

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Fink, B., 2013. Požarna odpornost jeklene stavbe. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Beg, D., somentor Sinur, F.): 56 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Fink, B., 2013. Požarna odpornost jeklene stavbe. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Beg, D., co-supervisor Sinur, F.): 56 pp.

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

PRVOSTOPENJSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
GRADBENIŠTVO (UN)
MODUL PROMET

Kandidat:

BOJAN FINK

POŽARNA ODPORNOST JEKLENE STAVBE

Diplomska naloga št.: 71/B-GR

FIRE DESIGN OF STEEL FRAME BUILDING

Graduation thesis No.: 71/B-GR

Mentor:

prof. dr. Darko Beg

Somentor:

asist. dr. Franc Sinur

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 24. 09. 2013

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Strani z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Bojan Fink izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »POŽARNA
ODPORNOST JEKLENE STAVBE«

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 11.9.2013

Bojan Fink

BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

| | |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| UDK: | 614.8:624.014(497.4)(043.2) |
| Avtor: | Bojan Fink |
| Mentor: | prof. dr. D. Beg, univ. dipl. inž. gradb. |
| Somentor: | asist. dr. Franc Sinur, univ. dipl. inž. gradb. |
| Naslov: | Požarna odpornost jeklene stavbe |
| Tip dokumenta: | diplomska naloga-univerzitetni študij B |
| Obseg in oprema: | 56 str., 17 sl. |
| Ključne besede: | jeklene konstrukcije, statična analiza, požarno projektiranje |
| Izvleček | |

V diplomski nalogi je obravnavana statična analiza in dimenzioniranje tri-etažne poslovne stavbe s poudarkom na preverjanju požarne odpornosti konstrukcije z uporabo enostavnih metod. Nosilno konstrukcijo v prečni smeri predstavljajo momentni okvirji v vzdolžni smeri pa okvirji s centričnim povezjem in s sovprežni nosilci. Analiza konstrukcije je bila opravljena po elastični analizi II. reda z upoštevanjem začetnih geometrijskih nepopolnosti. Za izračun notranjih statičnih količin smo uporabili program SCIA Engineer. Potresna analiza je bila opravljena po metodi horizontalnih sil. Za prevzem horizontalne obtežbe v vzdolžni smeri uporabimo diagonalno centrično povezje. Ker je objekt načrtovan za potresno območje, morajo vsi spoji biti polnonosilni. Konstrukcija je načrtovana po pravilih nosilnosti za konstrukcije srednje stopnje duktilnosti (DCM). Zahtevana požarna odpornost stavbe je R30. Za zagotavljanje predvidene požarne odpornosti je potrebno prečke in stebre zaščititi z mavčnimi ploščami, prečke v sovprežnem nosilcu pa delno obetoniramo.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 614.8:624.014(497.4)(043.2)
Author: Bojan Fink
Supervisor: Prof. Darko Beg, PhD
Cosupervisor: Assist. Franc Sinur, PhD
Title: Fire design of steel frame building
Document type: Graduation thesis - University studies - B
Scope and tools: 56 p., 17 fig.
Key words: steel buildings, static analysis, fire analysis

Abstract

This graduation thesis deals with static analysis and design of three story office building with the focus on fire resistance using simple design methods. Main structure consists of moment resisting frames in transverse direction and frames with bracings and composite beams in longitudinal direction. Second order analysis including global initial imperfections was used to determine internal forces. For this purpose SCIA Engineer software was used. Seismic analysis was made using method with horizontal forces. In longitudinal direction the horizontal forces were transferred using concentric braced system. Construction is designed in accordance with special rules for medium ductility level. Fire-resistance class for structure is R30. To provide building's fire resistance beams and columns are protected using gypsum slabs. Composite beams are partially embedded in concrete.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplome se zahvaljujem mentorju prof. dr. D. Begu in somentorju asist. dr. F. Sinurju. Zahvaljujem se svoji družini za podporo v času študija.

Kazalo Vsebine

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.0 UVOD | 1 |
| 2.0 TEHNIČNO POROČILO | 1 |
| 3.0 ZASNOVA KONSTRUKCIJE | 3 |
| 4.0 OBTEŽBA NA KONSTRUKCIJO | 4 |
| 4.1 Lastna in stalna obtežba | 4 |
| 4.2 Koristna obtežba..... | 5 |
| 4.3 Obtežba snega | 5 |
| 4.4 Obtežba vetra | 6 |
| 4.4.1 Izračun osnovne hitrosti vetra v_b | 6 |
| 4.4.2 Izračun osnovnega tlaka q_b zaradi hitrosti vetra v_b | 7 |
| 4.4.3 Izračun tlaka vetra pri največjih hitrostih ob sunkih vetra | 7 |
| 4.4.4 Zunanji in notranji vpliv vetra..... | 7 |
| 5.0 STATIČNA ANALIZA | 10 |
| 5.1 Obtežne sheme | 10 |
| 5.2 Obtežne kombinacije..... | 12 |
| 5.2.1 MSN | 12 |
| 5.2.2 MSU | 13 |
| 5.2.3 Začetna nepopolnost..... | 13 |
| 5.2.4 Kontrola horizontalnih in vertikalnih pomikov | 14 |
| 6.0 POTRESNA ANALIZA | 14 |
| 6.1 Podatki za potresno analizo..... | 15 |
| 6.2 Izračun mas | 15 |
| 6.2.1 Streha..... | 15 |
| 6.2.2 Prva in druga etaža | 15 |
| 6.3 Torzijski vpliv | 17 |
| 6.4 Dinamična analiza v prečni smeri (X smer) (SIST EN 1998-1) | 17 |
| 6.4.1 Spekter pospeškov | 17 |
| 6.4.2 Določitev potresnih sil | 17 |
| 6.4.3 Globalna duktilnost | 18 |
| 6.4.4 Kontrola teorije drugega reda..... | 18 |
| 6.4.5 Kontrola relativnih pomikov etaž..... | 19 |
| 6.5 Dinamična analiza v vzdolžni smeri (Y smer) (SIST_EN_1998-1_2005)..... | 19 |

| | | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.5.1 | Spekter pospeškov | 19 |
| 6.5.2 | Določitev potresnih sil..... | 19 |
| 6.5.3 | Kontrola teorije drugega reda | 21 |
| 6.5.4 | Kontrola relativnih pomikov etaž | 21 |
| 7.0 | DIMENZIONIRANJE | 22 |
| 7.1 | Dimenzioniranje prečke..... | 22 |
| 7.2 | Dimenzioniranje diagonal..... | 24 |
| 7.3 | Dimenzioniranje stebrov..... | 25 |
| 7.3.1 | Dimenzioniranje stebra v vzdolžnem okvirju (HEA450) | 26 |
| 7.3.2 | Dimenzioniranje stebra v povezju (HEA450) | 30 |
| 8.0 | RAČUN ZNAČILNIH SPOJEV | 30 |
| 8.1 | Spoj prečka – steber..... | 30 |
| 9.0 | Stropna konstrukcija..... | 35 |
| 9.1 | Faza gradnje..... | 35 |
| 9.2 | Končno stanje (sovprežno stanje)..... | 35 |
| 9.2.1 | Obtežne kombinacije | 35 |
| 9.2.2 | Geometrijske karakteristike prereza | 36 |
| 9.2.3 | Dimenzioniranje v končnem stanju - nosilec (plastična analiza) | 36 |
| 9.3 | Mozniki..... | 38 |
| 9.4 | Kontrola betona – vzdolžni strig | 39 |
| 9.5 | Sovprežna plošča | 40 |
| 10.0 | POŽARNA ANALIZA | 40 |
| 10.1 | Mehanski vplivi med požarom | 41 |
| 10.2 | Požarna odpornost jeklene prečke in stebra..... | 41 |
| 10.2.1 | Prečka (IPE500)..... | 42 |
| 10.2.2 | Steber (HEA450) | 44 |
| 10.2.3 | Zaščita..... | 45 |
| 10.3 | Sovprežna plošča | 47 |
| 10.4 | Sovprežni sekundarni nosilec | 50 |
| 10.4.2 | Požarna zaščita | 51 |
| 11.0 | ZAKLJUČEK | 54 |
| VIRI | | 55 |

KAZALO SLIK

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1: Izometrija objekta | 2 |
| Slika 2: Čelni pogled | 3 |
| Slika 3: Bočni pogled | 4 |
| Slika 4: Tlorisni pogled | 4 |
| Slika 5: Diagram momentov in notranjih sil za dimenzionirani steber | 26 |
| Slika 6: Račun nosilnosti vijakov | 32 |
| Slika 7: Vnos koncentrirane sile | 34 |
| Slika 8: Ojačitev stojine | 34 |
| Slika 9: Dimenzioniranje v končnem stanju (plastična analiza) | 36 |
| Slika 10: Dimenzioniranje moznika | 38 |
| Slika 11: Toplotni odziv in toplotna prevodnost materiala | 41 |
| Slika 12: Evro monogram za neizoliran element | 43 |
| Slika 13: Evro monogram za izoliran element | 46 |
| Slika 14: Sovprežna plošča | 48 |
| Slika 15: Geometrija rebra | 48 |
| Slika 16: Položaj armature v plošči | 49 |
| Slika 17: Reducirani prečni prerez za izračun projektnega plastičnega upogibnega momenta in razporeditev napetosti v jeklu (A) in betonu (B) | 51 |

1.0 UVOD

V diplomski nalogi je obravnavano dimenzioniranje tri-etažne poslovne stavbe v Velenju. Potek in metode projektiranja so prikazane po slovenskih EVROKOD standardih. Glavni sestavni deli računa konstrukcije so momentni okvir v prečni smeri, centrično povezje v vzdolžni smeri in sovprežni stropovi. Analiza konstrukcije je bila opravljena po elastični analizi II. reda z upoštevanjem geometrijskih nepopolnosti. Ker so notranje sile izračunane po teoriji drugega reda, so uklonske dolžine okoli močne osi enake sistemski dolžni elementov. Za izračun notranjih statičnih količin je bil uporabljen program SCIA Engineer.

Pri kontroli mejnega stanja nosilnosti (MSN) je potrebno upoštevati trajna in začasna projektna stanja (stalna in lastna obtežba, koristna obtežba, obtežba vetra ter obtežba snega). Projektiramo tudi na nezgodna projektna stanja (potres in požar).

Koristna obtežba je odvisna od namembnosti prostora. Obtežba vetra je odvisna od nadmorske višine. Obtežba vetra je ločena na dve smeri, in sicer vzdolžno in prečno smer. Prečno smer prevzame momentni okvir, vzdolžno pa centrično povezje. Odvisna je od cone hitrosti vetra, izpostavljenosti in oblike objekta. Potresno silo nadomestimo s posameznimi horizontalnimi silami, ki delujejo v višini etaž, po metodi horizontalnih sil. Prečno potresne sile prevzame momentni okvir, vzdolžno pa centrično povezje z nateznimi diagonalami.

Pri kontroli mejnega stanja uporabnosti (MSU) je potrebno kontrolirati povese prečk okvirjev in etažnih nosilcev ter horizontalne medetažne pomike in skupne medetažne pomike.

Konstrukcija se nahaja na seizmičnem področju, zato je potrebno upoštevati posebna pravila pri potresnem projektiranju, in sicer zagotavljanje globalne in lokalne duktilnosti konstrukcije.

Glede na zahtevano požarno odpornost, v našem primeru R30, se preveri nosilnost in stabilnost elementov oz. nujnost požarne zaščite elementov. Elementom je potrebno določiti faktor prereza in maksimalno temperaturo v elementih, katera vpliva na lokalno in končno tudi na globalno stabilnost.

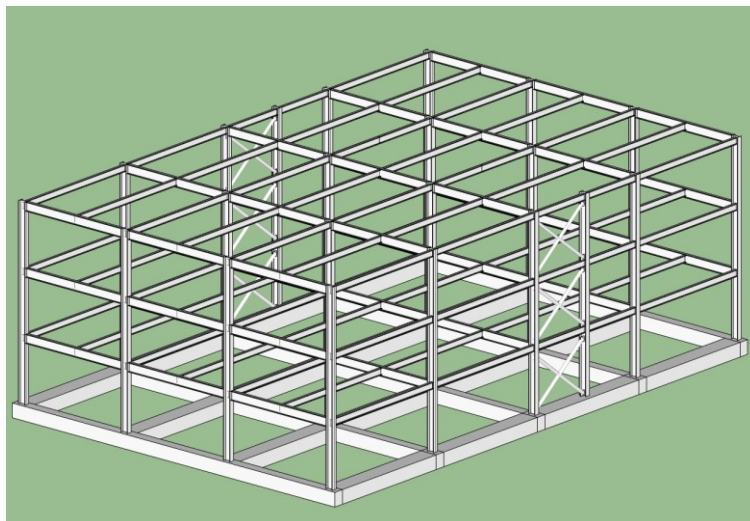
2.0 TEHNIČNO POROČILO

Objekt je tri-etažna poslovna stavba. Projekt je dimenzioniran v skladu z Evrokod zahtevami.

Tlorisne dimenzije objekta: 21,0 x 32,0 m

Etažnost: P + 1N + 2N

| | | |
|----------------|----------------|--------|
| Etažne višine: | pritličje: | 3,60 m |
| | 1. nadstropje: | 3,60 m |
| | 2. nadstropje: | 3,60 m |



Slika 1: Izometrija objekta

Konstrukcija je prostorski okvir, ki je obravnavan kot ravninski okvir za vsako glavno smer X in Y. V smeri X je 5 momentnih okvirjev. En okvir je dolžine $3 \times 7,0 \text{ m} = 21 \text{ m}$. Razmak med njimi je 8 m. Prečke so momentno priključene na stebre. V smeri Y so prečke, ki s sekundarnimi nosilci delujejo sovprežno, členkasto priključene na momentni okvir. Prezem horizontalne obtežbe v vzdolžni je zagotovljen s centričnim povezjem z nateznimi diagonalami. Streha je ravna.

Poslovna stavba se nahaja v Velenju. Pri določitvi obtežbe vetra sem upošteval cono 1 in predpostavil kategorijo terena IV. Pri obtežbi snega sem upošteval cono A2. Pri določitvi potresne obremenitve je upoštevan maksimalni zemeljski pospešek $ag = 0,125 \text{ g}$ (g – težnostni pospešek).

Za dimenzioniranje etažnih prečk prečnih okvirjev je merodajna statična obremenitev, medtem ko je za dimenzioniranje stebrov in diagonal v centričnem povezju merodajna potresna obremenitev.

Prečke prečnega okvirja so IPE500 kvalitete S235, stebri pa HEA 450 kvalitete S235. Diagonale so kvalitete S235 in dimenzij $D_1 / t = 101,6 / 6,3 \text{ mm}$, $D_2 / t = 101,6 / 5,6 \text{ mm}$, $D_3 / t = 88,9 / 4,0 \text{ mm}$. (D_1 - diagonala v prvi etaži, D_2 – diagonala v drugi etaži, D_3 – etaža v tretji etaži). Sekundarni nosilci delujejo sovprežno preko moznikov z glavo debeline 19 mm in višine 100 mm. Beton je kvalitete C25/30.

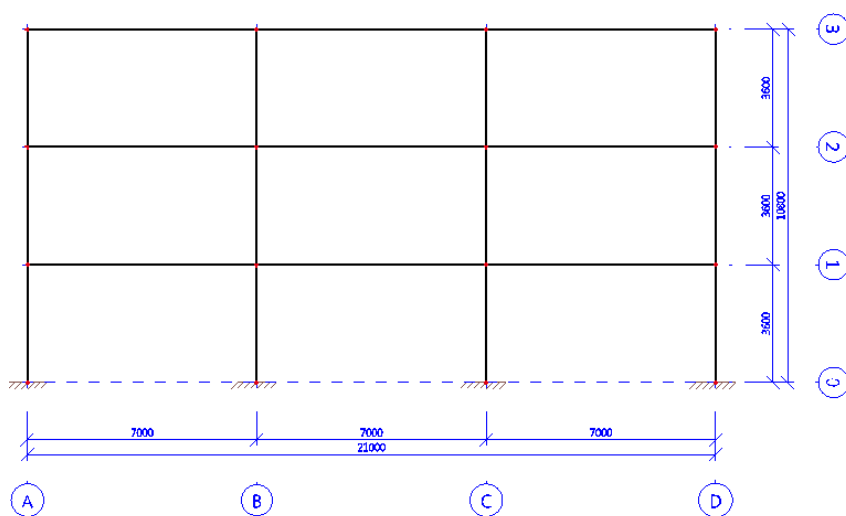
Stropna betonska plošča je izvedena s profilirano pločevino ComFlor® 60. Rebra pločevine so postavljena prečno na sekundarne nosilce. Skupna višina stropne plošče je 14 cm. Sekundarni sovprežni nosilci etaž delujejo sovprežno po celi dolžini, osnovni nosilec je IPE360 kvalitete S235. Statični model sekundarnih sovprežnih nosilcev je prostoležeči nosilec.

Momentni spoji steber-prečka so zaradi gradnje na potresnem območju (Velenje) polnonosilni. Uporabljeni so visokovredni vijaki M27 10.9.

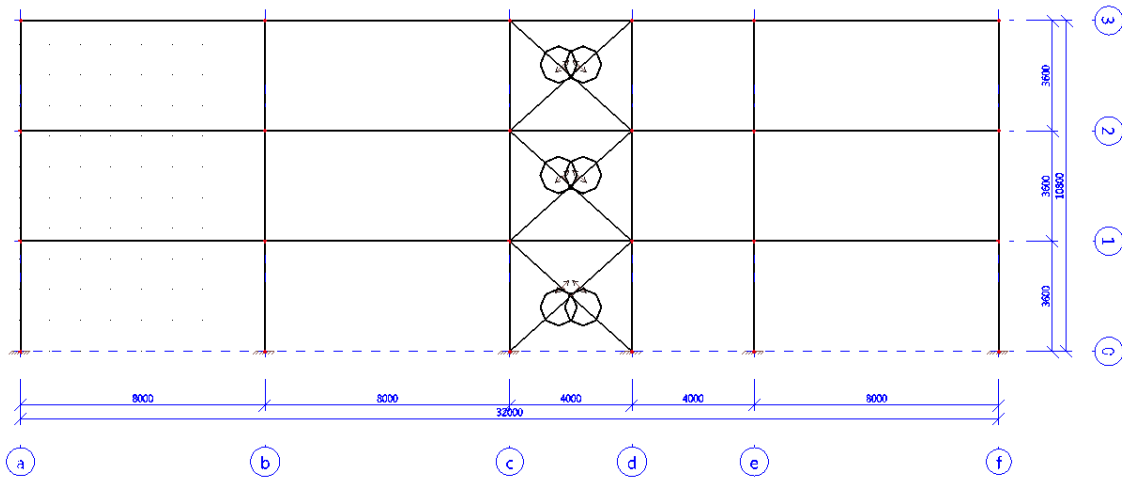
V primeru požara mora stavba nuditi 30 minutno požarno odpornost (R30). Jeklene prečke in stebre je potrebno ustrezno zaščititi, medtem ko sta sovprežna plošča in nosilec požarno odporna. Sovprežni nosilec ima betonsko oblogo širine 8 cm, katera nudi ustrezno požarno zaščito za odpornost R30. Za izračun temperature uporabimo ISO krivuljo, saj obravnavamo standardni požar.

3.0 ZASNOVA KONSTRUKCIJE

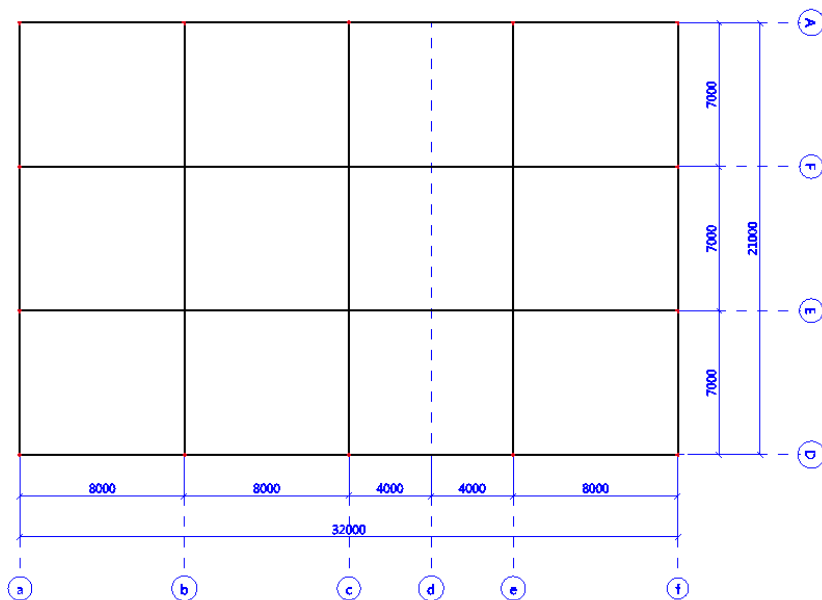
Nosilno konstrukcije tri-etažne poslovne stavbe predstavlja pet momentnih okvirjev, ki so razvrščeni v vzdolžni smeri na medsebojni razdalji 8 m. Pravokotno na okvirje so členkasto priključene prečke. Med osjo C in D je centrično povezje za prevzem horizontalne obtežbe v vzdolžni smeri. Višina etaž znaša 3,6 m. Strop je sovprežen, sestavljen iz prečk IPE preseza in AB plošče. Sovprežnost je zagotovljena z mozniki. Streha je ravna, izvedena kot sovprežni strop s parapetom 0,8 m. Vsi jekleni elementi konstrukcije so iz jekla kvalitete S235. Zaradi centričnega povezja dodamo zunanjsima vzdolžnima okvirjema dodaten steber (os d).



