

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:

Kuštra, J., 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Sinur, F.): 53 str.

Datum arhiviranja: 23-09-2015

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:

Cvikl, A., 2015. Vodarske strokovne podlage v načrtih zaščite in reševanja ob poplavah Bolske. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Sinur, F.): 53 p.

Archiving Date: 23-09-2015

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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

**JAN KUŠTRA**

**PROJEKT TRI ETAŽNE INDUSTRIJSKE STAVBE S  
POUDARKOM NA POTRESNI ODPORNOSTI**

Diplomska naloga št.: 193/B-GR

**DESIGN OF THREE STORY INDUSTRIAL BUILDING  
WITH EMPHASIS ON SEISMIC DESIGN**

Graduation thesis No.: 193/B-GR

**Mentor:**

doc. dr. Franc Sinur

Ljubljana, 15. 09. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVA**

Podpisani Jan Kuštra izjavljam, da sem avtor dela z naslovom »Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitanlem repozitoriju.

Ljubljana, 6.7.2015

Jan Kuštra

**BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	<b>624.014.2:624.042.7(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Jan Kuštra</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Franc Sinur</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti</b>
<b>Tip Dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – Univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>53 str., 14 preg., 18 slik, 52 pril.</b>
<b>Gljučne besede:</b>	<b>Jeklana konstrukcija, industrijska stavba, potresno projektiranje, momentni okvir, ekscentrična povezja</b>

**Izvleček:**

V diplomski nalogi obravnavamo zasnovano in dimenzioniranje tri etažne industrijske stavbe. Nosilno konstrukcijo predstavlja 9 pomičnih okvirjev z razponom 10 metrov na medosni razdalji 6 metrov. Horizontalna nosilnost v vzdolžni smeri je zagotovljena z ekscentričnimi povezji s srednje dolgimi strižnimi členi. Stropna konstrukcija je zasnovana kot sovprežna plošča, ki je podprta s sekundarnimi nosilci, ki so priključeni na primarne jeklene nosilce.

Vplive na konstrukcijo smo določili v skladu s slovenskimi standardi SIST EN 1991 in SIST EN 1998. Konstrukcijo smo analizirali v računalniškem program SCIA Engineer 13.1. Globalna elastična analiza konstrukcije je bila izračunana s pomočjo dveh ravninskih okvirjev po teoriji drugega reda z upoštevanjem začetnih globalnih geometrijskih nepopolnosti. Potresna obtežna kombinacija je bila narejena po metodi horizontalnih sil.

Konstrukcija je projektirana kot visoko duktilna, območja sipanja energije so predvideni v prečkah ter ekscentričnih povezjih, stebre varujemo. Za potresno dimenzioniranje je uporabljena t.i. metoda varovalke.

V mejnem stanju uporabnosti smo preverili pomike, ki so se izkazali za skladne s standardom.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 624.014.2:624.042.7(043.2)  
**Author:** Jan Kuštra  
**Supervisor:** Assistant prof. Ph.D. Franc Sinur  
**Title:** The project of a three storey industrial steel building with emphasis on seismic design  
**Document type:** Graduation thesis  
**Scope and tools:** 53 p., 14 tab., 18 fig., 52 ann.  
**Keywords:** Steel industrial building, Seismic design, moment resistant frame, eccentric bracing

**Abstract:**

The diploma thesis deals with the design of a three-storey industrial building. The supporting structure is represented by 9 moment resisting frames with a span of 10 meters which are 6 meters apart. Horizontal stiffness in the longitudinal direction is provided with eccentric bracings with medium length seismic links. The floor construction is designed as a composite concrete panel, which rests on the secondary beams, and is connected to primary steel beams.

Effects on the structure were determined in accordance with Slovenian standards SIST EN 1991 and SIST EN 1998. The construction was analyzed in a computer program SCIA Engineer 13.1. The global analysis of the structure was calculated using two planar frames and elastic second order analysis taking into account global initial imperfections. Seismic loads were considered with lateral force method of analysis.

The structure is designed as highly ductile. Dissipative areas are located in the beams and eccentric bracings. For ensuring the intended configuration of plastic hinges, the columns are protected after the capacity design method.

The serviceability limit state was checked and deformations were in accordance with the standards.

**KAZALO VSEBINE**

IZJAVA.....	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM .....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....	IV
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2 TEHNIČNO POROČILO .....</b>	<b>2</b>
2.1 Zasnova.....	2
2.2 Konstrukcijski elementi in uporabljen material.....	3
2.2.1 Stebri .....	3
2.2.2 Primarni nosilci .....	3
2.2.3 Sekundarni nosilci .....	3
2.2.4 Medetažna stropna konstrukcija .....	3
2.2.5 Eksentrično povezje.....	3
2.2.6 Fasada .....	3
2.2.7 Spoji .....	4
<b>3 OBTEŽBE.....</b>	<b>5</b>
3.1 Lastna in stalna obtežba .....	5
3.1.1 Streha .....	5
3.2 Stropna konstrukcija.....	5
3.3 Fasadna konstrukcija.....	5
3.4 Koristna obtežba.....	6
3.5 Obtežba snega .....	6
3.6 Obtežba vetra .....	6
3.7 Hitrost .....	6
3.8 Tlak vetra na zunanje ploskve.....	7
<b>4 POTRESNA OBTEŽBA.....</b>	<b>10</b>
4.1 Masa za potresno analizo .....	10
4.2 Spekter pospeškov.....	11
4.2.1 Nihajni čas v prečni smeri (momentni okvir) .....	12
4.2.2 Nihajni čas v vzdolžni smeri.....	12
4.3 Potresna analiza.....	12
4.3.1 Momentni okvir .....	12

4.3.2	Vzdolžni okvir.....	14
<b>5</b>	<b>OBTEŽNE KOMBINACIJE .....</b>	<b>15</b>
5.1	Mejno stanje nosilnosti (MSN).....	15
5.1.1	Kombinacija vplivov za stalna in začasna projektna stanja.....	15
5.1.2	Kombinacije vplivov za potresno projektno stanje .....	15
5.2	Kombinacije vplivov za mejno stanje uporabnost (MSU).....	15
<b>6</b>	<b>RAČUNSKI MODEL NOSILNIH KONSTRUKCIJ IN PODKONSTRUKCIJ .....</b>	<b>17</b>
6.1	Računski model prečnega okvirja.....	17
6.1.1	Začetne globalne nepopolnosti.....	17
6.2	Računski model okvirja z ekscentričnim povezjem .....	18
6.2.1	Začetne globalne nepopolnosti.....	18
<b>7</b>	<b>DIMENZIONIRANJE .....</b>	<b>19</b>
7.1	Sekundarni nosilec.....	20
7.1.1	Geometrijske karakteristike .....	20
7.1.2	Obremenitev .....	20
7.1.3	Odpornost.....	21
7.1.4	Kontrola nosilnosti.....	21
7.2	Prečka.....	21
7.2.1	Prerez 1-1.....	22
7.2.2	Prerez 2-2.....	23
7.3	Ekscentrično povezje.....	25
7.4	Stebri.....	29
7.4.1	Obremenitev .....	29
7.4.2	Nosilnost:.....	30
7.4.3	Stabilnost.....	30
<b>8</b>	<b>GLAVNI SPOJI.....</b>	<b>33</b>
8.1	Material in elementi .....	33
8.2	Obremenitve .....	34
8.3	Dimenzioniranje .....	34
8.4	Členkast spoj med sekundarnim nosilcem in prečko .....	38
8.4.1	Material in geometrija .....	38
8.4.2	Obremenitve .....	38



8.4.3	Dimenzioniranje.....	38
<b>9</b>	<b>MEJNO STANJE UPORABNOSTI.....</b>	<b>40</b>
9.1	Prečni okvir.....	40
9.1.1	Prečke.....	40
9.1.2	Stebri.....	40
9.2	Vzdolžni okvir.....	41
9.2.1	Prečke.....	41
9.2.2	Stebri.....	41
<b>10</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>42</b>
<b>11</b>	<b>VIRI.....</b>	<b>43</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Tlak vetra na ploskve stavbe v prečni smeri .....	8
Preglednica 2: Tlak vetra na ploskve stavbe v vzdolžni smeri.....	9
Preglednica 3: Skupna masa posamezne etaže za potresno analizo .....	10
Preglednica 4: Masa posameznih etaž.....	11
Preglednica 5: Potresne sile v smeri x.....	13
Preglednica 6: Potresne sile na posamezen okvir.....	14
Preglednica 7: Potresne sile v smeri y.....	14
Preglednica 8: Kontrola vpliva teorije drugega reda - ekscentrično povezje.....	14
Preglednica 9: Obtežba na sekundarni nosilec .....	20
Preglednica 10: Dimenzioniranje prečke v momentnem okvirju .....	24
Preglednica 11: Dimenzioniranje strižnih členov v 1. etaži .....	26
Preglednica 12: Dimenzioniranje strižnih členov v 2. etaži .....	27
Preglednica 13: Dimenzioniranje strižnih členov v 3. etaži .....	28
Preglednica 14: Dimenzioniranje diagonal v povezju.....	28

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Tloris.....	2
Slika 2: Momentni okvir .....	2
Slika 3: Ekscentrična povezja .....	3
Slika 4: Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra $v_{B,0}$ [SIST EN 1991-1-4, 2007].....	7
Slika 5: Razdelitev sten na področja [SIST EN 1991-1-4, 2005] .....	8
Slika 6: Razdelitev tlakov po strehi stavbe [SIST EN 1991-1-4, 2005].....	8
Slika 7: Elastični spekter odziva .....	11
Slika 8: Vpliv naključne torzije.....	13
Slika 9: Model prečnega okvirja .....	17
Slika 10: Model vzdolžnega okvirja.....	18
Slika 11: Skica stika prečke, stebra in vute .....	22
Slika 12: Razdalja med vutama.....	<b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b>
Slika 13: Momentni spoj .....	33
Slika 14: Spoj med sekundarnim nosilcem in prečko .....	38
Slika 15: Ovojnica relativnih pomikov $u_z$ [mm] prečk najbolj obremenilnega okvirja.....	40
Slika 16: Ovojnica absolutnih pomikov $u_x$ [mm] stebrov najbolj obremenilnega prečnega okvirja.....	41
Slika 17: Ovojnica relativnih pomikov $u_z$ [mm] prečk najbolj obremenjenega vzdolžnega okvirja.....	41
Slika 18: Ovojnica relativnih pomikov $u_z$ [mm] stebrov najbolj obremenjenega vzdolžnega okvirja ..	41



## 1 UVOD

Diplomska naloga obravnava zasnovno, statično analizo in dimenzioniranje tri etažne industrijske stavbe.

Stavba je pravilne tlorisne oblike in se bo predvidoma nahajala v Ljubljani.

Statična analiza in dimenzioniranje nosilne konstrukcije je izvedeno v skladu s standardi Evrokod. Za statično analizo je bil uporabljen računalniški program SCIA Engineer 2013.1.

Notranje statične količine so bile dobljene po t.i. teoriji drugega reda z upoštevanjem začetnih globalnih geometrijskih nepopolnosti. Izračun sem opravil z dvema neodvisnima ravninskima modeloma.

Vplivi na konstrukcijo so določeni v skladu s standardi SIST EN 1991 in SIST EN 1998. Lastna in stalna teža sta določeni na podlagi izbranih jeklenih profilov, debeline armirano betonske sovprežne plošče ter predpostavljene obtežbe sten, instalacij, podkonstrukcij, kot so estrih, izolacije in finalna obdelava ter obtežbe fasade.

