370.03 kg = 17846.04 kg

- Masa v 10. etaži (z = 30.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m=1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m=304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.0 m=1344.0 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*1.5 m=612 kg

∑=3315.78 kg

-stalna obtežba:

($2G_P+2G_F+G_s$*13.60 m+$G_{m.k.}$/2*8.90 m+$G_{p.s.}$/2*8.90 m+$G_{st.}$*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 =

= (2*37.5 kN+2*7.5 kN+25.85 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+2.0 kN/m*8.90 m+

+1.50 kN/m *3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 57912.03 kg

-koristna obtežba:

(q_s*13.60 m+q_{10}*8.90 m+$q_{st.}$*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 =

= (3.75 kN/m*13.60 m+7.5 kN/m*8.90 m+7.5 kN/m*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 14678.9 kg

M_{10} = (3315.78 kg +57912.03 kg)+0.15*14678.9 kg = 63429.65 kg

- Masa v 9. etaži (z = 27.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m = 1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m = 304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.0 m = 1344.0 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*3.0 m = 1224.0 kg

∑=3927.78 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+G_{m.k.}*13.60\ m+G_{m.k.}/2*8.90\ m+G_{p.s.}*13.60\ m+G_{p.s.}/2*8.90\ m$

$+G_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (2*7.5 kN+23.25 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+4.0 kN/m*8.90 m+

+2.0 kN/m*8.90 m+1.50 kN/m *3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 52207.65 kg

-koristna obtežba:

$(q_9*13.60\ m+q_9/2*8.90\ m+q_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (15.0 kN/m*13.60 m+7.5 kN/m*8.90 m+7.5 kN/m*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 30275.23 kg

M_9 = (3927.78 kg +52207.65 kg)+0.15*30275.23 kg = 60676.7 kg

- Masa v 8. etaži (z = 24.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m = 1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m = 304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.0 m = 1344.0 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*3.0 m = 1224.0 kg

∑=3927.78 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+G_{m.k.}*13.60\ m+G_{m.k.}/2*8.90\ m+G_{p.s.}*13.60\ m+G_{p.s.}/2*8.90\ m$

$+G_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (2*7.5 kN+23.25 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+4.0 kN/m*8.90 m+

+2.0 kN/m*8.90 m+1.50 kN/m *3.5 m)*1000/9.81m/s^2 = 52207.65 kg

-koristna obtežba:

$(q_8*13.60\ m+q_8/2*8.90\ m+q_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (15.0 kN/m*13.60 m+7.5 kN/m*8.90 m+7.5 kN/m*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 30275.23 kg

M_8 = (3927.78 kg +52207.65 kg)+0.15*30275.23 kg = 60676.7 kg

- Masa v 7. etaži (z = 21.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m = 1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m = 304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.0 m = 1344.0 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*3.0 m = 1224.0 kg

∑=3927.78 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+G_{m.k.}*13.60\ m+G_{m.k.}/2*8.90\ m+G_{p.s.}*13.60\ m+G_{p.s.}/2*8.90\ m$

$+G_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (2*7.5 kN+23.25 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+4.0 kN/m*8.90 m+

+2.0 kN/m*8.90 m+1.50 kN/m *3.5 m)*1000/9.81m/s^2 = 52207.65 kg

-koristna obtežba:

$(q_7*13.60\ m+q_7/2*8.90\ m+q_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (15.0 kN/m*13.60 m+7.5 kN/m*8.90 m+7.5 kN/m*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 30275.23 kg

M_7 = (3927.78 kg +52207.65 kg)+0.15*30275.23 kg = 60676.7 kg

- Masa v 6. etaži (z = 18.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m = 1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m = 304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.0 m = 1344.0 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*3.0 m = 1224.0 kg

∑=3927.78 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+G_{m.k.}*13.60\ m+G_{m.k.}/2*8.90\ m+G_{p.s.}*13.60\ m+G_{p.s.}/2*8.90\ m$

$+G_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (2*7.5 kN+23.25 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+4.0 kN/m*8.90 m+

+2.0 kN/m*8.90 m+1.50 kN/m *3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 52207.65 kg

-koristna obtežba:

$(q_6*13.60\ m+q_6/2*8.90\ m+q_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (15.0 kN/m*13.60 m+7.5 kN/m*8.90 m+7.5 kN/m*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 30275.23 kg

M_6 = (3927.78 kg +52207.65 kg)+0.15*30275.23 kg = 60676.7 kg

- Masa v 5. etaži (z = 15.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m = 1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m = 304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.0 m = 1344.0 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*3.0 m = 1224.0 kg

∑=3927.78 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+G_{m.k.}*13.60\ m+G_{m.k.}/2*8.90\ m+G_{p.s.}*13.60\ m+G_{p.s.}/2*8.90\ m$

$+G_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (2*7.5 kN+23.25 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+4.0 kN/m*8.90 m+

+2.0 kN/m*8.90 m+1.50 kN/m *3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 52207.65 kg

-koristna obtežba:

$(q_5*13.60\ m+q_5/2*8.90\ m+q_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (15.0 kN/m*13.60 m+7.5 kN/m*8.90 m+7.5 kN/m*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 30275.23 kg

M_5 = (3927.78 kg +52207.65 kg)+0.15*30275.23 kg = 60676.7 kg

- Masa v 4. etaži (z = 12.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m = 1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m = 304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.0 m = 1344.0 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*3.0 m = 1224.0 kg

∑=3927.78 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+G_{m.k.}*13.60\ m+G_{m.k.}/2*8.90\ m+G_{p.s.}*13.60\ m+G_{p.s.}/2*8.90\ m$

$+G_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (2*7.5 kN+23.25 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+4.0 kN/m*8.90 m+

+2.0 kN/m*8.90 m+1.50 kN/m *3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 52207.65 kg

-koristna obtežba:

$(q_4*13.60\ m+q_4/2*8.90\ m+q_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (15.0 kN/m*13.60 m+7.5 kN/m*8.90 m+7.5 kN/m*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 30275.23 kg

M_4 = (3927.78 kg +52207.65 kg)+0.15*30275.23 kg = 60676.7 kg

- Masa v 3. etaži (z = 9.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m = 1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m = 304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.0 m = 1344.0 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*3.0 m = 1224.0 kg

∑=3927.78 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+G_{m.k.}*13.60\ m+G_{m.k.}/2*8.90\ m+G_{p.s.*}13.60\ m+G_{p.s.}/2*8.90\ m$

$+G_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (2*7.5 kN+23.25 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+4.0 kN/m*8.90 m+

+2.0 kN/m*8.90 m+1.50 kN/m *3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 52207.65 kg

-koristna obtežba:

$(q_3*13.60\ m+q_3/2*8.90\ m+q_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (15.0 kN/m*13.60 m+7.5 kN/m*8.90 m+7.5 kN/m*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 30275.23 kg

M_3 = (3927.78 kg +52207.65 kg)+0.15*30275.23 kg = 60676.7 kg

- Masa v 2. etaži (z = 6.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m = 1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m = 304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.0 m = 1344.0 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*3.0 m = 1224.0 kg

∑=3927.78 kg

-stalna obtežba:

$(2G_F+G_{m.k.}*13.60\ m+G_{m.k.}/2*8.90\ m+G_{p.s.*}13.60\ m+G_{p.s.}/2*8.90\ m$

$+G_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (2*7.5 kN+23.25 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+4.0 kN/m*8.90 m+

+2.0 kN/m*8.90 m+1.50 kN/m *3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 52207.65 kg

-koristna obtežba:

$(q_2*13.60\ m+q_2/2*8.90\ m+q_{st.}*3.5\ m)*1000/9.81\ m/s^2 =$

= (15.0 kN/m*13.60 m+7.5 kN/m*8.90 m+7.5 kN/m*3.5 m)*1000/9.81 m/s^2 = 30275.23 kg

M_2 = (3927.78 kg +52207.65 kg)+0.15*30275.23 kg = 60676.7 kg

- Masa v 1. etaži (z = 3.6 m):

-lastna obtežba:

IPE 450: 77.60 kg/m*13.60 m = 1055.36 kg

IPE 330: 49.10 kg/m*6.2 m = 304.42 kg

HEA 800: 224.0 kg/m*2*3.3 m = 1478.40 kg

HEA 700: 204.0 kg/m*2*3.3 m = 1346.40 kg

∑=4184.58 kg

-stalna obtežba:

$(2G_{F1}+G_{m.k.}*13.60\text{ m}+G_{m.k.}/2*8.90\text{ m}+G_{p.s.}*13.60\text{ m}+G_{p.s.}/2*8.90\text{ m}$

$+G_{st.}*3.5\text{ m})*1000/9.81\text{ m/s}^2 =$

= (2*8.25 kN+23.25 kN/m*13.60 m+11.63 kN/m*8.90 m+4.0 kN/m*8.90 m+

$+2.0\text{ kN/m}*8.90\text{ m}+1.50\text{ kN/m}*3.5\text{ m})*1000/9.81\text{ m/s}^2 = 52360.55\text{ kg}$

-koristna obtežba:

$(q_1*13.60\text{ m}+q_1/2*8.90\text{ m}+q_{st.}*3.5\text{ m})*1000/9.81\text{ m/s}^2 =$

$= (15.0\text{ kN/m}*13.60\text{ m}+7.5\text{ kN/m}*8.90\text{ m}+7.5\text{ kN/m}*3.5\text{ m})*1000/9.81\text{ m/s}^2 = 30275.23\text{ kg}$

$M_1 = (4184.58\text{ kg} + 52360.55\text{ kg}) + 0.15*30275.23\text{ kg} = 61086.42\text{ kg}$

$$S_d(T_1) = a_g S \frac{2.5}{q}\left[\frac{T_C}{T_1}\right] \geq 0.2 a_g ; T_C \leq T \leq T_D \qquad 0.5\text{ s} \leq T1 = 1.71\text{ s} \leq 2.0\text{s}$$

$$S_d(T_1) = 0.175 * 9.81\text{m/s}^2 * 1.2 * \frac{2.5}{6} * \left[\frac{0.5\text{ s}}{1.71\text{ s}}\right] \geq 0.2 * 0.175 * 9.81\text{m/s}^2$$

$$S_d(T_1) = 0.251\text{ m/s}^2 \geq 0.3434\text{ m/s}^2$$

$$F_b = S_d(T_1) m \lambda$$

$$F_b = 0.3434\text{ m/s}^2 * 618020.57\text{ kg} * 1.0 = 212.20\text{ kN}$$

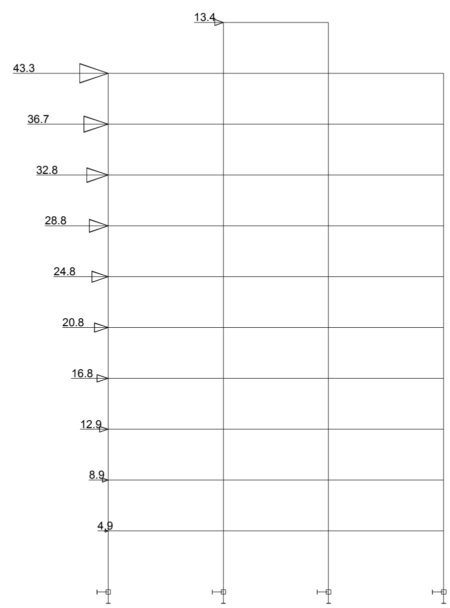
$x = 5$ m

$L_e = 20$ m

$$F_i = F_b \frac{s_i m_i}{\sum_j s_j m_j} \qquad \delta = 1 + 0.6\frac{x}{L_e} \qquad F_i = F_i \delta$$

F_1=	4,26	kN	δ= 1,15	F_1=	4,90	kN
F_2=	7,70	kN	δ= 1,15	F_2=	8,86	kN
F_3=	11,17	kN	δ= 1,15	F_3=	12,85	kN
F_4=	14,63	kN	δ= 1,15	F_4=	16,83	kN
F_5=	18,10	kN	δ= 1,15	F_5=	20,81	kN
F_6=	21,56	kN	δ= 1,15	F_6=	24,80	kN
F_7=	25,03	kN	δ= 1,15	F_7=	28,78	kN
F_8=	28,48	kN	δ= 1,15	F_8=	32,76	kN
F_9=	31,94	kN	δ= 1,15	F_9=	36,73	kN
F_{10}=	37,63	kN	δ= 1,15	F_{10}=	43,28	kN
F_{11}=	11,69	kN	δ= 1,15	F_{11}=	13,44	kN

Potresna obtežba [kN]:



4.2.3 POTRESNA OBTEŽNA KOMBINACIJA

$$\sum G_{k,j} + \gamma_I A_{Ed} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

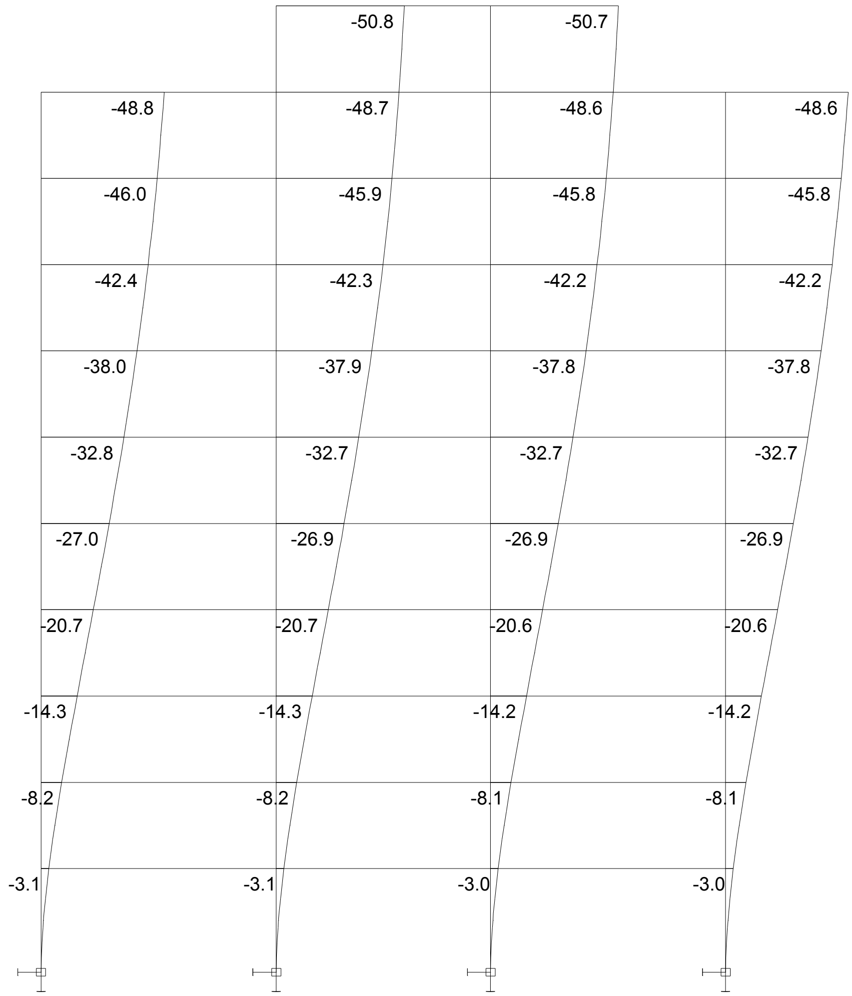
4.2.4 KONTROLA POMIKOV

$d_r \nu \leq 0.0075h$ $d_r = (u_i - u_{i-1})q$ $\nu = 0.5$

	u_i[mm]	h[mm]
1	3,06	3600
2	8,18	3000
3	14,30	3000
4	20,71	3000
5	26,97	3000
6	32,80	3000
7	37,98	3000
8	42,40	3000
9	45,98	3000
10	48,80	3000
11	50,75	3000