Slika 2: Čelni pogled



Slika 3: Bočni pogled



Slika 4: Tlorisni pogled

4.0 OBTEŽBA NA KONSTRUKCIJO

4.1 Lastna in stalna obtežba

Stropna konstrukcija:

| | d (m) | (kN/m ²) |
|--------------|-------|----------------------|
| PARKET | 0,01 | 0,08 |
| C. ESTRIH | 0,05 | 1,2 |
| KAMENA VOLNA | 0,03 | 0,05 |

| | | |
|--------------|------|------|
| <i>BETON</i> | 0,11 | 2,75 |
|--------------|------|------|

Sekundarni jeklen nosilec : 0,16 kN/m²

Inštalacije: 0,2 kN/m²

SKUPAJ: g = 4,44 kN/m²

Streha:

| | d (m) | (kN/m²) |
|---------------------|--------------|---------------------------|
| <i>BIT. (HI)</i> | / | / |
| <i>C. ESTRIH</i> | 0,05 | 1,2 |
| <i>KAMENA VOLNA</i> | 0,35 | 0,53 |
| <i>BETON</i> | 0,11 | 2,75 |

Sekundarni jeklen nosilec : 0,16 kN/m²

Inštalacije: 0,2 kN/m²

SKUPAJ: g = 4,84 kN/m²

Fasada:

Fasada je ocenjena na težo 1 kN/m².

4.2 Koristna obtežba

Za vse etaže:

Pisarne: 3,0 kN/m²

Predelne stene: 0,8 kN/m²

SKUPAJ: q = 3,8 kN/m²

Streha:

Vzdrževanje: q = 0,4 kN/m²

4.3. Obtežba snega

Lokacija: Velenje (cona A2)

Nadmorska višina: 400 m

Karakteristična vrednost: $s_k = 1,68$ kN/m²

Karakteristično vrednost določim v skladu z nacionalnim dodatkom SIST EN 1991-1-3, Slika 1.

$$S_k = 1,293 \cdot (1 + (A / 728)^2)$$

A = 400m (nadmorska višina, na kateri se nahaja objekt)

$$S_k = 1,293 \cdot (1 + (400 \text{ m} / 728 \text{ m})^2) = 1,68 \text{ kN/m}^2$$

V skladu z Evrokodom SIST EN 1991-1-3: 2004 določim obtežbo z enačbo:

$$S = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k$$

C_e – koeficient izpostavljenosti

$C_e = 1,0$ (običajen teren; površine, kjer veter ne prenaša snega na objektih, ker so zaščiteni zaradi terena, objekt se nahaja v bližini drugih poslovno – prodajnih objektov, ki so enako visoki ali višji in nudijo delno zaščito pred vetrom).

C_t – toplotni koeficient

$C_t = 1,0$ (ni pričakovati zmanjšanje obtežbe snega zaradi toplotne prevodnosti strehe).

Predpostavljena je enakomerna obtežba snega po celotni dolžini strehe.

Obtežba snega za območje z enakomerno razporeditvijo snega:

$$S = \mu \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,68 \text{ kN/m}^2 = 1,35 \text{ kN/m}^2$$

$\mu = 0,8$ (ravna streha, $0 \leq \alpha \leq 30^\circ$); SIST EN 1991-1-3, Preglednica 5.2

4.4 Obtežba vetra

Lokacija: Velenje (cona 1)

Kategorija terena: IV

4.4.1 Izračun osnovne hitrosti vetra v_b

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

c_{dir} – faktor smeri vetra (priporočeno $c_{dir} = 1,0$)

c_{season} – faktor letnega časa (priporočeno $c_{season} = 1,0$)

$v_{b,0}$ – osnovna hitrost vetra (odčitano iz karte vetra)

$v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$ (temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra; slika 1, nacionalni dodatek)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$$

v_b – osnovna hitrost vetra

4.4.2 Izračun osnovnega tlaka q_b zaradi hitrosti vetra v_b

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2$$

q_b – osnovni tlak vetra

ρ – gostota zraka

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot (20 \text{ m/s})^2 = 250 \text{ kg/ms}^2 = 250 \text{ N/m}^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

4.4.3 Izračun tlaka vetra pri največjih hitrostih ob sunkih vetra

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

$q_p(z_e)$ – največji zunanji tlak pri sunkih vetra na posamezne ploskve

$c_e(z_e)$ – faktor izpostavljenosti

q_b – osnovni tlak vetra

V primeru da velja $k_1 = 1,0$ in $c_0(z) = 1,0$ lahko faktor izpostavljenosti odčitamo iz SIST EN 1991-1-4, poglavje 4.5, slika 4.2

$$c_e(10,8 \text{ m}) = 1,20$$

k_1 – turbulentni faktor (priporočena vrednost $k_1 = 1,0$)

$c_0(z)$ – faktor hribovitosti (v primeru ravnega terena velja $c_0(z) = 1,0$)

Za kategorijo terena IV določim faktorje izpostavljenosti:

$$c_e(10,8 \text{ m}) = 1,20$$

$$q_p(10,8 \text{ m}) = c_e(10,8 \text{ m}) \cdot q_b = 1,20 \cdot 0,25 \text{ kN/m}^2 = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

4.4.4 Zunanji in notranji vpliv vetra

Tlak na zunanje ploskve:

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

$q_p(z_e)$ – največji zunanji tlak pri sunkih vetra na posamezne ploskve

c_{pe} – koeficient zunanjega tlaka, ki je odvisen od površine, na katero deluje obtežba vetra
(če je ta površina večja od 10 m^2 velja $c_{pe} = c_{pe,10}$)

Tlak na notranje ploskve:

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

$$c_{pi} = \mu \cdot c_{pe}$$

$q_p(z_i)$ – največji zunanji tlak pri sunkih vetra na posamezne ploskve

z_i – referenčna višina za zunanji tlak

c_{pi} – koeficient zunanjega tlaka, ki je odvisen od površine, na katero deluje obtežba vetra
(če je ta površina večja od 10 m^2 velja $c_{pe} = c_{pe,10}$)

V primeru da razpored odprt in v fazi statičnega izračuna ni dokončno definiran, lahko v skladu s SIST EN 1991-1-4, Odstavek 7.2.9, točka (6), izraz (7.3), opomba 2 za koeficient c_{pi} privzamem neugodnejši izmed $c_{pi} = 0,2$ in $c_{pi} = -0,3$.

Zunanji vpliv vetra:

-smer x (veter deluje prečno na smer nosilnih okvirjev):

$$h = 11,0 \text{ m}$$

$$b = 32 \text{ m}$$

$$d = 21 \text{ m}$$

$h = 11,0 \text{ m} \leq b = 32 \text{ m}$ konstantna obtežba vetra po celi višini objekta

$$e = \min(b; 2h) = \min(32 \text{ m}; 22 \text{ m}) = 22 \text{ m}$$

$$e = 22 \text{ m} \geq d = 21 \text{ m}; h / d = 11 \text{ m} / 21 \text{ m} = 0,52$$

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| območje A: $c_{pe,10} = -1,20$; | $w_e^A = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 1,20 = 0,36 \text{ kN/m}^2$ | <i>srk</i> |
| območje B: $c_{pe,10} = -0,80$; | $w_e^B = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,80 = 0,24 \text{ kN/m}^2$ | <i>srk</i> |
| območje D: $c_{pe,10} = 0,80$; | $w_e^D = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,80 = 0,36 \text{ kN/m}^2$ | <i>tlak</i> |
| območje E: $c_{pe,10} = -0,50$; | $w_e^E = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,50 = 0,15 \text{ kN/m}^2$ | <i>srk</i> |
| območje F: $c_{pe,10} = -1,80$; | $w_e^F = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 1,80 = 0,54 \text{ kN/m}^2$ | <i>srk</i> |
| območje G: $c_{pe,10} = -1,20$; | $w_e^G = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 1,20 = 0,36 \text{ kN/m}^2$ | <i>srk</i> |
| območje H: $c_{pe,10} = -0,70$; | $w_e^H = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,70 = 0,21 \text{ kN/m}^2$ | <i>srk</i> |
| območje I: $c_{pe,10} = \pm 0,20$; | $w_e^I = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,20 = 0,06 \text{ kN/m}^2$ | <i>srk/tlak</i> |

-smer y (veter deluje vzdolžno na smer nosilnih okvirjev):

$$h = 11,0 \text{ m}$$

$$b = 21 \text{ m}$$

$$d = 32 \text{ m}$$

$h = 11,0 \text{ m} \leq b = 21 \text{ m}$ konstantna obtežba vetra po celi višini objekta

$$e = \min(b; 2h) = \min(21 \text{ m}; 22 \text{ m}) = 21 \text{ m}$$

$$e = 121 < d = 32 \text{ m}; h / d = 11 \text{ m} / 32 \text{ m} = 0,34$$

$$\text{območje A: } c_{pe,10} = -1,20; \quad w_e^A = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 1,20 = 0,36 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$\text{območje B: } c_{pe,10} = -0,80; \quad w_e^B = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,80 = 0,24 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$\text{območje C: } c_{pe,10} = -0,50; \quad w_e^C = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,50 = 0,15 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$\text{območje D: } c_{pe,10} = 0,72; \quad w_e^D = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,72 = 0,22 \text{ kN/m}^2 \quad \text{tlak}$$

$$\text{območje E: } c_{pe,10} = -0,34; \quad w_e^E = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,34 = 0,10 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$\text{območje F: } c_{pe,10} = -1,80; \quad w_e^F = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 1,80 = 0,54 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$\text{območje G: } c_{pe,10} = -1,20; \quad w_e^G = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 1,20 = 0,36 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$\text{območje H: } c_{pe,10} = -0,70; \quad w_e^H = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,70 = 0,21 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$\text{območje I: } c_{pe,10} = \pm 0,20; \quad w_e^I = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,30 \cdot 0,20 = 0,06 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk/tlak}$$

Notranji vpliv vetra:

Tlak vetra na notranje ploskve:

$$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi} = 0,30 \cdot 0,2 = 0,06 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pi} = 0,2$$

Srk vetra na notranje ploskve:

$$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi} = 0,30 \cdot 0,3 = 0,09 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pi} = -0,3$$

Skupni (zunanji in notranji) vpliv vetra (prečno in vzdolžno):

Srk:

$$w^A = w_e^A + w_i = -0,36 + 0,09 = -0,27 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^B = w_e^B + w_i = -0,24 + 0,09 = -0,15 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^C = w_e^C + w_i = -0,15 + 0,09 = -0,06 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^D = w_e^D + w_i = 0,24 + 0,09 = 0,33 \text{ kN/m}^2 \quad \text{tlak}$$

$$w^E = w_e^E + w_i = -0,15 + 0,09 = -0,06 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^F = w_e^F + w_i = -0,54 + 0,09 = -0,45 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^G = w_e^G + w_i = -0,36 + 0,09 = -0,27 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^H = w_e^H + w_i = -0,21 + 0,09 = -0,12 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^I = w_e^I + w_i = 0,06 + 0,09 = 0,15 \text{ kN/m}^2 \quad \text{tlak}$$

Tlak:

$$w^A = w_e^A + w_i = -0,36 - 0,06 = -0,45 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^B = w_e^B + w_i = -0,24 - 0,06 = -0,30 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^C = w_e^C + w_i = -0,15 - 0,06 = -0,21 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^D = w_e^D + w_i = 0,24 - 0,06 = 0,18 \text{ kN/m}^2 \quad \text{tlak}$$

$$w^E = w_e^E + w_i = -0,15 - 0,06 = -0,21 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^F = w_e^F + w_i = -0,54 - 0,06 = -0,60 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^G = w_e^G + w_i = -0,36 - 0,06 = -0,42 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^H = w_e^H + w_i = -0,21 - 0,06 = -0,27 \text{ kN/m}^2 \quad \text{srk}$$

$$w^I = w_e^I + w_i = 0,06 - 0,06 = 0 \text{ kN/m}^2$$

5.0 STATIČNA ANALIZA

5.1 Obtežne sheme

Vse obtežbe, razen obtežbe vetra na okvir, delujejo kot točkovna sila, saj se na okvir prenaša preko sekundarnih nosilcev.. Razmak med sekundarnimi nosilci je 3,5 m.

Oznake obtežb:

G_{ST} ... lastna strehe

Q_{ST} ... koristna strehe

G_{MK} ... lastna stropne konstrukcije

Q_{MK} ... koristna stropne konstrukcije

G_P ... parapet

W ... veter

G_F ... fasada

Q_S ... sneg

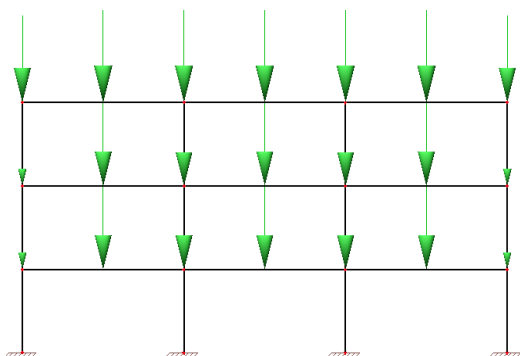
Stalna obtežba:

$$G_{ST} = 4,84 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 135,6 \text{ kN}$$

$$G_{MK} = 4,44 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 124,5 \text{ kN}$$

$$G_P = 7,5 \text{ kN/m} \cdot 8 \text{ m} = 60 \text{ kN}$$

$$G_F = 1 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = 8 \text{ kN/m}$$



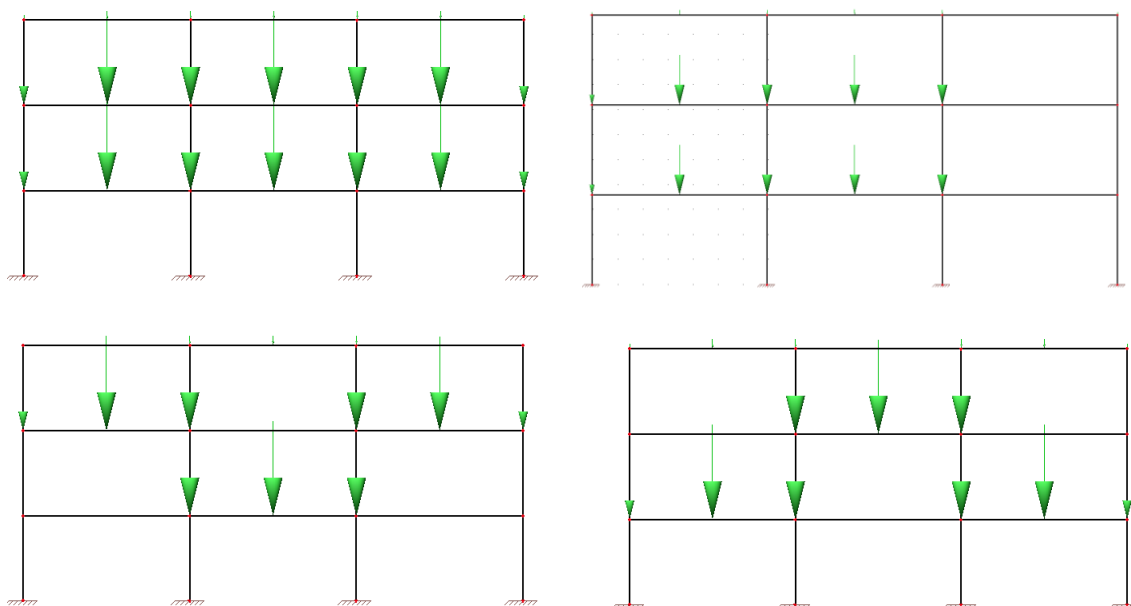
Na robovih:

$$G_{ST} = G_{ST} / 2 + G_P = 127,8 \text{ kN}$$

$$G_{MK} = G_{MK} / 2 = 62,3 \text{ kN}$$

Koristna:

Koristno obtežbo razdelimo lahko na tri načine, in sicer čez vse etaže enako ali pa razporedimo po principu šahovnice na dva načina.



$$Q_{ST} = 0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 11,2 \text{ kN}$$

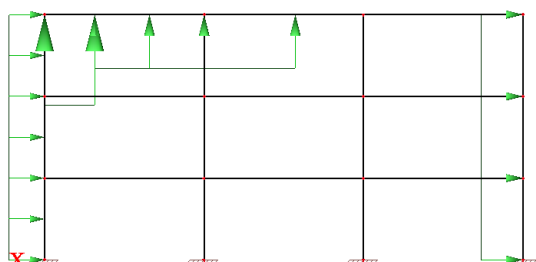
$$Q_{MK} = (3,0 + 0,8) \text{ kN/m}^2 \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 106,4 \text{ kN}$$

Na robovih:

$$Q_{ST} = Q_{ST} / 2 = 5,6 \text{ kN}$$

$$Q_{MK} = Q_{MK} / 2 = 53,2 \text{ kN}$$

Veter (tlak):



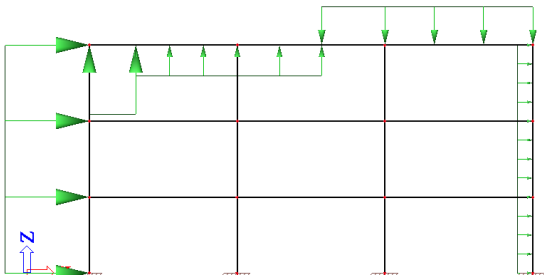
$$W_D = 0,18 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = 1,44 \text{ kN/m}$$

$$W_E = -0,21 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = -1,68 \text{ kN/m}$$

$$W_G = -0,42 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = -3,36 \text{ kN/m}$$

$$W_H = -0,27 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = -2,16 \text{ kN/m}$$

$$W_I = 0 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = 0,0 \text{ kN/m}$$

Veter (srk)

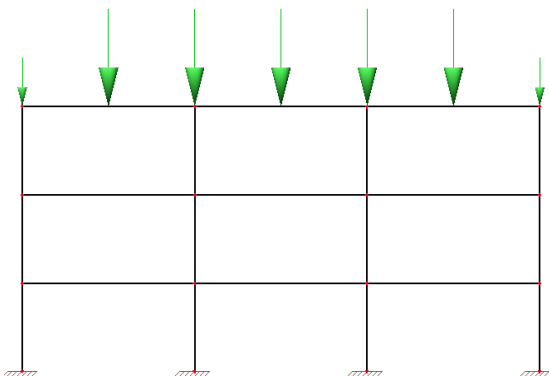
$$W_D = 0,33 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = 2,64 \text{ kN/m}$$

$$W_E = -0,06 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = -0,48 \text{ kN/m}$$

$$W_G = -0,27 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = -2,16 \text{ kN/m}$$

$$W_H = -0,12 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = -0,96 \text{ kN/m}$$

$$W_I = 0,15 \text{ kN/m}^2 \cdot 8 \text{ m} = 1,20 \text{ kN/m}$$

Sneg:

$$Q_S = 1,35 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,5 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 37,8 \text{ kN}$$

Na robovih:

$$Q_S = Q_S / 2 = 18,9 \text{ kN}$$

5.2 Obtežne kombinacije**5.2.1 MSN**

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Priporočene vrednosti faktorjev ψ_0 za vpliv:

Sneg: $\psi_0 = 0,5$

Veter: $\psi_0 = 0,6$

Poslovna stavba: $\psi_0 = 0,7$

$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$$

$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W$$

$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$$

G – lastna in stalna obtežba

Q – koristna obtežba

S – sneg

W – veter

5.2.2 MSU

$$\sum G_{k,j} + \gamma_{k,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Priporočene vrednosti faktorjev ψ_2 za vpliv:

Pisarne: $\psi_2 = 0,3$

Sneg, veter: $\psi_2 = 0$

$G + Q$

$G + W + 0,3 \cdot Q$

$G + S + 0,3 \cdot Q$

G – lastna in stalna obtežba

Q – koristna obtežba

S – sneg

W – veter

5.2.3 Začetna nepopolnost

Vpliv nepopolnosti upoštevamo z nadomestnimi globalnimi nepopolnostmi v obliki nadomestnega vodoravnega zamika okvirja.