Stavba je namenjena industrijski dejavnosti in obratovanju težkih strojev, zato je upoštevana povečana koristna obtežba. Zadnja vrhnja etaža je namenjena pisarnam. Obtežba snega je določena v skladu s standardom SIST EN 1991-1-3, obtežba vetra pa v skladu s SIST EN 1991-1-4.

Ker se stavba nahaja na seizmičnem območju (v Ljubljani), je potrebno upoštevati posebna pravila za projektiranje konstrukcij na seizmičnih območjih (zagotavljanje pravilnega porušnega mehanizma, polnonosilni spoji priključkov prečk na stebre ter stebrov na temelje).

Potresno projektiranje je opravljeno v skladu s standardom SIST EN 1998-8. Upoštevan je projektni pospešek tal  $a_g = 0,25m/s^2$ . Predpostavljen tip tal je A. Potresni vpliv je izračunan z metodo horizontalnih sil.

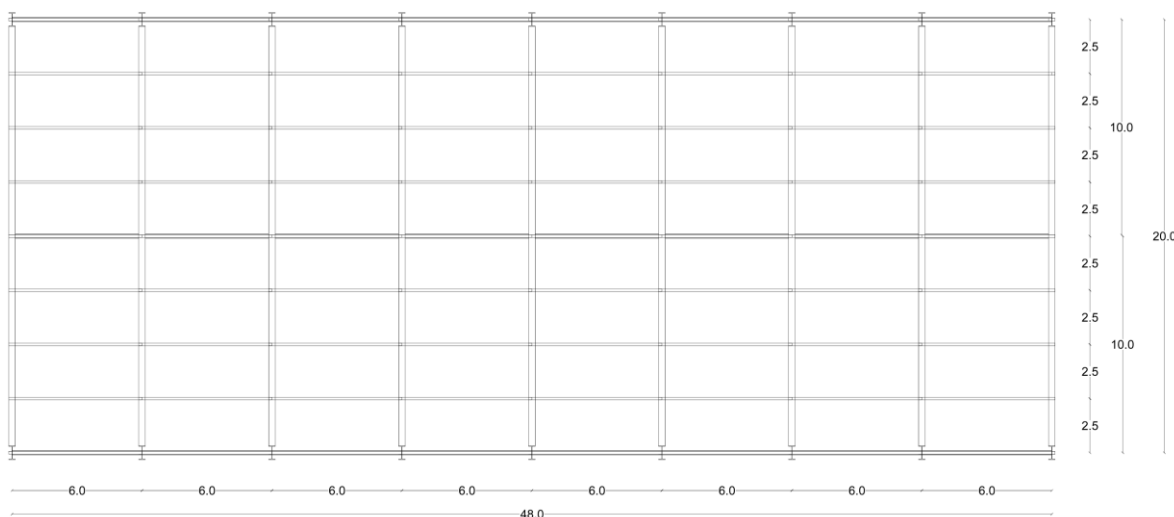
## 2 TEHNIČNO POROČILO

### 2.1 Zasnova

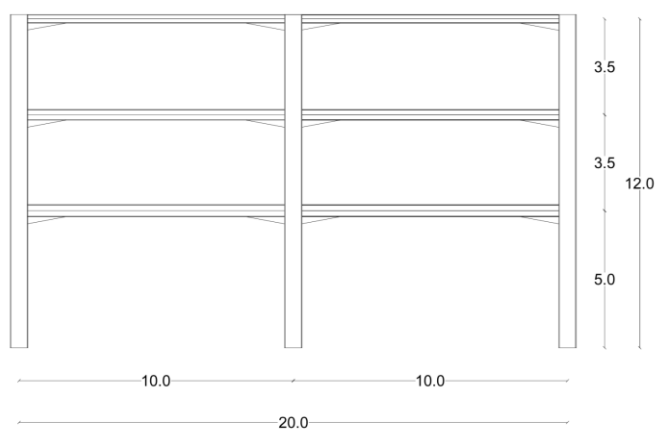
Industrijska stavba ima 3 etaže. Pritličje in 1. nadstropje sta namenjena industrijski dejavnosti, predvidena je povečana koristna obtežba;  $6kN/m^2$ , zaradi industrijske dejavnosti so tudi povečani razponi v prečni smeri. V najvišji etaži pa so predvidene pisarne.

Objekt se nahaja v Ljubljani na nadmorski višini 300m, leži v veterni coni 1 in v snežni coni A2. Za potresno analizo je upoštevan tip tal A, s projektnim pospeškom tal  $a_g = 0,25g$ .

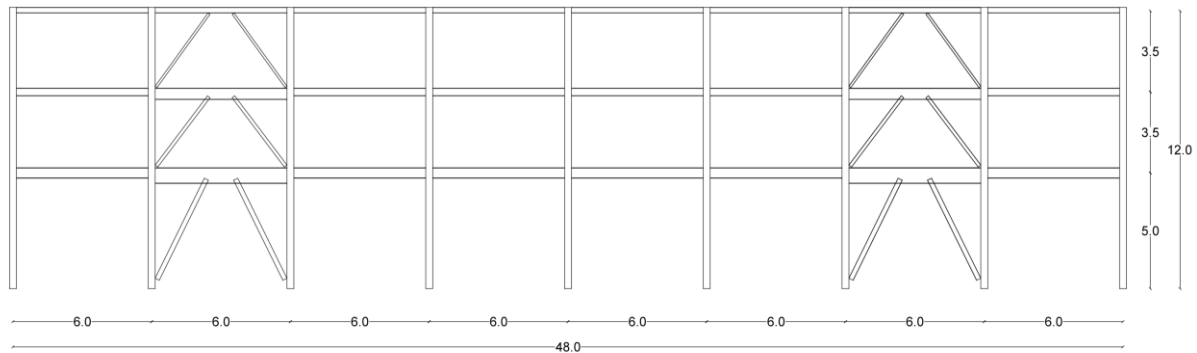
Zaradi industrijske dejavnosti je višina prve etaže 5m, ostali dve etaži pa sta visoki 3,5 m. Tloris (Slika 1) stavbe je pravokotne oblike, dolžine 48m in širine 20m. V prečni smeri (Slika 2) je horizontalna togost zagotovljena z devetimi pomičnimi okvirji na rastru 6 m, v vzdolžni smeri (Slika 3) pa horizontalno togost zagotavljajo po 2 ekscentrična povezja na vsak okvir. Sekundarni nosilci so členkasto pritrjeni na primarno konstrukcijo. Streha je izvedena kot ravna, nepohodna v naklonu 2%. Uporabljeni so materiali S275 J0, beton C25/30 ter jeklo za armiranje S500.



Slika 1: Tloris



Slika 2: Momentni okvir



Slika 3: Ekscentrična povezja

## 2.2 Konstrukcijski elementi in uporabljen material

### 2.2.1 Stebri

Za stebre je uporabljen jeklen profil **HEB 650**, kvalitete S275 J0.

### 2.2.2 Primarni nosilci

V prečni smeri objekta so na stebre tega priključeni jekleni nosilci. Ob stebrih so na prečke pritrjene vute dolžine  $l_{vuta} = 120\text{cm}$  in višine  $h_{vuta} = 18\text{cm}$ . Osnovna prečka je v območju vute lokalno oslabiljena. Nosilci in vute so iz jekla kvalitete **S275 J0**.

Zaradi povečane koristne obtežbe so v 1. etaži predvideni nosilci **HEA 450**, v 2. etaži nosilci **HEA 400** in v 3. etaži nosilci **HEA 320**.

### 2.2.3 Sekundarni nosilci

Na primarne nosilce so členkasto priključeni sekundarni nosilci, ki so sovprežno povezani z medetažnimi stropnimi konstrukcijami. Izbran je jekleni profil **IPE 240**, prav tako v kvaliteti S275 J0. Razpon med sekundarnimi nosilci je  $l = 2,5\text{m}$ .

### 2.2.4 Medetažna stropna konstrukcija

Profilirana pločevina je tipa: TRIMO HI-BOND 55, debeline  $t = 8\text{mm}$ ,  $f_{yk} = 250\text{Mpa}$  (S 250), nanj je betonirana plošča debeline  $h = 12\text{cm}$ , betona kvalitete C25/30. Za povezavo med sekundarnimi nosilci in ploščo so uporabljeni mozniki Nelson ( $d = 19\text{mm}$ ,  $h_{sc} = 90\text{mm}$ ,  $f_u = 45\text{kN/cm}^2$ ). Mehka armatura je konstrukcijskega značaja in kvalitete S 500.

### 2.2.5 Ekscentrično povezje

Ekscentrično povezje zagotavlja stabilnost konstrukcije v vzdolžni smeri objekta. Zaradi zagotavljanja globalne duktilnosti in pravilnega porušnega mehanizma, so v 1. etaži uporabljena povezja tipa **SHS 200/200/12,5** v 2. etaži **SHS 140/140/10,0** in v 3. etaži, **SHS 120/120/7,1**. Vsa povezja so iz jekla kvalitete **S275 J0**.

### 2.2.6 Fasada

Fasada je izvedena s Trimo fasadnimi paneli, ki so preko podkonstrukcije pritrjeni na medetažno konstrukcijo. V samem projektu fasada ni obravnavana, zato je obtežba fasade in fasadne podkonstrukcije zgolj predpostavljena za statični izračun.

### 2.2.7 Spoji

Prečke pomičnega okvirja so na stebre pritrjene s polnonosilnimi momentnimi spoji. Spoj je sestavljen iz vijakov **M27 10.9**, ki so preko čelne pločevine priključeni na steber. V stebru je izvedena ojačitev stojine.



### 3 OBTEŽBE

#### 3.1 Lastna in stalna obtežba

##### 3.1.1 Streha

- Nasutje (gramoz)  
 $g = 0,80 \text{ kN/m}^2$
- Hidro izolacija  
 $g = 0,22 \text{ kN/m}^2$
- Toplotna izolacija  
 $g = 0,1 \text{ kN/m}^2$
- Sovprežna plošča (Trimo HI-BOND,  $h = 12\text{cm}$ )  
 $g = 2,41 \text{ kN/m}^2$
- Sekundarni nosilec (IPE 240)  
 $g = 0,13 \text{ kN/m}^2$
- Instalacije  
 $g = 0,30 \text{ kN/m}^2$
- Spuščen strop  
 $g = 0,10 \text{ kN/m}^2$

Skupno:  $g = 4,05 \text{ kN/m}^2$

#### 3.2 Stropna konstrukcija

- Predelne stene  
 $g = 0,80 \text{ kN/m}^2$
- Finalna obdelava  
 $g = 0,25 \text{ kN/m}^2$
- Estrih ( $h = 5 \text{ cm}$ )  
 $g = 1,20 \text{ kN/m}^2$
- Zvočna / Toplotna izolacija  
 $g = 0,05 \text{ kN/m}^2$
- Sovprežna plošča (Trimo HI-BOND,  $h = 12\text{cm}$ )  
 $g = 2,41 \text{ kN/m}^2$
- Sekundarni nosilec (IPE 240)  
 $g = 0,13 \text{ kN/m}^2$
- Instalacije  
 $g = 0,30 \text{ kN/m}^2$
- Spuščen strop  
 $g = 0,10 \text{ kN/m}^2$

Skupno:  $g = 5,24 \text{ kN/m}^2$

#### 3.3 Fasadna konstrukcija

Fasadna konstrukcija je iz Trimo fasadnih panelov, pritrjenih na podkonstrukcijo, ki se opira na vsako medetažno ploščo. Teža fasadnih panelov skupaj s podkonstrukcijo znaša  $g_f = 0,5 \text{ kN/m}^2$ .