$d_r\nu$[mm]		≤	0,0075h[mm]	
9,18	mm	≤	27	mm
15,36	mm	≤	22,5	mm
18,36	mm	≤	22,5	mm
19,23	mm	≤	22,5	mm
18,78	mm	≤	22,5	mm
17,49	mm	≤	22,5	mm
15,54	mm	≤	22,5	mm
13,26	mm	≤	22,5	mm
10,74	mm	≤	22,5	mm
8,46	mm	≤	22,5	mm
5,85	mm	≤	22,5	mm

Pomik zgradbe pri potresu [mm]:



Vpliv teorije II. reda:

	$P_{tot.}$[kN]	u_i[mm]	d_r[mm]	$V_{tot.}$[kN]	h[mm]
1	5993,40	3,06	18,36	244,03	3600
2	5406,90	8,18	30,72	239,13	3000
3	4829,50	14,30	36,72	230,27	3000
4	4253,40	20,71	38,46	217,42	3000
5	3677,90	26,97	37,56	200,59	3000
6	3103,00	32,80	34,98	179,78	3000
7	2528,30	37,98	31,08	154,99	3000
8	1953,80	42,40	26,52	126,20	3000
9	1379,70	45,98	21,48	93,45	3000
10	805,60	48,80	16,92	56,72	3000
11	182,00	50,75	11,7	13,44	3000

$\theta = \frac{P_{tot.} d_r}{V_{tot.} h} \leq 0.10$

$0.1 \leq \theta \leq 0.25; k_\delta = \frac{1}{1-\theta}$

θ	$\leq$	0,1		k_δ
0,1253	$\geq$	0,10	→	1,1432
0,2315	$\geq$	0,10	→	1,3013
0,2567	$\geq$	0,10	→	1,3454
0,2508	$\geq$	0,10	→	1,3347
0,2296	$\geq$	0,10	→	1,2980
0,2012	$\geq$	0,10	→	1,2520
0,1690	$\geq$	0,10	→	1,2034
0,1369	$\geq$	0,10	→	1,1586
0,1057	$\geq$	0,10	→	1,1182
0,0801	$\leq$	0,10		1,0871
0,0528	$\leq$	0,10		1,0558

Okvir razvrstimo med pomične okvirje, kadar ne moremo zanemariti povečanja upogibnih momentov zaradi horizontalnih pomikov vozlišč. Za nepomične štejemo okvirje, pri katerih velja: $\theta = \frac{P_{tot.} d_r}{V_{tot.} h} \leq 0.1$ $\Rightarrow$ V mojem primeru gre za pomičen okvir. V tem primeru moramo okvir dimenzionirati po teoriji drugega reda ob upoštevanju začetnih geometrijskih nepopolnosti.

Potresne sile so izračunane po teoriji prvega reda. Vpliv teorije drugega reda upoštevamo tako, da notranje sile povečamo s faktorjem $k_\delta = \frac{1}{1-\theta}$. Metodo lahko uporabljamo, dokler velja razmerje $\theta = \frac{P_{tot.} d_r}{V_{tot.} h} \leq 0.25$.

4.2.5 POSEBNA PRAVILA ZA MOMENTNE OKVIRJE (OSIST ENV 1998-1-3)

- vmesni stebri:

$$\Sigma W_{pl,y}^{steber\ HEA\ 800} \geq \Sigma W_{pl,y}^{nosilec\ IPE\ 450} \qquad \Sigma W_{pl,y}^{steber\ HEA\ 800} \geq \Sigma W_{pl,y}^{nosilec\ IPE\ 330}$$

$$8699.00\ cm^3 \geq 1702.00\ cm^3 \qquad 8699.00\ cm^3 \geq 804.00\ cm^3$$

- zunanji stebri:

$$\Sigma W_{pl,y}^{steber\ HEA\ 700} \geq \Sigma W_{pl,y}^{nosilec\ IPE\ 450} \qquad \Sigma W_{pl,y}^{steber\ HEA\ 700} \geq \Sigma W_{pl,y}^{nosilec\ IPE\ 330}$$

$$2*7032.00\ cm^3 \geq 1702.00\ cm^3 \qquad 2*7032.00\ cm^3 \geq 804.00\ cm^3$$

$$14064.00\ cm^3 \geq 1702.00\ cm^3 \qquad 14064.00\ cm^3 \geq 804.00\ cm^3$$

4.2.5.1 Posebna pravila za prečke

- Prečke: IPE 450

$M_{Ed} = 260.19$ kNm

$N_{Ed} = 115.29$ kN

$V_{Ed} = 221.77$ kN $\qquad V_{Ed,M} = 117.29$ kN

$V_{Ed,G} = 104.48$ kN

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{260.19\ kNm}{363.61\ kNm} = 0.72 \leq 1.0$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} W_{pl} = \frac{23.50\ kN/cm^2}{1.10} * 1702.00\ cm^3 = 363.61\ kNm$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{115.29\ kN}{2110.73\ kN} = 0.06 \leq 0.15$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} A = \frac{23.50\ kN/cm^2}{1.10} * 98.80\ cm^2 = 2110.73\ kN$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{221.77\,kN}{542.61\,kN} = 0.41 \leq 0.5$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} A_s = \frac{23.50\,kN/cm^2}{1.10 * \sqrt{3}} * 43.99\,cm^2 = 542.61\,kN$$

- Prečke: IPE 330

$M_{Ed} = 125.21$ kNm

$N_{Ed} = 30.76$ kN

$V_{Ed} = 127.23$ kN $V_{Ed,M} = 55.41$ kN

$V_{Ed,G} = 71.82$ kN

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{125.21\,kNm}{171.76\,kNm} = 0.73 \leq 1.0$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} W_{pl} = \frac{23.50\,kN/cm^2}{1.10} * 804.00\,cm^3 = 171.76\,kNm$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{30.76\,kN}{1337.36\,kN} = 0.02 \leq 0.15$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}} A = \frac{23.50\,kN/cm^2}{1.10} * 62.60\,cm^2 = 1337.36\,kN$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{127.23\,kN}{317.48\,kN} = 0.40 \leq 0.5$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M_0}\sqrt{3}} A_s = \frac{23.50\,kN/cm^2}{1.10 * \sqrt{3}} * 25.74\,cm^2 = 317.48\,kN$$

Posebna pravila za stebre:

- Stebri: HEA 700

$N_{Ed,G} = 1207.63$ kN $M_{Ed,G} = 107.97$ kNm $V_{Ed,G} = 52.90$ kN

$N_{Ed,E} = 285.70$ kN $M_{Ed,E} = 305.19$ kNm $V_{Ed,E} = 61.62$ kN

Strižna nosilnost panela stojine stebra v območju spoja prečka–steber mora zadoščati pogoju:

- Steber HEA 700 na mestu stikovanja s prečko IPE 450:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} = \frac{338.10\ \text{kN}}{676.04\ \text{kN}} = 0.50 \leq 1.0$$

$M_{Ed,spodaj} = 4810.00$ kNcm

$M_{Ed,zgoraj} = 7970.00$ kNcm

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}^{spodaj} + M_{Ed}^{zgoraj}}{h_w^{nosilca}} = \frac{4810.00\ \text{kNcm} + 7970\ \text{kNcm}}{37.80\ \text{cm}} = 338.10\ \text{kN}$$

$$V_{wp,Rd} = c_{nosilca}\, t_w^{stebra} \frac{f_y^{stebra}}{\gamma_{M0}\sqrt{3}} = 37.80\ \text{cm} * 1.45\ \text{cm} * \frac{23.50\ \text{kN/cm}^2}{1.10 * \sqrt{3}} = 676.04\ \text{kN}$$

Za prečno silo v stebru V_{Ed}, ki izhaja iz globalne analize okvirja, mora veljati:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{101.87\ \text{kN}}{1283.41\ \text{kN}} = 0.08 \leq 0.5$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}} A_s = \frac{23.50\ \text{kN/cm}^2}{1.10\sqrt{3}} * 104.05\ \text{cm}^2 = 1283.41\ \text{kN}$$

- Stebri: HEA 800

$N_{Ed,G} = 1852.69$ kN $M_{Ed,G} = 84.93$ kNm $V_{Ed,G} = 27.09$ kN

$N_{Ed,E} = 134.25$ kN $M_{Ed,E} = 421.72$ kNm $V_{Ed,E} = 83.88$ kN

Strižna nosilnost panela stojine stebra v območju spoja prečka–steber mora zadoščati pogoju:

- Steber HEA 800 na mestu stikovanja s prečko IPE 450:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} = \frac{377.18\ \text{kN}}{441.07\ \text{kN}} = 0.86 \leq 1.0$$

$M_{Ed,spodaj} = 4770.00$ kNcm

$M_{Ed,zgoraj} = 6470.00$ kNcm

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}^{spodaj} + M_{Ed}^{zgoraj}}{h_w^{nosilca}} = \frac{4770.00\ \text{kNcm} + 6470\ \text{kNcm}}{29.80\ \text{cm}} = 377.18\ \text{kN}$$

$$V_{wp,Rd} = c_{nosilca}\, t_w^{stebra} \frac{f_y^{stebra}}{\gamma_{M0}\sqrt{3}} = 29.80\ \text{cm} * 1.20\ \text{cm} * \frac{23.50\ \text{kN/cm}^2}{1.10 * \sqrt{3}} = 441.07\ \text{kN}$$

- Steber HEA 800 na mestu stikovanja s prečko IPE 330:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} = \frac{450.76\ \text{kN}}{489.92\ \text{kN}} = 0.92 \leq 1.0$$

$M_{Ed,spodaj} = 6660.00$ kNcm

$M_{Ed,zgoraj} = 8260.00$ kNcm

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}^{spodaj} + M_{Ed}^{zgoraj}}{h_w^{nosilca}} = \frac{6660.00\ \text{kNcm} + 8260\ \text{kNcm}}{33.10\ \text{cm}} = 450.76\ \text{kN}$$

$$V_{wp,Rd} = c_{nosilca}\, t_w^{stebra} \frac{f_y^{stebra}}{\gamma_{M0}\sqrt{3}} = 33.10\ \text{cm} * 1.20\ \text{cm} * \frac{23.50\ \text{kN/cm}^2}{1.10 * \sqrt{3}} = 489.92\ \text{kN}$$

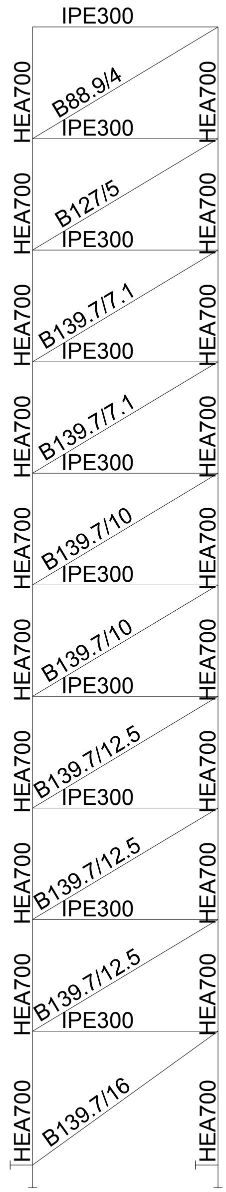
Za prečno silo v stebru V_{Ed}, ki izhaja iz globalne analize okvirja, mora veljati:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{107.44\,\text{kN}}{1520.08\,\text{kN}} = 0.07 \leq 0.5$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}} A_s = \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10\sqrt{3}} * 123.24\,\text{cm}^2 = 1520.08\,\text{kN}$$

4.3 Dinamična analiza v vzdolžni smeri (OSIST ENV 1998-1-2)

V vzdolžni smeri obravnavamo štiri verikalna povezja. V osi 1 in osi 4 imamo po 2 povezji.