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\Phi_0 = 1/200$$

α_h – redukcijski faktor višine h stebrov

α_m – redukcijski faktor števila stebrov v eni vrsti stebrov

m – število stebrov v eni v eni vrsti, ki prenašajo najmanj 50 % povprečne navpične obtežbe stebrov v obravnavani ravnini.

$$\alpha_h = 2 / (h)^{0,5} = 2 / (10,8)^{0,5} = 0,61$$

veljati mora pogoj $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$, zato sledi

$$\alpha_h = 0,67$$

$$\alpha_m = (0,5 \cdot (1 + 1/m))^{0,5} = (0,5 \cdot (1 + 1/4))^{0,5} = 0,79$$

$$\Phi = 1/200 \cdot 0,67 \cdot 0,79 = 0,0026$$

5.2.4 Kontrola horizontalnih in vertikalnih pomikov

Horizontalni pomiki:

Posamezna etaža: $\delta \leq h / 300$

| Etaža | u_i [mm] | δ [mm] | \leq | $h/300$ [mm] |
|-------|------------|---------------|--------|--------------|
| 1 | 0,8 | 0,8 | \leq | 12 |
| 2 | 1,5 | 0,7 | \leq | 12 |
| 3 | 2,0 | 0,5 | \leq | 12 |

Celotna višina zgradbe: $\delta \leq H / 500$

$$\Delta\delta [mm] \leq H / 500 = 2 \text{ mm} \leq 21,6 \text{ mm}$$

Vertikalni pomiki:

Za streho: $\delta_{max} \leq L / 200$

Za stropove: $\delta_{max} \leq L / 250$

Streha: $6,9 \text{ mm} \leq 35 \text{ mm}$

Strop: $7,8 \text{ mm} \leq 28 \text{ mm}$

6.0 POTRESNA ANALIZA

Pri potresni analizi obravnavamo objekt ločeno v dveh smereh (smer X in smer Y). Za prečno smer X predpostavimo smer, v kateri potresno obtežbo prenašajo momentni okvirji. V vzdolžni smeri Y potresno obtežbo prenašajo natezne diagonale.

Pri okvirjih je potrebno zagotoviti ustreznost porušnega mehanizma in načela šibka prečka – močan steber. Pri diagonalah pa moramo zagotoviti ustrezno vitkost in togost, da preprečimo učinek mehke etaže. Stebri in spoji so dodatno zaščiteni s faktorjem dodatne nosilnosti. Vsi momentni spoji so simetrični, izvedeni z prednapetimi vijaki kvalitete 10.9.

Obtežna kombinacija za seizmično projektno stanje (SIST EN 1990: Odstavek 6.4.3.4):

$$G_k + \gamma_i \cdot A_{Ed} + \psi_2 \cdot Q_k$$

$\gamma_i \cdot A_{Ed}$ – seizmični vpliv

$G_k + \psi_2 \cdot Q_k$ – neseizmični vpliv

6.1 Podatki za potresno analizo

Lokacija: Velenje

Maksimalni pospešek tal: 0,125g

Tip tal: B

Stopnja duktilnosti konstrukcije: DCM

Faktor obnašanja: $q = 4$

Prečni prerezi so v 1. RK ali 2. RK

6.2 Izračun mas

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} Q_{k,i}$$

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i}$$

$\varphi = 1,0$... za zadnjo etažo

$\varphi = 0,5$... za ostale etaže

$\psi_{2,i} = 0,3$... za pisarne

6.2.1 Streha

Površina etaže: 672 m²

Lastna masa (IPE500):

$M_{IPE500} = 9,6$ t (na etažo)

Stalna masa:

$$(4,84 \text{ kN/m}^2 \cdot 672 \text{ m}^2) / 9,81 \text{ m/s}^2 = 331,6 \text{ t}$$

$$\text{Parapet: } (7,5 \text{ kN/m} \cdot (2 \cdot 21 \text{ m} + 2 \cdot 32 \text{ m})) / 9,81 \text{ m/s}^2 = 81,0 \text{ t}$$

$$\text{Fasada: } (1 \text{ kN/m}^2 \cdot (21 \text{ m} \cdot 3,6 \text{ m} + 32 \text{ m} \cdot 3,6 \text{ m})) / 9,81 \text{ m/s}^2 = 19,4 \text{ t}$$

Masa lastne in stalne obtežbe: $m_{S,G} = 331,6 + 81,0 + 19,4 + 9,6 \text{ t} = 441,6 \text{ t}$

Koristna masa:

$$m_{S,Q} = (0,40 \text{ kN/m}^2 \cdot 672 \text{ m}^2) / 9,81 \text{ m/s}^2 = 27,4 \text{ t}$$

6.2.2 Prva in druga etaža

Površina etaže: 672 m^2

Lastna masa (IPE500):

$m_{\text{ipe500}} = 9,6 \text{ t}$ (na etažo)

Stalna masa:

$$(4,45 \text{ kN/m}^2 \cdot 672 \text{ m}^2) / 9,81 \text{ m/s}^2 = 304,8 \text{ t}$$

Fasada: $19,4 \text{ t}$

Masa lastne in stalne obtežbe: $m_{E,G} = 304,8 + 19,4 + 9,6 = 333,8 \text{ t}$

Koristna masa:

$$m_{E,Q} = (3,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 672 \text{ m}^2) / 9,81 \text{ m/s}^2 = 260,3 \text{ t}$$

Masa na prečni okvir:

$$m_{S,G} / 5 = 88,3 \text{ t}$$

$$m_{S,Q} / 5 = 5,48 \text{ t}$$

$$m_{E,G} / 5 = 66,79 \text{ t}$$

$$m_{E,Q} / 5 = 52,06 \text{ t}$$

$$m_1 = 66,76 + 0,15 \cdot 52,06 = 74,57 \text{ t}$$

$$m_2 = 66,76 + 0,15 \cdot 52,06 = 74,57 \text{ t}$$

$$m_3 = 88,3 + 0,3 \cdot 5,48 = 89,94 \text{ t}$$

$$m = 2 \cdot 74,57 + 89,94 = 239,1 \text{ t}$$

Masa na vzdolžni okvir:

$$m_{E,Q} / 4 = 110,4 \text{ t}$$

$$m_{S,Q} / 4 = 6,85 \text{ t}$$

$$m_{E,G} / 4 = 83,45 \text{ t}$$

$$m_{S,G} / 4 = 65,08$$

$$m_1 = 83,45 + 0,15 \cdot 65,08 = 93,21 \text{ t}$$

$$m_2 = 83,45 + 0,15 \cdot 65,08 = 93,21 \text{ t}$$

$$m_3 = 110,4 + 0,30 \cdot 6,85 = 112,46 \text{ t}$$

$$m = 2 \cdot 93,21 + 112,46 = 298,9 \text{ t}$$

6.3 Torzijski vpliv

Ker uporabimo ravninski model, je potrebno upoštevati vpliv slučajne ekscentričnosti. Poenostavljen način upoštevanje le-te je s pomočjo faktorja $\delta = 1 + 1,2 \cdot (x_i / Le_i)$. δ je faktor s katerim pomnožimo potresne sile za posamezni makroelement.

$$\delta = 1 + 1,2 \cdot (x_i / Le_i)$$

x_i ... tlorisna razdalja makroelementa od težišča osi

Le_i ... tlorisna razdalja med dvema skrajnima makroelementa

Identično se torzijski vpliv uporabi za smer Y.

6.4 Dinamična analiza v prečni smeri (X smer) (SIST EN 1998-1)

Nihajni čas smo izračunali s pomočjo programa SCIA Engineer, in sicer znaša $T = 0,67$ s.

6.4.1 Spekter pospeškov

Spekter pospeškov določimo s pomočjo (preglednica 3.3 EC 8-1):

$$T_c = 0,5 \text{ s} \leq T = 0,67 \text{ s} \leq T_D = 2,0 \text{ s}$$

$$S = 1,2$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot 2,5/q \cdot T_c/T = 0,125g \cdot 1,2 \cdot 2,5/4 \cdot 0,5/0,67 = 0,69 \text{ m/s}^2$$

6.4.2 Določitev potresnih sil

$$F_b = m \cdot S_d(T) \cdot \lambda = 239,1 \cdot 0,69 \cdot 0,85 = 140,2 \text{ kN}$$

λ ... če ima stavba več kot dve etaži in velja $T < 2T_c$ ima λ vrednost 0,85, drugače 1,0

Porazdelitev sil po višini:

$$F_i = F_b \cdot (z_i \cdot m_i) / (\sum z_j \cdot m_j)$$

F_i ... vodoravna sila, ki deluje v etaži i

F_b ... celotna potresna sila

$m_i, m_j \dots$ masi etaž

$z_i, z_j \dots$ kota mas m_i in m_j nad nivojem delovanja potresnega vpliva

$$\sum z_j \cdot m_j = 3,6 \text{ m} \cdot 74,57 \text{ t} + 7,2 \text{ m} \cdot 74,57 \text{ t} + 10,8 \text{ m} \cdot 89,94 \text{ t} = 1776,7 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$F_1 = 140,2 \cdot (3,6 \cdot 74,57) / 1776,7 = 21,2 \text{ kN}$$

$$F_2 = 2 \cdot F_1 = 42,4 \text{ kN}$$

$$F_3 = 140,2 - 42,4 - 21,2 = 76,6 \text{ kN}$$

6.4.3 Globalna duktilnost

$$\sum M_{R,C} > 1,3 \cdot \sum M_{R,B}$$

Prva in druga etaža:

$$M_{pl,y,Rd,c} = W_{pl,y,c} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 75576 \text{ kNcm (HEA450)}$$

$$M_{pl,y,Rd,b} = W_{pl,y,b} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 51559 \text{ kNcm (IPE500)}$$

$$2 \cdot M_{pl,y,Rd,c} = 151152 \text{ kNcm} \geq 1,3 \cdot 2 \cdot M_{pl,y,Rd,b} = 134054 \text{ kNcm}$$

6.4.4 Kontrola teorije drugega reda

V primeru, če $\vartheta > 0,1$, je potrebno TDR upoštevati s faktorjem k_δ . S faktorjem k_δ pomnožimo horizontalni seizmični vpliv.

$$k_\delta = 1/(1 - \vartheta)$$

Pri kontroli TDR nismo pomnožili potresnih sil s faktorjem $\delta = 1 + 1,2 \cdot (x_i / L_{e_j})$, saj se le-ta krajša pri pogoju $\vartheta < 0,10$.

1. Etaža:

$$P_{tot,1} = 608,8 + 948,4 + 948 + 612,5 = 3117,7 \text{ kN}$$

$$V_{tot,1} = 31,6 + 39,4 + 38,9 + 30,3 = 140,2$$

$$d_{e1} = 0,0027 \text{ m} = w_1$$

$$d_{r1} = w_1 \cdot q = 0,011 \text{ m}$$

$$g^{(1)} = 3117,7 / 140,3 \cdot 0,011 / 3,6 = 0,07 < 0,10$$

2. Etaža:

$$P_{tot,2} = 420 + 621,1 + 620,9 + 421,8 = 2083,8 \text{ kN}$$

$$V_{tot,2} = 22,7 + 37 + 36,7 + 22,6 = 119 \text{ kN}$$

$$de_2 = w_2 - w_1 = 0,0064 \text{ m} - 0,0027 \text{ m} = 0,0037 \text{ m}$$

$$dr_2 = de_2 \cdot q = 0,0037 \cdot 4 = 0,015 \text{ m}$$

$$g^{(2)} = 2083,8 / 119 \cdot 0,015 / 3,6 = 0,07 < 0,10$$

3. Etaža:

$$P_{tot,3} = 229,9 + 295 + 294,9 + 230,3 = 1050,1 \text{ kN}$$

$$V_{tot,3} = 13,4 + 25,6 + 25 + 12,5 = 76,6 \text{ kN}$$

$$de_3 = w_3 - w_2 = 0,0027 \text{ m}$$

$$dr_3 = de_3 \cdot q = 0,011$$

$$g^{(3)} = 1050,1 / 76,6 \cdot 0,011 / 3,6 = 0,04 < 0,10$$

Vpliva TDR ni potrebno upoštevati.

6.4.5 Kontrola relativnih pomikov etaž

$dr_i \cdot v < 0,005 \cdot h_i \dots$ za neduktilne nekonstrukcijske elemente (Odstavek 4.4.3.2 EC8-1)

$$v = 0,5$$

$$dr_1 = 1,1 \text{ cm} \qquad 0,55 \text{ cm} < 1,8 \text{ cm}$$

$$dr_2 = 1,5 \text{ cm} \qquad 0,75 \text{ cm} < 1,8 \text{ cm}$$

$$dr_3 = 1,1 \text{ cm} \qquad 0,55 \text{ cm} < 1,8 \text{ cm}$$

6.5 Dinamična analiza v vzdolžni smeri (Y smer) (SIST_EN_1998-1_2005)

Nihajni čas smo izračunali s pomočjo programa SCIA Engineer, in sicer znaša $T = 0,60 \text{ s}$.

6.5.1 Spekter pospeškov

Spekter pospeškov določimo s pomočjo (preglednica 3.3 EC 8-1):

$$T_C = 0,5 \text{ s} \leq T = 0,60 \text{ s} \leq T_D = 2,0 \text{ s}$$

$$S = 1,2$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot 2,5/q \cdot T_C/T = 0,125g \cdot 1,2 \cdot 2,5/4 \cdot 0,5/0,60 = 0,77 \text{ m/s}^2$$

6.5.2 Določitev potresnih sil

$$F_b = m \cdot S_d(T) \cdot \lambda = 298,7 \cdot 0,77 \cdot 0,85 = 195,5 \text{ kN}$$

Porazdelitev sil po višini:

$$\sum z_j \cdot m_j = 3,6 \text{ m} \cdot 93,21 \text{ t} + 7,2 \text{ m} \cdot 93,21 \text{ t} + 10,8 \text{ m} \cdot 112,46 \text{ t} = 2221,2 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$F_1 = 195,5 \cdot (3,6 \cdot 93,21) / 2221,2 = 29,5 \text{ kN}$$

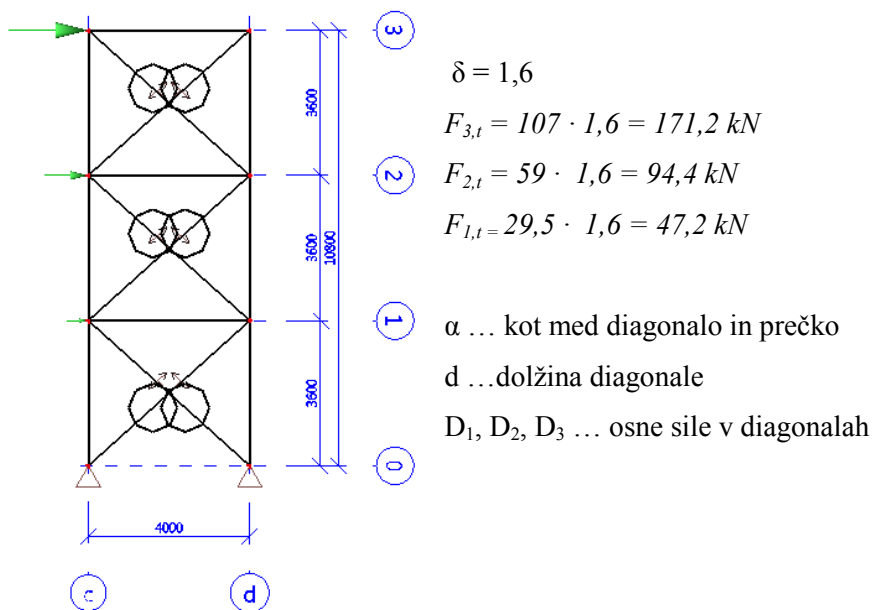
$$F_2 = 2 \cdot F_1 = 59 \text{ kN}$$

$$F_3 = 195,5 - 59 - 29,5 = 107 \text{ kN}$$

Pri okvirju s centričnem povezjem lahko notranje sile obravnavano ločeno, in sicer na del ki odpade na gravitacijski del in del, ki odpade na seizmični del.

V našem modelu so notranje sile zaradi gravitacijskega dela nič.

Potresni del potresne obtežne kombinacije:



$$\alpha = \arctg(3,6 / 4,0) = 42^\circ$$

$$d = (3,6^2 + 4,0^2)^{0,5} = 5,38 \text{ m}$$

$$D_1 = (F_{3,t} + F_{2,t} + F_{1,t}) / \cos\alpha = 420,9 \text{ kN}$$

$$D_2 = (F_{3,t} + F_{2,t}) / \alpha = 357,4 \text{ kN}$$

$$D_3 = F_{3,t} / \alpha = 230,4 \text{ kN}$$

6.5.3 Kontrola teorije drugega reda

Pri kontroli TDR nismo pomnožili potresnih sil s faktorjem $\delta = 1 + 1,2 \cdot (y_i / L_{ei})$, saj se le-ta krajša pri pogoju $\vartheta < 0,10$.

1. Etaža:

$$P_{tot,1} = 590,3 \text{ kN}$$

$$V_{tot,1} = 190,4 \text{ kN}$$

$$de_1 = 0,0087 \text{ m} = w_1$$

$$dr_1 = w_1 \cdot q = 0,035 \text{ m}$$

$$g^{(1)} = 590,3 / 190,4 \cdot 0,035 / 3,6 = 0,03 < 0,10$$

2. Etaža:

$$P_{tot,2} = 407,5 \text{ kN}$$

$$V_{tot,2} = 161,6 \text{ kN}$$

$$de_2 = w_2 - w_1 = 0,0085 \text{ m}$$

$$dr_2 = de_2 \cdot q = 0,0085 \cdot 4 = 0,034 \text{ m}$$

$$g^{(2)} = 407,5 / 161,6 \cdot 0,034 / 3,6 = 0,02 < 0,10$$

3. Etaža:

$$P_{tot,3} = 222,9 \text{ kN}$$

$$V_{tot,3} = 104,1 \text{ kN}$$

$$de_3 = w_3 - w_2 = 0,0088 \text{ m}$$

$$dr_3 = de_3 \cdot q = 0,035 \text{ m}$$

$$g^{(3)} = 222,9 / 104,1 \cdot 0,035 / 3,6 = 0,02 < 0,10$$

Vpliva TDR ni potrebno upoštevati.

6.5.4 Kontrola relativnih pomikov etaž

$dr_i \cdot v < 0,005 \cdot h_i \dots$ za neduktilne nekonstrukcijske elemente (Odstavek 4.4.3.2 EC8-1)

$$v = 0,5$$

$$dr_1 = 3,48 \text{ cm}$$

$$1,74 \text{ cm} < 1,8 \text{ cm}$$

$$dr_2 = 3,4 \text{ cm}$$

$$1,7 \text{ cm} < 1,8 \text{ cm}$$

$$dr_3 = 3,52 \text{ cm}$$

$$1,76 \text{ cm} < 1,8 \text{ cm}$$

7.0 DIMENZIONIRANJE

7.1 Dimenzioniranje prečke

Za dimenzioniranje prečke je merodajna statična obremenitev v MSN (1,35G + 1,5Q + 0,75S + 0,9W).
Notranje sile so izračunane s programom SCIA Engineer. Račune potrebne za dimenzioniranje sem opravil s programom Excel.