### 3.4 Koristna obtežba

Stavba je projektirana kot industrijska, zato je upoštevana koristna obtežba v višini  $q = 6 \text{ kN/m}^2$ . Stavba je uvrščena v kategorijo E (skladišča) [1].

V najvišji etaži stavbe so predvideni prostori za pisarne, zato je tam upoštevana koristna obtežba  $q = 3 \text{ kN/m}^2$ .

Streha je nepohodna in smo zato upoštevali koristno obtežbo  $q = 0,40 \text{ kN/m}^2$  (kategorija H, dostopna za vzdrževanje).

### 3.5 Obtežba snega

Obtežba je določena v skladu s standardom SIST EN 1991-1-3 [2].

Ljubljana leži v snežni coni A2 na nadmorski višini 300m, zato snega ne upoštevamo pri potresni obtežbi [3].

$$s_k = 1,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \dots \text{ karakteristična obtežba snega na tleh}$$

$$\mu_1 = 0,8 \quad \dots \text{ oblikovni koeficient obtežbe snega}$$

$$c_e = 1,0 \quad \dots \text{ koeficient izpostavljenosti}$$

$$c_t = 1,0 \quad \dots \text{ toplotni koeficient}$$

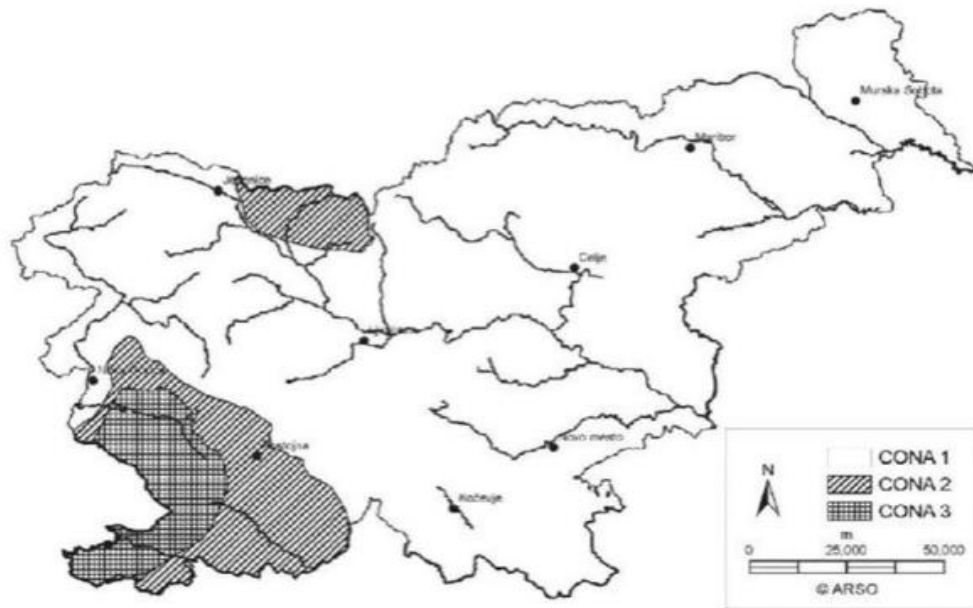
$$s = \mu_1 * s_k * c_e * c_t = 1,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \dots \text{ obtežba snega na streho}$$

### 3.6 Obtežba vetra

Obtežba je določena v skladu s standardom SIST EN 1991-1-4 [4]. Izračunamo tlak vetra na zunanje ploskve, medtem ko notranji srk v diplomski nalogi ni obravnavan.

### 3.7 Hitrost

Stavba je locirana v Ljubljani (veterna cona 1), na nadmorski višini 300m. Leži na terenu, ki spada v III. kategorijo [5].

Slika 4: Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra  $v_{b,0}$  [SIST EN 1991-1-4, 2007]

$v_{b,0} = 20 \frac{m}{s}$  ... temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra

$c_{dir} = 1,0$  ... smerni faktor (izberemo priporočeno vrednost)

$c_{season} = 1,0$  ... faktor letnega časa (izberemo priporočeno vrednost)

$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 20 \frac{m}{s}$  ... osnovna hitrost vetra

$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b = 18,14 \frac{m}{s}$  ... srednja hitrost vetra na višini 12 m

### 3.8 Tlak vetra na zunanje ploskve

$q_b = 250 Pa$  ... osnovni tlak vetra, odvisen od osnovne hitrosti vetra  $v_b$

$c_e(z) = 1,81$  ... faktor izpostavljenosti, odvisen od kategorije terena ter višine stavbe

$q_p(z) = c_e(z) * q_b = 1,81 * 250 Pa = 453 Pa$  ... največji tlak pri sunku vetra

Tlak vetra določimo za vsako ploskev posebej.

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

$w_e$  ... tlak vetra na zunanje ploskve

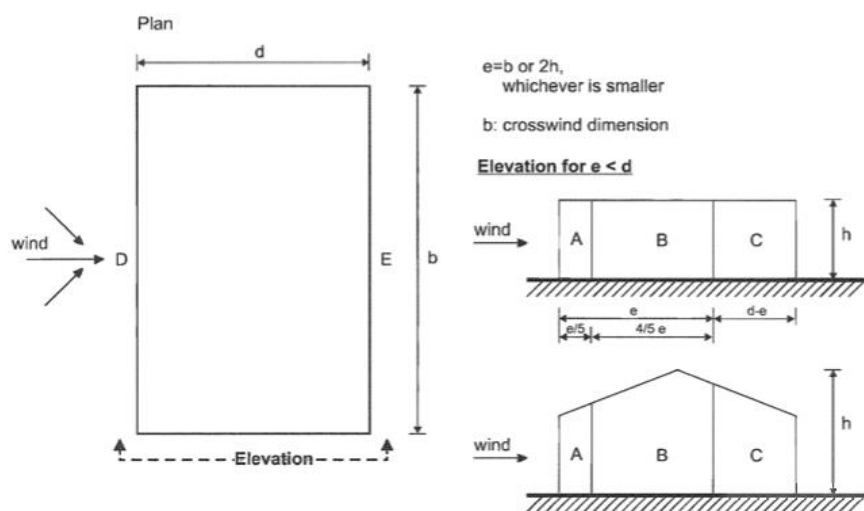
$z_e$  ... referenčna višina

$c_{pe}$  ... koeficient zunanjega tlaka

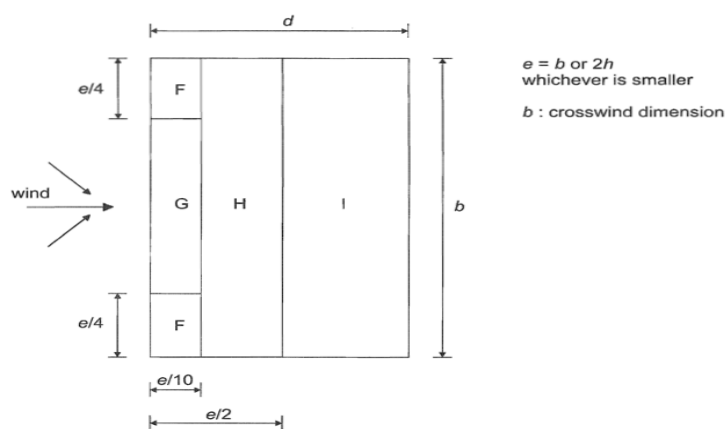
Tlak vetra izračunamo za posamezne ploskve zunanjih sten, kot tudi za posamezne ploskve strehe. Streha je ravna z zelo majhnim naklonom (2%).  $h \leq b$ , zato je  $q_p(z)$  konstanten po celotni višini.

**Podatki o geometriji stavbe:**

$h = 12m$  ... višina stavbe  
 $b = 48m$  ... dolžina stavbe  
 $d = 20m$  ... širina stavbe  
 $e = 2 * h = 24m$



Slika 5: Razdelitev sten na področja [SIST EN 1991-1-4, 2005]



Slika 6: Razdelitev tlakov po strehi stavbe [SIST EN 1991-1-4, 2005]

Preglednica 1: Tlak vetra na ploskve stavbe v prečni smeri

Veter v prečni smeri		
Cone	$C_{pe}$	$w_e$ [kPa]
Streha		
F	-1,4	-0,634
G	-0,9	-0,407
H	-0,7	-0,317
I	-0,2	+/- 0,091
Stene		

Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

A	-1,2	-0,543
B	-0,8	-0,362
C	-0,5	-0,226
D	0,8	0,362
E	-0,5	-0,226

Preglednica 2: Tlak vetra na ploskve stavbe v vzdolžni smeri

<b>Veter v vzdolžni smeri</b>		
Cone	$c_{pe}$	$w_e$ [kPa]
<b>Streha</b>		
F	-1,4	-0,634
G	-0,9	-0,407
H	-0,7	-0,317
I	-0,2	+/- 0,091
<b>Stene</b>		
A	-1,2	-0,543
B	-0,8	-0,362
C	-0,5	-0,226
D	0,7	0,317
E	-0,3	-0,136

## 4 POTRESNA OBTEŽBA

Konstrukcija je pravilna po tlorisu in po višini, zato lahko v skladu s SIST EN 1998-1, točka 4.2.3 uporabimo ravninski model s horizontalnimi silami [6]. Konstrukcijo obravnavamo ločeno v smereh x in y.

Objekt bo stal v Ljubljani, na tipu tal A, projektni pospešek tal za Ljubljano pa znaša  $a_g = 0,25g$ .

Projektiramo konstrukcijo, ki je sposobna sipati energijo. Glede na zasnovo, postopek projektiranja in uporabljen material smo se odločili za visoko stopnjo duktilnosti (DCH). Ta zahteva, da so vsi prerezi v 1. razredu kompaktnosti, da bo v njih lahko prišlo do velikih rotacij in s tem do disipacije energije.

V smeri pomičnih okvirjev bo sipanje energije potekalo v prečkah, kjer se bo konstrukcija obnašala neelastično. Zagotoviti moramo zadostno duktilnost in nosilnost. Izbrali smo faktor obnašanja  $q = 4$  [7].

V vzdolžni smeri bo prišlo do sipanja energije v ekscentričnih povezjih – strižnih členih. Izbrali smo faktor obnašanja  $q = 6$ , saj so pravilno projektirana ekscentrična povezja lahko zelo duktilna.

Mase posameznih etaž upoštevamo koncentrirano v eni točki in predpostavimo, da etaže delujejo kot toga diafragma.

### 4.1 Masa za potresno analizo

Maso za potresno analizo smo izračunali po enačbi:

$$M = \Sigma G_{k,j} + \Sigma \Psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} \quad \dots \text{celotna masa}$$

$$\Psi_{E,i} = \varphi \cdot \Psi_{2,i} = 0,8$$

$$\varphi = 1,0 \quad \dots \text{kategorija E, skladišča}$$

$$\Psi_2 = 0,8 \quad \dots \text{kategorija E, skladišča}$$

Zaradi predvidene dejavnosti, za katero bo konstrukcija namenjena, smo jo uvrstili v kategorijo E, skladišča. V 3. etaži so predvidene pisarne, zato bi lahko uporabil  $\Psi_2 = 0,3$ , vendar smo zaradi poenostavitve uporabili povsod enako kategorijo stavbe. Zaradi velikih mas dobimo tudi velike potresne sile, ki se izkažejo za merodajno obtežbo za dimenzioniranje.