4.3.1 DOLOČITEV MAS (po etažah i = 1-10):

$$m = \frac{1}{n_{povezij}} * \left(n_{m.okvir} - 1\right) * m_{m.okvir}$$

$n_{povezij} = 4$

$n_{m.okvir} = 5$

- Masa v 10. etaži (z = 30.6 m):

$$M_{10} = \frac{1}{2} * (5-1) * 63429.65 \text{ kg} = 126859.3 \text{ kg}$$

- Masa v 9. etaži (z = 27.6 m):

$$M_{9} = \frac{1}{2} * (5-1) * 60676.7 \text{ kg} = 121353.4 \text{ kg}$$

- Masa v 8. etaži (z = 24.6 m):

$$M_{8} = \frac{1}{2} * (5-1) * 60676.7 \text{ kg} = 121353.4 \text{ kg}$$

- Masa v 7. etaži (z = 21.6 m):

$$M_{7} = \frac{1}{2} * (5-1) * 60676.7 \text{ kg} = 121353.4 \text{ kg}$$

- Masa v 6. etaži (z = 18.6 m):

$$M_{6} = \frac{1}{2} * (5-1) * 60676.7 \text{ kg} = 121353.4 \text{ kg}$$

- Masa v 5. etaži (z = 15.6 m):

$$M_{5} = \frac{1}{2} * (5-1) * 60676.7 \text{ kg} = 121353.4 \text{ kg}$$

- Masa v 4. etaži (z = 12.6 m):

$$M_{4} = \frac{1}{2} * (5-1) * 60676.7 \text{ kg} = 121353.4 \text{ kg}$$

- Masa v 3. etaži (z = 9.6 m):

$$M_{3} = \frac{1}{2} * (5-1) * 60676.7 \text{ kg} = 121353.4 \text{ kg}$$

- Masa v 2. etaži (z = 6.6 m):

$$M_{2} = \frac{1}{2} * (5-1) * 60676.7 \text{ kg} = 121353.4 \text{ kg}$$

- Masa v 1. etaži (z = 3.6 m):

$$M_{1} = \frac{1}{2} * (5-1) * 61086.42 \text{ kg} = 122172.8 \text{ kg}$$

4.3.2 RAČUN NIHAJNEGA ČASA IN POTRESNIH SIL

$$T_2(ESA) = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{0.531\,Hz} = 1.88\,s$$

$$\nu = 0.531\,Hz$$

$$S_d(T_1) = a_g S \frac{2.5}{q}\left[\frac{T_C}{T_1}\right] \geq 0.2 a_g ; T_C \leq T \leq T_D$$

$$0.5\,s \leq T1 = 1.88\,s \leq 2.0s$$

$$S_d(T_1) = 0.175 * 9.81 m/s^2 * 1.2 * \frac{2.5}{4} * \left[\frac{0.5\,s}{1.86\,s}\right] \geq 0.2 * 0.175 * 9.81 m/s^2$$

$$S_d(T_1) = 0.3418\,m/s^2 \geq 0.3434\,m/s^2$$

$$F_b = S_d(T_1) m \lambda$$

$$F_b = 0.3434\,m/s^2 * 1200349.07\,kg * 1.0 = 412.20\,kN$$

$x = 10$ m

$L_e = 20$ m

$$F_i = F_b \frac{s_i m_i}{\sum_j s_j m_j} \qquad \delta = 1 + 0.6\frac{x}{L_e} \qquad F_i = F_i \delta$$

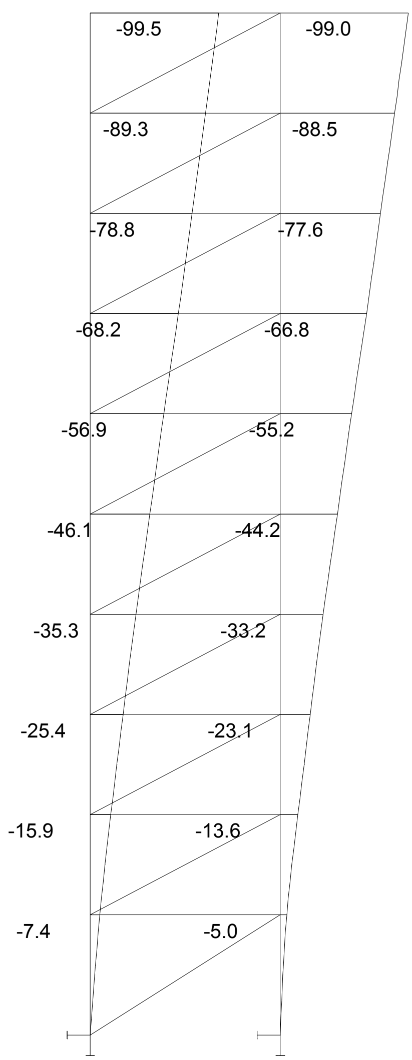
F_1=	8,75	kN	δ= 1,3	F_1=	11,38	kN
F_2=	15,84	kN	δ= 1,3	F_2=	20,59	kN
F_3=	22,97	kN	δ= 1,3	F_3=	29,85	kN
F_4=	30,08	kN	δ= 1,3	F_4=	39,10	kN
F_5=	37,20	kN	δ= 1,3	F_5=	48,36	kN
F_6=	44,32	kN	δ= 1,3	F_6=	57,62	kN
F_7=	51,44	kN	δ= 1,3	F_7=	66,88	kN
F_8=	58,55	kN	δ= 1,3	F_8=	76,11	kN
F_9=	65,64	kN	δ= 1,3	F_9=	85,34	kN
F_{10}=	77,36	kN	δ= 1,3	F_{10}=	100,56	kN

4.3.3 KONTROLA POMIKOV

$d_r \nu \le 0.0075h$ $d_r = (u_i - u_{i-1})q$ ν=0.5

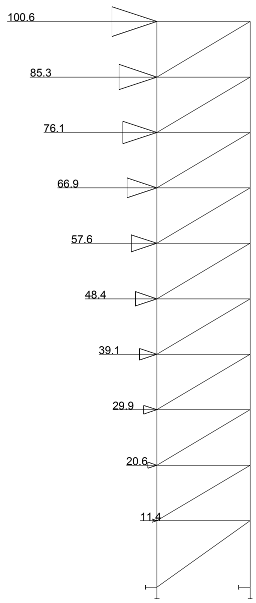
	u_i[mm]	h_i[mm]
1	7,38	3600
2	15,93	3000
3	25,37	3000
4	35,31	3000
5	46,15	3000
6	56,90	3000
7	68,10	3000
8	78,76	3000
9	89,29	3000
10	99,47	3000

$d_r\nu$[mm]		≤	0.0075h[mm]	
14,76	mm	≤	27	mm
17,10	mm	≤	22,5	mm
18,88	mm	≤	22,5	mm
19,88	mm	≤	22,5	mm
21,68	mm	≤	22,5	mm
21,50	mm	≤	22,5	mm
22,40	mm	≤	22,5	mm
21,32	mm	≤	22,5	mm
21,06	mm	≤	22,5	mm
20,36	mm	≤	22,5	mm



Primerjava med horizontalno obtežbo vetra in potresom:

POTRESNA SILA:



$F_1 = 11.38$ kN

$F_2 = 20.59$ kN

$F_3 = 29.85$ kN

$F_4 = 39.10$ kN

$F_5 = 48.36$ kN

$F_6 = 57.62$ kN

$F_7 = 66.88$ kN

$F_8 = 76.11$ kN

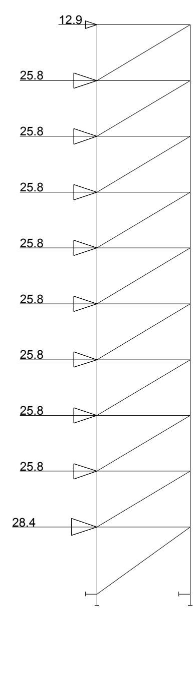
$F_9 = 85.34$ kN

$F_{10} = 100.56$ kN

VETER:

w= 0,87 kN/m^2 B/2= 9,9 m

h[m]	$w_i = wh$				
3,60	w_P=	2,871 kN/m	F_P=	28,42	kN
3,00	w_1=	2,61 kN/m	F_1=	25,84	kN
3,00	w_2=	2,61 kN/m	F_2=	25,84	kN
3,00	w_3=	2,61 kN/m	F_3=	25,84	kN
3,00	w_4=	2,61 kN/m	F_4=	25,84	kN
3,00	w_5=	2,61 kN/m	F_5=	25,84	kN
3,00	w_6=	2,61 kN/m	F_6=	25,84	kN
3,00	w_7=	2,61 kN/m	F_7=	25,84	kN
3,00	w_8=	2,61 kN/m	F_8=	25,84	kN
3,00	w_9=	2,61 kN/m	F_9=	25,84	kN
3,00	w_{10}=	1,305 kN/m	F_{10}=	12,92	kN



Merodajen je potres.

5 VERTIKALNO ZAVETROVANJE

Diagonale dimenzioniramo samo na nateg; tlačnim diagonalam pa dovolimo, da se uklonijo. Če pa pride obremenitev iz druge strani, tlačne diagonale postanejo natezno obremenjene, druge pa so v tem primeru tlačne in se lahko uklonijo.

POTRESNA SILA:

F1=	11,38	kN
F2=	20,59	kN
F3=	29,85	kN
F4=	39,10	kN
F5=	48,36	kN
F6=	57,62	kN
F7=	66,88	kN
F8=	76,11	kN
F9=	85,34	kN
F10=	100,56	kN

VETER:

$w = 0{,}87$ kN/m^2 $B/2 = 9{,}9$ m

h[m]	$w_i = wh$					
3,60	$w_P=$	2,871	kN/m	$F_P=$	28,42	kN
3,00	$w_1=$	2,61	kN/m	$F_1=$	25,84	kN
3,00	$w_2=$	2,61	kN/m	$F_2=$	25,84	kN
3,00	$w_3=$	2,61	kN/m	$F_3=$	25,84	kN
3,00	$w_4=$	2,61	kN/m	$F_4=$	25,84	kN
3,00	$w_5=$	2,61	kN/m	$F_5=$	25,84	kN
3,00	$w_6=$	2,61	kN/m	$F_6=$	25,84	kN
3,00	$w_7=$	2,61	kN/m	$F_7=$	25,84	kN
3,00	$w_8=$	2,61	kN/m	$F_8=$	25,84	kN
3,00	$w_9=$	2,61	kN/m	$F_9=$	25,84	kN
3,00	$w_{10}=$	1,305	kN/m	$F_{10}=$	12,92	kN

5.1 OBTEŽNE KOMBINACIJE

5.1.1 MSN

1.) $1.0A_{Ed}$

2.) 1.5w

5.1.2 MSU

1.) $1.0A_{Ed}$

2.) 1.0w

5.2 DIMENZIONIRANJE

5.2.1 MSN

Dimenzioniranje s programom ESA-Prima Win.

5.2.2 MSU

5.2.2.1 Kontrola horizontalnih pomikov

-večetažna zgradba: -posamezna etaža: $\delta \leq \frac{h}{300}$

Tabela 5.1: Horizontalni pomiki po etažah

	u_i[mm]	δ[mm]	≤	h/300[mm]
P	3,28	3,28	≤	12
1	6,67	3,39	≤	10
2	10,11	3,44	≤	10
3	13,49	3,38	≤	10
4	16,96	3,47	≤	10
5	20,24	3,28	≤	10
6	23,52	3,28	≤	10
7	26,43	2,91	≤	10
8	29,16	2,73	≤	10
9	31,53	2,37	≤	10

-celotna višina zgradbe: $\delta \leq \frac{H}{500}$

Tabela 5.2: Horizontalni pomik celotne zgradbe

δ [mm]	≤	H/500 [mm]
31,53	≤	67,20

5.3 KONSTRUKCIJSKA PRAVILA ZA OKVIRJE S KONCENTRIČNIM POVEZJEM: (OSIST ENV 1998-1-3)

Okvirje s koncentričnimi povezji moramo projektirati tako, da se energija disipira s plastifikacijo nateznih diagonal.

$$\frac{\left|A^{+} - A^{-}\right|}{A^{+} + A^{-}} \leq 0.05$$

Za naš primer velja: $A+ = A- = A\cos\alpha$

$0 \leq 0{,}05$

$$\Omega = \min\left(\frac{N_{pl,Rd,i}}{N_{Ed,i}}\right); i...\text{diagonale}$$

$$N_{pl,Rd} = A\frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

	Profil:	$A[cm^2]$	$i_z[cm]$	$N_{Ed,max}[kN]$	$N_{pl,Rd}[kN]$	Ω
1.etaža	B 139,7/16	62,18	4,410	667,90	1328,39	1,99
2.etaža	B 139,7/12,5	49,95	4,519	602,40	1067,11	1,77
3.etaža	B 139,7/12,5	49,95	4,519	588,82	1067,11	1,81
4.etaža	B 139,7/12,5	49,95	4,519	555,67	1067,11	1,92
5.etaža	B 139,7/10	40,75	4,599	502,65	870,57	1,73
6.etaža	B 139,7/10	40,75	4,599	456,38	870,57	1,91
7.etaža	B 139,7/7,1	29,58	4,695	376,87	631,94	1,68
8.etaža	B 139,7/7,1	29,58	4,695	318,87	631,94	1,98
9.etaža	B 127/5	19,16	4,317	214,21	409,33	1,91
10.etaža	B 88,9/4	10,69	3,105	118,78	228,38	1,92

$$\frac{\Omega_{max} - \Omega_{min}}{\Omega_{max}} = \frac{1.94 - 1.68}{1.94} = 0.16 \leq 0.25$$

$\Omega_{min} =$ 1,68
$\Omega_{max} =$ 1,94

Za diagonalna centrična povezja velja: $1.3 \le \bar{\lambda} \le 2.0$

		l_u[mm]	i_z[cm]	λ_1
$\bar{\lambda}_1$=	1,49	6161	4,410	93,90
$\bar{\lambda}_2$=	1,37	5831	4,519	93,90
$\bar{\lambda}_3$=	1,37	5831	4,519	93,90
$\bar{\lambda}_4$=	1,37	5831	4,519	93,90
$\bar{\lambda}_5$=	1,35	5831	4,599	93,90
$\bar{\lambda}_6$=	1,35	5831	4,599	93,90
$\bar{\lambda}_7$=	1,32	5831	4,695	93,90
$\bar{\lambda}_8$=	1,32	5831	4,695	93,90
$\bar{\lambda}_9$=	1,44	5831	4,317	93,90
$\bar{\lambda}_{10}$=	2,00	5831	3,105	93,90

$$\lambda_1 = 93.9\sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda}_i = \frac{l_u}{i_z \lambda_1}$$

Da zagotovimo enakomerno disipativno obnašanje diagonal, moramo prerez diagonal v višjih nadstropjih zmanjševati, saj je tam prečna sila etaže manjša.