Kontrola kompaktnosti prereza (IPE500):

Profil: IPE500

Kvaliteta jekla: S235

$$d = 42,6 \text{ cm}$$

$$b = 20,0 \text{ cm}$$

$$t_f = 1,6 \text{ cm}$$

$$t_w = 1,02 \text{ cm}$$

$$c = (b-t_f)/2 = 9,49 \text{ cm}$$

Stojina:

-upogib:

$$d/t_w = 41,8 \leq 72 \quad 1. \text{ R.K.}$$

-upogib in tlak (pri merodajni obremenitvi):

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

$$c' = 42,6 \text{ cm}$$

$$y = 19,6 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,54$$

$$c'/t_w = 41,8 \leq 65,7 \quad 1 \text{ R.K.}$$

Pasnica:

-tlak:

$$c/t_f = 5,9 \leq 10 \quad 1 \text{ R.K.}$$

-strig:

$$d/t_w = 41,8 \leq 60$$

Kontrola nosilnosti prereza (IPE500):

Geometrija:

$$A = 116 \text{ cm}^2$$

$$F_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$W_{y,el} = 1930 \text{ cm}^3$$

$$W_{y,pl} = 2194 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,y} = 51559 \text{ kNcm}$$

$$A_v = 43,5 \text{ cm}^2 \text{ kNcm}$$

Obremenitev:

$$N_{Ed} = 37,9 \text{ kN (nateg)}$$

$$V_{Ed} = 340,9 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 31300 \text{ kNcm}$$

$$N_{pl,Rd} = 2726 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 589,5 \text{ kN}$$

$$M_{el,y} = W_{y,el} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,y} = W_{y,pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

-plastična nosilnost za enosni upogib z osno silo (zaradi potrebnega 2. RK) :

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

$$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A$$

| | | |
|----------|--------------------|--------|
| $n \leq$ | $0,5 \cdot a \leq$ | $0,25$ |
| $0,0140$ | $0,22$ | $0,25$ |

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 51560 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed} / M_{pl,y,Rd} = 0,61 < 1,0$$

-strižna nosilnost:

$$V_{Ed} < V_{pl,Rd}$$

$$340,9 \text{ kN} \leq 589,5 \text{ kN}$$

M-V interakcija:

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

$$340,9 \text{ kN} \leq 294,78 \text{ kN} \quad \times$$

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

$$W_1 = 2263 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\max} = 14,2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = 7,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$(\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)^{0,5} \leq f_y / \gamma_{M0} \text{ (Misses):}$$

$$19,6 \text{ kN/cm}^2 \leq 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Kontrola nosilnosti elementa :

-bočna zvrnitve:

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,0$$

$$\pi = 3,14$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$G = 8070 \text{ kN/cm}^2$$

$$l_{uLT} = 350 \text{ cm}$$

$$I_t = 89,3 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 2140 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 1249000 \text{ cm}^4$$

Sekundarni nosilci na polovici dolžine prečke predstavljajo bočno podporo, zato $l_{uLT} = L / 2$ ($L = 700$ cm). Uklonska krivulja za bočno zvrnitev je c. Za faktor C_1 konzervativno predpostavimo vrednost 1,0.

$$M_{cr} = C_1 \cdot (\pi / (k_z \cdot L)) \cdot [E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t + (\pi^2 \cdot E \cdot I_z \cdot E \cdot I_w) / (k_w \cdot L)^2]$$

$$M_{cr} = 101295,2 \text{ kNcm}$$

$$\lambda_{LT} = (W_y \cdot f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$\lambda_{LT} = 0,67 \dots \text{ nevarnost bočne zvrnitve}$$

$$\chi_{LT} = 0,94$$

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$0,64 \leq 1,0$$

Vpliv osne sile je zelo majhen, zato ga lahko zanemarimo.

7.2 Dimenzioniranje diagonal

Merodajna je seizmična obremenitev, saj natezne diagonale prenašajo horizontalno obtežbo v vzdolžni smeri. Pri centričnih povezjih je potrebno zaradi lokalne duktilnosti omejiti vitkost diagonal, in sicer $1,3 \leq \lambda \leq 2,0$.

Profil: CEV

Kakovost jekla: S235

Ω ... faktor dodatne nosilnosti prečnega prereza v območju sipanja energije

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon$$

$$\lambda_i = l_u / i_i \cdot \lambda_1$$

$$I_{uz} = 538 \text{ cm}$$

$$f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2 \quad \varepsilon = 93,9$$

$$N_1 = 420,9 \text{ kN}$$

$$N_2 = 357,4 \text{ kN}$$

$$N_3 = 230,4 \text{ kN}$$

dejansko :

$$A_1 \geq 17,9 \text{ cm}^2 \quad iz_1 = 3,377 \text{ cm} \quad A_1 = 18,86 \text{ cm}^2$$

$$A_2 \geq 15,2 \text{ cm}^2 \quad iz_2 = 3,400 \text{ cm} \quad A_2 = 16,89 \text{ cm}^2$$

$$A_3 \geq 9,8 \text{ cm}^2 \quad iz_3 = 3,005 \text{ cm} \quad A_3 = 10,69 \text{ cm}^2$$

-kontrola vitkosti : $1,3 \leq \lambda \leq 2,0$

$$\lambda_1 = 1,70$$

$$\lambda_2 = 1,69$$

$$\lambda_3 = 1,91$$

-globalna duktilnost : $\Omega_{\max}/\Omega_{\min} \leq 1,25$

$$N_{pl,Rd1} = 443,2 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd2} = 396,9 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd3} = 251,2 \text{ kN}$$

$$\Omega_1 = 1,05$$

$$\Omega_2 = 1,11$$

$$\Omega_3 = 1,09$$

$$\Omega_{\min} = 1,05$$

$$\Omega_{\max} = 1,11$$

$$\Omega_{\max}/\Omega_{\min} = 1,05 \leq 1,25$$

7.3 Dimenzioniranje stebrov

Zaradi potencialne polne plastifikacije elementov, ki sipajo energijo je potrebno elemente izven območja sipanja energije ustrezno zavarovati pred preobremenitvijo. Uporabi se dva faktorja, in sicer γ_{ov} in Ω . Dimenzioniranje sem opravil za najbolj obremenjene stebre ob vpetju, in sicer so to notranji stebri momentnega okvirja v osi b in e. Faktor slučajne ekscentričnosti v tem primeru znaša $\delta = 1,3$.

γ_{ov} ... faktor dodatne nosilnosti

Ω ... faktor dodatne nosilnosti prečnega prereza v območju sipanja energije

Pomični okvir: $\min (M_{pl, Ref, i} / M_{Ed, i}) \rightarrow \Omega = 2,29$

Centrično povezje: $\min (N_{pl, Ref, i} / N_{Ed, i}) \rightarrow \Omega = 1,05$

$M_{pl, Ref, i}, N_{pl, Ref, i}$... projektna vrednost plastične nosilnosti elementa i , ki sipa energijo

$M_{Ed, i}, N_{Ed, i}$... projektne vrednosti notranjih sil v sipajočem elementu i zaradi potresne obtežne kombinacije

7.3.1 Dimenzioniranje stebra v vzdolžnem okvirju (HEA450)

$$M_{pl} = 515,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 149,3 \text{ kNm} + 58 \text{ kNm} \cdot 1,3 = 224,7 \text{ kNm}$$

$$\Omega^{prečka} = 515,6 \text{ kNm} / 224,7 \text{ kNm} = 2,29$$

$$\Omega^{diagonala} = 1,05$$

$$\gamma_{ov} = 1,25 \text{ (Pr. 8-7; Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih)}$$

Ob vpetju ($\delta = 1,3$):

$$M_{Ed} = M_{Ed, G} + 1,0 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{prečka} \cdot M_{Ed, Ex})$$

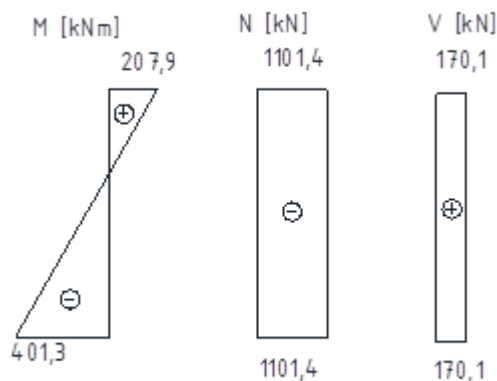
$$M_{Ed} = 10,2 + 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,29 \cdot 1,3 \cdot 95,2 = 401,3 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed, G} + 1,0 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{prečka} \cdot N_{Ed, Ex})$$

$$N_{Ed} = 948,4 + 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,29 \cdot 1,3 \cdot 5,1 = 1101,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed, G} + 1,0 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{prečka} \cdot V_{Ed, Ex})$$

$$V_{Ed} = 7,7 + 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,29 \cdot 39,4 = 170,1 \text{ kN}$$



Slika 5: Diagram momentov in notranjih sil za dimenzionirani stebel

Kontrola kompaktnosti prereza HEA450:

Profil: HEA450

Material: S235

$$d = 34,4 \text{ cm}$$

$$b = 30,0 \text{ cm}$$

$$t_f = 2,1 \text{ cm}$$

$$t_w = 1,15 \text{ cm}$$

$$c = (b-t_f)/2 = 13,95 \text{ cm}$$

Stojina:

-upogib:

$$d/t_w = 29,9 \leq 72 \quad 1. \text{ R.K.}$$

-tlak:

$$d/t_w = 29,9 \leq 33 \quad 1. \text{ R.K.}$$

-upogib in tlak (pri merodajni obremenitvi):

$$x = 40,8 \text{ cm}$$

$$c' = 34,4 \text{ cm}$$

$$y = -3,2 \text{ cm}$$

$$\alpha = 1,09$$

$$c'/t_w = 29,9 \leq 30,0 \quad 1. \text{ R.K.}$$

Pasnica:

-tlak:

$$c/t_f = 6,9 \leq 9,0 \quad 1. \text{ R.K.}$$

-strig:

$$29,9 \leq 60,0$$

Kontrola nosilnosti prereza (HEA450):

Geometrija:

$$A = 178 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$W_{y,el} = 2900 \text{ cm}^3$$

$$M_{el,y} = 68150 \text{ kNcm}$$

$$W_{pl,y,Rd} = 3216 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,y,Rd} = 75576 \text{ kNcm}$$

$$A_v = 39,6 \text{ cm}^2$$

Obremenitev:

$$N_{Ed} = 1101,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 170,1 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 40130 \text{ kNcm}$$

$$N_{pl,Rd} = 4183 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 536,7 \text{ kN}$$

$$M_{pl,y} = W_{y,pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

-plastična nosilnost za enoosni upogib z osno silo (zaradi potrebnega 2. RK) :

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

$$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A$$

$$n \geq 0,5 \cdot a:$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 65200,0 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed} / M_{pl,y,Rd} = 0,86 < 1,0$$

-strižna nosilnost:

$$V_{Ed} < V_{pl,Rd}$$

$$170,1 \text{ kN} \leq 536,7 \text{ kN}$$

M-V interakcija:

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

$$170,1 \text{ kN} \leq 268,4 \text{ kN}$$

Interakcije ni treba preverjati.

Kontrola nosilnosti elementa :

$$i_y = 18,9 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,29 \text{ cm}$$

$$l_{uy} = 360 \text{ cm}$$

$$l_{uz} = 360 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9$$

$$\varepsilon = 1,0$$

$$L = 360 \text{ cm}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,0$$

$$\pi = 3,14$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$G = 8070 \text{ kN/cm}^2$$

$$I_{uLT} = 360 \text{ cm}$$

$$I_t = 244 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 9470 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 4148000 \text{ cm}^6$$

Uklonske dolžine l_{uy} , l_{uz} in l_{uLT} predstavljajo višino nadstropja. Uklonski krivulji za uklon okoli osi x-x in y-y sta a in b, za bočno zvrnitev a. Za faktor C_1 konzervativno predpostavimo vrednost 1,0.

$$\lambda_l = 93,9 \cdot \varepsilon$$

$$\lambda_i = l_u / i_i \cdot \lambda_l$$

$$\lambda_y = 0,20$$

$$\lambda_z = 0,53$$

S pomočjo (Sl. 3-25; Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih) določimo redukcijski faktor χ .

$$\chi_y = 0,99$$

$$\chi_z = 0,87$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot (\pi / (k_z \cdot L)) \cdot [E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t + (\pi^2 \cdot E \cdot I_z \cdot E \cdot I_w) / (k_w \cdot L)^2]$$

$$M_{cr} = 360952,7 \text{ kNcm}$$

$$\lambda_{LT} = (W_y \cdot f_y / M_{cr})^{0,5}$$

$$\lambda_{LT} = 0,43 \dots \text{ nevarnost bočne zvrniteve}$$

$$\chi_{LT} = 0,98$$

S pomočjo preglednic (Pr. 3-28, Pr. 3-29, Pr. 3.30) iz Priročnika za dimenzioniranje gr. konstrukcij določimo faktorje C_{my} , C_{mLT} , k_{yy} in k_{zy} . Predpostavimo bolj neugoden potek momentov od dejanskega in dobimo vrednost $\psi = 0$.

$$C_{mLT} = C_{my} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,73$$

$$k_{zy} = 0,95$$

Enačbi (3-77 in 3-78; za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih) zajemata kontroli za uklon okoli obeh osi plus bočno zvrnitev.

uklon okoli y smeri+ bočna zvrnitev:
 $0,66 \leq 1,0$

uklon okoli z smeri+ bočna zvrnitev:
 $0,82 \leq 1,0$

7.3.2 Dimenzioniranje stebra v povezju (HEA450)

Vodilni je potres v prečni smeri:

$$M_{Ed} = M_{Ed, G} + 1,0 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{prečka} \cdot M_{Ed, Ex})$$

$$M_{Ed} = 28,2 + 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,29 \cdot 85,2 = 300,4 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed, G} + 1,0 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{prečka} \cdot N_{Ed, Ex}) + 0,3 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot N_{Ed, Ey})$$

$$N_{Ed} = 612,5 + 1,0 \cdot 1,25 \cdot 1,1 \cdot 2,29 \cdot 41,2 + 0,3 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,05 \cdot 674,7 = 1034,5 \text{ kN tlak}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed, G} + 1,0 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{prečka} \cdot V_{Ed, Ex})$$

$$V_{Ed} = 24 + 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,29 \cdot 30,4 = 123 \text{ kN}$$

Vodilni je potres v vzdolžni smeri:

$$M_{Ed} = M_{Ed, G} + 0,3 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{prečka} \cdot M_{Ed, Ex})$$

$$M_{Ed} = 28,2 + 0,3 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,29 \cdot 85,2 = 112,6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed, G} + 0,3 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{prečka} \cdot N_{Ed, Ex}) + 1,0 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot N_{Ed, Ey})$$

$$N_{Ed} = 612,5 + 0,3 \cdot 1,25 \cdot 1,1 \cdot 2,29 \cdot 41,2 + 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,05 \cdot 674,7 = 1625,5 \text{ kN tlak}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed, G} + 0,3 \cdot (1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{prečka} \cdot V_{Ed, Ex})$$

$$V_{Ed} = 24 + 0,3 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,29 \cdot 30,4 = 52,7 \text{ kN}$$

Potresne obremenitve stebra v prečni smeri so bolj neugodne, zato so tudi merodajne za dimenzioniranje.

8.0 RAČUN ZNAČILNIH SPOJEV

V skladu z Evrokod standardom je potrebno spoje dimenzionirati kot polonosilne. To storimo z upoštevanjem dodatne nosilnosti.

$$R_d \geq 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot R_{fy}$$

R_d ... odpornost spoja v skladu s SIST EN 1993-1-8

R_{fy} ... plastična nosilnost priključenega elementa, sposobnega sipati energijo, izračunana z nominalno vrednostjo napetosti tečenja f_y

γ_{ov} ... faktor dodatne nosilnosti

8.1 Spoj prečka – steber

Material: S235

$$f_y = 23,5 \text{ kN / cm}^2$$

$$f_u = 36 \text{ kN / cm}^2$$

Steber : HEA450

$$h = 440 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_f = 21 \text{ mm}$$

$$t_w = 11,5 \text{ mm}$$

Prečka: IPE500

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 16 \text{ mm}$$

$$t_w = 10,2 \text{ mm}$$

Obremenitev:

$$N_{Ed} = 16,2 \text{ kN (nateg)}$$

$$V_{Ed,G} = 85,8 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot M_{pl,y,Rd,b} = 1,1 \cdot 1,25 \cdot 51559 = 70894 \text{ kNcm}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M}$$

$$V_{Ed,M} = (2 \cdot M_{pl,y,Rd,b}) / L = (2 \cdot 51559) / 700 = 147,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 85,8 + 147,3 = 233,1 \text{ kN}$$

Prečka – čelna pločevina:

-polmonosilni spoji:

$$a_1 \geq 0,46 \cdot t_f = 7,36 \text{ mm}$$

$$a_1 = 8 \text{ mm}$$

$$a_2 \geq 0,46 \cdot t_w = 4,69 \text{ mm}$$

$$a_2 = 5 \text{ mm}$$

prečka – steber:

Vijaki: M27 10.9

$$A_s = 4,59 \text{ cm}^2$$

$$f_{ub} = 100 \text{ kN/cm}^2$$

$$d_0 = d + 3 \text{ mm} = 27 + 3 = 30 \text{ mm}$$

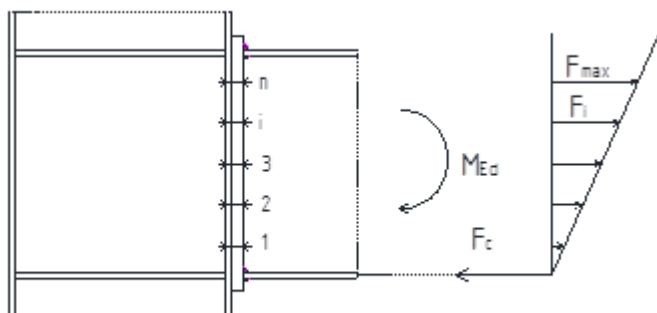
-razpored lukenj:

$$e_1 = 2,5 \cdot d_0 = 75 \text{ mm}$$

$$p_1 = (h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot e_1) / 3 = (500 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 75) / 3 = 106 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,5 \cdot d_0 = 45 \text{ mm}$$

$$p_2 = b - 2 \cdot e_2 = 200 - 90 = 110 \text{ mm}$$



Slika 6: Račun nosilnosti vijakov

n ... število vijakov v enem stolpcu

$$n = 6$$

$$r_1 = t_f/2 + e_1 = 1,6 / 2 + 7,5 = 8,3 \text{ cm}$$

$$r_2 = r_1 + p_1 = 8,3 + 10,6 = 18,9 \text{ cm}$$

$$r_3 = r_2 + p_1 = 29,5 \text{ cm}$$

$$r_4 = r_3 + p_1 = 40,1 \text{ cm}$$

$$r_5 = r_4 + 2 \cdot e_1 + t_f = 56,7 \text{ cm}$$

$$\Sigma r_i^2 = (8,3)^2 + (18,9)^2 + (29,5)^2 + (40,1)^2 + (56,7)^2 = 6119,3 \text{ cm}^2$$

$$F_{max} = (M_{Ed} \cdot r_{max}) / \Sigma r_i^2 = 70890 \cdot 56,7 / 6119,3 = 656,9 \text{ kN}$$

Obremenitev najbolj obremenjenega vijaka:

$$F_{t,Ed} = F_{max} / 2 = 328,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = V_{Ed} / 12 = 233,1 / 12 = 19,4 \text{ kN}$$

Kontrole nosilnosti vijaka (kategorija C):

-torna nosilnost $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$:

$$F_{s,Rd} = (k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{p,c}) / \gamma_{M3}$$

$$F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 36 \cdot 4,59 = 321,3 \text{ kN}$$

$$F_{s,Rd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,4 \cdot 321,3 / 1,25 = 102,8 \text{ kN}$$

n ... število tornih površin

μ ... torni količnik (za razred torne površine po SIST EN 1080-2 predpostavimo razred , sledi $\mu = 0,4$)

γ_{M3} ... delni varnostni faktor za MSU ali MSU (za MSN $\gamma_{M3} = 1,25$)

$$19,4 \text{ kN} \leq 102,8 \text{ kN}$$

-nosilnost na bočni pritisk $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$:

$$F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2}$$

γ_{M2} ... delni faktor odpornosti (γ_{M2} (nosilnost na bočni pritisk) = 1,25)

Enačbe za določitev faktorjev k_1 , α_b , d in t smo vzeli iz (Pr. 3-39; Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih), sledi:

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = 0,83$$

$$d = 2,7 \text{ cm}$$

$$t = 2,1 \text{ cm}$$

$$F_{b,Rd} = (2,5 \cdot 0,83 \cdot 36 \cdot 2,7 \cdot 2,1) / 1,25 = 338,8 \text{ kN}$$

$$19,4 \text{ kN} \leq 338,8 \text{ kN}$$

-odpornost proti preboju pločevine $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot \pi \cdot 4,8 \cdot 2,1 \cdot 36 / 1,25 = 547,2 \text{ kN}$$

t_p ... debelina pločevine

d_m ... (Pr. 3-39; Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih)

$$328,5 \text{ kN} \leq 547,2 \text{ kN}$$

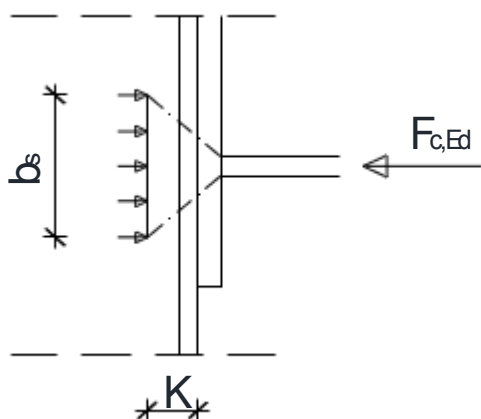
-interakcija strig-upogib:

$$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / (1,4 \cdot F_{t,Rd}) \leq 1,0$$

$$F_{v,Rd} = 0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = 0,5 \cdot 100 \cdot 4,59 / 1,25 = 367,2 \text{ kN}$$

$$19,4 / 367,2 + 328,5 / (1,4 \cdot 330,5) = 0,05 + 0,71 = 0,76 \leq 1,0$$

Kontrola nosilnosti stojine stebra v področju spoja zaradi vnosa koncentrirane sile:



Slika 7: Vnos koncentrirane sile

$t_\xi = 30 \text{ mm}$... debelina čelne pločevine

$$F_{c,Ed} = \sum r_i \cdot (F_{max} / r_{max}) = (8,3 + 18,9 + 29,5 + 40,1 + 56,7) \cdot 656,9 / 56,7 = 1778,4 \text{ kN}$$

a... debelina zvara med pasnico stebra in prečno pločevino

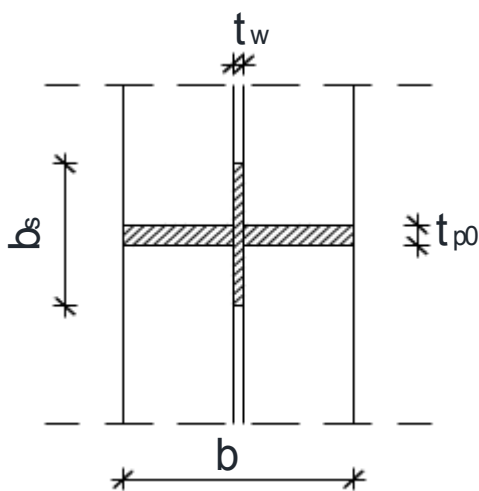
$$a = 0,46 \cdot t_w = 0,46 \cdot 11,5 = 5,3 \text{ mm}$$

$$a = 6 \text{ mm}$$

$$K = t_f + a\sqrt{2} = 21 + 6\sqrt{2} = 29,5 \text{ mm}$$

$$b_s = t_f + 2 \cdot t_\xi + 2 \cdot a_1\sqrt{2} + 5 \cdot K = 16 + 2 \cdot 30 + 2 \cdot 8\sqrt{2} + 5 \cdot 29,5 = 246,1 \text{ mm} = 24,6 \text{ cm}$$

-nosilnost stojine:



Slika 8: Ojačitev stojine

$$N_{Rd,w} = b_s \cdot t_w \cdot f_y \cdot \gamma_{M0} = 24,6 \cdot 1,15 \cdot 23,5 = 664,8 \text{ kN}$$

$N_{Rd,w} < F_{c,Ed}$... potrebna ojačitev stojine

$$N_{Ed} = F_{c,Ed} - N_{Rd,w} = 1778,4 - 664,8 = 1113,6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq A_0 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$A_0 = (b_f - t_w) \cdot t_{p0}$$

$$t_{p0} \geq (N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}) / ((b_f - t_w) \cdot f_y) = 1113,6 \cdot 1,0 / (28,8 \cdot 23,5) = 1,6 \text{ cm}$$

$$t_{p0} = 17 \text{ mm}$$

-stojina stebra v strigu:

$$V_{Ed} = F_{c,Ed} < V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,Rd} = h_w \cdot t_w \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 34,4 \cdot 1,15 \cdot 23,5 / \sqrt{3} = 536,7 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,p2} = (F_{c,Ed} - V_{pl,Rd}) / 2 = (1778,4 - 536,7) / 2 = 620,8 \text{ kN}$$

$$t_{p2} \geq V_{Ed,p2} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0} / (h_w \cdot f_y) = 620,8 \cdot \sqrt{3} / (34,4 \cdot 23,5) = 1,33 \text{ cm}$$

$$t_{p2} = 14 \text{ mm (par pločevin debeline 14 mm)}$$

9.0 STROPNA KONSTRUKCIJA

9.1 Faza gradnje

V fazi gradnje nosilec ustrezno bočno podpremo. Podpiranje profilirane pločevine ni potrebno, saj proizvajalec zagotavlja montažo brez podpiranja.

9.2 Končno stanje (sovpredno stanje)

9.2.1 Obtežne kombinacije

MSN:

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$$

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot 15,5 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 13,3 \text{ kN/m} = 40,9 \text{ kN/m}$$

MSU:

$$q_{Ed} = 1,0 \cdot G + 1,0 \cdot Q$$

$$q_{Ed} = 1,0 \cdot 15,5 \text{ kN/m} + 1,0 \cdot 13,3 \text{ kN/m} = 28,8 \text{ kN/m}$$

9.2.2 Geometrijske karakteristike prereza

$$a = 5,5 + 18 = 23,5 \text{ cm}$$

$$A_a = 72,7 \text{ cm}^2$$

$$I_a = 16270 \text{ cm}^4$$

$$A_c = 170 \cdot 11 = 1870 \text{ cm}^2$$

$$I_c = (170 \cdot 11^3) / 12 = 18855,8 \text{ cm}^4$$

$$E_a = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{cm} = 3100 \text{ kN/cm}^2$$

$$n_0 = E_a / E_{cm} = 21000 / 3100 = 6,77$$

$$n_{\infty} = 2 \cdot n_0 = 13,54$$

$$A_{sov} = A_a + A_c / n_{\infty} = 72,7 + 1870 / 13,54 = 210,8 \text{ cm}^2$$

$$a_a = a \cdot A_c / (A_{sov} \cdot n_{\infty}) = 23,5 \cdot 1870 / (210,8 \cdot 13,54) = 15,4 \text{ cm}$$

$$a_c = a - a_a = 23,5 - 15,4 = 8,1 \text{ cm}$$

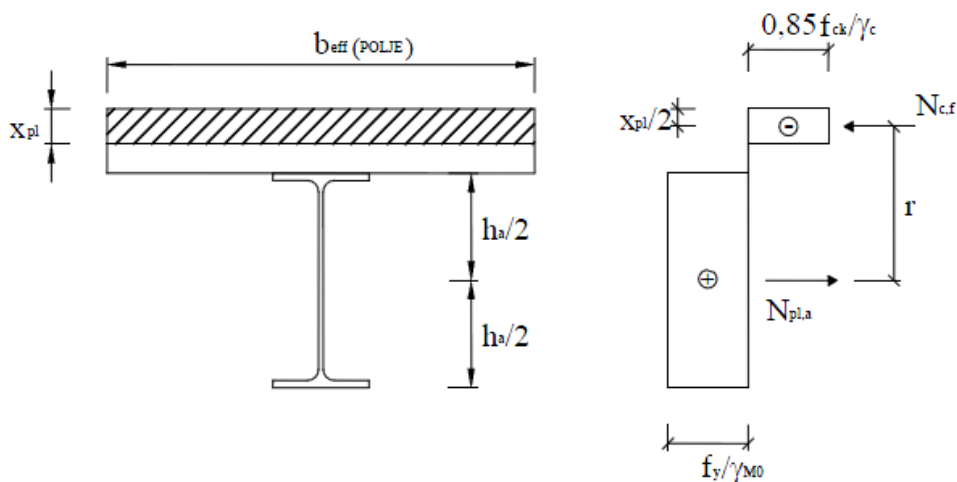
$$I_{sov} = I_a + A_a \cdot a_a^2 + [(I_c + A_c \cdot a_c^2) / n_{\infty}]$$

$$I_{sov} = 16270 + 72,7 \cdot 15,4^2 + [(18855,8 + 1870 \cdot 8,1^2) / 13,54]$$

$$= 16270 + 17241,5 + 10454 = 43965,5 \text{ cm}^4$$

9.2.3 Dimenzioniranje v končnem stanju - nosilec (plastična analiza)

V končnem stanju se beton strdi in stropna konstrukcija začne delovati sovprežno. To pomeni, da obremenitev prevzema tako plošča, kot nosilec.



Slika 9: Dimenzioniranje v končnem stanju (plastična analiza)

Jeklo: S235

Beton: C25/30

$L = 800 \text{ cm}$

$A(\text{IPE360}) = 72,7 \text{ cm}^2$

$h_a = 36 \text{ cm}$

$h_c' = 14 \text{ cm}$

$L_e = 0,85 \cdot L = 680 \text{ cm}$

$b_e = L_e / 8 = 85 \text{ cm}$

$b_{eff} = 2 \cdot b_e = 170 \text{ cm} \leq 350 \text{ cm}$

$N_{pl,a} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 72,7 \cdot 23,5 / 1,0 = 1708,5 \text{ kN}$

$N_{c,f} = x_{pl} \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 240,8 \text{ kN/cm} \cdot x_{pl}$

$N_{pl,a} = N_{c,f}$

$x_{pl} = 1708,5 / 240,8 = 7,1 \text{ cm} \leq 8 \text{ cm}$... nevtralna os je v betonu

$r = h_a / 2 + h_c' - x_{pl} / 2 = 36 / 2 + 14 - 7,1 / 2 = 28,5 \text{ cm} = 0,285 \text{ m}$

$M_{pl} = N_{pl,a} \cdot r = 1708,5 \cdot 0,2845 = 486,1 \text{ kNm}$

$M_{ed} = q_{Ed} \cdot L^2 / 8 = 40,9 \cdot 8^2 / 8 = 327,2 \text{ kNm}$

$M_{ed} \leq M_{pl} \rightarrow 327,2 \text{ kNm} \leq 486,1 \text{ kNm}$

Izkoriščenost prereza je 67 %.

Kontrola pomikov (MSU):

$L = 800 \text{ cm}$

$q_{Ed} = 28,8 \text{ kN/m} = 0,288 \text{ kN/cm}$

$w = 5 \cdot q_{Ed}^{MSU} \cdot L^4 / (384 \cdot E_s \cdot I_{sov}) \leq w_{dop} = L / 250$

$w = 5 \cdot 0,288 \cdot 800^4 / (384 \cdot 21000 \cdot 43965,5) = 1,67 \text{ cm} = 16,7 \text{ mm}$

$w_{dop} = L / 250 = 800 / 250 = 3,2 \text{ cm} = 32 \text{ mm}$

$16,7 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$

Vertikalni strig:

Pri sovprežnih nosilcih ves strig prevzame jekleni element.

$$V_{Ed} = 163,6 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 29,8 \cdot 0,8 \cdot 23,5 / 1,0 = 560,2 \text{ kN}$$

Vzdolžna armatura:

Nosilci so projektirani kot prostoležeči, čeprav je plošča kontinuirana. V območju sodeljuče širine je potrebno zagotoviti vzdolžno armaturo, in sicer 0,2 % površine betona za nosilce, ki v fazi betoniranja niso podprti in 0,4 % površine betona za nosilce, ki so v fazi betoniranja podprti.

$$0,004 \cdot A_c = 0,004 \cdot 170 \cdot 8 = 5,44 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,dej} = 5,70 \text{ cm}^2 (\Phi 8 / 15 \text{ cm})$$

9.3 Mozniki

Predpostavimo polno sovprežnost. Profilirano pločevino ComFlor® 60 postavimo prečno na nosilec.

Izberemo moznike NELSON.

$$d = 19 \text{ mm}$$

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

$$f_u = 0,45 \text{ kN/mm}^2$$

Pogoji:

$$h \geq 60 \text{ mm} + 2 \cdot d = 60 + 2 \cdot 19 = 98 \text{ mm}$$

$$h_c' - h = 140 - 100 = 40 \text{ mm} \geq 20 \text{ mm}$$

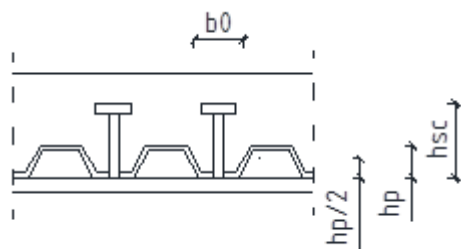
Strižna sila:

$$F_{cf} = \min \{ A_a \cdot f_y / \gamma_{M0}; A_c \cdot 0,85 f_{ck} / \gamma_c \} = \min \{ 1708,5 \text{ kN}; 2649,2 \text{ kN} \} = 1708,5 \text{ kN}$$

$$A_a \cdot f_y / \gamma_{M0} = 72,7 \cdot 23,5 / 1,0 = 1708,5 \text{ kN}$$

$$A_c \cdot 0,85 f_{ck} / \gamma_c = 170 \cdot 11 \cdot 0,85 \cdot 2,5 / 1,5 = 2649,2 \text{ kN}$$

Nosilnost enega moznika:



Slika 10: Dimenzioniranje moznika

$$P_{Rd}' = k_t \cdot P_{Rd}$$

$P_{Rd} = 74 \text{ kN}$ (Pr. 4-6; Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih)

$$k_t = 0,7 / n_r^{0,5} \cdot b_0 / h_p \cdot (h_{sc} / h_p - 1) \leq 1,0$$

$$k_t = 0,7 / 1 \cdot 155,6 / 60 \cdot (100 / 60 - 1) = 1,21 \geq 1,0 \rightarrow k_t = 1,0$$

$$P_{Rd}' = 1,0 \cdot 74 = 74 \text{ kN}$$

Število moznikov:

$$n = F_{cf} / P_{Rd}' = 1708,5 / 74 = 23,1$$

$n = 25$ moznikov

$$e_L = 800 / 25 = 32 \text{ cm}$$

$$5 \cdot d \text{ (minimalni razmak)} \leq e_L \leq 6 \cdot 800 \text{ mm (maksimalni razmak)} \rightarrow 9,5 \text{ cm} \leq 32 \text{ cm} \leq 54 \text{ cm}$$

9.4 Kontrola betona – vzdolžni strig

Za kontrolo uporabimo enačbe (4-11), (4-13), (4-14) in Sl. 4-19 iz Priročnika za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Strižna ravnina je ravnina a-a ($A_{sf} = A_t$).

$$\text{a) } A_{sf} \cdot f_{yd} / s_f \geq v_{Ed} \cdot h_f / \cot \theta_f$$

pri tem mora vzdolžna strižna napetost zadostiti pogoju

$$\text{b) } v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f$$

kjer je $v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250)$, z f_{ck} v N/mm^2

$$Vl = F_{cf} = 1708,5 \text{ kN}$$

$$l = l / 2 = 800 / 2 = 400 \text{ cm}$$

$$h_f = 11 \text{ cm}$$

$$T_{Ed} = Vl / l = 1708,5 / 400 = 4,28 \text{ kN/cm}$$

$$v_{Ed, \max} = (T_{Ed} / h_f) / 2 = (4,28 / 11) / 2 = 0,19 \text{ kN/cm}^2$$

b) izberem $\theta_f = 45^\circ$:

$$v = 0,6 \cdot (1 - 25 / 250) = 0,54$$

$$0,54 \cdot (2,5 / 1,5) \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ = 0,45 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,38 \text{ kN/cm}^2$$

a) $s_f = 100 \text{ cm}$:

$$A_{sf} \cdot (50 / 1,15) / 100 = 0,58 \cdot A_{sf} \geq 0,19 \cdot 11 / \cot 45^\circ = 2,41$$

$$A_{sf} \geq 4,19 \text{ cm}^2 / 100 \text{ cm dolžine} \rightarrow A_{sf,dej} = 5,03 \text{ cm}^2 (\Phi 8 / 10 \text{ cm})$$

9.5 Sovprežna plošča

Za izračun predpostavimo betonsko ploščo brez profilirane pločevine. Obravnavamo 1 m širine plošče.

Armatura : S500; $\sigma_s = 43,48 \text{ kN/cm}^2$

Beton : C25/30; $f_{cd} = 1,67 \text{ kN/cm}^2$

$$q_{Ed} = 11,7 \text{ kN/m}$$

$$l = 3,5 \text{ m}$$

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

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

$$M_{Ed} = q_{Ed} \cdot l^2 / 8 = 11,7 \cdot 3,5^2 / 8 = 17,9 \text{ kNm}$$

$$k_d = M_{Ed} / (f_{cd} \cdot b \cdot d^2) = 1790 / (1,67 \cdot 100 \cdot 12^2) = 0,074$$

Izberemo mejno deformacijsko ravnino $\varepsilon_s / -\varepsilon_1 = 10 / 3,5$:

$$k_d = 0,187$$

$$k_s = 1,121$$

$$k_x = 0,259$$

Višina nevtralne osi:

$$x = k_x \cdot d = 0,259 \cdot 12 = 3,1 \text{ cm} \leq 8 \text{ cm}$$

Armatura:

$$A_s = k_s \cdot M_{Ed} / (d \cdot \sigma_s) = 1,121 \cdot 1790 / (12 \cdot 43,48) = 3,85 \text{ cm}^2$$

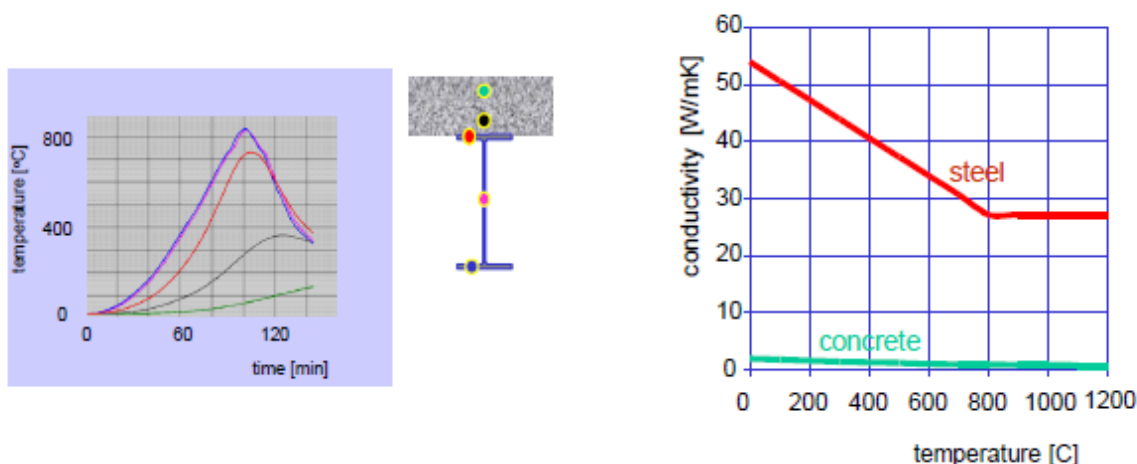
$$A_{s,dej} = 3,93 \text{ cm}^2 (\Phi 5 / 5 \text{ cm})$$

10.0 POŽARNA ANALIZA

Požarno odpornost preverimo v skladu z EN 1993-1-2 in z EN1994-1-2 za jeklene elemente in sovprežne elemente. Zahtevana požarna odpornost pisarniške stavbe je 30 minut (R30).

Toplotna prevodnost jekla je večja od betona, zato je razporeditev temperature v jeklenih elementih, ki so izpostavljeni požaru, precej bolj enakomerna kot v betonskem delu sovprežnega elementa.

Privzamemo poenostavitev, da je temperaturno polje v jeklenem prerezu konstantno.



Slika 11: Toplotni odziv in toplotna prevodnost materiala

10.1 Mehanski vplivi med požarom

Obtežbe se kombinirajo za nezgodno projektno stanje v skladu s SIST EN 1991-1-2.

$$E_{d,A} = \sum G_k + A_d + \sum \psi_{1,i} \cdot Q_{k,i}$$

V skladu s standardom SIST EN 1993-1-2 se projektna obremenitev E_d v MSN reducira s faktorjem $\eta_{f,i}$.

$$\eta_{f,i} = (G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}) / (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}) = 0,48$$

$$E_{d,fi} = \eta_{f,i} \cdot E_d$$

10.2 Požarna odpornost jeklene prečke in stebra

V odvisnosti od faktorja prereza (A_m/V za nezaščiten prerez in A_p/V za nezaščiten prerez) se določi kritična temperatura jeklenega nosilca $\theta_{a,max}$. S pomočjo kritične temperature določimo redukcijska faktorja $k_{y,\theta}$ in $k_{E,\theta}$. Določijo se brezdimenzijske vitkosti $\lambda_{y,\theta}$, $\lambda_{z,\theta}$, $\lambda_{LT,\theta}$ za požarne pogoje. Ob

upoštevanju teh vitkosti se nadaljuje kontrola nosilnosti in stabilnosti elementov. Če nosilnosti ni zadoščeno, je potrebna ustrezna požarna zaščita.