Preglednica 3: Skupna masa posamezne etaže za potresno analizo

Mase za potresno analizo za vsako etažo				
	Masa [kg]	$\Psi$	Skupaj [kg]	Skupaj [kN]
G 1	601286	1	601286	6012,9
G 2	587223		587223	5872,2
G 3	481034		481034	4810,3
Q 1	648000	0,8	518400	5184,0
Q 2	324000		259200	2592,0
Q 3	43200		34560	345,6

Preglednica 4: Masa posameznih etaž

Masa posameznih etaž		
Etaža	Skupaj [kg]	Skupaj [kN]
1	1119686	11196,9
2	846423	8464,2
3	515594	5155,9
$\Sigma$	2481703	24817,0

## 4.2 Spekter pospeškov

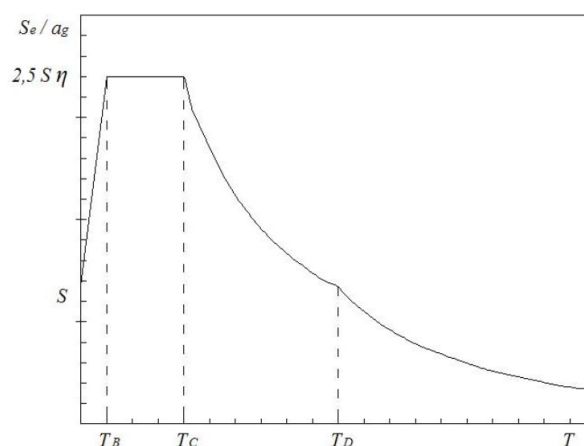
Skladno s standardom smo določili elastični spekter pospeškov.

Podatki:

- $a_g=0,25g$
- Tip tal: A
  - o S: 1,0
  - o TB: 0,15 s
  - o TC: 0,4 s
  - o TD: 2,0 s
- 5% dušenje nihanja

Nihajni čas konstrukcije smo najprej izračunali po poenostavljeni metodi. Izkaže se, da se okvirna nihajna časa nahajata na platoju elastičnega spektra odziva, kar je najbolj neugodno stanje za določitev potresnih sil. [6]

$$T_B \leq T_{nihajni} \leq T_C.$$



Slika 7: Elastični spekter odziva

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

#### 4.2.1 Nihajni čas v prečni smeri (momentni okvir)

$c_t = 0,085$  ... velja za momentni okvir

$$T_{1,x} = c_t * h^{3/4} = 0,085 * 12^{3/4} = 0,55s$$

S programom SCIA Engineer 2013.1 sem izvedel modalno analizo in dobil nihajni čas  $T_{1,x} = 0,66s$ .

#### 4.2.2 Nihajni čas v vzdolžni smeri

$c_t = 0,050$  ... velja za konstrukcije, ki niso betonski ali jekleni okvirji

$$T_{1,y} = c_t * h^{3/4} = 0,050 * 12^{3/4} = 0,32s$$

S programom SCIA Engineer 2013.1 sem izvedel modalno analizo in dobil nihajni čas  $T_{1,y} = 0,52s$ .

Glede na tip tal in nihajne čase dobljene z modalno analizo, pademo v območje med  $T_C$  in  $T_D$ , kar bi pomenilo manjše potresne sile od izbranih, vendar smo se vseeno odločili uporabiti bolj neugodno pozicijo na platoju.

### 4.3 Potresna analiza

Pri projektiranju konstrukcije smo se odločili za enostavno konstrukcijo. Konstrukcija je pravilne oblike tako po tlorisu kot po višini. Na nivoju etaž imamo sovprežne plošče, ki delujejo kot toge diafragme. Zato lahko v skladu s SIST EN 1998-1 (točka 4.2.3.) uporabimo ravninski model z vodoravnimi silami in konstrukcijo obravnavamo ločeno v smereh x in y.

Zaradi dodatne nosilnosti in konstrukcijske sposobnosti sipanja energije lahko upoštevamo redukcijo potresnih sil s faktorjem q. V smeri momentnega okvirja smo določili faktor obnašanja  $q = 4$ , območja sipanja energije so predvidena ob prehodu iz vute v prečko, kjer je tudi izvedena t.i. "dogbone" oslabitev pasnic. V smeri okvirja z ekscentričnimi povezji pa smo izbrali faktor obnašanja  $q = 6$ , območja sipanja energije pa so predvidena v t.i. strižnih členih, ki glede na klasifikacijo spadajo med srednje dolge člene in sipajo energijo deloma v strigu in deloma v upogibu.

Ker sem se odločil za konstrukcijo z visoko stopnjo duktilnosti morajo biti vsi prerezi v 1. razredu kompaktnosti zaradi zagotavljanja ustrezne duktilnosti.

#### 4.3.1 Momentni okvir

- **Potresna sila**

$$q = 4$$

$$F_b = S_d(T) * m * \lambda$$

$$S_d(T) = 0,095$$

$$F_b = 1997,6 \text{ kN} \quad \dots \text{ celotna potresna sila v smeri x}$$

- **Kontrola vpliva teorije drugega reda**

$$\vartheta^i = \frac{P_{tot,i} * d_{r,i}}{V_{tot,i} * h_i}$$

$$k_\delta = \frac{1}{1 - \vartheta}$$



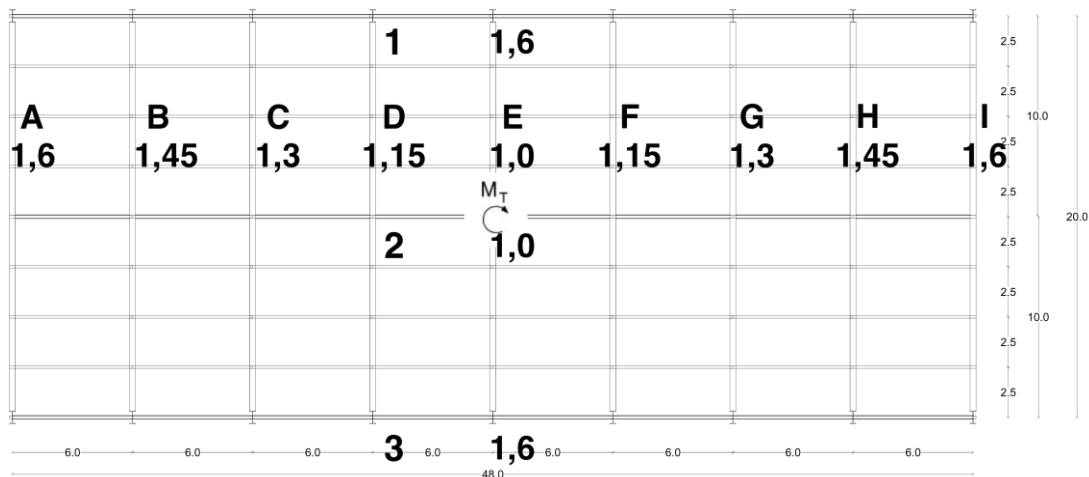
Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

Ker je  $\vartheta_{max} = 0,10 > 0,1$ , moramo upoštevati vpliv teorije drugega reda. To smo naredili s faktorjem  $k_{\delta}$ , s katerim povečamo potresno obtežbo na konstrukcijo.

- **Vpliv naključne torzije upoštevamo s faktorjem  $\delta$**

Ob uporabi ravninskega modela je potrebno upoštevati tudi vpliv slučajne ekscentričnosti. Izbrali smo poenostavljen način upoštevavanja torzije po spodnji enačbi. S faktorjem  $\delta$  množimo potresne vplive v posameznih makroelementih, glede na oddaljenost od težišča mas. Izkaže se, da je najbolj neugodna lega drugega in predzadnjega okvirja (B in H) in sicer potresne sile povečamo za 45%.



Slika 8: Vpliv naključne torzije

$$\delta = 1 + 1,2 * \frac{x_1}{L_e}$$

$$\delta = 1,45$$

- **Potresne sile na posamezen okvir**

$$F_i = F_b * \frac{z_i * F_{M_i}}{\sum_j z_j * F_{M_j}}$$

$$F_i = \delta_{B,H} * F_i$$

Preglednica 5: Potresne sile v smeri x

Potresna sila v smeri x		
Etaža	Sila [kN]	Višina etaže [m]
3	944,20	3,5
2	1097,94	3,5
1	854,36	5

Preglednica 6: Potresne sile na posamezen okvir

Potresne sile na posamezen okvir - Momentni okvir								
Etaža	Ptot [kN]	Vtot [kN]	de, avg [mm]	dr [mm]	$\vartheta_i$	Abs. pomik [cm]	k $\delta$	Potr. sile[kN]
3	4961,66	944,20	16,13	64,53	0,1	4,97	1,11	116,17
2	8711,13	2042,14	11,17	44,67	0,05	5,73	1,00	122
1	11575,66	2896,50	5,43	21,73	0,02	5,43	1,00	94,93

#### 4.3.2 Vzdolžni okvir

- Potresna sila

$$q = 6$$

$$F_b = S_d(T) * m * \lambda$$

$$S_d(T) = 0,080$$

$$F_b = 1690,3kN \dots \text{celotna potresna sila v smeri y}$$

Preglednica 7: Potresne sile v smeri y

Potresna sila v smeri y		
Etaža	Sila [kN]	Višina etaže [m]
3	881,59	3,5
2	1025,14	3,5
1	797,70	5

Preglednica 8: Kontrola vpliva teorije drugega reda - ekscentrično povezje

Kontrola vpliva TDR - ekscentrično povezje								
Etaža	Ptot [kN]	Vtot [kN]	de, avg [mm]	dr [mm]	$\vartheta_i$	Abs. pomik [cm]	k $\delta$	Potr. sile [kN]
3	4961,66	855,62	16,43	98,6	0,16	3,99	1,20	340,89
2	8711,13	1919,69	12,44	74,67	0,10	4,88	1,11	392,70
1	11575,66	2751,43	7,57	45,40	0,04	7,57	1,00	277,25

Pri vzdolžnem okvirju s ekscentričnimi povezji moramo upoštevati teorijo drugega reda. V vzdolžni smeri imamo samo 3 okvirje in moramo potresne sile zaradi naključne torzije za robna okvirja povečati za 60%.