- Stebri: HEA 700

$\Omega = 1.37$

$$N_{pl,Rd}(M_{Ed}) \ge N_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega N_{Ed,E}$$

4721.40 kN ≥ 1189.99 kN + 1.1*1.25*1.37*1261.12 kN

4721.40 kN ≥ 3565.63 kN

$$N_{pl,Rd} = N_{Ea,Rd}^{stebra} = \chi A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = 0.85 * 260\,cm^2 * \frac{23.50\,kN/cm^2}{1.10} = 4721.40\,kN$$

$$\chi = \chi(\bar{\lambda}) = 0.85$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{52.6}{93.9} = 0.56$$

$$\lambda = \frac{l_u}{i_z} = \frac{360\,cm}{6.84\,cm} = 52.6$$

$$\lambda_1 = 93.9 * \varepsilon = 93.9$$

$$\boxed{N_{Ed,G} = N_{Ed,G}^{mom.ok.}}$$

$N_{Ed,G}$=1189.99 kN

$$\boxed{N_{Ed,E}^{steber} = N_{Ed,E}^{okvir,x} + 0.3N_{Ed,E}^{okvir,y}}$$

$$N_{Ed,E}^{steber} = 285.70\ kN + 0.3 * 1148.48\ kN = 630.24\ kN$$

$$\boxed{N_{Ed,E}^{steber} = 0.3N_{Ed,E}^{okvir,x} + N_{Ed,E}^{okvir,y}}$$

$$N_{Ed,E}^{steber} = 0.3 * 282.28\ kN + 1148.48\ kN = 1233.16\ kN$$

Obremenitev stebrov v območju povezij, zaradi delovanja potresne obtežbe v obeh glavnih smereh:

- Steber HEA 700

$$N_{Sd} = N^x + 0.3N^y = 285.70\ kN + 0.3 * 1148.48\ kN = 630.24\ kN$$
$$N_{Sd} = 0.3N^x + N^y = 0.3 * 285.70\ kN + 1148.48\ kN = 1234.19\ kN$$

$M_{Sd} = M^x = 305.19$ kNm

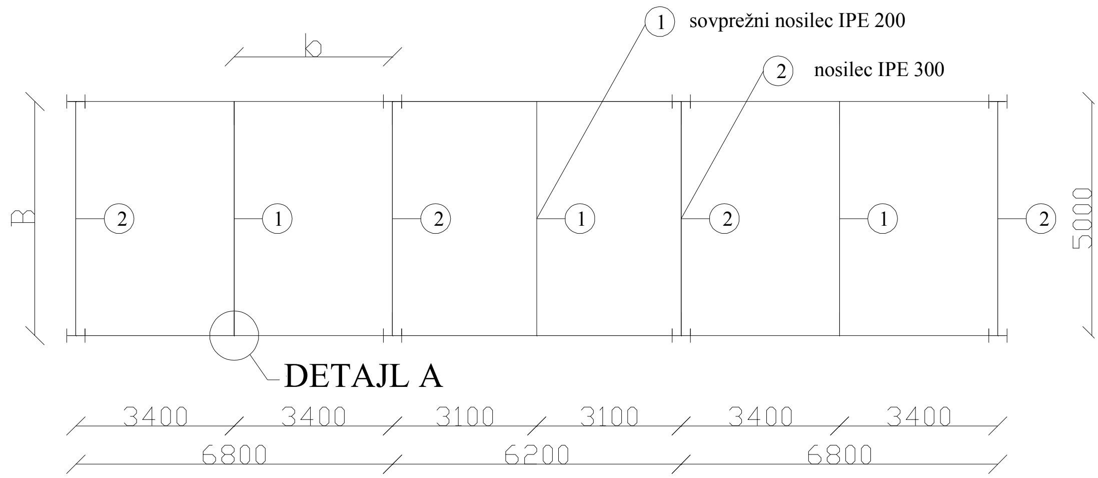
$$V_{Sd} = V^x + 0.3V^y = 61.62\ kN + 0.3 * 0 = 61.62\ kN$$
$$V_{Sd} = 0.3V^x + V^y = 0.3 * 61.62\ kN + 0 = 18.49\ kN$$

Ker potres deluje v obeh glavnih smereh, moramo zunanje stebre v območju povezij dodatno kontrolirati. To naredimo tako, da jih obremenimo z dodatnimi silami in v programu preverimo kontrolo nosilnosti in stabilnosti.

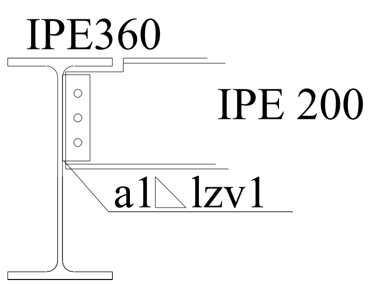
6 MEDETAŽNA KONSTRUKCIJA

9.1 ZASNOVA

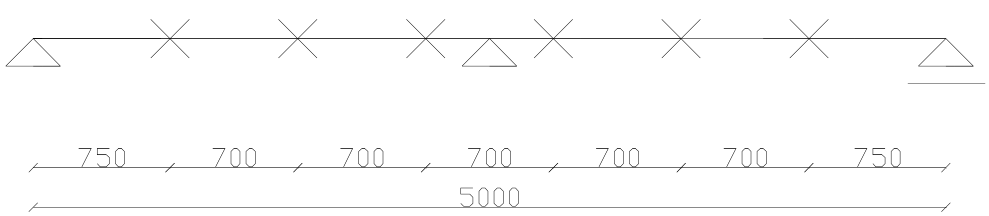
Predpostavimo, da je stik tog. Sovprežne nosilce v času montaže vertikalno in bočno podpremo.



Detajl A:



bočno podpiranje v fazi montaže



začasna podpora v fazi montaže

9.2 OBTEŽBA

9.2.1 LASTNA IN STALNA OBTEŽBA

-finalna obloga: $0.1\ kN/m^2$

-armirani cementni estrih [5cm]: $0.05\ m*25\ kN/m^3 = 1.25\ kN/m^2$

-TI + spuščeni strop: $0.1\ kN/m^2$

-AB plošča [12cm]: $0.12\ m*25\ kN/m^3 = \underline{3.0\ kN/m^2}$

$- G_{M.K.} = 4.45\ kN/m^2$

-jekleni nosilec IPE 200: $- G_{j.} = 0.22\ kN/m$

$G = 4.45\ kN/m^2*3.4\ m+0.22\ kN/m = 15.35\ kN/m$

9.2.2 KORISTNA OBTEŽBA

$Q = 3.0\ kN/m^2*3.4\ m = 10.20\ kN/m$

9.2.3 OBTEŽBA MED GRADNJO (delavci, oprema)

$M_1 = 0.75\ kN/m^2*3.4\ m = 2.55\ kN/m$

9.2.4 KOPIČENJE BETONA (1.5 kN/m² na površini 3m×3m)

$M_2 = 1.5\ kN/m^2*3.4\ m = 5.1\ kN/m$

9.3 FAZA MONTAŽE

9.3.1 OBTEŽNE KOMBINACIJE

9.3.1.1 MSN

$$\boxed{q_{Ed} = 1.35G_{j.} + 1.5(G_{M.K.} + M_1 + M_2)}$$

$$q_{Ed} = 1.35 * 0.22\ kN/m + 1.5 * (15.3\ kN/m + 2.55\ kN/m + 5.1\ kN/m) = 34.72\ kN/m$$

9.3.1.2 MSU

$$\boxed{q_{Ed} = 1.0G_{j.} + 1.0G_{M.K.}}$$

$$q_{Ed} = 1.0 * 0.22\ kN/m + 1.0 * 15.3\ kN/m = 15.52\ kN/m$$

9.3.2 DIMENZIONIRANJE

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed}^{MSN} B^2}{8} = \frac{34.72\ kN/m * 5.0^2\ m^2}{8} = 108.51\ kNm$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed}^{MSN} B}{2} = \frac{34.72\ kN/m * 5.0\ m}{2} = 86.81\ kN$$

Nosilnost jeklenega prereza:

$$M_{Ed} = 108.51\,\text{kNm} \le M_{Rd} = W_{el,y}\frac{f_y}{\gamma_{M_1}} = 194\,\text{cm}^3 * \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10} = 41.45\,\text{kNm}$$

(Kontrola se ne izide)

$$V_{Ed} = 86.81\,\text{kN} \le V_{pl,Rd} = A_v\frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_0}} = 11.65\,\text{cm}^2 * \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3}*1.10} = 143.7\,\text{kN}$$

Kontrola upogibne nosilnosti se nam ne izide, zato jekleni nosilec v času montaže na sredini podpremo:

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed}(L/2)^2}{8} = \frac{34.72\,\text{kN/m}*(5\,\text{m}/2)^2}{8} = 27.13\text{kNm}$$

$$M_{Ed} = 27.13\,\text{kNm} \le M_{Rd} = 41.45\,\text{kNm}$$

Kontrola bočne zvrnitve:

$$M_{Sd} = 10851\,\text{kNcm} \le M_{b,Rd} = \chi_{LT}W_{pl,y}\frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0.32*221\,\text{cm}^3\,\frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10} = 1510.84\,\text{kNcm}$$

(Kontrola se ne izide)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{5193.50\,\text{kNcm}}{3186.50\,\text{kNcm}}} = 1.63 \qquad \chi = \chi(\bar{\lambda}_{LT}) = 0.32$$

$$M_{pl} = W_{pl,y}f_y = 221\text{cm}^3 * 23.50\,\text{kN/cm}^2 = 5193.50\,\text{kNcm}$$

$$\boxed{M_{cr} = C_1\frac{\pi}{kL}\sqrt{EI_zGI_t + \frac{\pi^2 EI_w EI_z}{(k_wL)^2}}} \qquad M_{cr} = 3186.50\,\text{kNm}$$

Ker se nam kontrola ne izide, moramo nosilec v času montaže bočno podpreti. Določiti moramo število bočnih podpor in razdaljo med njimi:

$$c^{pot.} \le 0.4 * i^f * \lambda_1 = 0.4 * 2.14\,\text{cm} * 93.9 = 80.4\,\text{cm}$$

$$i^f = \sqrt{\frac{I^f}{A^f}} = \sqrt{\frac{46.67\,\text{cm}^4}{10.21\,\text{cm}^2}} = 2.14\,\text{cm}$$

$$I^f = \frac{b^3 * t^w}{12} = \frac{10^3\,\text{cm}^3 * 0.56\,\text{cm}}{12} = 46.67\,\text{cm}^4$$

$$A^f = b * t^f + \frac{h^w * t^w}{6} = 10\,cm * 0.85\,cm + \frac{18.3\,cm * 0.56\,cm}{6} = 10.21\,cm$$

$$\lambda_1 = 93.9 * \varepsilon = 93.9 * 1 = 93.9$$

- št. polj med bočnimi podporami:

$$n \geq \frac{L}{c^{pot.}} = \frac{500\,cm}{80\,cm} = 6.25 \rightarrow n = 7$$

Kontrola kompaktnosti:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_y}{235}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

- stojina: $\frac{d}{t_w} = \frac{159\,mm}{5.6\,mm} = 28.4 \leq 72\varepsilon = 72$

- pasnica: $\frac{c}{t_f} = \frac{50\,mm}{8.5\,mm} = 5.9 \leq 10\varepsilon = 10$

- stojina v strigu: $\frac{d}{t_w} = \frac{159\,mm}{5.6\,mm} = 28.4 \leq 69\varepsilon = 69$

Kontrola pomikov (MSU)

$$w_{dop.} = \frac{B}{250} = \frac{5000mm}{250} = 20mm$$

$$\boxed{w = \frac{5q_{Ed}^{MSU} L^4}{384 E_s I_y} \leq w_{dop.}}$$

$$w = \frac{5 * 0.1552\,kN/cm * (500\,cm)^4}{384 * 21000\ kN/cm^2 * 1940\,cm^4} = 31\,mm \leq 20\,mm \text{ (Kontrola se ne izide)}$$

Ker pridejo vertikalni pomiki preveliki moramo nosilec v času montaže na sredini podpreti.

Kontrola pomikov, ko dodamo začasno vmesno podporo:

$$w = \frac{5 * 0.1552\,kN/cm * (250\,cm)^4}{384 * 21000\ kN/cm^2 * 1940\,cm^4} = 19\,mm \leq 20\,mm$$

9.4 SOVPREŽNO STANJE

9.4.1 OBTEŽNE KOMBINACIJE

9.4.1.1 MSN

$$\boxed{q_{Ed} = 1.35G + 1.5Q}$$

$$q_{Ed} = 1.35 * 15.35\ \text{kN/m} + 1.5 * 10.20\ \text{kN/m} = 36.02\ \text{kN/m}$$

9.4.1.2 MSU

$$\boxed{q_{Ed} = 1.0G + 1.0Q}$$

$$q_{Ed} = 1.0 * 15.35\ \text{kN/m} + 1.0 * 10.20\ \text{kN/m} = 25.55\ \text{kN/m}$$

9.4.2 DIMENZIONIRANJE

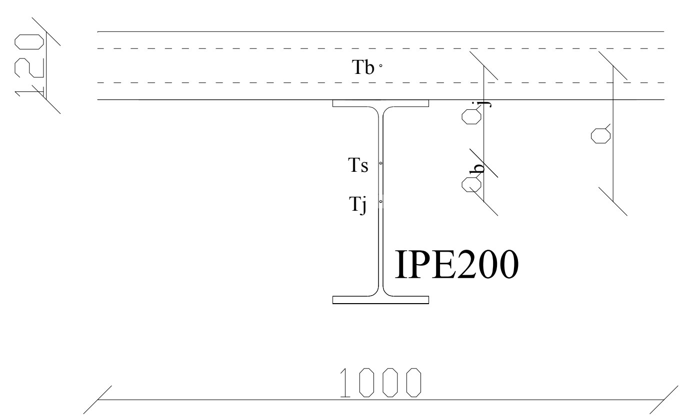
B=5.0 m

$$M_{Ed} = \frac{q_{Ed}^{MSN} B^2}{8} = \frac{36.02\ \text{kN/m} * (5.0\ \text{m})^2}{8} = 112.56\ \text{kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed}^{MSN} B}{2} = \frac{36.02\ \text{kN/m} * 5.0\ \text{m}}{2} = 90.05\ \text{kN}$$

Izberem nosilec IPE 200 $\quad h_j \approx \frac{B}{25} = \frac{500\ \text{cm}}{25} = 20\ \text{cm}$

Prerez v polju:



$$b_{e1} = \frac{0.8*1}{8} = 50\,\text{cm}$$

$$b_e = 2b_{e1} = 2*50\,\text{cm} = 100\,\text{cm} \le b = 340\,\text{cm}$$

$$a = \frac{12\,\text{cm}}{2} + \frac{20\,\text{cm}}{2} = 16\,\text{cm}$$

$A_j = 28.5\ \text{cm}^2$

$I_j = 1940\ \text{cm}^4$

$A_b = 100\ \text{cm}*4.3\ \text{cm} = 430\ \text{cm}^2$

$$I_b = \frac{100\,\text{cm}*4.3^3\,\text{cm}^3}{12} = 662.56\text{cm}^3$$

$$a_j = \frac{A_b a}{n_\infty A_s} = \frac{430\,\text{cm}^2*16\,\text{cm}}{20.6*49.37\,\text{cm}^2} = 6.77\,\text{cm}$$

$$A_s = A_j + \frac{A_b}{n_\infty} = 28.5\,\text{cm}^2 + \frac{430\,\text{cm}^2}{20.6} = 49.37\,\text{cm}^2$$

$$a_b = \frac{A_j}{A_s}a = \frac{28.5\,\text{cm}^2}{49.37\,\text{cm}^2}*16\,\text{cm} = 9.24\,\text{cm}$$

$$I_s = I_j + a_j^2 A_j + \frac{1}{n_\infty}\left(I_b + a_b^2 A_b\right) =$$

$$= 1940\,\text{cm}^4 + 6.77^2\,\text{cm}^2*28.5\,\text{cm}^2 + \frac{1}{20.6}*\left(662.56\,\text{cm}^4 + 9.24^2\,\text{cm}^2*430\,\text{cm}^2\right) = 5060.56\,\text{cm}^4$$

$n_0 = 10.3 \quad n_\infty = 2*n_0 = 20.6$

Upogibna nosilnost sovprežnega nosilca:

Beton: $F_{cf,c} = 0.85\frac{f_{ck}}{\gamma_c}b_{eff.}h_b = 0.85*\frac{2.5\,\text{kN/cm}^2}{1.5}*100\,\text{cm}*12\,\text{cm} = 1700\,\text{kN}$

Jeklo: $F_{cf,s} = A\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 28.50\,\text{cm}^2*\frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.1} = 608.90\,\text{kN}$

$F_{cf,c} \ge F_{cf,s}$

Nevtralna os je v betonu.