10.2.1 Prečka (IPE500)

Kontrola kompaktnosti:

Kompaktnost preverimo enako kot v skladu s SIST EN 1993-1-1, vendar ob upoštevanju zmanjšane parametra ε (upošteva vplive povišane temperature).

$$\varepsilon = 0,85 \cdot (235 / f_y)^{0,5}$$

Stojina:

-upogib:

$$d/t_w = 41,8 \leq 61,2 \quad 1. \text{ R.K.}$$

-upogib in tlak:

$$x = 1,9 \text{ cm}$$

$$c = 42,6 \text{ cm}$$

$$y = 20,4 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,52$$

$$d/t_w = 41,8 \leq 58,2 \quad 1 \text{ R.K.}$$

Pasnica:

-tlak:

$$c/t_f = 5,9 \leq 7,7 \quad 1. \text{ R.K.}$$

-strig:

$$d/t_w = 41,7 \leq 51$$

Kontrola nosilnosti:

Kontrole nosilnosti so izvršene za 1R.K. in 2R.K. Dimenzije IPE500 profila so podane v enem izmed prejšnjih poglavij.

$$Am/V = O / A = 1,6 / 0,0116 = 138 \text{ l/m}$$

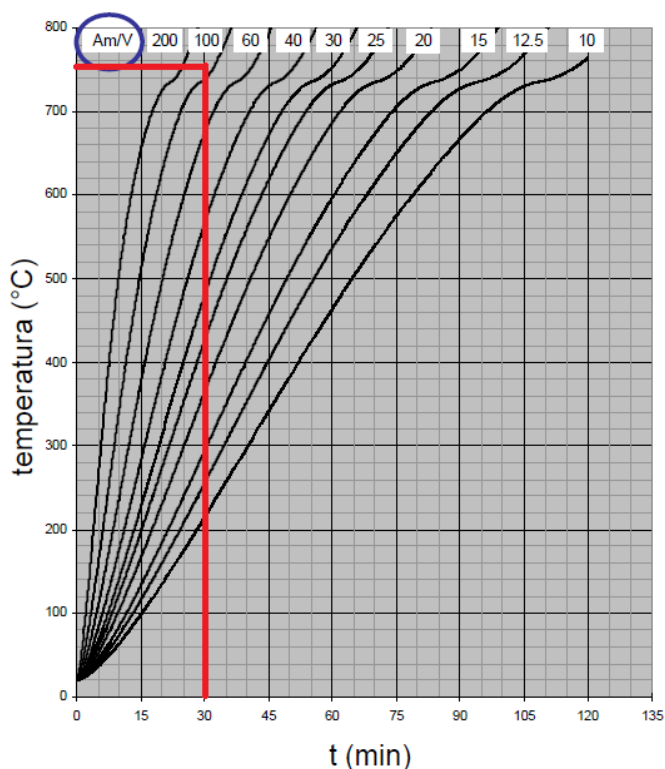
$$O = (b + 4 \cdot t_f + 2 \cdot (b - t_w)) + 2 \cdot (h - 2 \cdot t_f) = 200 + 4 \cdot 16 + 2 \cdot (200 - 10,2) + 2 \cdot (500 - 2 \cdot 16) = \\ = \dots = 1,6 \text{ m}$$

$$A = 0,0116 \text{ m}^2$$

Am/V ... faktor prereza

Z uporabo evro monogramov pri izpostavljenosti požaru $t = 30$ minut znaša maksimalna temperatura jeklenega dela $\theta_{a,max,30} = 750^\circ\text{C}$.

S pomočjo Preglednice 3.1 (SIST EN 1993-1-2) določimo redukcijska faktorja $k_{y,\theta}$ in $k_{E,\theta}$.



Slika 12: Evro monogram za neizoliran element

$$k_{y,\theta} = 0,17$$

$$k_{E,\theta} = 0,11$$

-upogibna nosilnost:

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot (\gamma_{M0} / \gamma_{Mfi}) \cdot M_{pl,y,Rd}$$

$M_{fi,\theta,Rd}$... projektna upogibna nosilnost s konstantnim razporedom temperature

$$M_{fi,\theta,Rd} = 0,17 \cdot 515,6 = 87,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 0,48 \cdot 313 = 150,2 \text{ kNm}$$

$M_{fi,\theta,Rd} < M_{Ed,fi}$... upogibni nosilnosti ni zadoščeno

Varnostna faktorja γ_{M0} in γ_{Mfi} imata pri jeklu vrednost 1,0.

-bočna zvrnitev:

$$M_{b,fi,Rd} = \chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y \cdot (k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi})$$

$$M_{b,fi,Rd} = 0,33 \cdot 2194 \cdot 23,5 \cdot 0,17 = 2892,5 \text{ kNcm} = 28,9 \text{ kNm}$$

Element ni bočno stabilen.

Uporabimo enačbe (4.12) – (4.15) določimo faktorje α , $\lambda_{LT,\theta}$, $\Phi_{LT,\Phi}$, $\chi_{LT,fi}$.

$$\alpha = 0,65, \lambda_{LT,\theta} = 0,83, \Phi_{LT,\Phi} = 1,61, \chi_{LT,fi} = 0,33$$

-strižna nosilnost:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} \cdot V_{Rd} \cdot (\gamma_{M0} / \gamma_{M,fi}) = 0,17 \cdot 589,5 = 100 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot V_{Ed} = 0,48 \cdot 340,9 = 163,6 \text{ kN}$$

Element strižno ni nosilen.

10.2.2 Steber (HEA450)

$$M_{Ed} = 81,4 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1832,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 36,7 \text{ kN}$$

$$N_{fi,Ed} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0,48 \cdot 1832,8 = 879,7 \text{ kN}$$

$$M_{y,fi,Ed} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 0,48 \cdot 81,4 = 39,1 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,fi} = \eta_{fi} \cdot V_{Ed} = 0,48 \cdot 36,7 = 17,6 \text{ kN}$$

-kontrola upogibnega uklona preverimo z enačbo a), bočno zvrnitev pa preveri z enačbo b).

$$a) \quad N_{fi,Ed} / (\chi_{min,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}) + k_y \cdot M_{y,fi,Ed} / (W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}) \leq 1,0$$

$$b) \quad N_{fi,Ed} / (\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}) + k_{LT} \cdot M_{y,fi,Ed} / (\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}) \leq 1,0$$

$$a) \quad 2,2 \leq 1,0 \quad \times$$

$$b) \quad 2,5 \leq 1,0 \quad \times$$

$\chi_{min,fi}$, $\chi_{z,fi}$, $\chi_{LT,fi}$... določim s standardom SIST EN 1993-1-2, Odstavek 4.2.3.2 in Odstavek 4.2.3.3

$$\alpha = 0,65 \cdot (235 / 235)^{0,5} = 0,65 \qquad \chi_{y,fi} = 0,82$$

$$\lambda_{y,\theta} = 0,30 \qquad \chi_{z,fi} = 0,57$$

$$\lambda_{z,\theta} = 0,77 \qquad \chi_{LT,fi} = 0,70$$

$$k_{LT} = 1 - \mu_{LT} \cdot N_{fi,Ed} / (\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi})$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \lambda_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9 \rightarrow 0,15 \cdot 0,77 \cdot 2,33 - 0,15 = 0,11 < 0,9$$

$$\beta_{M,LT} = 1,8 - 0,7 \cdot \psi_{LT} = 1,8 - 0,7 \cdot (-0,62) = 2,33$$

$$k_{LT} = 1 - 0,11 \cdot 879,7 / (0,57 \cdot 178 \cdot 0,17 \cdot 23,5) = 0,76$$

$$k_y = 1 - \mu_y \cdot N_{fi,Ed} / (\chi_{y,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}) \leq 3,0$$

$$\mu_y = (1,2 \cdot \beta_{M,LT} - 3) \cdot \lambda_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,LT} - 0,29 \leq 0,8$$

$$(1,2 \cdot 2,33 - 3) \cdot 0,30 + 0,44 \cdot 2,33 - 0,29 = 0,67$$

$$k_y = 1 - 0,67 \cdot 879,7 / (0,82 \cdot 178 \cdot 0,17 \cdot 23,5) = -0,01$$

10.2.3 Zaščita

Tako prečka kot steber ne nudita zadostne nosilnosti v primeru požara (R30). Elemente je potrebno ustrezno zaščititi. Ločimo zaščito v obliki obrizgov, plošč in ekspanzijskih premazov. Na enak način določimo nosilnost prečke in stebra, različen je faktor zaščitenega prereza $(\lambda_p/d_p) \cdot (A_p/V)$. λ_p predstavlja toplotno prevodnost, d_p pa debelino požarne zaščite. S pomočjo evro monogramov določimo temperature v zaščitenih in nezaščitenih prerezih v odvisnosti od časa izpostavljenosti požaru. Za požarno zaščito izberemo mavčne plošče. Toplotna prevodnost mavca je 0,2 W/mK.

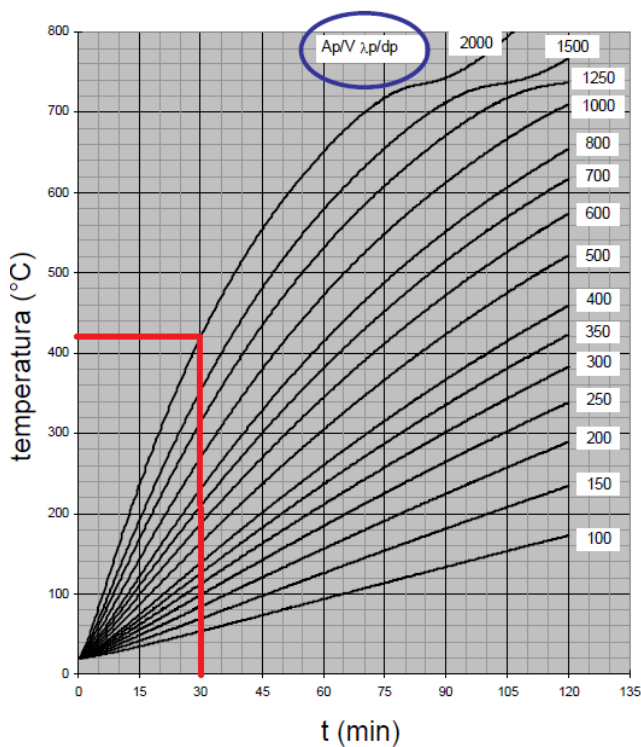
Prečka:

-upogibna nosilnost:

$$M_{Ed,fi} / M_{fi,\theta,Rd} = M_{Ed,fi} / = k_{y,\theta} \cdot (\gamma_{M0} / \gamma_{Mfi}) \cdot M_{pl,y,Rd} \leq 1,0 \rightarrow k_{y,\theta} \geq M_{Ed,fi} / (\gamma_{M0} / \gamma_{Mfi}) \cdot M_{pl,y,Rd}$$

$$k_{y,\theta} \geq 0,291$$

S pomočjo linearne interpolacije in Preglednice 3.1 v standardu SIST EN 1993-1-2 določimo temperaturo jekla $\theta_a = 660^\circ\text{C}$. V evro monogramu odčitam za požarno odpornost R30 temperaturo 420°C . Potrebno je določiti še potrebno debelino mavčne plošče.



Slika 13: Evro monogram za izoliran element

$$(A_p/V) = (2 \cdot h + b) / A = 122 \text{ l/m}$$

$$(\lambda_p/d_p) \cdot (A_p/V) \leq 2000 \rightarrow d_p \geq (\lambda_p \cdot A_p/V) / 2000 = (0,2 \cdot 122) / 2000 = 0,012 \text{ m} = 1,2 \text{ cm}$$

Izberemo plošče debeline $d_p = 0,015 \text{ m} = 1,5 \text{ cm}$ in s pomočjo evro monograma določimo temperaturo jekla, ki znaša 380°C . Določimo faktorja $k_{y,\theta} = 1,0$ in $k_{E,\theta} = 0,72$.

$$M_{Ed,\bar{f}i} = \eta_{\bar{f}i} \cdot M_{Ed} = 0,48 \cdot 313 = 150,2 \text{ kNm}$$

$$M_{\bar{f}i,\theta,Rd} = 1,0 \cdot 515,6 = 515,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,\bar{f}i} / M_{\bar{f}i,\theta,Rd} = 0,291$$

-strižna nosilnost:

$$V_{\bar{f}i,t,Rd} = k_{y,\theta} \cdot V_{Rd} \cdot (\gamma_{M0} / \gamma_{M,\bar{f}i}) = 1,0 \cdot 589,5 = 589,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\bar{f}i} = \eta_{\bar{f}i} \cdot V_{Ed} = 0,48 \cdot 340,9 = 163,6 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\bar{f}i} \leq V_{\bar{f}i,t,Rd}$$

-bočna zvrnitev:

$$M_{b,\bar{f}i,Rd} = \chi_{LT,\bar{f}i} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y \cdot (k_{y,\theta} / \gamma_{M,\bar{f}i})$$

$$M_{b,\bar{f}i,Rd} = 0,56 \cdot 2194 \cdot 23,5 \cdot 1,0 = 28870 \text{ kNcm} = 288,7 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,\bar{f}i} / M_{\bar{f}i,\theta,Rd} = 0,52 \leq 1,0$$

Uporabimo enačbe (4.12) – (4.15) določimo faktorje α , $\lambda_{LT,\theta}$, $\Phi_{LT,\Phi}$, $\chi_{LT,\bar{fi}}$.

$$\alpha = 0,65, \lambda_{LT,\theta} = 0,79, \Phi_{LT,\Phi} = 1,07, \chi_{LT,\bar{fi}} = 0,56$$

Steber:

$$(A_p / V) = 83 \text{ l/m}$$

$$(\lambda_p / d_p) \cdot (A_p / V) \leq 2000 \rightarrow d_p \geq (\lambda_p \cdot A_p / V) / 2000 = (0,2 \cdot 83) / 2000 = 0,008 \text{ m} = 0,8 \text{ cm}$$

Izberemo plošče debeline $d_p = 0,01 \text{ m} = 1,0 \text{ cm}$ in s pomočjo evro monograma določimo temperaturo jekla, ki znaša 370°C . Določimo faktorja $k_{y,\theta} = 1,0$ in $k_{E,\theta} = 0,73$. Za uklonske dolžine smo predpostavili kar sistemske dolžine, čeprav bi lahko upoštevali manjše uklonske dolžine.

-kontrolno upogibnega uklona preverimo z enačbo c), bočno zvrnitev pa preveri z enačbo d).

$$c) \quad N_{\bar{fi},Ed} / (\chi_{\min,\bar{fi}} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,\bar{fi}}) + k_y \cdot M_{y,\bar{fi},Ed} / (W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,\bar{fi}}) \leq 1,0$$

$$d) \quad N_{\bar{fi},Ed} / (\chi_{z,\bar{fi}} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,\bar{fi}}) + k_{LT} \cdot M_{y,\bar{fi},Ed} / (\chi_{LT,\bar{fi}} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,\bar{fi}}) \leq 1,0$$

$$c) \quad 0,40 \leq 1,0$$

$$d) \quad 0,43 \leq 1,0$$

$\chi_{\min,\bar{fi}}$, $\chi_{z,\bar{fi}}$, $\chi_{LT,\bar{fi}}$... določimo s standardom SIST EN 1993-1-2, Odstavek 4.2.3.2 in Odstavek 4.2.3.3

$$\alpha = 0,65 \cdot (235 / 235)^{0,5} = 0,65$$

$$\chi_{y,\bar{fi}} = 0,84$$

$$\lambda_{y,\theta} = 0,28$$

$$\chi_{z,\bar{fi}} = 0,59$$

$$\lambda_{z,\theta} = 0,73$$

$$\chi_{LT,\bar{fi}} = 0,71$$

$$k_{LT} = 1 - \mu_{LT} \cdot N_{\bar{fi},Ed} / (\chi_{z,\bar{fi}} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,\bar{fi}})$$

$$k_{LT} = 1 - 0,11 \cdot 879,7 / (0,59 \cdot 178 \cdot 1,0 \cdot 23,5) = 0,96$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \lambda_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9 \rightarrow 0,15 \cdot 0,73 \cdot 2,33 - 0,15 = 0,11 < 0,9$$

$$\beta_{M,LT} = 1,8 - 0,7 \cdot \psi_{LT} = 1,8 - 0,7 \cdot (-0,62) = 2,33$$

$$k_y = 1 - \mu_y \cdot N_{\bar{fi},Ed} / (\chi_{y,\bar{fi}} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,\bar{fi}}) \leq 3,0$$

$$k_y = 1 - 0,64 \cdot 879,7 / (0,84 \cdot 178 \cdot 1,0 \cdot 23,5) = 0,84$$

$$\mu_y = (1,2 \cdot \beta_{M,LT} - 3) \cdot \lambda_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,LT} - 0,29 \leq 0,8$$

$$(1,2 \cdot 2,33 - 3) \cdot 0,28 + 0,44 \cdot 2,33 - 0,29 = 0,64$$

10.3 Sovprežna plošča

Analiza sovprežne plošče je narejena za prostoležečo ploščo razpona 3,5 m (razdalja med sovprežnimi nosilci).

Betonska plošča:

Beton: C25/30

$$f_{ck} = 2,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$h = 14,0 \text{ cm}$$

$$h_c = 8,0 \text{ cm}$$

$$h_p = 6,0 \text{ cm}$$

$$l_1 = 16,9 \text{ cm}$$

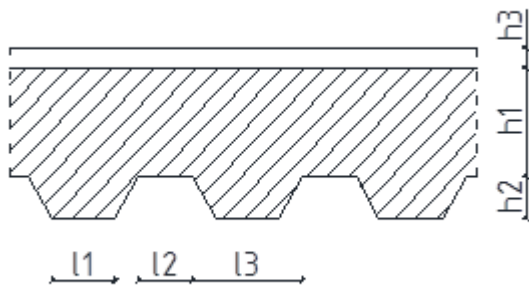
$$l_2 = 12,0 \text{ cm}$$

$$l_3 = 13,1 \text{ cm}$$

$$h_1 = 8,0 \text{ cm}$$

$$h_2 = 6,0 \text{ cm}$$

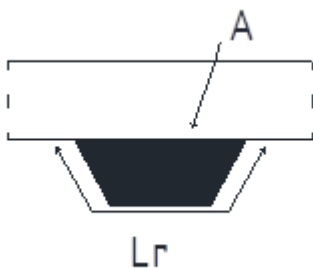
$$h_3 = 5,0 \text{ cm}$$



Slika 14: Sovprežna plošča

$$M_{f_i,d} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 0,48 \cdot 17,9 \text{ kNm} = 8,6 \text{ kNm}$$

A/Lr ... faktor geometrije rebra



Slika 15: Geometrija rebra

$$A = (l_1 + l_2) / 2 \cdot h_2 = (16,9 + 12,0) / 2 \cdot 6,0 = 86,7 \text{ cm}$$

$$Lr = l_2 + 2 \cdot [h_2^2 + (l_1 - l_2) / 2]^{0,5} = 25,0 \text{ cm}$$

$$A/Lr = 86,7 / 25 = 3,47 \text{ cm} = 34,7 \text{ mm}$$

Kriterij toplotne izolacije mora zagotoviti omejitvi temperature v elementu. Prirastek temperature na strani elementa, ki ni neposredno izpostavljen požaru, ne sme biti večji od povprečne temperature 140°C . Poleg tega temperaturni prirastek v nobeni točki ne sme biti večji od 180°C .

$$t_i = a_0 + a_1 \cdot h_1 + a_3 \cdot A/Lr + a_2 \cdot \Phi + a_4 \cdot l/l_3 + a_5 \cdot A/Lr \cdot l/l_3$$

Faktorje $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ določimo iz standarda SIST EN 1994-1-2, Preglednica D.1, Dodatek D.

$$a_0 = -28,2$$

$$a_1 = 1,55$$

$$a_2 = -12,6$$

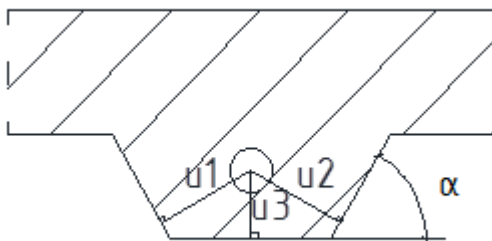
$$a_3 = 0,33$$

$$a_4 = -735$$

$$a_5 = 48$$

$$t_i = -28,2 + 1,55 \cdot 80 - 12,6 \cdot 0,78 + 0,33 \cdot 34,7 - 735 / 131 + 48 \cdot 34,7 / 131 = 161 \text{ min} > 30 \text{ min}$$

Armatura:



Slika 16: Položaj armature v ploči

-temperaturo v armaturni palici določimo z izrazom:

$$\theta_s = c_0 + c_1 \cdot u_3/h_2 + c_2 \cdot z + c_3 \cdot A/Lr + c_4 \cdot a + c_5 \cdot l/l_3$$

V Preglednici D.3 standarda SIST EN 1994-1-2, imamo za požarno odpornost R30 samo koeficiente za lahki beton. Dobljena temperatura je višja kot v našem primeru, saj imamo normalni beton, ki deluje bolj ugodno na požarno odpornost.

$$c_0 = 809$$

$$c_1 = -135$$

$$c_2 = -243$$

$$c_3 = -0,70$$

$$c_4 = 0,48$$

$$c_5 = -315$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 60 / 2,5 \rightarrow \alpha = 67,8^\circ$$

$$u_1 = u_2 = \sin 67,8^\circ \cdot 63 = 62,9 \text{ mm}$$

$$u_3 = 20 \text{ mm}$$

$$1/z = 2 \cdot 1/\sqrt{u_1} + 1/\sqrt{u_3} = 0,252 + 0,224 = 0,476 \rightarrow z = 2,1 \text{ mm}^{0,5}$$

$$\theta_s = 809 + (-135 \cdot 20/60) + (-243 \cdot 2,1) + (-0,70 \cdot 34,7) + (0,48 \cdot 67,8) + (-315/131)$$

$$\theta_s = 259,5^\circ \text{C}$$

Redukcijski faktor $k_{y,\theta}$ pri $259,5^\circ \text{C}$ je enak 1,0. Se pravi, da nosilnost armature ne pade. Obtežna kombinacija na katero se projektira požarna odpornost je manjša od stalne obtežne kombinacije, zato je pogoju nosilnosti zadoščeno.