## 5 OBTEŽNE KOMBINACIJE

### 5.1 Mejno stanje nosilnosti (MSN)

V mejnem stanju nosilnosti vplive kombiniramo tako, da dobimo najbolj neugodne obremenitve v posameznih elementih konstrukcije. Preverjamo odpornost elementov konstrukcije v odvisnosti od obremenitev (upogibni moment, prečna in osna sila ter interakcija naštetih vplivov). [8]

#### 5.1.1 Kombinacija vplivov za stalna in začasna projektna stanja

Kombinacije vplivov:  $\Sigma \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \gamma_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

#### Obtežne kombinacije v smeri prečnega okvirja

- 1)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{\text{vsa polja}} + 1,5 \cdot (0,5 \cdot S + 0,6 \cdot W^+)$
- 2)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{\text{levo in desno}} + 1,5 \cdot (0,5 \cdot S + 0,6 \cdot W^+)$
- 3)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{\text{levo in srednje}} + 1,5 \cdot (0,5 \cdot S + 0,6 \cdot W^+)$
- 4)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{\text{šahovnica}} + 1,5 \cdot (0,5 \cdot S + 0,6 \cdot W^+)$
- 5)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot (1,0 \cdot Q_{\text{vsa polja}} + 0,6 \cdot W^+)$
- 6)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot (1,0 \cdot Q_{\text{levo in desno}} + 0,6 \cdot W^+)$
- 7)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot (1,0 \cdot Q_{\text{levo in srednje}} + 0,6 \cdot W^+)$
- 8)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot S + 1,5 \cdot (1,0 \cdot Q_{\text{šahovnica}} + 0,6 \cdot W^+)$
- 9)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W^+ + 1,5 \cdot (1,0 \cdot Q_{\text{vsa polja}} + 0,5 \cdot S)$
- 10)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W^+ + 1,5 \cdot (1,0 \cdot Q_{\text{levo in desno}} + 0,5 \cdot S)$
- 11)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W^+ + 1,5 \cdot (1,0 \cdot Q_{\text{levo in srednje}} + 0,5 \cdot S)$
- 12)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W^+ + 1,5 \cdot (1,0 \cdot Q_{\text{šahovnica}} + 0,5 \cdot S)$

#### Obtežne kombinacije v smeri vzdolžnega okvirja

- 13.)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W^+ + 1,5 \cdot (1,0 \cdot Q_{\text{vsa polja}} + 0,5 \cdot S)$
- 14.)  $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot W^+$

#### 5.1.2 Kombinacije vplivov za potresno projektno stanje

Kombinacije vplivov:  $\Sigma G_{k,j} + A_{e,d} + \Sigma \Psi_{2,1} \cdot Q_{k,i}$

#### Obtežne kombinacije v smeri prečnega okvirja

$G + 0,8 \cdot Q_{\text{vsa polja}} + E_x + 0,3 \cdot E_y$

#### Obtežne kombinacije v smeri vzdolžnega okvirja

$G + 0,8 \cdot Q_{\text{vsa polja}} + E_y + 0,3 \cdot E_x$

### 5.2 Kombinacije vplivov za mejno stanje uporabnost (MSU)

Kombinacije vplivov:  $\Sigma G_{k,j} + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$   
(upoštevamo pogosto obtežno kombinacijo)

#### Obtežne kombinacije v smeri pomičnega okvirja:

- 1)  $1,0 \cdot G + 0,9 \cdot Q_{\text{vsa polja}}$
- 2)  $1,0 \cdot G + 0,9 \cdot Q_{\text{levo in desno}}$

- 3)  $1,0 * G + 0,9 * Q_{levo\ in\ srednje}$
- 4)  $1,0 * G + 0,2 * W^+ + 0,8 * Q_{vsa\ polja}$
- 5)  $1,0 * G + 0,2 * W^+ + 0,8 * Q_{levo\ in\ desno}$
- 6)  $1,0 * G + 0,2 * W^+ + 0,8 * Q_{levo\ in\ srednje}$

**Obtežne kombinacije v smeri nepomičnega okvirja:**

- 1)  $1,0 * G + 0,9 * Q_{vsa\ polja}$
- 2)  $1,0 * G + 0,2 * W^+ + 0,8 * Q_{vsa\ polja}$

## 6 RAČUNSKI MODEL NOSILNIH KONSTRUKCIJ IN PODKONSTRUKCIJ

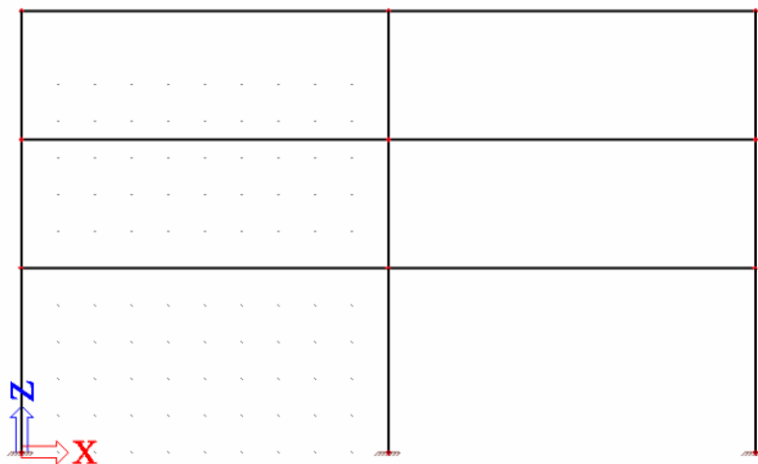
Nosilno konstrukcijo stavbe predstavlja 9 momentnih okvirjev z razponom 10 m na medsebojni razdalji 6 m. Horizontalna nosilnost v vzdolžni smeri je zagotovljena s tremi okvirji z ekscentričnim povezjem.

V podporah so preprečeni vsi pomiki. V smereh pomičnega okvirja so prečke vpete v stebre. V smeri nepomičnega okvirja z ekscentričnimi povezji pa so nosilci členkasto pritrjeni na prečke, v priključku steber-temelj pa je omogočen zasuk.

Konstrukcijo smo analizirali s pomočjo dveh ravninskih modelov. Z momentnim okvirjem v osi B oziroma H ter z okvirjem z ekscentričnim povezjem v osi 2. [7]

### 6.1 Računski model prečnega okvirja

Spodaj je prikazan model prečnega okvirja (Slika 9).



Slika 9: Model prečnega okvirja

#### 6.1.1 Začetne globalne nepopolnosti

$$\varphi = \varphi_0 * \alpha_h * \alpha_m$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{200} = 0,005$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = 0,57$$

Ker je  $0,67 \leq \alpha_h \leq 1,00$ , upoštevamo  $\alpha_h = 0,67$ .

$$m = 3$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0,82$$

$$\varphi_x = \varphi_0 * \alpha_h * \alpha_m = 2,4 \text{ mm/m}$$

## 6.2 Računski model okvirja z ekscentričnim povezjem

Spodaj (Slika 10) je prikazan model vzdolžnega okvirja.



Slika 10: Model vzdolžnega okvirja

### 6.2.1 Začetne globalne nepopolnosti

$$\varphi = \varphi_0 * \alpha_h * \alpha_m$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{200} = 0,005$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = 0,57$$

Ker je  $0,67 \leq \alpha_h \leq 1,00$ , upoštevamo  $\alpha_h = 0,67$ .

$$m = 9$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * (1 + \frac{1}{m})} = 0,74$$

$$\varphi_x = \varphi_0 * \alpha_h * \alpha_m = 2,1 \text{ mm/m}$$

## 7 DIMENZIONIRANJE

Zaradi velike koristne obtežbe in posledično velikih potresnih sil (velikih mas), se izkaže, da je za dimenzioniranje vseh konstrukcijskih elementov, z izjemo sekundarnih nosilcev merodajna potresna obtežba.

Projektiramo konstrukcijo s sposobnostjo sipanja energije po t.i. metodi načrtovanja nosilnosti.

Določiti je bilo potrebno območja sipanja energije ter zagotoviti lokalno in globalno duktilnost. Pogoj zagotavljanja globalne duktilnosti je  $\Sigma M_{pl,Rd}^S \geq 1,3 * \Sigma M_{pl,Rd}^P$ .

Ostale dele konstrukcije, ki ostanejo v elastičnem stanju, smo dimenzionirali ob upoštevanju povečanih obremenitev, ki se prenašajo iz plastificiranih elementov na ostale dele konstrukcije. Območja sipanja energije so v momentnem okvirju predvidena v prečkah, ob prehodu iz vute na prečko. Tam smo predvideli t.i. 'dogbone' oslabitev in s tem vsilili mesto nastanka plastičnega členka. Vute in stebre varujemo, saj se tam plastični členki ne smejo pojaviti, ker bi to lahko vodilo v neduktilno porušitev. V smeri ekscentričnih povezij pa energijo sipamo v povezjih oziroma v t.i. 'seizmičnih členih'. Odločili smo se za srednje dolge člene, ki sipajo energijo tako v upogibu, kot v strigu.

Elemente, ki sipajo energijo projektirano z nominalno vrednostjo tečenja  $f_y$ . Pri dimenzioniranju elementov, ki jih varujemo in želimo, da ostanejo v elastičnem stanju, pa moramo oceniti najvišjo dejansko napetost tečenja  $f_{y,max}$ , ki je višja od nazivne ter ustrezno upoštevati utrjevanje materiala. V ta namen vpeljemo faktor dodatne nosilnosti  $\gamma_{OV}$  in faktor utrjevanja, ki je enak 1,1.

$$f_{y,max} = 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot f_y$$

Za varovane elemente moramo pri določitvi notranjih sil upoštevati tudi faktor dodatne nosilnosti  $\Omega$ , ki predstavlja stopnjo dodatne nosilnosti duktilnega elementa.  $\Omega$  je obratna vrednost izkoriščenosti prereza, ki sipa energijo.

Z upoštevanjem zgornjih navedb, notranje sile v varovanih elementih izračunamo po enačbah:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$$

$N_{Ed,G}$ ,  $V_{Ed,G}$ ,  $M_{Ed,G}$  – notranje sile v varovanem elementu zaradi gravitacijskih vplivov pri potresni obtežni kombinaciji

$N_{Ed,E}$ ,  $V_{Ed,E}$ ,  $M_{Ed,E}$  – notranje sile v varovanem elementu zaradi seizmičnih vplivov pri potresni obtežni kombinaciji

### Faktor dodatne nosilnosti

- **Pomični okvir**

$$\Omega_{prečka} = \min\left(\frac{M_{pl,Ref,i}}{M_{Ed,i}}\right)$$

- **Okvir z ekscentričnim povezjem:**

$$\Omega_{povezje} = \min\left(\frac{1,5 \cdot M_{pl,Ref,i}}{M_{Ed,i}}\right) \dots \text{velja za dolge in v našem primeru, srednje dolge člene}$$

$M_{pl,Ref,i}$  ... projektne vrednosti plastične nosilnosti elementa »i« (prečkam diagonala, seizmični člen)

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

## 7.1 Sekundarni nosilec

Uporabili smo sekundarni nosilec IPE 240, kvalitete S275 J0, ki je na obeh koncih členkasto vpet v nosilno konstrukcijo. Uporabljen je beton kvalitete C25/30 ter jeklo za armiranje S500. Sekundarni nosilci so postavljeni na razponu 2,5 m. [9]

### 7.1.1 Geometrijske karakteristike

- Nosilec

$$L = 6m$$

$$L_e = 0,85 * L = 5,1m$$

$$b_e = \frac{L_e}{8} = 0,64m$$

$$b_{eff} = 2 * b_e = 1,28m$$

- Sovprežna plošča

C 25/30

$$h_c = 12cm$$

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

Preglednica 9: Obtežba na sekundarni nosilec

Obtežba na sek. nosilec		
Stalna		
Predelne stene	2,00	kN/m
Finalna obdelava	0,63	kN/m
Estrih	3,00	kN/m
TI	0,13	kN/m
Sovprežna plošča	6,03	kN/m
Sek. Nosilec	0,33	kN/m
Instalacije	0,75	kN/m
Spuščen strop	0,25	kN/m
Koristna		
q	15	kN/m

### 7.1.2 Obremenitev

$$M_{Ed,g} = \frac{g * L^2}{8}$$

$$M_{Ed,q} = \frac{q * L^2}{8}$$



Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

---

$$M_{Ed,proj} = 1,35 * M_{Ed,g} + 1,5 * M_{Ed,q}$$

$$M_{Ed,proj} = 180,96 \text{ kNm}$$

Upoštevali smo, da je vplivna širina za posamezen sekundarni nosilec enaka 2,5 m.