Ravnotežje:

Beton C 25/30

$$F_{cf,c} = 0.85\frac{f_{ck}}{\gamma_c} b_{eff.} h_c$$

$$F_{cf,c} = 0.85 * \frac{2.50\ kN/cm^2}{1.50} * 100\ cm * 4.3\ cm$$

$$F_{cf,c} = 141.67 * h_c\ kN$$

$$F_{cf,c} = 608.9\ kN$$

$h_c = 4.3$ cm

Jeklo: IPE 220 (S 235)

$$F_{cf,s} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} A = \frac{23.50\ kN/cm^2}{1.10} * 28.5\ cm^2 = 608.9\ kN$$

$$e = \frac{h}{2} + h_c - \frac{x_c}{2} = \frac{20\ cm}{2} + 12\ cm - \frac{4.3\ cm}{2} = 19.8\ cm$$

$$M_{pl,Rd} = F_{cf,s} e = 608.9\ kN * 19.8\ cm = 12056.2\ kNm$$

Kontrola upogibne nosilnosti:

$$M_{Rd} \geq M_{Sd}$$

120.56 kNm ≥ 112.56kNm

Izkoriščenost:

$$I = \frac{112.56\ kNm}{120.56\ kNm} = 0.93\ \%$$

Kontrola pomikov (MSU)

B = 5000 mm

$q_{Ed} = 25.55$ kN/m

$$w = \frac{5 q_{Ed}^{MSU} L^4}{384 E_s I_{sovprežno}} \leq w_{dop.}$$

$$w = \frac{5 * 0.2555\ kN/cm * (500\ cm)^4}{384 * 21000\ \ kN/cm^2 * 5060.56\ cm^4} = 19.56\ mm \leq 20\ mm$$

Vertikalni strig:

$$V_{Ed} = 90.05\,\text{kN} \leq V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} = 1.04 * 20\,\text{cm} * 0.56\,\text{cm} * \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3} * 1.10} = 143.67\,\text{kN}$$

Pri sovprežnih nosilcih ves strig prevzame jekleni element.

9.5 MOZNIKI

Predpostavljena je polna sovprežnost.

Izberem moznike NELSON

d =19 mm

h = 100 mm

f_u = 45 kN/cm^2

Pogoji:

$\boxed{t_f \geq 0.4d}$ 10 mm ≥ 0.4*19mm = 7,6 mm

$\boxed{h_c - h \geq 2\text{cm}}$ 12.00 cm – 10.00 cm = 2.00 cm ≥ 2.00 cm

$\boxed{h \geq 3d}$ 100 mm ≥ 3*19 mm = 57 mm

Razmak med mozniki:

$\boxed{5d \leq e \leq 80\text{cm}}$ 5*19 mm = 95 mm ≤ e ≤ 800 mm

Izberem e =35cm

Nosilnost enega moznika:

$$\boxed{P_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{M1}}\left(0.29\alpha.\ ^2\sqrt{E_{cm} f_{ck}}\right)}$$ ...bočni pritisk moznika na beton

$$P_{Rd} = \frac{1}{1.10} * \left(0.29 * 1 * 1.9^2\,\text{cm}^2 * \sqrt{3050\,\text{kN/cm}^2 * 2.5\,\text{kN/cm}}\right) = 73.13\,\text{kN}$$

$$\boxed{P_{Rd} = 0.8 f_U \frac{\pi d^2}{4\gamma_{M2}}}$$ ...prestrig moznika

$$P_{Rd} = 0.8 * 45.00\,\text{kN/cm}^2 * \frac{\pi * 1.9^2\,\text{cm}^2}{4 * 1.25} = 81.61\,\text{kN}$$

$$\boxed{\alpha = 0.2\left(\frac{h}{d}+1\right); \frac{h}{d} \in [3,4]}$$

$$\boxed{\alpha = 1; \frac{h}{d} \geq 4}$$

$\alpha = 1$

$E_{cm} = 3050\ kN/cm^2$

Število moznikov:

$$n = \frac{F_{cf,s}}{P_{Rd}} = \frac{608.9\ kN}{73.13\ kN} = 8.33$$

Izberem n = 10

$$e = \frac{B}{n} = \frac{500\ cm}{10} = 50\ cm \leq 5d = 5*1.9\ cm = 9.5\ cm$$

Enakomerna razporeditev čepov:

$$\frac{M_{pl,Rd}}{M_{pl,j,Rd}} = \frac{12056.2\ kNcm}{4721.36\ kNcm} = 2.55 \leq 2.5$$

9.6 STRIŽNA ARMATURA

Izberem armaturo:

$$\boxed{A_e = A_{zg.} + A_{sp.} \geq 0.002 h_c 100\ cm}$$

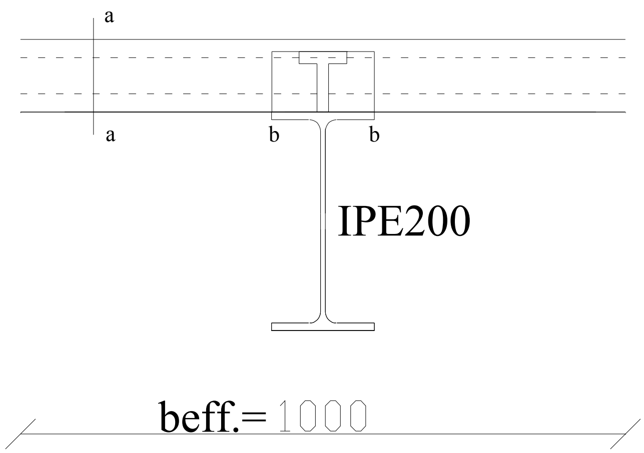
$A_e = 1.33\ cm^2 + 1.33\ cm^2 \geq 0.002*12.00\ cm*100\ cm$

$A_e = 2.66\ cm^2 \geq 2.40\ cm^2$

$A_{zg.} = 1.33\ cm^2$ Q133

$A_{sp.} = 1.33\ cm^2$ Q133

Vzdolžni strig:



$\beta = 1.00$

$\tau_{Rd} = 0.03$

a-a:

$$A_{cv} = 2h_c 100cm$$

A_{cv}=2*12.00 cm*100 cm= 2400 cm^2

$$V_{Rd} = 2.5A_{cv}\beta\tau_{Rd} + \frac{A_e f_{sk}}{\gamma_s}$$

$$V_{Rd} = 2.5 * 2400\,cm^2 * 1.0 * 0.03\,kN/cm^2 + \frac{2.66\,cm^2 * 50\,kN/cm^2}{1.15} = 295.65\,kN$$

$$V_{Rd} = 0.2A_{cv}\beta\frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$V_{Rd} = 0.2 * 2400 * 1.0 * \frac{2.50\,kN/cm^2}{1.5} = 800.0\,kN$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

295.65 kN ≥ 90.05 kN

b-b:

$$A_{cv} = (2h + b)100cm$$

A_{cv}=(2*10 cm+10 cm)*100 cm=3000 cm^2

$$V_{Rd} = 2.5A_{cv}\beta\tau_{Rd} + \frac{A_e f_{sk}}{\gamma_s}$$

$$V_{Rd} = 2.5 * 3000\,cm^2 * 1.0 * 0.03\,kN/cm^2 + \frac{2.66\,cm^2 * 50\,kN/cm^2}{1.15} = 340.65\,kN$$

$$V_{Rd} = 0.2A_{cv}\beta\frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$V_{Rd} = 0.2 * 3000\,cm2 * 1.0 * \frac{2.50\,kN/cm^2}{1.5} = 1000\,kN$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

340.65 kN ≥ 90.05 kN

7 RAČUN ZNAČILNIH SPOJEV IN REAKCIJ NA TEMELJE

7.1 Projektne vrednosti notranjih sil E_{Fd} stebrov v priključku na temelj

IPE 360

$h_{w,nosilec} = 29.80$ cm

$W_{pl,Rd,i} = 1019.00\ cm^3$

$$M_{pl,Rd,i} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} W_{pl,Rd,i}$$

$$M_{pl,Rd,i} = \frac{23.50\ kN/cm^2}{1.10} * 1019.00\ cm^3$$

$M_{pl,Rd,i} = 217.70$ kNm

$M_{Ed,i} = 128.53$ kNm

$\Omega = 1.69$

IPE 400

$h_{w,nosilec} = 33.10$ cm

$W_{pl,Rd,i} = 1307.00\ cm^3$

$$M_{pl,Rd,i} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} W_{pl,Rd,i}$$

$$M_{pl,Rd,i} = \frac{23.50\ kN/cm^2}{1.10} * 1307.00\ cm^3$$

$M_{pl,Rd,i} = 279.22$ kNm

$M_{Ed,i} = 157.66$ kNm

$\Omega = 1.77$

$$\boxed{\Omega = \min\left(\frac{M_{pl,Rd,i}}{M_{Ed,i}}\right)} \qquad \Omega = 1.69$$

7.1.1 PROJEKTNE VREDNOSTI NOTRANJIH SIL E_{Fd} STEBRA HEA 400 V PRIKLJUČKU NA TEMELJ:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega N_{Ed,E} = 686.05\ kN + 1.1*1*1*1.69*170.99\ kN = 1035.71\ kN$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega M_{Ed,E} = 77.70\ kNm + 1.1*1.1*1.69*115.75\ kNm = 314.4\ kNm$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega V_{Ed,E} = 37.53\ kN + 1.1*1.1*1.69*34.33\ kN = 107.73\ kN$$

7.1.2 PROJEKTNE VREDNOSTI NOTRANJIH SIL E_{Fd} STEBRA HEA 500 V PRIKLJUČKU NA TEMELJ:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega N_{Ed,E} = 1167.76\ kN + 1.1*1*1*1.69*34.43\ kN = 1238.17\ kN$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega M_{Ed,E} = 16.96\ kNm + 1.1*1.1*1.69*217.73\ kNm = 462.20\ kNm$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega V_{Ed,E} = 8.39\ kN + 1.1*1.1*1.69*64.89\ kN = 141.08\ kN$$

IPE 450

$h_{w,nosilec} = 37.80$ cm

$W_{pl,Rd,i} = 1702.00$ cm^3

$$M_{pl,Rd,i} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} W_{pl,Rd,i}$$

$$M_{pl,Rd,i} = \frac{23.50\ \mathrm{kN/cm^2}}{1.10} * 1702.00\ \mathrm{cm^3}$$

$M_{pl,Rd,i} = 363.61$ kNm

$M_{ed,i} = 260.19$ kNm

$\Omega = 1.40$

IPE 330

$h_{w,nosilec} = 27.10$ cm

$W_{pl,Rd,i} = 804.00$ cm^3

$$M_{pl,Rd,i} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} W_{pl,Rd,i}$$

$$M_{pl,Rd,i} = \frac{23.50\ \mathrm{kN/cm^2}}{1.10} * 804.00\ \mathrm{cm^3}$$

$M_{pl,Rd,i} = 171.76$ kNm

$M_{ed,i} = 125.21$ kNm

$\Omega = 1.37$

$$\boxed{\Omega = \min\left(\frac{M_{pl,Rd,i}}{M_{Ed,i}}\right)} \qquad \Omega = 1.37$$

7.1.3 PROJEKTNE VREDNOSTI NOTRANJIH SIL E_{Fd} STEBRA HEA 700 V PRIKLJUČKU NA TEMELJ:

$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega N_{Ed,E}$ = 1207.63 kN+1.1*1*1*1.37*285.70 kN = 1681.24 kN

$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega M_{Ed,E}$ = 107.97 kNm+1.1*1.1*1.37*305.19 kNm = 613.88 kNm

$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega V_{Ed,E}$ = 52.90 kN+1.1*1.1*1.37*61.62 kN = 155.05 kN

7.1.4 PROJEKTNE VREDNOSTI NOTRANJIH SIL E_{Fd} STEBRA HEA 800 V PRIKLJUČKU NA TEMELJ:

$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega N_{Ed,E}$ = 1852.69 kN+1.1*1*1*1.37*134.25 kN = 2075.24 kN

$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega M_{Ed,E}$ = 84.93 kNm+1.1*1.1*1.37*421.72 kNm = 784.02 kNm

$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1\gamma_{ov}\Omega V_{Ed,E}$ = 27.09 kN+1.1*1.1*1.37*83.88 kN = 166.14 kN

7.2 Projektne vrednosti notranjih sil $E_{F,d}$ v temeljih:

$$E_{F,d} = 1.20\left(E_{F,G} + \alpha E_{F,E}\right)$$

$$\alpha = \frac{R_{d,i}}{S_{d,i}}$$

Krajni stebri prevzemajo potresno obtežbo v obeh smereh, notranji stebri pa samo v x smeri.

$$E_{Ed,x} + 0.3E_{Ed,y} \qquad 0.3E_{Ed,x} + E_{Ed,y}$$

Dobljene sile uporabimo pri dimenzioniranju temeljev:

A1) zunanji momentni okvir – srednji stebri

$$M_{F,d} = 1.20\left(M_{F,G} + \alpha M_{F,E}\right) = 1.20 * \left(-16.96\,\text{kNm} + 3.58 * (-217.73\,\text{kNm})\right) = -955.72\,\text{kNm}$$

$$N_{F,d} = 1.20\left(N_{F,G} + \alpha N_{F,E}\right) = 1.20 * \left(-1167.76\,\text{kN} + 3.58 * (-34.43\,\text{kN})\right) = -1549.22\,\text{kN}$$

$$V_{F,d} = 1.20\left(V_{F,G} + \alpha V_{F,E}\right) = V_{F,d} = 1.20 * \left(8.39\,\text{kN} + 3.58 * 64.89\,\text{kN}\right) = 288.84\,\text{kN}$$

$$\alpha = 3.58$$

A2) notranji momentni okvir – srednji steber

$$M_{F,d} = 1.20\left(M_{F,G} + \alpha M_{F,E}\right) = 1.20 * \left(-84.93\,\text{kNm} + 3.82 * (-421.72\,\text{kNm})\right) = -2035.08$$

$$N_{F,d} = 1.20\left(N_{F,G} + \alpha N_{F,E}\right) = 1.20 * \left(-1852.69\,\text{kN} + 3.82 * (-134.25\,\text{kN})\right) = -2838.63\,\text{kN}$$

$$V_{F,d} = 1.20\left(V_{F,G} + \alpha V_{F,E}\right) = 1.20 * \left(27.09\,\text{kN} + 3.82 * 83.88\,\text{kN}\right) = 417.01\,\text{kN}$$

$$\alpha = 3.82$$

B) okvir z diagonalnim centričnim povezjem – krajni temelj

- stalna + koristna obtežba

$$M_I = M_x + 0.3M_y = -107.97\,\text{kNm} + 0.3 * 0 = -107.97\,\text{kNm}$$

$$M_{II} = 0.3M_x + M_y = 0.3 * \left(-107.97\,\text{kNm}\right) + 0 = -32.39\,\text{kNm}$$

$$N_I = N_x + 0.3N_y = -1207.63\,kN + 0.3 * (-1173.16\,kN) = -1559.58\,kN$$

$$N_{II} = 0.3N_x + N_y = 0.3 * (-1207.63\,kN) + (-1173.16\,kN) = -1535.45\,kN$$

$$V_I = V_x + 0.3V_y = 52.90\,kN + 0.3 * 0 = 52.90\,kN$$

$$V_{II} = 0.3V_x + V_y = 0.3 * 52.90\,kN + 0 = 15.87\,kN$$

- potresna obtežba

$$M_I = M_x + 0.3M_y = -305.19\,kNm + 0.3 * 0 = -305.19\,kNm$$

$$M_{II} = 0.3M_x + M_y = 0.3 * (-305.19\,kNm) + 0 = -91.56\,kNm$$

$$N_I = N_x + 0.3N_y = -285.70\,kN + 0.3 * (-1148.48\,kN) = -630.24\,kN$$

$$N_{II} = 0.3N_x + N_y = 0.3 * (-285.70\,kN) + (-1148.48\,kN) = -1234.19\,kN$$

$$V_I = V_x + 0.3V_y = 61.62\,kN + 0.3 * 0 = 61.62\,kN$$

$$V_{II} = 0.3V_x + V_y = 0.3 * 61.62\,kN + 0 = 18.49\,kN$$

$$M_{F,d} = 1.20\left(\max M_{F,G} + \alpha \max M_{F,E}\right) =$$
$$= 1.20 * \left(-107.97\,kNm + 4.29 * \left(-305.19\,kNm\right)\right) = -1700.68\,kNm$$

$$N_{F,d} = 1.20\left(\max N_{F,G} + \alpha \max N_{F,E}\right) =$$
$$= 1.20 * \left(-1559.58\,kN + 4.29 * (-1234.19\,kN)\right) = -8225.11\,kN$$

$$V_{F,d} = 1.20\left(\max V_{F,G} + \alpha \max V_{F,E}\right) =$$
$$= 1.20 * \left(52.90\,kN + 4.29 * 61.62\,kN\right) = 380.70\,kN$$

$$\alpha = 4.29$$

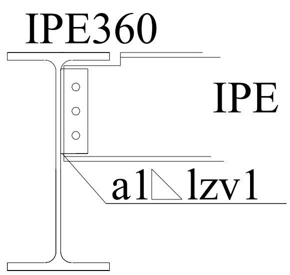
7.3 Členkast spoj sekundarnega nosilca na primarni nosilec

1.0 MATERIAL

-jeklo S 235

-visokovredni vijaki 10.9

2.0 GEOMETRIJA



3.0 OBTEŽBA

$q_{Sd} = 36.02$ kN/m

4.0 OBREMENITEV

$$V_{Sd} = \frac{q_{Sd} B}{2} = \frac{36.02\,\text{kN/m} * 5.0\,\text{m}}{2} = 90.05\,\text{kN}$$

5.0 DIMENZIONIRANJE

Izberemo vijake M12 10.9

$d_0 = d+1$ mm

$d_0 = 12$ mm$+1$ mm $= 13$ mm

Vezna pločevina:

$t_v = 6$ mm

$h_v = 140$ mm

Razporeditev vijakov:

$e_1 = 30$ mm

$e_2 = 20$ mm

$p_1 = 40$ mm

-stik v ravnini I

"dejanski členek je med ravnino II in zunanjim robom vezne pločevine v ravnini I."

$M^{I\text{-}I}=V_{Sd}*e=90.05$ kN*4.5 cm=405.23 kNcm $e = \Delta+2e_2 = 5$ mm+2*20 mm = 45 mm

Zvar:

$a \approx 0.4t = 0.4*6$ mm = 2.4 mm ; a = 4 mm

$l_{zv} = 2e_1+2p_1-2s = 2*30$ mm+2*40 mm-2*5.66 mm = 128.7 mm ; l_{zv} = 125 mm

$$s = a\sqrt{2} = 4\,\text{mm} * \sqrt{2} = 5.66\,\text{mm}$$

Izberemo a ◺ l_{zv} = 4 mm ◺ 125 mm

Kontrola zvara:

$$\sqrt{n^2 + v_{||}^2} \le f_{v,w,d} \qquad f_{v,w,d} = \frac{f_U}{\sqrt{3}\beta_w \gamma_w} = \frac{36\,\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3} * 0.8 * 1.25} = 20.78\,\text{kN/cm}^2$$

$$\sqrt{\left(19.45\,\text{kN/cm}^2\right)^2 + \left(7.25\,\text{kN/cm}^2\right)^2} = 20.76\text{kN/cm}^2 \le 20.78\,\text{kN/cm}^2$$

$$n = \frac{M^{I-I}}{W_{zv}} = \frac{405.23\,\text{kNcm}}{20.83\,\text{cm}^3} = 19.45\,\text{kN/cm}^2$$

$$W_{zv} = 2\frac{l_{zv}{}^2 a}{6} = 2 * \frac{12.5^2\,\text{cm}^2 * 0.4\,\text{cm}}{6} = 20.83\,\text{cm}^3$$

$$v_{||} = \frac{V_{Sd}}{A_{zv}} = \frac{72.48\,\text{kN}}{10\,\text{cm}^2} = 7.25\,\text{kN/cm}^2$$

$$A_{zv} = 2l_{zv}a = 2 * 12.5\,\text{cm} * 0.4\,\text{cm} = 10.0\,\text{cm}^2$$

Kontrola nosilnosti:-vezne pločevine v ravnini I-I:

$$M^{I-I} = 405.23\,\text{kNcm} \le M_{el,Rd,v} = W_{el,y,v}\frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 19.6\,\text{cm}^3 * \frac{23.5\,\text{kN/cm}^2}{1.10} = 418.73\,\text{kNcm}$$

$$W_{el,y,v} = \frac{h_v^2 t_v}{6} = \frac{14^2\,\text{cm}^2 * 0.6\,\text{cm}}{6} = 19.6\,\text{cm}^3$$

$$V_{Sd} = 90.05\,\text{kN} \le A_v \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M1}} = 8.4\,\text{cm}^2 * \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{\sqrt{3} * 1.10} = 103.61\,\text{kN}$$

$A_v = h_v * t_v = 14\ cm*0.6\ cm = 8.4\ cm^2$

-vijakov:

$M = V_{Sd} * e_2 = 90.05\ kN*2.0\ cm = 180.1\ kNcm$

Sila, ki odpade na en vijak:

$$\sqrt{\left(\frac{V_{Sd}}{3}\right)^2 + \left(\frac{M}{2p_1}\right)^2} \le F_{v,Rd} = n\frac{0.60 f_{ub} A}{\gamma_{Mb}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{90.05\,kN}{3}\right)^2 + \left(\frac{180.1\,kNcm}{2*4.0\,cm}\right)^2} = 37.52\,kN \le F_{v,Rd} = 1*\frac{0.60*100*1.13\,cm^2}{1.25} = 54.24\,kN$$

Kontrola proti strižnemu pretrgu ob robu pločevine:

$$V_{Sd} = 90.05\,kN \le V_{eff.Rd} = 96.08\,kN$$

$$V_{eff.Rd} = A_{v,eff.}\frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M_1}} = 7.79\,cm^2 * \frac{23.50\,kN/cm^2}{\sqrt{3}*1.10} = 96.08\,kN$$

$$A_{v,eff.} = t_v L_{v,eff.} = 0.6\,cm*12.99\,cm = 7.79\,cm^2$$

$$L_{v,eff.} = L_v + L_1 + L_2 \le L_3$$

$$L_{v,eff.} = 80\,mm + 30\,mm + 19.92\,mm = 129.92\,mm \le 134.81\,mm$$

$$L_1 = a_1 = 30\,mm \le 5d = 5*12\,mm = 60\,mm$$

$$L_2 = (a_2 - kd_{0,t})\frac{f_U}{f_y} = (2.0\,cm - 0.5*1.4\,cm)*\frac{36.0\,kN/cm^2}{23.50\,kN/cm^2} = 19.92\,mm$$

$$L_3 = L_v + a_1 + a_3 \le (L_v + a_1 + a_2 - nd_{0,v})\frac{f_U}{f_y}$$

$$L_3 = 80\,mm + 30\,mm + 30\,mm \le (80\,mm + 30\,mm + 20\,mm - 3*14\,mm)*\frac{36.0\,kN/cm^2}{23.50\,kN/cm^2}$$

$$L_3 = 140\,mm \le 134.81\,mm$$

$$L_v = 2p_1 = 2*40\,mm = 80\,mm$$

$a_3 = 140\ mm - a_1 - L_v = 140\ mm - 30\ mm - 80\ mm = 30\ mm$

7.4 Priključek stebra na temelj

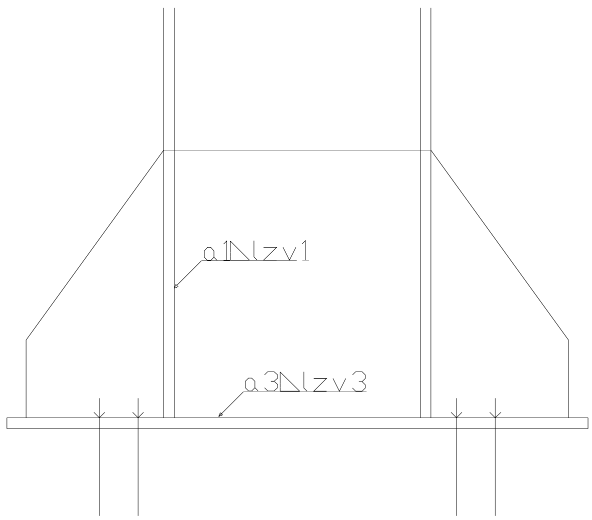
1.0 MATERIAL

-AB steber C25/30

-jeklo S 235

-visokovredni vijaki 10.9

2.0 GEOMETRIJA



3.0 OBTEŽBA/OBREMENITEV

N_{Sd} = 1681.24 kN

M_{Sd} = 613.88 kNm

V_{Sd} = 155.05 kN

4.0 DIMENZIONIRANJE

4.1 Prenos obtežbe:

Obtežba se preko pasnic prenese v vertikalne vezne pločevine in naprej v čelno pločevino. Obtežba, ki odpade na stojino, se prenese direktno v čelno pločevino. Iz čelne pločevine se obtežba prenese v temelj preko sidrnih vijakov.

4.2 Razdelitev obtežbe v razmerju togosti:

$$M^f = \frac{I^f}{I_y} M_{Sd} = \frac{253969.14\ cm^4}{303400\ cm^4} * 61388\ kNcm = 51386.48\ kNcm$$

$$M^w = \frac{I^w}{I_y} M_{Sd} = \frac{49430.86\ cm^4}{303400\ cm^4} * 61388\ kNcm = 10001.52\ kNcm$$

$$I^{f} = I_{y} - I^{w} = 303400\ cm^{4} - 49430.86\ cm^{4} = 253969.14\ cm^{4}$$

$$I_{w} = \frac{h_{w}^{3} t_{w}}{12} = \frac{73.4\ cm^{3} * 1.5\ cm}{12} = 49430.86\ cm^{4}$$

$$N^{f} = \frac{A^{f}}{A} N_{Sd} = \frac{84\ cm^{2}}{286\ cm^{2}} * 1681.24\ kN = 493.79\ kN$$

$$N^{w} = \frac{A^{w}}{A} N_{Sd} = \frac{118\ cm^{2}}{286\ cm^{2}} * 1681.24\ kN = 693.66\ kN$$

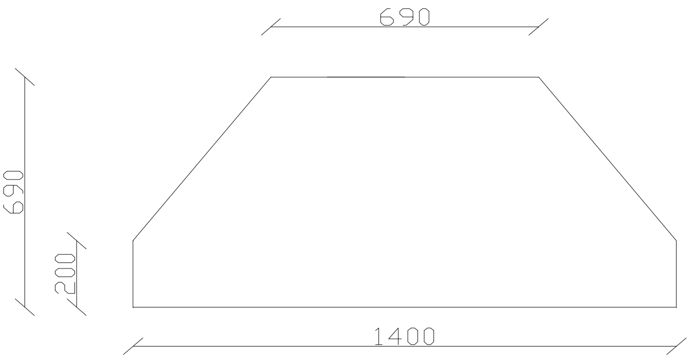
$A = 286\ cm^2$

$A^f = bt^f = 30\ cm*2.8\ cm = 84\ cm^2$

$A_w = h_w t_w = 73.4\ cm*1.5\ cm+7.9\ cm^2 = 118\ cm^2$

$V^f = 0$ $V^w = V_{Sd} = 155.05\ kN$

4.3 Vezna pločevina $t_v = t^f = 30\ mm$



4.4 Zvari med pasnico in vezno pločevino

$$N = \frac{M^{f}}{h} = \frac{51386.48\ kNcm}{76.2\ cm} = 674.36\ kN$$

-sila, ki odpade na en zvar:

$$F_{l} = \frac{N^{f}}{8} + \frac{N}{4} = \frac{493.79\ kN}{8} + \frac{674.36\ kN}{4} = 230.31\ kN$$

$$\frac{F_{l}}{A_{zv}} \le f_{v,w,d} \qquad f_{v,w,d} = \frac{f_{U}}{\sqrt{3}\beta_{w}\gamma_{w}} = \frac{36\ kN/cm^{2}}{\sqrt{3} * 0.8 * 1.25} = 20.78\ kN/cm^{2}$$