10.4 Sovprežni sekundarni nosilec

Predpostavimo konstanten potek temperaturnega polja v jeklenem prerezu, temperatura betonskega prereza pa se spreminja po debelini betonske plošče. Določimo ravnotežje napetosti v plastičnem stanju in izračunamo upogibno nosilnost prereza pri povišani temperaturi.

$$T^+ = A \cdot f_{y,\theta} = 72,7 \cdot 3,53 = 256,6 \text{ kN}$$

$$Am/V = 0,167 \text{ l/m} \rightarrow \text{evro monogram} \rightarrow 770^\circ \text{C} \rightarrow k_{y,\theta} = 0,15$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta} = 3,53 \text{ kN/cm}^2$$

$$h_u = T^+ / (b_{\text{eff}} \cdot f_c / \gamma_{M,f_i,c}) = 256,6 / (170 \cdot 2,5) = 0,6 \text{ cm} = 6 \text{ mm}$$

$$r^+ = h/2 + h_c - h_u/2 = 360/2 + 140 - 6/2 = 317 \text{ mm} = 31,7 \text{ cm}$$

h...višina IPE nosilca

hc... višina sovprežne betonske plošče

$$M_{f_i,Rd^+} = T^+ \cdot r^+ = 256,6 \cdot 31,7 = 8134 \text{ kNcm} = 81,3 \text{ kNm}$$

$$M_{f_i,d} = \eta_{f_i} \cdot M_{Ed} = 176,7 \text{ kNm}$$

$M_{f_i,d} \geq M_{f_i,Rd^+}$... nosilnosti ni zadoščeno

10.4.2 Požarna zaščita

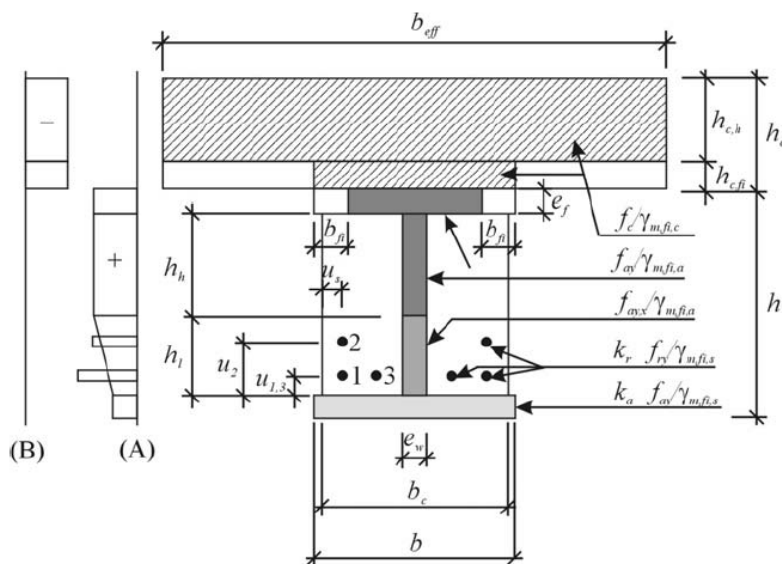
Sovprežni nosilec obravnavamo kot prostoležeči nosilec razpona 8 m. Jeklen profil je delno obetoniran in povezan z betonsko ploščo z profilirano pločevino. Zahtevana požarna odpornost je R30.

Računamo z enostavnim računskim modelom, v skladu s standardom SIST EN 1994-1-2, Odstavek 4.3.4.3, in Dodatkom F.

V računskem modelu prečni prerez razdelimo na posamezne dele, katerim reduciramo mejo plastičnosti ali dimenzije prečnega prereza.

Pri projektiranju spoja prečka-steber spoj izvedemo z manjšo dilatacijo med spodnjo pasnico prečke in stebrom. Pri normalni temperaturi se obravnava kot členkast spoj. Pri požarni obtežni kombinaciji, se zaradi povišane temperature nosilnost zmanjša, poves pa poveča. To povzroči rotacijo ob podpori. Zaradi dilatacije se spodnja pasnica nasloni na steber, kar skupaj z armaturo v plošči poveča upogibno nosilnost prečke.

Požarna zaščita z obetoniranim nosilcem mogoče ni najbolj praktična, saj bi lahko nosilec obložili z movčnimi ploščami, kar bi bilo enostavneje. Račun, v katerem kot požarno zaščito vzamemo betonsko oblogo, sem naredil, ker me je zanimal izračun po računskem modelu opisanem v dodatku F v standardu SIST EN 1994-1-2.



Slika 17: Reducirani prečni prerez za izračun projektnega plastičnega upogibnega momenta in razporeditev napetosti v jeklu (A) in betonu (B)

Jeklo:

profil: IPE360

kvaliteta: S235

$h = 360 \text{ mm}$

$b = 170 \text{ mm}$

$t_w = 8 \text{ mm}$

$t_f = 12,7 \text{ mm}$

$A = 72,7 \text{ cm}^2 = 7270 \text{ mm}^2$

Pločevina:

$h_a = 60 \text{ mm}$

Betonska plošča:

kategorija: C25/30

$f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2 = 2,5 \text{ kN/cm}^2$

$b_{eff} = 1700 \text{ mm}$

$h_c = 140 \text{ mm}$

$b_c = 80 \text{ mm}$ (beton med pasnicama)

Računski upogibni moment v primeru požara:

$$M_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 176,7 \text{ kNm}$$

Plošča mora imeti minimalno debelino h_c . (SIST EN 1994-1-2, Odstavek 4.3.4.3, Preglednica 4.8)

$$h_{c,min} = 60 \text{ mm} < h_c = 140 \text{ mm}$$

Zaradi segrevanja betonske plošče reduciramo prečni prerez plošče. Zmanjšanje debeline je podano v SIST EN 1994-1-2, Dodatek F, Preglednica F.1 in Slika F.2. Pri kontroli nosilnosti sovprežnega nosilca upoštevam samo zgornjih 70 mm plošče.

$$h_{c,fi} = 10 \text{ mm}$$

$$h_{c,h} = h_c - h_p - h_{c,fi} = 140 - 60 - 10 = 70 \text{ mm}$$

Zgornja pasnica:

Segrevanje zgornje pasnice upoštevamo z zmanjšanjem prečnega prereza (SIST EN 1994-1-2, Dodatek F, Preglednica F.2)

$$b_{fi} = t_f / 2 + (b - b_c) / 2 = 5,1 \text{ cm}$$

$$b_{fi,u} = b - 2 \cdot b_{fi} = 6,73 \text{ cm}$$

Stojina:

Stojino prečke razdelimo na dva dela. Pri zgornjem upoštevamo polno mejo plastičnosti, v spodnjem pa je potek meje plastičnosti linearen od meje plastičnosti zgornjega dela do zmanjšane meje plastičnosti spodnje pasnice.

$$h_l = 3600 / b_c = 45 \text{ mm} = 4,5 \text{ cm} \text{ (SIST EN 1994-1-2, Dodatek F, Preglednica F.3)}$$

h_l ... višina spodnjega dela

Spodnja pasnica:

Spodnjo pasnico reduciram z zmanjšanjem meje plastičnosti s faktorjem k_a . (SIST EN 1994-1-2, Dodatek D, Preglednica F.4)

$$a_0 = (0,018 \cdot t_f + 0,7) = 0,93$$

$$k_a = [(1,12 - (84 / b_c) + (h / (22 \cdot b_c)))] \cdot a_0 = 0,25$$

$$k_{a,\min} = 0,5 < 0,25 < k_{a,\max} = 0,8 \times \rightarrow k_a = 0,5$$

Za določitev plastične nosilnosti je potrebno izračunati osne nosilnosti vseh delov prereza:

Betonski prerez:

$$C_c = b_{eff} \cdot h_{c,h} \cdot \alpha_c \cdot f_c = 2528,8 \text{ kN}$$

Zgornja pasnica:

$$T_{f,u} = b_{fi,u} \cdot t_f \cdot f_y = 200,9 \text{ kN}$$

Zgornji del stojine:

$$T_{w,u} = t_w \cdot h_h \cdot f_y = 544,4 \text{ kN}$$

$$h_h = h - 2 \cdot t_f - h_l = 29,0 \text{ cm}$$

Spodnji del stojine:

$$T_{w,l} = t_w \cdot h_l \cdot (1 + k_a) / 2 \cdot f_y = 63,5 \text{ kN}$$

$$z_{w,l} = h_l \cdot [(2 \cdot k_a + 1) / (3 \cdot k_a + 3)] = 2,0 \text{ cm}$$

Spodnja pasnica:

$$T_{f,l} = b \cdot t_f \cdot k_a \cdot f_y = 253,7 \text{ kN}$$

Določitev plastične nevtralne osi:

$$z_{pl} = \sum T_i / (\alpha_c \cdot f_c \cdot b_{eff}) = 9,9 \text{ cm}$$

Določitev ročic sil:

$$z_c = z_{pl} / 2 = 5,0 \text{ cm}$$

$$z_{f,u} = h_c + t_f / 2 - z_c = 9,7 \text{ cm}$$

$$z_{w,u} = h_c + t_f + h_h / 2 - z_c = 24,8 \text{ cm}$$

$$z_{w,l} = h_c + t_f + h_h + z_{w,l'} - z_c = 41,3 \text{ cm}$$

$$z_{f,l} = h_c + h - t_f / 2 - z_c = 44,4 \text{ cm}$$

Upogibni plastični moment:

$$M_{f_i,Rd} = T_{f,u} \cdot z_{f,u} + T_{w,u} \cdot z_{w,u} + T_{w,l} \cdot z_{w,l} + T_{f,l} \cdot z_{f,l}$$

$$M_{f_i,Rd} = 200,9 \cdot 9,7 + 544,4 \cdot 24,8 + 63,5 \cdot 41,3 + 253,7 \cdot 44,4 = 29312 \text{ kNcm} = 293,12 \text{ kNm}$$

Kontrola nosilnosti:

$$M_{f_i,d} / M_{f_i,Rd} = 0,60 < 1,0$$

11.0 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem se seznanil s projektiranjem jeklenih konstrukcij. Naučil sem se uporabljati standarde in uporabo programa SCIA Engineer. Prav tako sem se prvič srečal s konkretnim primerom sovprežnih elementov in dimenzioniranja potresne obtežbe. Spoznal sem, da pri dimenzioniranju obstaja več variant. Elemente je potrebno optimizirati, zaradi cene. Cena je odvisna od teže, kvalitete in načina vgradnje.

Prednost sovprežni nosilcev sem videl v tem, da bi bile prečke brez sovprežnega delovanja večje in posledično bi predstavljale večji strošek, manj svetle višine in večjo končno težo. Pri določitvi dimenzije stebrov je bil glavni kriterij medetažni pomik konstrukcije zaradi omejitve poškodb pri potresu.

Jeklene konstrukcije imajo prednost pred betonskimi. Gradnja je hitra in montažna. Večji del dela se opravi v tovarni in ne na gradbišču. Korozijska in požarna varnost sta lahko kvalitetno rešeni.

Poznamo nekaj vrst požarne zaščite, ki nudi konstrukciji ustrezno požarno odpornost.

Pri požarnem projektiranju jeklenih in sovpežnih konstrukcij moramo posebno pozornost nameniti spojem in povezavi betona in jekla. Konstrukcija ne sme izgubiti globalno stabilnost zaradi porušitve spoja, saj pri požarni analizi predpostavimo celovitost konstrukcije.

Med pisanjem diplomske naloge sem pridobil veliko uporabnega znanja s področja projektiranja konstrukcij.

VIRI

Beg, D. 2010. Projektiranje jeklenih konstrukcij v skladu z Evrokodom 3. Študijsko gradivo. Ljubljana: 113 str.

Beg, D. 2011. Požarna odpornost jeklenih sovpežnih konstrukcij. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 67 str.

Beg, D., Pogačnik, A. 2011. Priročnik za dimenzioniranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 1300 str.

Beg, D., Čermelj, B. 2011. Jeklene konstrukcije I. Spoji. http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/JKI_6_Spoji_2011-10-05.pdf (Pridobljeno 15.6.2013).

Đuranović, M. 2011. Projekt nosilne jeklene konstrukcije poslovne stavbe. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer (samozaložba M. Đuranović): 424 str.

KMK. 2013. http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/difisek/difisek_gradivo.pdf (Pridobljeno 20. 9. 2013).

SIST EN 1990, Evrokod: Osnove projektiranja konstrukcij.

SIST EN 1991-1-1, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

SIST EN 1991-1-1, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega.

SIST EN 1991-1-1, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vpliv vetra.

SIST EN 1992-1-1, Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1993-1-1, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1993-1-2, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij 1-2. del: Splošna pravila in pravila – Požarnoodporno projektiranje.

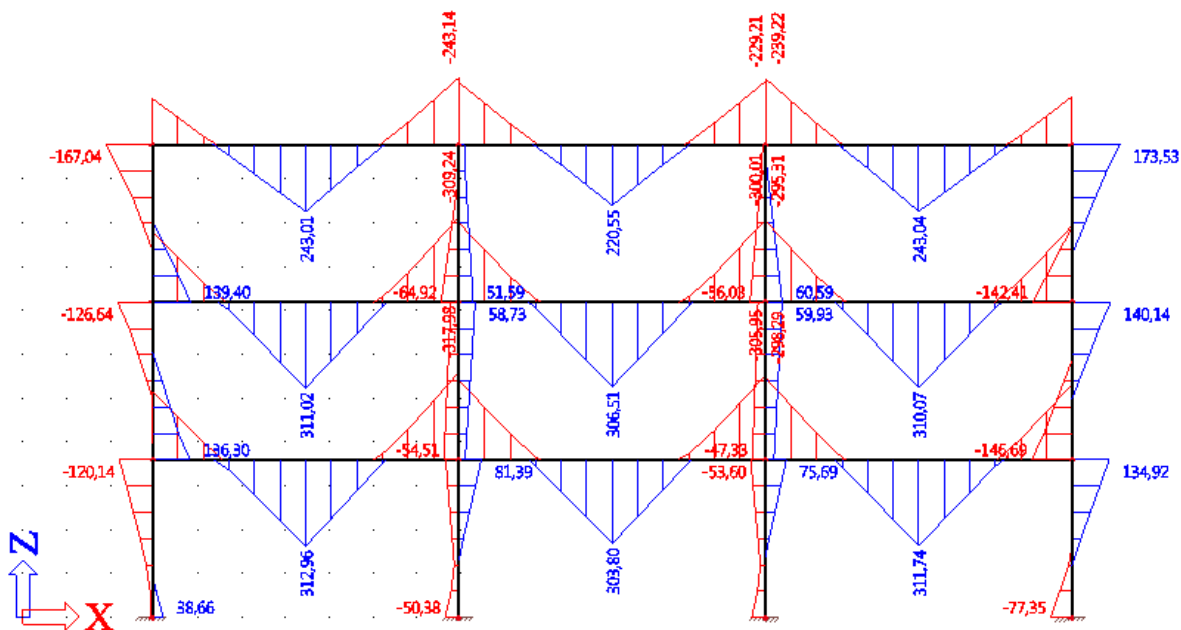
SIST EN 1994-1-1, Evrokod 4: Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona- 1.1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1994-1-2, Evrokod 4: Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona- 1.2. del: Splošna pravila – Požarnoodporno projektiranje.

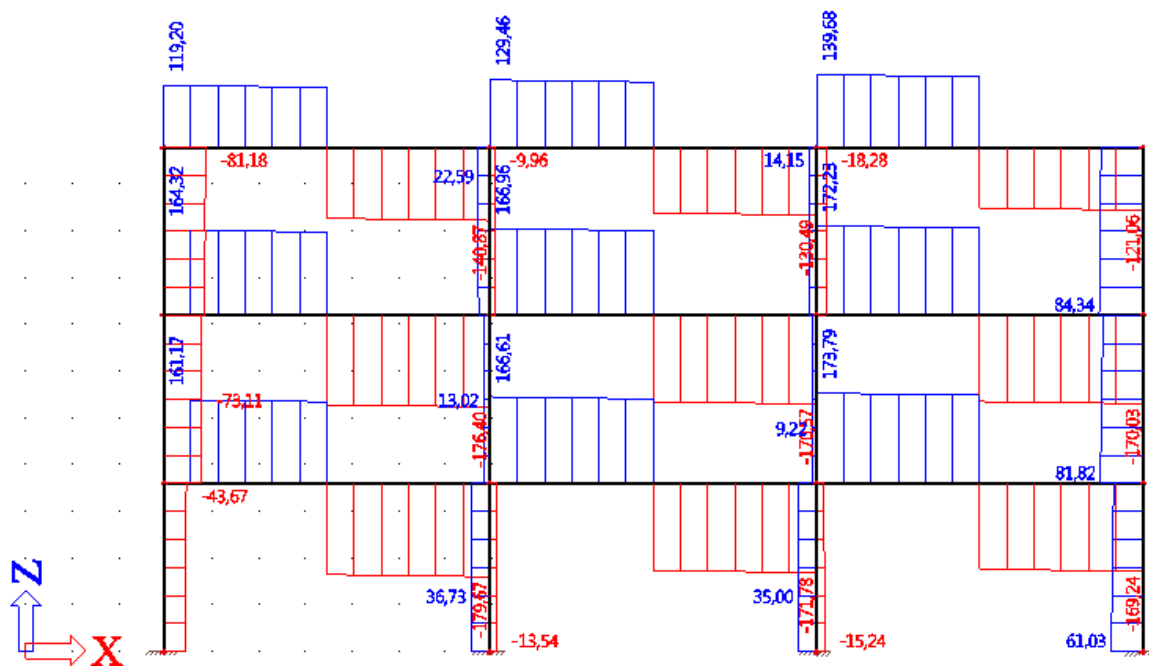
SIST EN 1998-1, Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij- 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe. SIST EN 1998-1.