### 7.1.3 Odpornost

$$x_{pl} = \frac{A * f_y}{b_{eff} * (0,85 * \frac{f_{ck}}{1,5})}$$

$$x_{pl} = 9,53 \text{ cm}$$

$$r = \frac{h}{2} + h_c - \frac{x_{pl}}{2}$$

$$r = 23,74 \text{ cm}$$

$$M_{pl,Rd} = A * f_y * r$$

$$M_{pl,Rd} = 408,7 \text{ kNm}$$

### 7.1.4 Kontrola nosilnosti

$$M_{Ed,proj} \leq M_{pl,Rd}$$

$$180,96 \text{ kNm} \leq 408,7 \text{ kNm}$$

Izkoriščenost prereza znaša 44%, vendar za potrebe sovprežnega sistema TRIMO HI - BOND, potrebujemo ležišče za trapezno pločevino širine vsaj 11 cm. Kontrola bočne zvrnitve zaradi polne sovprežnosti nosilca ni potrebna. Potrebno pa je bočno podpiranje v fazi gradnje, ko čepi še niso aktivirani z začasno zavarovalno konstrukcijo.

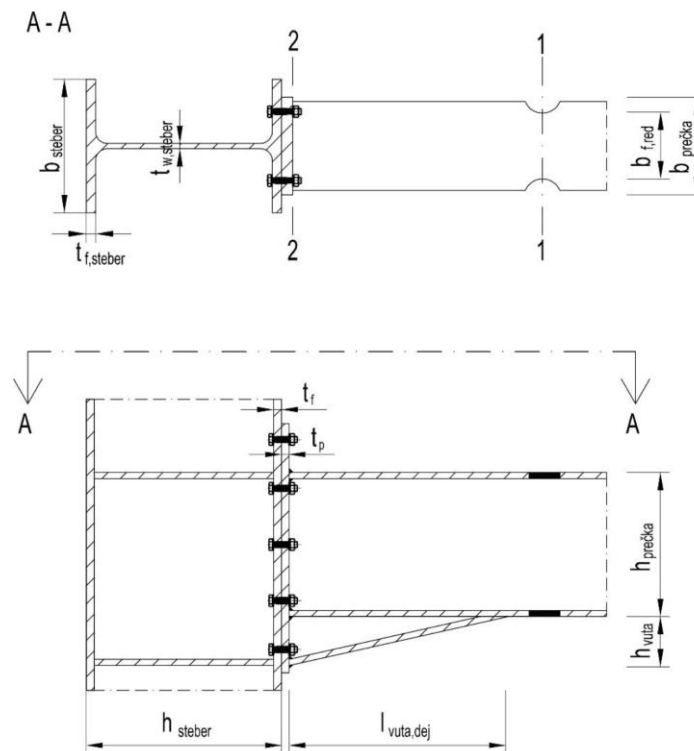
## 7.2 Prečka

V območju prečke so najbolj kritični negativni momenti ob vpetju, ki so bistveno večji od momentov v polju. Uporabili smo ojačitve prereza z vuto, ki omogočajo uporabo manjših nosilcev. Ob stiku prečke z vuto pa je predvidena t.i. 'dogbone' oslabitev pasnic, s katero vsilimo mesto nastanka plastičnega členka in s katero lahko optimiziramo izkoriščenost prereza, da imamo kar se da majhen  $\Omega_{prečka}$  in nam ni treba pretirano povečevati varovalnih elementov. Vute in stebri so varovani, saj tam ne želimo pojava plastičnih členkov, ker bi to lahko sledilo v neduktilno porušitev konstrukcije.

$$f_{y,max} = 1,1 * \gamma_{OV} * f_y$$

$$\gamma_{OV} = 1,25 \text{ ...privzeli smo konzervativen način in izbrali faktor po standardih EC 1998}$$

Za prečko v prvi etaži se izkaže kot prvi primeren profil **HEA 450**, kvalitete S275 J0.



Slika 11: Skica stika prečke, stebra in vute (Gačnik, 2014)

### 7.2.1 Prerez 1-1

V okviru načrtovanja nosilnosti smo izbrali območja sipanja energije in jih predvideli z oslabitvami pasnic v prečkah. Reducirali smo širino pasnic, ki je merodajna za izračun karakteristik tega prereza, saj je cilj kar se da izkoristiti nosilnost prerezov.

#### Obremenitev

$$M_{Ed}^{1-1} = 383,99 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^{1-1} = V_{Ed,G}^{1-1} + \left( \frac{2 \cdot M_{pl,Rd}^{1-1} \cdot 1,1 \cdot \gamma_{OV}}{L} \right)$$

$$V_{Ed}^{1-1} = 247,07 \text{ kN} + \frac{2 \cdot 409,74 \text{ kNm} \cdot 1,1 \cdot 1,25}{7,6 \text{ m}} = 395,32 \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd}^{1-1}$  ... plastični odpornostni moment oslabiljenega prereza v ravnini 1-1, upoštevajoč reducirano širino pasnice  $b_{f,red}$

L ... razpon primarnega nosilca med obema vutama

#### Nosilnost oslabiljenega prereza

$g = 7,5 \text{ cm}$  ... enostranska oslabitev pasnice

$$b_{f,red} = 15 \text{ cm}$$

$$W_{pl,y}^{1-1} = 2 \cdot b_{f,red} \cdot t_f \cdot \left( \frac{c}{2} + \frac{t_f}{2} \right) + 2 \cdot \frac{c}{2} \cdot t_w \cdot \frac{c}{4} = 1489,97 \text{ cm}^3$$

$$V_{pl,Rd}^{1-1} = t_w \cdot h_{prečka} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$V_{pl,Rd}^{1-1} = 1,15 \text{ cm} \cdot 41,9 \text{ cm} \cdot \frac{27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3}} = 765,04 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd}^{1-1} = W_{pl,y}^{1-1} \cdot f_y$$

Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

$$M_{pl,Rd}^{1-1} = 1489,97 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 409,18 \text{ kNm}$$

### Kontrola strižne nosilnosti

$$V_{Ed}^{1-1} \leq V_{pl,Rd}^{1-1}$$

$$395,33 \text{ kN} \leq 765,04 \text{ kNm}$$

### Kontrola upogibne nosilnosti

$$M_{Ed}^{1-1} \leq M_{pl,Rd}^{1-1}$$

$$383,99 \text{ kN} \leq 409,74 \text{ kNm}$$

### Kontrola M-V interakcije

$$V_{Ed}^{1-1} \leq 0,5 * V_{pl,Rd}^{1-1}$$

$$395,33 \text{ kN} \leq 765,04 \text{ kNm}$$

$$\frac{V_{Ed}^{1-1}}{V_{pl,Rd}^{1-1}} = 0,52$$

Kontrola M-V interakcije se sicer ne izide, kar vpliva na rotacijsko kapaciteto, ki pa v diplomski nalogi ne bo podrobneje obravnavana.

Nosilnost stojine se zaradi presežene M-V interakcije zmanjša, vendar je razlika zanemarljivo majhna.

## 7.2.2 Prerez 2-2

OPOMBA: ker so prečke v konstrukciji ojačane z vutami, so pričakovana območja disipacije potresne energije v prehodih iz vute v osnovni nosilec. Ker so območja disipacije potresne energije oddaljena od težišča stebrov za razdaljo  $L_{vute}$ , je potrebno upoštevati delovanje dodatnega momenta na steber.

$$M_{vute} = V_{Ed,M} * L_{vute}$$

### Obremenitev

$$M_{Ed,G}^{2-2} = 573,74 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,E}^{2-2} = M_{Ed,G}^{2-2} + V_{Ed,M}^{1-1} \cdot l_{dej}$$

$$M_{Ed,E}^{2-2} = 207,18 \text{ kNm} + 107,83 \text{ kN} \cdot 1,20 \text{ m} = 336,58 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,proj}^{2-2} = M_{Ed,G}^{2-2} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{prečka} \cdot M_{Ed,E}^{2-2}$$

$$M_{Ed,proj}^{2-2} = 573,74 \text{ kNm} + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,04 \cdot 336,58 \text{ kNm} = 1067,56 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,G}^{2-2} = 323,63 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,E}^{2-2} = V_{Ed,E}^{1-1} + V_{Ed,M}^{1-1}$$

$$V_{Ed,E}^{2-2} = 42,98 \text{ kN} + 107,83 \text{ kN} = 150,06 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,proj}^{2-2} = V_{Ed,G}^{2-2} + 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \Omega_{prečka} \cdot V_{Ed,E}^{1-1}$$

$$V_{Ed,proj}^{2-2} = 323,63 \text{ kN} + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,04 \cdot 150,06 \text{ kN} = 544,89 \text{ kN}$$

### Nosilnost prečke in vute

$$A = 285,72 \text{ cm}^2$$

$$h = 18 \text{ cm}$$

$$l = 120 \text{ cm}$$

$W_{pl,Rd}^{2-2}$ ... plastični odpornostni moment, izračunan s programom SCIA Engineer 2013

$$M_{pl,Rd}^{2-2} = W_{pl}^{2-2} \cdot f_y$$

$$M_{pl,Rd}^{2-2} = 4822,03 \text{ cm} \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1326,06 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd}^{2-2} = (h_{prečka} + h_{vuta}) \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$V_{pl,Rd}^{2-2} = (44 \text{ cm} + 18 \text{ cm}) \cdot 1,15 \text{ cm} \cdot \frac{27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3}} = 1132,04 \text{ kN}$$

### Kontrola strižne nosilnosti

$$V_{Ed,proj}^{2-2} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}^{2-2}$$

$$544,89 < 566,02 \text{ kN}$$

### Kontrola upogibne nosilnosti

$$M_{Ed,proj}^{2-2} < M_{pl,Rd}^{2-2}$$

$$1067,56 \text{ kNm} < 1326,06 \text{ kNm}$$

Kontrola bočne zvrnitve ni potrebna, saj sekundarni nosilci predstavljajo bočno podporo primarnim nosilcem.

Sledijo še rezultati za preostala dva nosilca

Preglednica 10: Dimenzioniranje prečke v momentnem okvirju

1. etaža					
Profil	HEA 450			S275 J0	
g	7,5	cm	$I_{vute}$	1,2	m
$b_{f,red}$	15	cm	$h_{vute}$	18	cm
$\Omega$	1,04		$A_{tot}$	258,72	cm <sup>2</sup>
Prerez 1-1			Prerez 2-2		
Odpornost prereza					
$W_{pl,y}$	1489,97	cm <sup>3</sup>	$W_{pl,y}$	4822,03	cm <sup>3</sup>
$V_{pl,Rd}$	765,04	kN	$V_{pl,Rd}$	1108,22	kN
$M_{pl,Rd}$	409,74	kNm	$M_{pl,Rd}$	1326,05	kNm
Obremenitev - potresno stanje					
$V_{ed}$	395,33	kN	$V_{ed}$	544,89	kN
$M_{ed}$	383,99	kNm	$M_{ed}$	1067,56	kNm
2. etaža					
Profil	HEA 400			S275 J0	

se nadaljuje...

Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

...nadaljevanje preglednice 10

g	9	cm	$l_{vute}$	1,2	m
$b_{f,red}$	12	cm	$h_{vute}$	16	cm
$\Omega$	1,11		$A_{tot}$	233,24	cm <sup>2</sup>
<b>Prerez 1-1</b>			<b>Prerez 2-2</b>		
<b>Odpornost prereza</b>					
$W_{pl,y}$	1144,58	cm <sup>3</sup>	$W_{pl,y}$	3946,75	cm <sup>3</sup>
$V_{pl,Rd}$	647,95	kN	$V_{pl,Rd}$	960,57	kN
$M_{pl,Rd}$	314,76	kNm	$M_{pl,Rd}$	1085,36	kNm
<b>Obremenitev - potresno stanje</b>					
$V_{ed}$	300,9	kN	$V_{ed}$	457,11	kN
$M_{ed}$	291,38	kNm	$M_{ed}$	842,07	kNm

<b>3.etaža</b>					
Profil	HEA 320			S275 J0	
g	7	cm	$l_{vute}$	1,2	m
$b_{f,red}$	16	cm	$h_{vute}$	16	cm
$\Omega$	1,37		$A_{tot}$	185,87	cm <sup>2</sup>
<b>Prerez 1-1</b>			<b>Prerez 2-2</b>		
<b>Odpornost prereza</b>					
$W_{pl,y}$	792,61	cm <sup>3</sup>	$W_{pl,y}$	2652,72	cm <sup>3</sup>
$V_{pl,Rd}$	420,82	kN	$V_{pl,Rd}$	658,9	kN
$M_{pl,Rd}$	217,97	kNm	$M_{pl,Rd}$	729,8	kNm
<b>Obremenitev - potresno stanje</b>					
$V_{ed}$	204,45	kN	$V_{ed}$	340,4	kN
$M_{ed}$	166,01	kNm	$M_{ed}$	537,09	kNm

### 7.3 Ekscentrično povezje

V okvirjih z ekscentričnimi povezji energijo disipirajo t.i. seizmični členi. V diplomski nalogi smo se odločili za srednje dolge, ki disipirajo tako v upogibu kot v strigu. Pri dimenzioniranju je potrebno upoštevati še kriterij za zagotavljanje globalne duktilnosti konstrukcije. Največji faktor dodatne nosilnosti se ne sme razlikovati za več kot 25% od najmanjšega.

$$\frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}} \leq 1,25$$

Seizmični člen sem projektiral po spodnjih enačbah:

$$M_{p,link} = f_y \cdot b \cdot t_f \cdot (d - t_f)$$

$$V_{p,link} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot t_w \cdot (d - t_f)$$

Za seizmični člen v prvi etaži se izkaže kot ustrezen profil **IPE 450**, kvalitete S275 J0

$$\frac{N_{Ed}}{N_{p,Rd}} = 0,07 \leq 0,15$$

$$M_{Ed} \leq M_{p,link}$$

$$280,74kNm \leq 285,46kNm$$

$$V_{Ed} \leq V_{p,link}$$

$$533,88kN \leq 558,58kN$$

$$e < e_s = \frac{1,6 \cdot M_{p,link}}{M_{p,link}} = 81,4cm$$

$$e > e_l = \frac{3 \cdot M_{p,link}}{M_{p,link}} = 153,3cm$$

V 1. etaži smo izbrali člen dolžine 1,05 m, ki po zgornjih dveh kriterijih pade v kategorijo za srednje dolge člene.

#### Kriterij zasuka za srednje dolge člene

$$0,02rad \leq \theta_p \leq 0,08rad$$

#### Ojačitev stojine

$h = 36cm$  ...višina ojačitve (po celotni stojini)

$t_{ojač.} = 1cm$  ... debelina pločevine

$d_{ojač.} = 35cm$  ... Stojina je ojačana na začetku in koncu seizmičnega člena, ter predvidena je še ojačitev stojine na oddaljenosti 35 cm od robnih ojačitev. Skupno so izvedene 4 ojačitve stojine.

Preglednica 11: Dimenzioniranje strižnih členov v 1. etaži

1. etaža		
Profil:	IPE 450	S 275 J0
<b>Obremenitev:</b>		
$M_{Ed,avg}$	280,74	kNm
$V_{Ed}$	533,88	kN
$N_{Ed}$	188,81	kN
<b>Odpornost člena:</b>		
$M_{p,link}$	285,5	kNm
$V_{p,link}$	558,5	kN

Se nadaljuje...

Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.  
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

...nadaljevanje preglednice 11

$d_{link}$	105	cm
$\Theta$	0,057	rad
$\Omega$	1,65	
$e_s$	81,8	cm
$e_l$	153,34	cm
$b_{ojač}$	19	cm
$t_{ojač}$	1	cm
$d_{ojač}$	35	cm
št. ojač	5	

Preglednica 12: Dimenzioniranje strižnih členov v 2. etaži

<b>2.etaža</b>		
Profil:	IPE 330	S 275 J0
<b>Obremenitev:</b>		
$M_{ed,avg}$	121,33	kNm
$V_{ed}$	267,55	kN
$N_{ed}$	270,1	kN
<b>Odpornost člena:</b>		
$M_{p,link}$	131,31	kNm
$V_{p,link}$	309	kN
$d_{link}$	90	cm
$\Theta$	0,08	rad
$\Omega$	1,75	
$e_s$	68	cm
$e_l$	127,5	cm
$b_{ojač}$	16	cm
$t_{ojač}$	1	cm
$d_{ojač}$	30	cm
št. ojač	4	

Preglednica 13: Dimenzioniranje strižnih členov v 3. etaži

3. etaža		
Profil:	IPE 240	S 275 J0
Obremenitev:		
$M_{ed,avg}$	48,15	kNm
$V_{ed}$	118,17	kN
$N_{ed}$	258,77	kN
Odpornost člena:		
$M_{p,link}$	58,4	kNm
$V_{p,link}$	117,8	kN
$d_{link}$	80	cm
$\Theta$	0,073	rad
$\Omega$	1,93	
$e_s$	52,56	cm
$e_l$	98,56	cm
$b_{ojač}$	10,8	cm
$t_{ojač}$	1	cm
$d_{ojač}$	20	cm
št. ojač	5	

### Diagonale

Za prenašanje osnih sil v povezju smo izbrali škatlaste profile SHS. Diagonale se v ekscentričnem povezju ne smejo ukloniti.

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 * \gamma_{ov} * N_{Ed,E}$$

Preglednica 14: Dimenzioniranje diagonal v povezju

1. etaža									
Profil	$N_{ed}$ [kN]	A	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$\Omega$	i [cm]	$l_u$ [cm]	$h_i$	$\Omega / \Omega_{min}$	n
SHS 200/12,5	-1553,4	72,57	1816,6	1,65	7,47	557,9	0,76	1,0	0,86
2. etaža									
Profil	$N_{ed}$ [kN]	A	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$\Omega$	i [cm]	$l_u$ [cm]	$h_i$	$\Omega / \Omega_{min}$	n
SHS 140/10	-872,1	48,57	1335,7	1,75	5,2	430,1	0,7	1,06	0,94
3. etaža									
Profil	$N_{ed}$ [kN]	A	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$\Omega$	i [cm]	$l_u$ [cm]	$h_i$	$\Omega / \Omega_{min}$	n
SHS 120/7,1	-429,1	30,33	498,8	1,93	4,53	430,1	0,60	1,17	0,86



## 7.4 Stebri

Vodilo za izbiro osnovnega stebra je bilo: 'šibke prečke, močni stebri'. Prvi prerez, ki ustreza izbranemu kriteriju je **HEB 650**. Preverili smo kritični prerez stebra ob vpetju. [10]

### 7.4.1 Obremenitev

$$\Sigma M_{pl,Rd}^S \geq 1,3 * \Sigma M_{pl,Rd}^P$$

$$\begin{aligned} \gamma_{OV} &= 1,25 && \dots \text{faktor dodatne nosilnosti} \\ \Omega_{prečka} &= 1,07 && \dots \text{faktor izkoriščenosti prečke} \\ \Omega_{povezje} &= 1,65 && \dots \text{faktor izkoriščenosti povezja} \end{aligned}$$

**Vodilen je potres v smeri prečnega okvirja (smer x)**

#### Osne sile

- Obtežna kombinacija:  $G + 0,8 * Q + E_x + 0,3 * E_y$

$$N_{Ed,x,proj} = 1,0 * N_{Ed,G} + 0,8 * N_{Ed,Q} + 1,0 * (1,1 * \gamma_{OV} * \Omega_{prečka} * N_{Ed,Ex} + 0,3 * 1,1 * \gamma_{OV} * \Omega_{povezje} * N_{Ed,Ey})$$

#### Prečne sile

- Obtežna kombinacija:  $G + 0,8 * Q + E_x$

$$V_{Ed,z,proj} = 1,0 * V_{Ed,G} + 0,8 * V_{Ed,Q} + 1,0 * (1,1 * \gamma_{OV} * \Omega_{prečka} * V_{Ed,Ex})$$

#### Momenti:

- Obtežna kombinacija:  $G + 0,8 * Q + E_x$

$$M_{Ed,y,proj} = 1,0 * M_{Ed,G} + 0,8 * M_{Ed,Q} + 1,0 * (1,1 * \gamma_{OV} * \Omega_{prečka} * M_{Ed,Ex})$$

**Vodilen je potres v smeri vzdolžnega okvirja (smer y)**

#### Osne sile:

- Obtežna kombinacija:  $G + 0,8 * Q + E_y + 0,3 * E_x$

$$N_{Ed,x,proj} = 1,0 * N_{Ed,G} + 0,8 * N_{Ed,Q} + 1,0 * (1,1 * \gamma_{OV} * \Omega_{povezje} * N_{Ed,Ey} + 0,3 * 1,1 * \gamma_{OV} * \Omega_{prečka} * N_{Ed,Ex})$$

#### Prečne sile:

- Obtežna kombinacija:  $G + 0,8 * Q + 0,3 * E_x$

$$V_{Ed,z,proj} = 1,0 * V_{Ed,G} + 0,8 * V_{Ed,Q} + 0,3 * (1,1 * \gamma_{OV} * \Omega_{prečka} * V_{Ed,Ex})$$

#### Momenti:

- Obtežna kombinacija:  $G + 0,8 * Q + 0,3 * E_x$

$$M_{Ed,y,proj} = 1,0 * M_{Ed,G} + 0,8 * M_{Ed,Q} + 0,3 * (1,1 * \gamma_{OV} * \Omega_{prečka} * M_{Ed,Ex})$$

### Projektne obremenitve stebrov

Obtežna kombinacija:  $G + 0,8 * Q + E_x + 0,3 * E_y$

$$N_{Ed,proj} = -1360,06kN$$

$$V_{Ed,proj} = 139kN$$

$$M_{Ed,proj} = -1972,9kN$$

$$N_{Ed,1-1} = 1360,06kN \leq 0,25 * N_{pl,Rd} = 1856,3kN$$

$$a = \frac{A - 2 * b * t_f}{A} = 0,33$$

$$M_{N,y,Rd} = \frac{(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}})}{1 - 0,5 * a * M_{pl,Rd}} = 1972,9kN$$

Upoštevali smo plastifikacijo v prečkah pri potresni obtežni kombinaciji, ki nam poveča momente v stebri. Ob vpetju stebrov, v temelju se pri momentnem okvirju ne moremo izogniti pojavu plastičnega členka, zato smo tam pri dimenzioniranju upoštevali polnoplastični moment. Potresno analizo opravimo z reduciranimi potresnimi silami, zaradi dejanskih pa se ne moremo izogniti pojavu plastičnih členkov.