-priporočilo: $0.75h_w \le l_{zv1} \le h_v$-2s

$0.75*636\ mm = 477\ mm \le l_{zv1} = 600\ mm \le 690\ mm-2*5\ mm*\sqrt{2} = 675.86\ mm$

Kontrola: $l_{zv1} \leq 150a_1$

$600 \text{ mm} \leq 150*5 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$

$$a_1 \geq \frac{F_1}{f_{v,w,d} l_{zv1}} = \frac{230.31 \text{ kN}}{20.78 \text{ kN/cm}^2 * 60 \text{ cm}} = 0.19 \text{ cm}$$

Kontrola: $3 \text{ mm} \leq a_1 = 5 \text{ mm} \leq 0.7t = 0.7*14.5 \text{ mm} = 10.15 \text{ mm}$ $t = \min(t_v, t_f) = 14.5\text{mm}$

Izberemo $a_1 ◺ l_{zv1} = 5 \text{ mm} ◺ 600 \text{ mm}$

4.5 Zvar med stojino in čelno pločevino

$$\sqrt{v_{\|}^2 + v_{\perp}^2 + n^2} \leq f_{v,w,d}$$

$$\sqrt{\left(1.76 \text{ kN/cm}^2\right)^2 + \left(7.88 \text{ kN/cm}^2\right)^2 + \left(12.40 \text{ kN/cm}^2\right)^2} = 14.80 \text{ kN/cm2} \leq 20.78 \text{ kN/cm}^2$$

$$v_{\|} = \frac{V^w}{A_{zv2}} = \frac{155.05 \text{ kN}}{88 \text{ cm}^2} = 1.76 \text{ kN/cm}^2$$

$$v_{\perp} = \frac{N^w}{A_{zv2}} = \frac{693.66 \text{ kN}}{88 \text{ cm}^2} = 7.88 \text{ kN/cm}^2$$

$$n = \frac{M^w}{W_{zv2}} = \frac{10001.52 \text{ kNcm}}{806.67 \text{ cm3}} = 12.40 \text{ kN/cm}^2$$

$l_{zv2} \leq h_w\text{-}2*3t_w = 636 \text{ mm-}2*3*14.5 \text{ mm} = 549 \text{ mm}$; $l_{zv2} = 550 \text{ mm}$

$a_2 \approx 0.4t = 0.4*14.5 \text{ mm} = 5.8 \text{ mm}$; $a_2 = 8 \text{ mm}$

-za oba zvara:

$A_{zv2} = 2*l_{zv2}*a_2 = 2*55 \text{ cm}*0.8 \text{ cm} = 88 \text{ cm}^2$

$$W_{zv2} = 2\frac{l_{zv2}^2 a_2}{6} = 2*\frac{55^2 \text{ cm}^2 * 0.8 \text{ cm}}{6} = 806.67 \text{ cm}^3$$

Izberemo $a_2 ◺ l_{zv2} = 8 \text{ mm} ◺ 550 \text{ mm}$

4.6 Zvar med vezno in čelno pločevino

-za en zvar:

$$\sqrt{v_{\perp}^2 + n^2} \le f_{v,w,d}$$

$$\sqrt{\left(1.76\,\text{kN/cm}^2\right)^2 + \left(3.93\,\text{kN/cm}^2\right)^2} = 4.31\,\text{kN/cm}^2 \le 20.78\,\text{kN/cm}^2$$

$$v_{\perp} = \frac{N^f}{A_{zv3}} = \frac{493.79\,\text{kN}}{280\,\text{cm}^2} = 1.76\,\text{kN/cm}^2$$

$$n = \frac{M^f}{W_{zv3}} = \frac{51386.48\,\text{kNcm}}{13066.67\,\text{cm}^3} = 3.93\,\text{kN/cm}^2$$

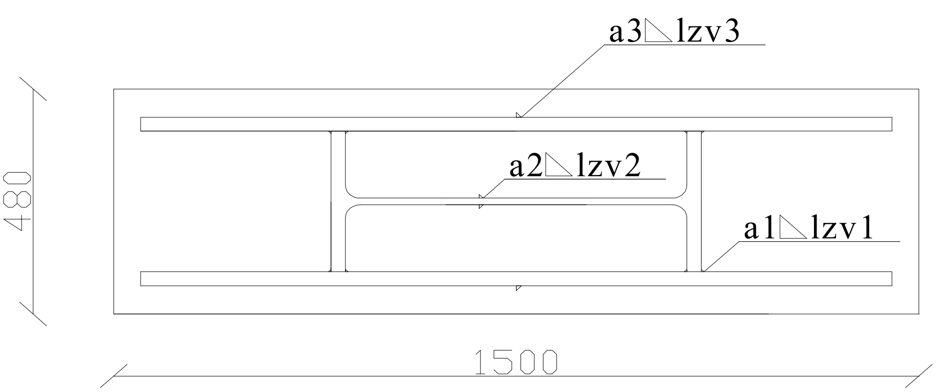
$A_{zv3} = 2l_{zv3}*a_3 = 2*140\text{ cm}*1\text{ cm} = 280\text{ cm}^2$

$a_3 \approx 0.4t = 0.4*28\text{ mm} = 11.2\text{ mm}$; $a_3 = 10\text{ mm}$

$$W_{zv3} = \frac{2l_{zv}^2 a_3}{3} = \frac{2*140^2\text{ cm}^2 *1\text{ cm}}{3} = 13066.67\text{ cm}^3$$

Izberemo a_2 ⊿ l_{zv2} =10 mm ⊿ 1400 mm

4.7 Čelna pločevina $t_{čp}=t_v=28$mm



Izberemo ≠ $b_{čp}/t_{čp}/l_{čp}$ = 480 mm/28 mm/1500 mm

4.8 Sidrni vijaki **Izberemo vijake M30 10.9 (S 355)**

Vijaki so obremenjeni z natezno in strižno silo.

$r_1 = h+2*2d_0 = 690\ mm+4*33\ mm = 822\ mm$

$r_2 = h+2*2d_0+2p_1 = 690\ mm+4*33\ mm+2*100\ mm = 1022\ mm$

$r = (r_1+r_2)/2 = (822\ mm+1022\ mm)/2 = 922\ mm$

-sila, ki odpade na en vijak:

$$\frac{M_{Sd}}{4r} - \frac{N_{Sd}}{8} \leq F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}}$$

$$\frac{61388\ kNcm}{4*92.2\ cm} - \frac{1681.24\ kN}{8} = -43.70\ kN \leq \frac{0.9*51\ kN/cm^2 * 5.61\ cm^2}{1.25} = 206.0\ kN$$

$$\frac{V_{Sd}}{8F_{v,Rd}} + \frac{M_{Sd}}{1.4F_{t,Rd}\,4r} \leq 1.0$$

$$\frac{155.05\ kN}{8*132.3\ kN} + \frac{61388\ kNcm}{1.4*206.0\ kN*4*92.2\ cm} = 0.72 \leq 1.0$$

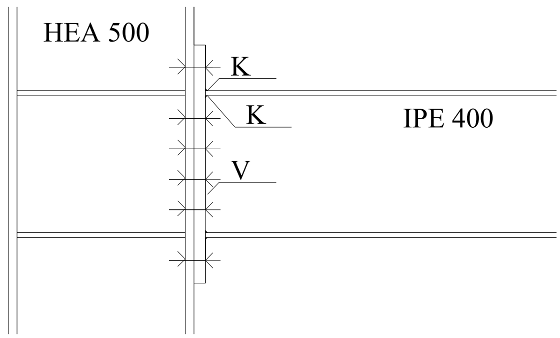
7.5 Momentni spoj primarnega nosilca in stebra prečnega okvirja

1.0 MATERIAL

-jeklo S 235

-visokovredni vijaki 10.9

2.0 GEOMETRIJA



3.0 OBTEŽBA/OBREMENITEV

$M_{Sd} = 1.2M_{pl,y} = 1.2*27922.27$ kNcm = 33506.73 kNcm

$$M_{pl,y} = W_{pl,y}\frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1307\ \text{cm}^3 * \frac{23.50\ \text{kN/cm}^2}{1.10} = 27922.27\ \text{kNcm}$$

$$V_{Sd} = \frac{2M_{pl,y}}{L} = \frac{2*27922.27\ \text{kNcm}}{620\ \text{cm}} = 90.07\ \text{kN}$$

4.0 DIMENZIONIRANJE ZVAROV MED NOSILCEM IN ČELNO PLOČEVINO

$a \approx 0.4t = 0.4*8.6$ mm = 3.44 mm ; $a = 5$ mm

$t = \min(t^w, t^f) = 8.6$ mm

Kontrola: 3 mm $\leq a = 5$ mm $\leq 0.7t = 0.7*8.6$ mm = 6 mm

$$l_{zv1} = h^w - 2\sqrt{2}a - 2s = 373\ \text{mm} - 2\sqrt{2}*5\ \text{mm} - 2\sqrt{2}*5\ \text{mm} = 345\ \text{mm}$$

$$l_{zv2} = b_{čp} - 2\sqrt{2}a = 180\ \text{mm} - 2\sqrt{2}*5\ \text{mm} = 165\ \text{mm}$$

$$l_{zv3} = \left(b_{čp} - t^w - 2\sqrt{2}a\right)/2 - 2s = \left(180\ \text{mm} - 8.6\ \text{mm} - 2\sqrt{2}*5\ \text{mm}\right)/2 - 2\sqrt{2}*5\ \text{mm} = 65\ \text{mm}$$

Kontrola: $l_{zv} \leq 150a = 150*5$ mm = 750 mm ... velja za vse tri zvare

$$A_{zv} = 2l_{zv1}a + 2l_{zv2}a + 4l_{z3}a = 2*345\ \text{mm}*5\ \text{mm} + 2*165\ \text{mm}*5\ \text{mm} + 4*65\ \text{mm}*5\ \text{mm} =$$
$$= 6400\ \text{mm}$$

$$I_{zv} = 2\frac{l_{zv1}^3 a}{12} + 2(l_{zv2} + 2l_{zv3})a\left(\frac{h_T}{2}\right)^2 =$$
$$= 2*\frac{345^3\ \text{mm}^3 *5\ \text{mm}}{12} + 2*(165\ \text{mm} + 2*65\ \text{mm})*5\ \text{mm}*\left(\frac{386.5\ \text{mm}}{2}\right)^2 = 14438.91\ \text{cm}^4$$

$$W_{zv1} = \frac{I_{zv}}{\frac{h}{2}} = \frac{14438.91\ \text{cm}^4}{\frac{40\ \text{cm}}{2}} = 721.95\ \text{cm}^3$$

$$W_{zv2} = \frac{I_{zv}}{\frac{l_{zv1}}{2}} = \frac{14438.91\ \text{cm}^4}{\frac{34.5\ \text{cm}}{2}} = 837.04\ \text{cm}^3$$

Točka 1:

$$\frac{M_{Sd}}{W_{zv1}} = \frac{33506.73\ \text{kNcm}}{721.95\ \text{cm}^3} = 46.41\ \text{kN/cm}^2 \le f_{v,w,d} = 20.78\ \text{kN/cm}^2$$

Opomba: Glede na to, da smo vzeli največje dimenzije zvarov in se nam kontrola ne izide predpišemo čelni zvar.

5.0 RAZPOREDITEV OBTEŽBE MED VIJAKI

Izberem vijake M24 10.9

d_0 = d+2 mm = 24 mm+2 mm = 26 mm

Izberem debelino čelne pločevine

$t_{čp}$ =30mm ≥ d = 24 mm

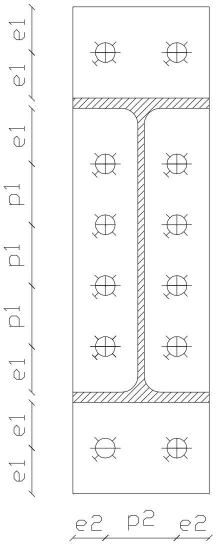
Razporeditev vijakov

e_1 = 60 mm

p_1 = 80 mm

e_2 = 40 mm

p_2 = 100 mm



Steber s prečnimi ojačitvami

$$F_{max} = \frac{M_{Sd} r_{max}}{\sum_{i=1}^{n-1} r_i^2} = \frac{33506.73\ \text{kNcm} * 44.025\ \text{cm}}{2 * 3653.22\ \text{cm}^2} = 201.9\ \text{kN}$$

$$r_1 = \frac{t^f}{2} + e1 = \frac{13.5\ \text{mm}}{2} + 60\ \text{mm} = 66.75\ \text{mm}$$

$$r_2 = r_1 + p_1 = 66.75\ \text{mm} + 80\ \text{mm} = 146.75\ \text{mm}$$

$$r_3 = r_2 + p_1 = 146.75\ \text{mm} + 80\ \text{mm} = 226.75\ \text{mm}$$

$$r_4 = r_3 + p_1 = 226.75\ \text{mm} + 80\ \text{mm} = 306.75\ \text{mm}$$

$$r_5 = r_4 + 2e_1 + t^f = 306.75\ \text{mm} + 2 * 60\ \text{mm} + 13.5\ \text{mm} = 440.25\ \text{mm}$$

Kontrola natezne nosilnosti vijakov:

$$F_{t,Sd} = F_{max} \le F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}}$$

$$201.9\ \text{kN} \le \frac{0.9 * 100\ \text{kN/cm}^2 * 3.53\ \text{cm}^2}{1.25} = 254.16\ \text{kN}$$

Kontrola strižne nosilnosti vijakov:

$$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$$

$$\frac{V_{Sd}}{12} \leq n\frac{0.6f_{ub}A}{\gamma_{Mb}}$$

$$\frac{90.07\,\text{kN}}{12} = 7.51\,\text{kN} \leq 1*\frac{0.6*100\,\text{kN}*4.52\,\text{cm}^2}{1.25} = 217\,\text{kN}$$

Interakcija striga in natega:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{7.51\,\text{kN}}{217\,\text{kN}} + \frac{201.9\,\text{kN}}{1.4*254.16\,\text{kN}} = 0.60 \leq 1.0$$