SEZNAM PRILOG

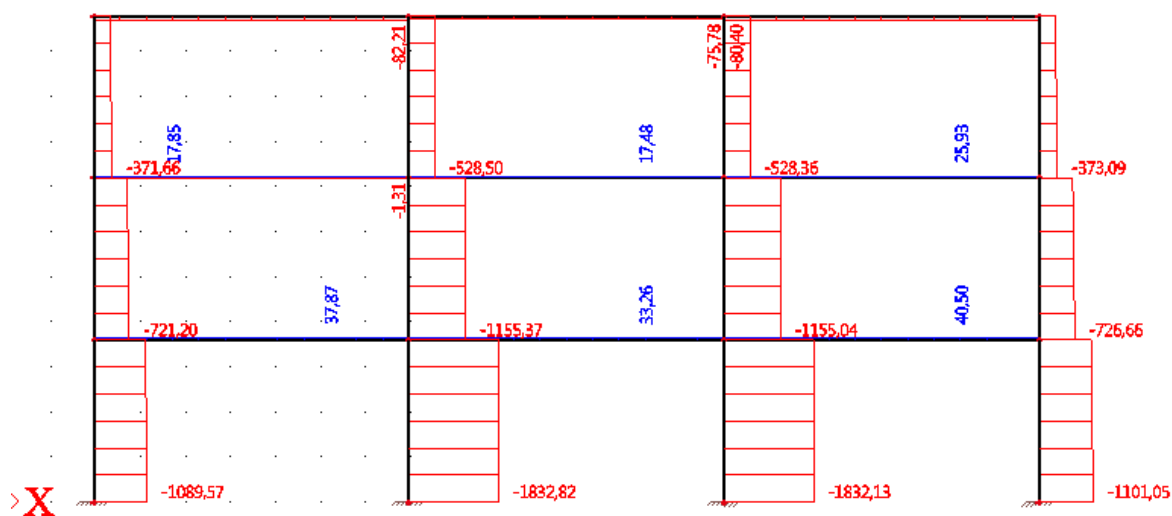
| | |
|-----------------|-----------------------------------|
| Priloga A: | M [kNm]-momentni okvir |
| Priloga B: | V [kN]-momentni okvir |
| Priloga C: | N [kN]-momentni okvir |
| Priloga D: | $M_{G+0,3Q}$ [kNm]-momentni okvir |
| Priloga E: | $V_{G+0,3Q}$ [kN]-momentni okvir |
| Priloga F: | $N_{G+0,3Q}$ [kN]-momentni okvir |
| Priloga G: | M_{Ex} [kNm]-momentni okvir |
| Priloga H: | V_{Ex} [kN]-momentni okvir |
| Priloga I: | N_{Ex} [kN]-momentni okvir |
| Priloga J: | Pomiki MSU [mm]-momentni okvir |
| Priloga K: | Pomiki potres [mm]-momentni okvir |
| Priloga L: | N_{Ex} [kN]-povezje |
| Priloga M: | Pomiki-potres [mm]-povezje |
| Tloris | |
| Prerez A-A | |
| Pogled B-B | |
| Popis materiala | |



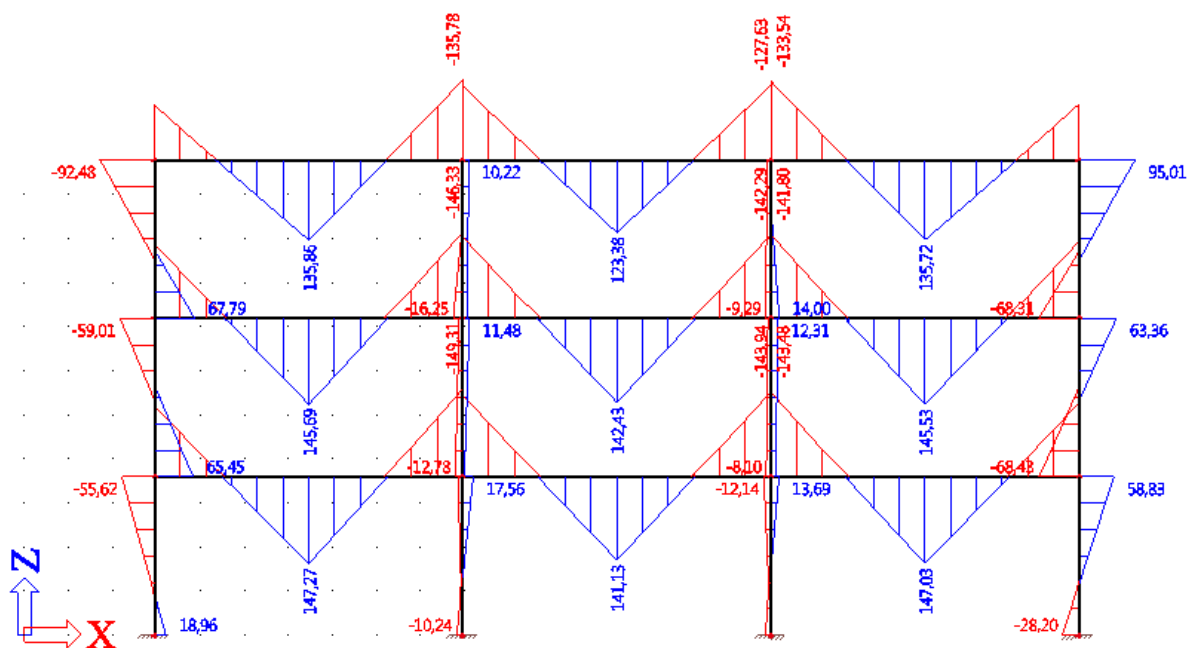
Priloga A: M [kNm] - momentni okvir



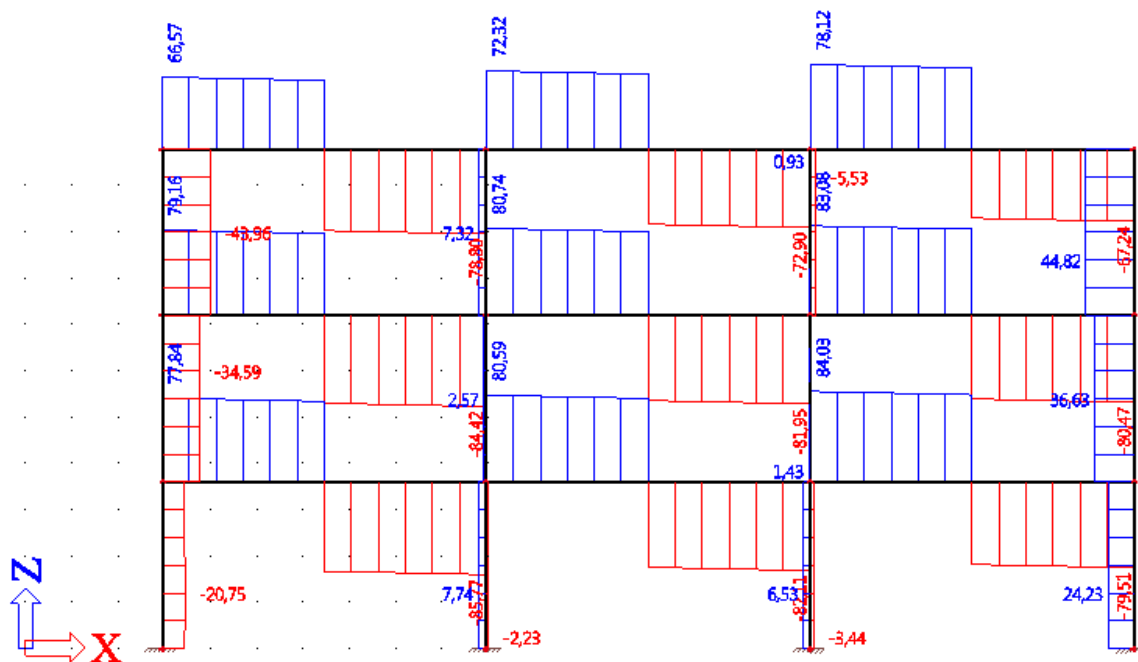
Priloga B: V [kN] - momentni okvir



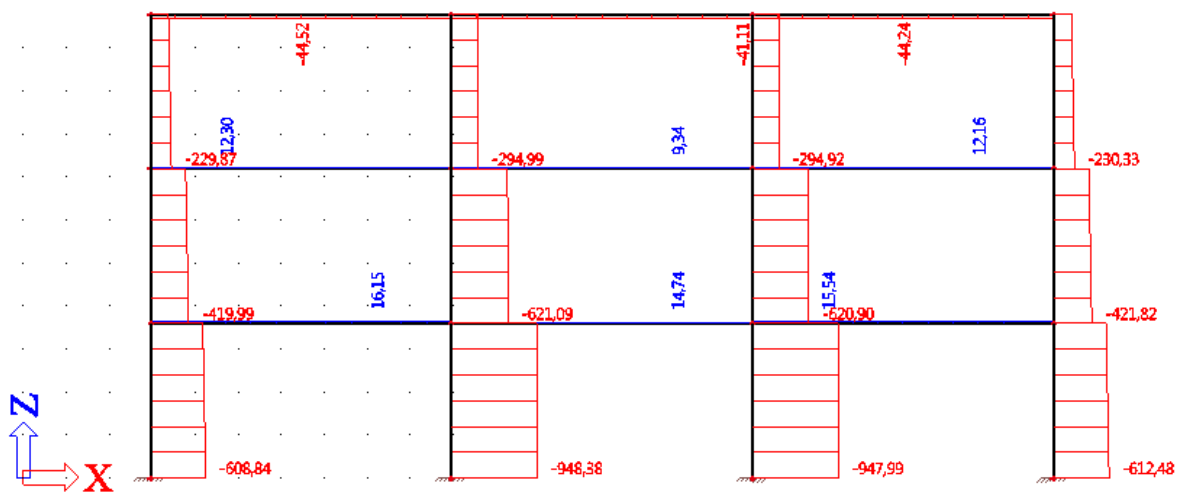
Priloga C: N [kN] - momentni okvir



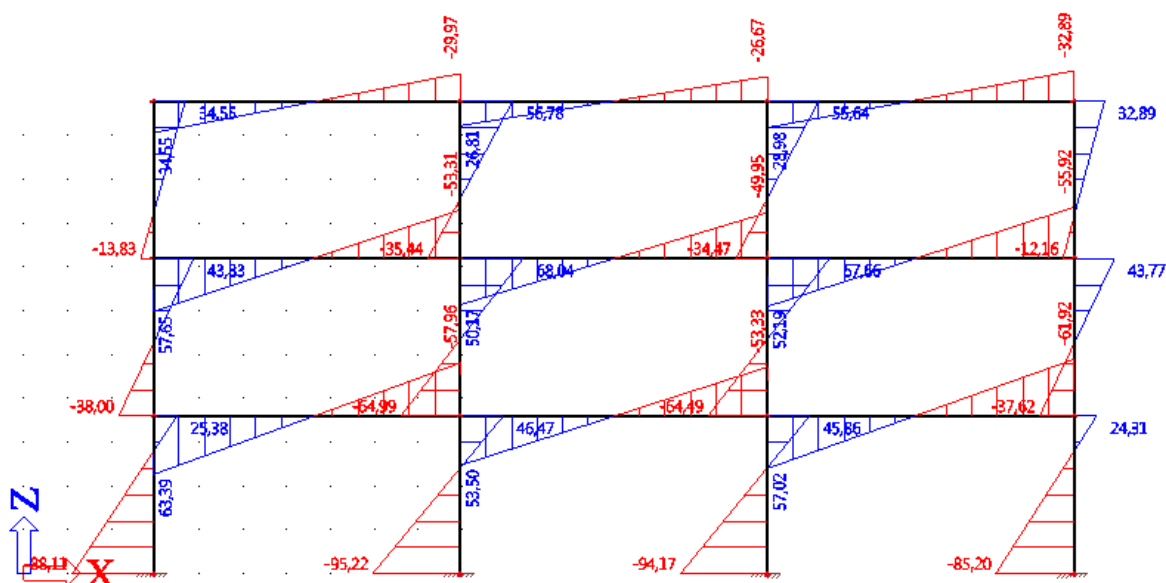
Priloga D: $M_{G+0,3Q}$ [kNm] - momentni okvir



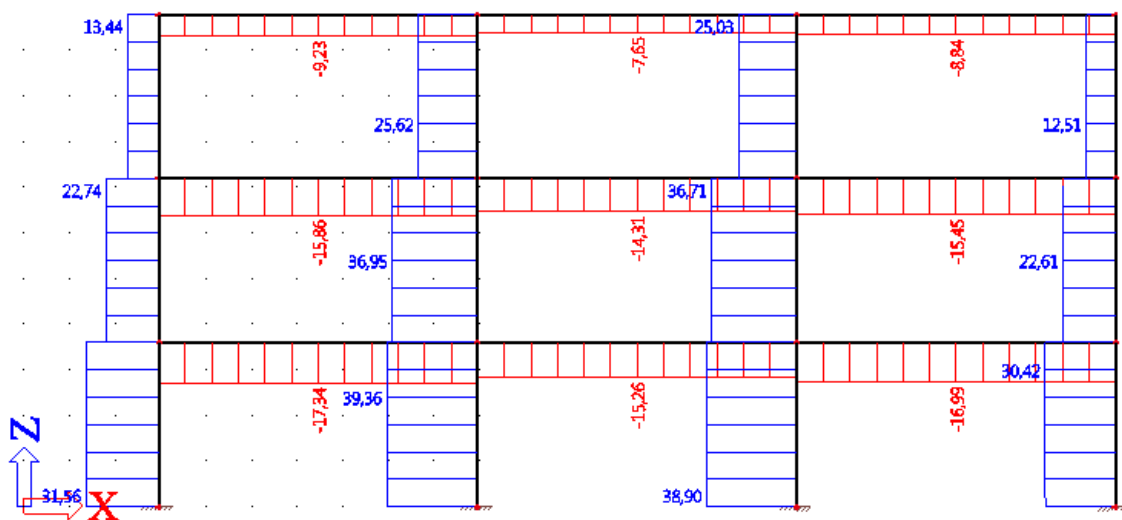
Priloga E: $V_{G+0,3Q}$ [kN] - momentni okvir



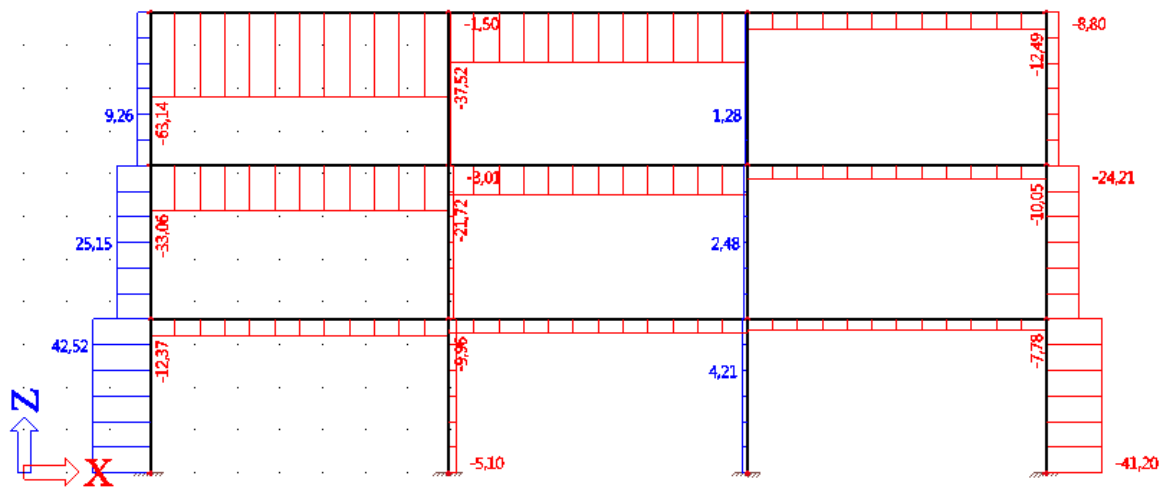
Priloga F: $N_{G+0,3Q}$ [kN] - momentni okvir



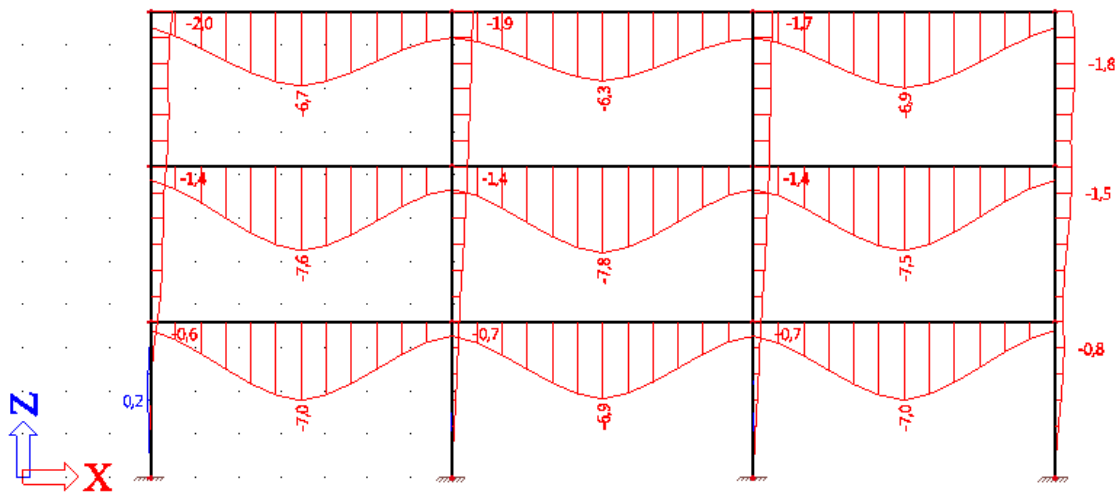
Priloga G: M_{Ex} [kNm] - momentni okvir



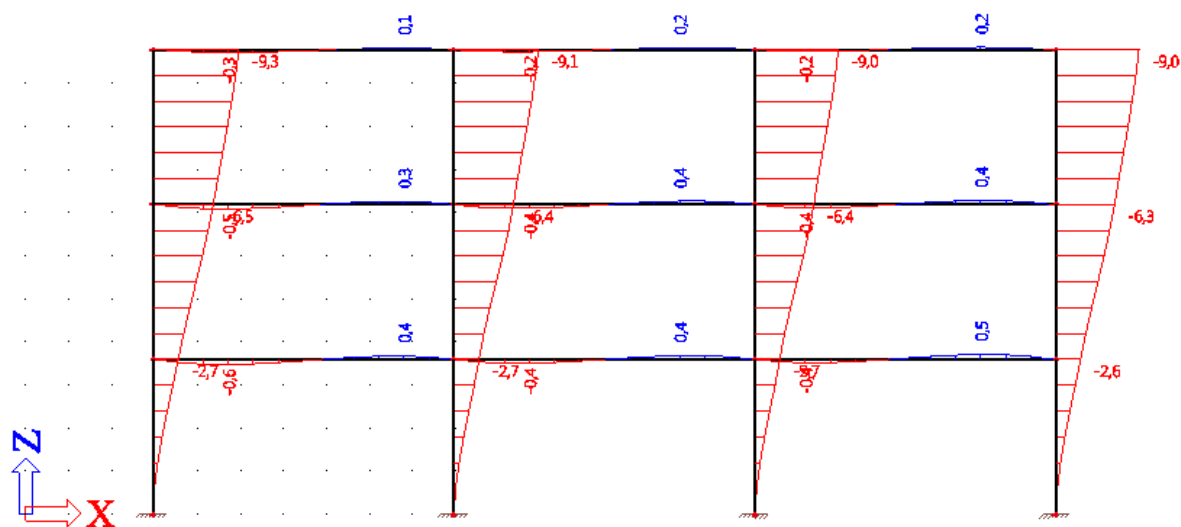
Priloga H: V_{Ex} [kN] - momentni okvir



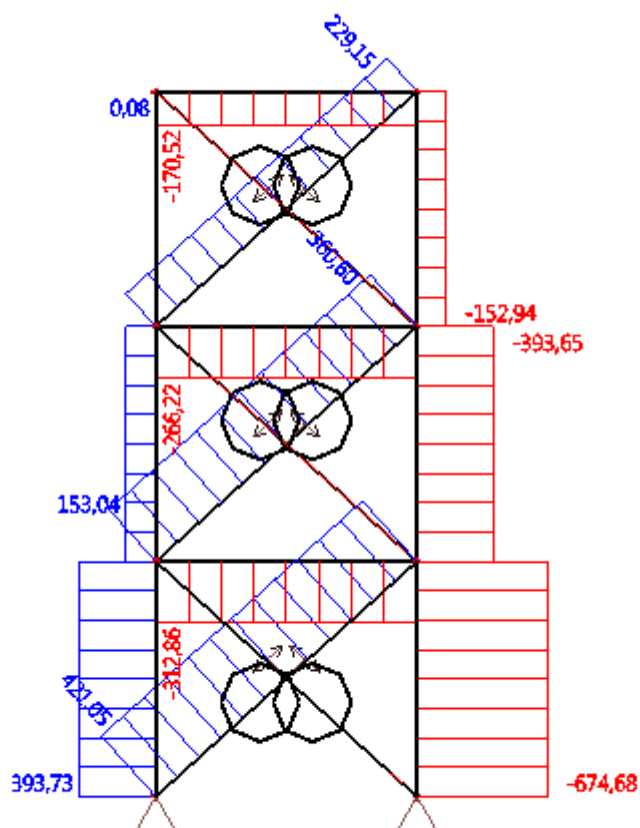
Priloga I: N_{Ex} [kN] - momentni okvir



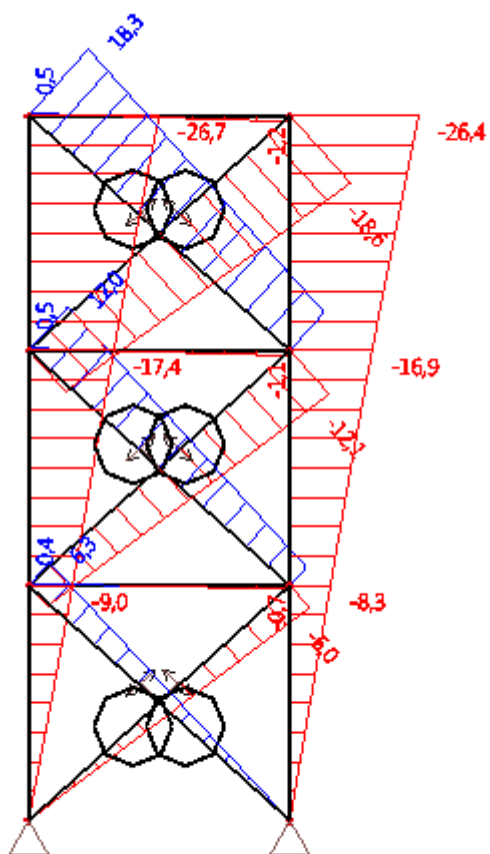
Priloga J: Pomiki MSU [mm] - momentni okvir



Priloga K: Pomiki potres [mm] - momentni okvir



Priloga L: N_{Ex} [kN] - povezje



Priloga M: Pomiki-potres [mm] - povezje