Kontrola nosilnosti na preboj pločevine:

$$F_{t,Sd} \leq B_{p,Rd} = \frac{0.6\pi._m t_p f_u}{\gamma_{Mb}} \qquad t_p = \min(t_{čp}, t_f) = t_p = 23\,\text{mm}$$

$$201.9\,\text{kN} \leq \frac{0.6*\pi*4.26\,\text{cm}*2.3\,\text{cm}*36.0\,\text{kN/cm}^2}{1.25} = 531.9\,\text{kN}$$

Kontrola bočnih pritiskov:

$$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd} = 2.5\alpha\cdot d\cdot t\frac{f_u}{\gamma_{Mb}}$$

$$7.51\,\text{kN} \leq 2.5*0.77*2.4\,\text{cm}*2.3\,\text{cm}*\frac{36.0\,\text{kN/cm}^2}{1.25} = 306.03\,\text{kN}$$

$$\alpha = \min: \quad \frac{e_1}{3d_0} = \frac{60\,\text{mm}}{3*26\,\text{mm}} = 0.77$$

$$\frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4} = \frac{80\,\text{mm}}{3*26\,\text{mm}} - \frac{1}{4} = 0.78$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{100}{36} = 2.78$$

$$1$$

Kontrola nosilnosti stebra v področju stika:

-Čelna pločevina: $t_{čp} = 30\,\text{mm} \geq d = 24\,\text{mm}$

-Pasnica stebra v območju natezne obremenitve: $t^f = 2.3$ cm $\geq 0.5t_{čp} = 0.5*3.0$ cm = 1.5 cm

$t^f = 2.3$ cm$\geq 0.8*2.4$ cm = 1.9 cm

-Stojina stebra v tlaku:

$$b_s = t_f^{nosilca} + 2t_{čp} + 5k = 1.35\,cm + 2*3.0\,cm + 5*2.06\,cm = 17.65\,cm$$

$$k = t_f + \sqrt{2}a = 1.35\,cm + \sqrt{2}*0.5\,cm = 2.06\,cm$$

$a \approx 0.5t^w = 0.5*8.6$ mm = 4.3 mm ; a = 5 mm

-Prerez, ki prevzame koncentrirano tlačno silo $F_{c,Sd}$:

Sila, ki jo prevzame sodelujoči del nosilca:

$$N_{Rd1} = b_s t^w \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 17.65\,cm * 1.2\,cm * \frac{23.50\,kN/cm^2}{1.10} = 452.5\,kN$$

Sila, ki jo mora prevzeti prečna ojačitev:

$$N_{Sd} = F_{c,Sd} - N_{Rd1} = 544.48\,kN - 542.5\,kN = 92\,kN$$

$$F_{c,Sd} = \sum_{i=1}^{n-1} F_i = 544.48kN$$

$$F_i = \frac{r_i}{r_{i,max}} F_{max}$$

$$F_1 = \frac{6.675\,cm}{44.025\,cm} * 201.9\,kN = 30.61\,kN$$

$$F_2 = \frac{14.675\,cm}{44.025\,cm} * 201.9\,kN = 67.3\,kN$$

$$F_3 = \frac{22.675\,cm}{44.025\,cm} * 201.9\,kN = 103.99\,kN$$

$$F_4 = \frac{30.675\,cm}{44.025\,cm} * 201.9\,kN = 140.68\,kN$$

$$F_5 = 201.9\,kN$$

Kontrola nosilnosti prečnih ojačitev:

$$b_{po} \geq \frac{N_{Sd}\gamma_{M0}}{t_{po} f_y} = \frac{92\,kN * 1.10}{1.35\,cm * 23.50\,kN/cm^2} = 3.2\,cm$$

Izberem $t_{po} = t^f = 13.5$ mm

Izberem $b_{po} = 32$ mm $\leq b = 180$ mm

Stojina stebra v strigu:

$$V_{Sd} = F_{c,Sd} \leq V_{pl,Rd} = h^{w} t^{w} \frac{f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$$108.09\,\text{kN} \leq 37.3\,\text{cm} * 0.86\,\text{cm} * \frac{23.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10 * \sqrt{3}} = 395.66\,\text{kN}$$

Ne rabimo diagonalnih prečnih ojačitev.

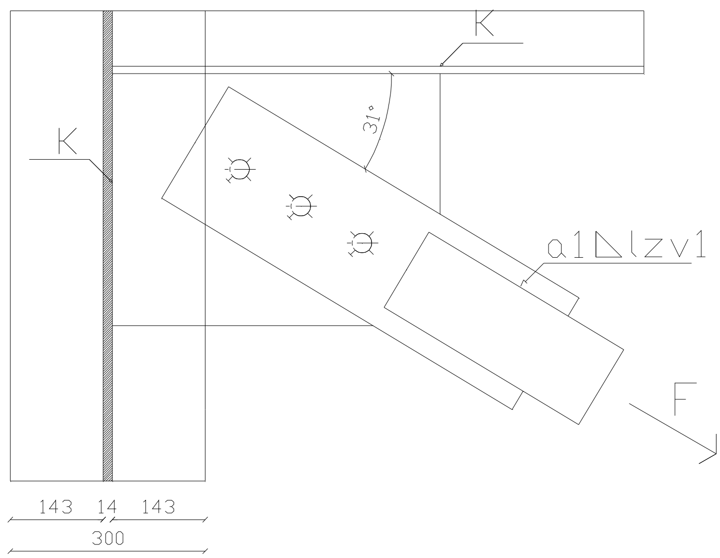
7.6 Stik diagonale s stebrom

1.0 MATERIAL

-jeklo S 235

-visokovredni vijaki 10.9

2.0 GEOMETRIJA



3.0 OBTEŽBA/OBREMENITEV

$F = 1.2N_{pl,Rd} = 1.2*870.57\text{ kN} = 1044.68\text{ kN}$

$$N_{pl,Rd} = A\frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 40.75\text{ cm}^2 * \frac{23.50\text{ kN/cm}^2}{1.10} = 870.57\text{ kN}$$

4.0 DIMENZIONIRANJE

4.1 ZVAR MED DIAGONALO IN VEZNO PLOČEVINO

$$\sqrt{v_{II}^2} = 17.41\text{ kN/cm2} \le f_{v,w,d} = 20.78\text{ kN/cm2}$$

$$v = \frac{N}{A_{zv}} = \frac{1044.68\text{ kN}}{60\text{ cm}^2} = 17.41\text{ kN/cm}^2$$

$$A_{zv} = 4a_1 l_{zv1} = 4 * 0.6\text{ cm} * 25\text{ cm} = 60\text{ cm}$$

$a_1 \approx 0.4t = 0.4*12$ mm = 4.8 mm ; $a_1 = 6$ mm

Kontrola: 3mm $\le a_1$=6mm $\le 0.7t = 0.7*12$ mm = 8.4 mm

$l_{zv1} = 250$ mm

Kontrola: $l_{zv1} = 250$ mm $\leq 150a_1 = 150*6$ mm = 900 mm

Izberemo $a_1 \triangle l_{zv1} = 6$ mm$\triangle$250 mm

4.2 ZVAR MED VEZNO PLOČEVINO IN STEBROM/PREČKO

Čelni zvar

4.3 NOSILNOST VEZNE PLOČEVINE 1 (S 275)

-bruto:

$$N_{Sd} = 1044.68\,\text{kN} \leq N_{pl,Rd} = A\frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 48\,\text{cm}^2 * \frac{27.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10} = 1200\,\text{kN}$$

-neto:

$$N_{Sd} = 1044.67\,\text{kN} \leq N_{u,Rd} = 0.9A_{net}.\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 * 40.08\,\text{cm}^2 * \frac{43\,\text{kN/cm}^2}{1.10} = 1410.09\,\text{kN}$$

$$A_{net.} = (20\text{cm} - 3.3\,\text{cm}) * 2.4\,\text{cm} = 40.08\,\text{cm}^2$$

4.4 NOSILNOST VEZNE PLOČEVINE 2 (S 275)

$$N_{Sd} = 1044.68\,\text{kN} \leq N_{pl,Rd} = A\frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 48\,\text{cm}^2 * \frac{27.50\,\text{kN/cm}^2}{1.10} = 1200\,\text{kN}$$

4.5 VIJAKI

Izberem vijake M33 10.9

d_0 = d+2 mm = 33 mm+3 mm = 36 mm

-število vijakov: n = 3

e_1 = 80 mm

p_1 = 110 mm

$l_{v1} = 2e_1+2p_1$ = 2*80 mm+2*110 mm = 380 mm

l_{v2} = 250 mm+380 mm = 630 mm

$t_{v1} = t_{v2}$ = 24 mm

$$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd} = 0.6 \frac{f_{ub} A}{\gamma_{Mb}}$$

$$\frac{1044.68\,\text{kN}}{3} = 348.23\,\text{kN} \leq 0.6 * \frac{100\,\text{kN/cm}^2 * 8.55\,\text{cm}^2}{1.25} = 410.40\,\text{kN}$$

$$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd} = 2.5\alpha \cdot d \cdot t \frac{f_u}{\gamma_{Mb}}$$

$$348.23\,\text{kN} \leq 2.5 * 0.81 * 3.3\,\text{cm} * 2.0\,\text{cm} * \frac{36.0\,\text{kN/cm}^2}{1.25} = 384.91\,\text{kN}$$

$$\alpha = \min: \quad \frac{e_1}{3d_0} = \frac{80\,\text{mm}}{3 * 33\,\text{mm}} = 0.81$$

$$\frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4} = \frac{110\,\text{mm}}{3 * 33\,\text{mm}} - \frac{1}{4} = 0.86$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{100}{36} = 2.78$$

$$1$$

8 IZVLEČEK MATERIALA

pozicija	opis	dimenzije, prerez	kg/m	dolžina enega kosa [m]	št.kosov	masa enega kosa [kg]	masa skupaj [kg]
1	steber	HEA 400	125,00	3,00	36	375,00	13500,00
2	steber	HEA 400	125,00	3,60	4	450,00	1800,00
3	steber	HEA 500	155,00	3,00	36	465,00	16740,00
4	steber	HEA 500	155,00	3,60	4	558,00	2232,00
5	prečka	IPE 360	57,10	6,80	24	388,28	9318,72
6	prečka	IPE 360	57,10	6,20	12	354,02	4248,24
7	prečka	IPE 400	66,30	6,80	16	450,84	7213,44
8	prečka	IPE 400	66,30	6,20	8	411,06	3288,48
9	steber	HEA 700	204,00	3,00	54	612,00	33048,00
10	steber	HEA 700	204,00	3,60	6	734,40	4406,40
11	steber	HEA 800	224,00	3,00	60	672,00	40320,00
12	steber	HEA 800	224,00	3,60	6	806,40	4838,40
13	prečka	IPE 450	77,60	6,80	60	527,68	31660,80
14	prečka	IPE 450	77,60	6,20	3	481,12	1443,36
15	prečka	IPE 330	49,10	6,20	30	304,42	9132,60
16	prečka	IPE 300	42,20	5,00	164	211,00	34604,00
17	diagonala	B139,7/16	23,25	6,16	4	143,22	572,88
18	diagonala	B139,7/12	23,25	5,83	12	135,55	1626,57
19	diagonala	B139,7/10	18,75	5,83	8	109,31	874,50
20	diagonala	B139,7/7,1	14,90	5,83	8	86,87	694,94
21	diagonala	B127/5	12,02	5,83	4	70,08	280,31
22	diagonala	B88.9/4	8,29	5,83	8	48,33	386,65
23	prečka	IPE 200	22,40	5,00	122	112,00	13664,00

CELOTNA KONSTRUKCIJA:	**Σ:**	**235894,28**	**kg**
zvari	**(1,5%):**	**3538,4142**	**kg**
vezne pločevine	**(10,0%):**	**23589.43**	**kg**
	SKUPAJ:	**263022.12**	**kg**

9 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem se seznanil s projektiranjem jeklenih konstrukcij. Pri tem sem se naučil uporabe računalniškega programa ESA-Prima Win. Naučil sem se tudi uporabljati standarde. Pri izdelavi diplomske naloge sem spoznal, da se pri dimenzioniranju izračuna več variant, ki jih potem med seboj primerjamo in izberemo najbolj ugodno. Kriteriji glede na katerega se odločimo je največkrat cena konstrukcije. Cena je odvisna od teže materiala, njegove kvalitete in načina vgradnje. To pa so faktorji, ki jih pri dimenzioniranju lahko spreminjamo in tako iščemo najbolj ugodno varianto. Na koncu želim poudariti prednosti jeklenih konstrukcij pred betonskimi. Gradnja je hitra in montažna. Večji del dela se opravi v tovarni in ne na gradbišču. Konstrukcije so lažje. Jeklo, kot gradbeni material je v inženirskem pogledu natančneje opisano. Jeklo ima v visokogradnji vrsto boljših fizikalnih lastnosti. Požarna in korozijska zaščita pa sta kvalitetno rešeni.

VIRI

Beg D.: 1999 Projektiranje jeklenih konstrukcij po evropskem predstandardu ENV 1993-1-1. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

SIST ENV 1991-1 Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije: Osnove projektiranja

SIST ENV 1991-2-1 Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije: Vplivi na konstrukcije – Gostote, lastne teže in koristne obtežbe

SIST ENV 1991-2-3 Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije: Vplivi na konstrukcije - Obtežbe snega

SIST ENV 1991-2-4 Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije: Vplivi na konstrukcije - Vplivi vetra

SIST ENV 1993-1-1 Projektiranje jeklenih konstrukcij: Splošna pravila in pravila za stavbe

SIST ENV 1994 Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona: Splošna pravila in pravila za stavbe

OSIST ENV 1998-1-1 Projektiranje potresno odpornih konstrukcij: Splošna pravila - Potresna obtežba in splošne zahteve za konstrukcije

OSIST ENV 1998-1-2 Projektiranje potresno odpornih konstrukcij: Splošna pravila - Splošna pravila za stavbe

OSIST ENV 1998-1-3 Projektiranje potresno odpornih konstrukcij: Splošna pravila - Posebna pravila za različne materiale in elemente

ESDEP European Steel Design Education Programme WG 10 Composite construction

NAČRTI

Načrti, ki sem jih narisal so:

- Tloris objekta
- Prečni prerez objekta – okvir v osi A in E
- Prečni prerez objekta – okvir v osi B, C in D
- Vzdolžni prerez objekta z diagonalami – okvir v osi 1 in 4
- Detajl členkastega spoja sekundarnega nosilca na primarni nosilec
- Detajl priključka stebra na temelj
- Detajl momentnega spoja primarnega nosilca in stebra prečnega okvirja
- Detajl stika diagonale s stebrom