#### 7.4.2 Nosilnost:

$$N_{pl,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{pl,Rd} = 270cm^2 * \frac{27,5 \frac{kN}{cm^2}}{1} = 7425kN$$

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

$$M_{pl,Rd,y} = 7320cm^3 * \frac{27,5 \frac{kN}{cm^2}}{1} = 2013kNm$$

#### Kontrola strižne nosilnosti

$$V_{Ed,proj}^{1-1} < 0,5 * V_{pl,Rd}^{1-1}$$

$$135,5kN < 1329kN$$

#### Kontrola upogibne nosilnosti

$$M_{Ed,proj}^{1-1} < M_{pl,Rd}^{1-1}$$

$$1972,9kNm < 2013kNm$$

$$0,98 \leq 1$$

#### 7.4.3 Stabilnost

Uklonske dolžine  $l_{uy}$ ,  $l_{uz}$  ter  $l_{uL,T}$  so višine nadstropja. Obravnavamo steber ob vpetju, tako da uklonska dolžina enaka višini etaže 5 m.

Koeficient  $C_1 = 2,05$ , ki zajema vpliv poteka upogibnih momentov določimo na podlagi faktorja  $\Psi = -0,25$ .

Ker so robni pogoji za vbočenje prečnega prereza težko določljivi, je najbolje vedno predpostaviti  $k_\omega = 1$ . Tudi pri določitvi uklonskega koeficienta upoštevamo konservativno vrednost  $k_z = 1$ . [10]

#### Stabilnost

$$i_y = 25,17cm$$

$$i_z = 7,08cm$$

$$l_{u,y} = 500cm$$

$$l_{u,z} = 500cm$$

$$\lambda_1 = 86,39$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_1 = 1,503$$

$$E = 21000 \frac{kN}{cm^2}$$

$$G = 8070 \frac{kN}{cm^2}$$

$$I_t = 667,2cm^4$$

$$I_z = 13530cm^4$$

$$I_w = 13363000cm^6$$

$$A = 270cm^2$$

Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

### Upogibni naklon

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0,92 = 86,39$$

$$\bar{\lambda}_l = \frac{l_u}{i_i * \lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,23$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,82$$

$$\chi_y = 1,00$$

$$\chi_z = 0,71$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = \chi_y * A * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$1360,06kN \leq 7375kN$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = \chi_z * A * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$1360,06kN \leq 5298kN$$

### Bočna zavrnitev

$$C_1 = 1,88 - 1,4 * \Psi + 0,52 * \Psi^2$$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi}{k_z * L} * \sqrt{E * I_z * G * I_t + \frac{\pi^2 * E * I_z * E * I_\omega}{(k_\omega * L)^2}}$$

$$M_{cr} = 17807823kNcm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{6425cm^3 * 27,5 \frac{kN}{cm^2}}{17807823kNcm}} = 0,34$$

$$\chi_{LT} = 0,95$$

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$1973kNm \leq 4141,1kNm$$

### Interakcija uklona in bočne zvrnitve

$$k_{yy} = 0,72$$

$$k_{zy} = 0,43$$

$$c_{my} = 0,718$$

V skladu s preglednicami (Pr. 3-28, Pr. 3-29, Pr. 3-30; [10]) določimo faktorje  $k_{yy}$ ,  $k_{zy}$ ,  $c_{my}$ ,  $c_{mLT}$ . Slednja določimo ob predpostavki bolj neugodnega poteka momentov od dejanskega, t.j.  $\Psi = 0$ .

Kontrola uklona okoli osi y + bočna zvrnitev

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} * e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} * e_{N,z} * N_{Ed}}{W_z * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$0,98 \leq 1$$

Kontrola uklona okoli osi z + bočna zvrnitev:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed} * e_{N,y} * N_{Ed}}{\chi_{LT} * W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed} * e_{N,z} * N_{Ed}}{W_z * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$
$$0,85 \leq 1$$

## 8 GLAVNI SPOJI

Projektiramo konstrukcijo s sposobnostjo sipanja energije. Območja sipanja energije smo določili v prečkah, na mestu oslabitev prečk. Spoji priključenih elementov morajo biti projektirani ali kot polno nosilni ali kot delno nosilni. V primeru slednjih je potrebno zagotavljati ustrezno rotacijsko kapaciteto. V primeru polno nosilnih spojev je le-te potrebno projektirati z upoštevanjem dodatne nosilnosti po spodnji enačbi.

$$R_d = 1,1 * \gamma_{OV} * R_{fy}$$

$\gamma_{OV}$  ...faktor dodatne nosilnosti

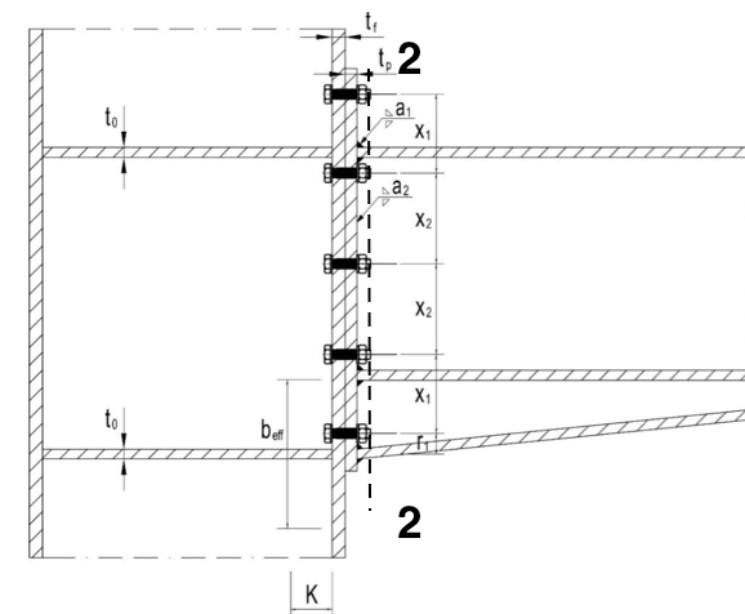
$R_d$  ... odpornost spoja

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

Odločili smo se uporabiti polno nosilne spoje, katerih prednost je, da ni potrebe po zagotavljanju duktilnosti spoja. Duktilnost zagotavljamo v priključenem elementu (prečki). Zaradi uporabe oslabitev pasnic v prečki smo nekoliko zmanjšali potrebno nosilnost spoja. Zavedati pa se moramo, da imajo polno nosilni spoji tudi slabe lastnosti in sicer, da je treba zagotoviti veliko nosilnost spoja z dodatnimi ojačitvami. Spoji izvedeni z vijaki, morajo biti prednapeti in pripravljene v eni od dveh najzahtevnejših kvalitet. Dovoljena je samo uporaba vijakov za prednapenjanje (širše glave in matice, drugačna geometrija kot pri navadnih vijakih) v kvalitetah 8.8 in 10.9. Pri strižno obremenjenih spojih mora biti projektna nosilnost vijakov večja od 1,2 kratne projektne nosilnosti na bočni pritisk.

### 8.1 Material in elementi

Steber;	<b>HEB 650, S275 J0</b>
Prečka;	<b>HEA 450, S275 J0</b>
Pločevina;	<b>S275 J0</b>
Vijaki;	<b>M27, 10.9</b>



Slika 12: Momentni spoj (Gačnik, 2014)

## 8.2 Obremenitve

Potresna obtežba v prečki povzroči linearen potek momentne linije. Na eni strani nanjo delujejo pozitivni momenti, na drugi pa negativni momenti. Spoje smo projektirali na najbolj kritično obremenitev, ki je seštevek negativnih momentov zaradi gravitacijske in potresne obtežbe. Obravnavamo steber v zunanem okvirju. Spoj dimenzioniramo kot polnonosilen, upoštevamo polnoplastično nosilnost prečke skozi oslabitev.

### Prerez 2-2:

$$N_{Ed} \approx 0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,g} = 323,63 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd}^{prečka}}{L} = 107,83 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,g} + V_{Ed,M} + (g_{Ed} + 0,8 \cdot q_{Ed}) \cdot L_{vute} = 544,89 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \left[ M_{pl,Rd}^{prečka} + V_{pl} \cdot l_{vuta} \right] + M_{Ed,g}^{2-2} = 1352,29 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd}^{prečka} \quad \dots \text{upoštevam prerez skozi oslabitev}$$

## 8.3 Dimenzioniranje

### Prečka - čelna pločevina

Uporabljen je polno nosilni zvar.

$$a_1 \geq 0,48 \cdot t_f$$

$$a_1 = 11 \text{ mm}$$

$$a_2 \geq 0,48 \cdot t_w$$

$$a_2 = 6 \text{ mm}$$

### Čelna pločevina – steber

Vijaki: **M27 10.9**

$$A_s = 5,61 \text{ cm}^2$$

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

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

### Razpored lukenj

$n = 5$  ... število lukenj

$$e_1 \geq 1,2 \cdot d_0 \quad \dots \text{izberem } e_1 = 6,1 \text{ cm}$$

$m = 4$  ... število stolpcev

$$e_2 \geq 1,2 \cdot d_0 \quad \dots \text{izberem } e_2 = 4,0 \text{ cm}$$

$$p_2 = \frac{b - 2 \cdot e_2}{3} = 7,3 \text{ cm}$$

$$r_1 = \frac{t_f}{2} + e_1 = 7,15 \text{ cm}$$

$$r_2 = r_1 + x_1 = 24,15 \text{ cm}$$

$$r_3 = r_2 + x_2 = 35,45 \text{ cm}$$

Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

$$r_4 = r_3 + x_2 = 46,75 \text{ cm}$$

$$r_5 = r_4 + x_1 = 63,75 \text{ cm}$$

Vijake ob upoštevanju pogojev;  $x_1 = 17 \text{ cm} \geq 2,2 \cdot d_0 = 6,6 \text{ cm}$  ter  $x_2 = 11,3 \text{ cm} \geq 2,2 \cdot d_0 = 6,6 \text{ cm}$  smiselno razporedimo. Upoštevamo simetričnost spoja.

$$F_{max} = \frac{(M_{Ed} \cdot r_{max})}{\sum r_i^2} = 1059 \text{ kN}$$

### Obremenitev najbolj obremenjenega vijaka

$$F_{t,Ed} = \frac{F_{max}}{4} = 264,75 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{20} = \frac{544,89 \text{ kN}}{20} = 27,25 \text{ kN}$$

### Kontrole nosilnosti vijaka (kategorija C)

- **Strižna nosilnost**

$$F_{v,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{pc}}{\gamma_{M3}} = 55,8 \text{ kN}$$

$n$  ... število tornih površin

$\mu$  ... torni količnik (kategorija C)

$\gamma_{M3}$  ... delni varnostni faktor za MSN ali MSU

$$F_{p,c} = 0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,5 \cdot 80 \cdot 5,61 = 229,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$23,72 \text{ kN} \leq 55,8 \text{ kN}$$

- **Natezna nosilnost**

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 330,48 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$264,75 \text{ kN} \leq 330,48 \text{ kN}$$

- **Interakcija strižnih in osnih sil**

$$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 183,6 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = 0,72 \leq 1$$

- **Nosilnost na bočni pritisk**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 513,94 \text{ kN}$$

$$t = \min(t_f; t_p) = \min(3,1 \text{ cm}; 3,0 \text{ cm}) = 3,0 \text{ cm}$$

Debelino čelne pločevine izberem  $t_p = 3,0 \text{ cm}$ .

$$t_p = 3,0 \text{ cm} \geq 2,7 \text{ cm}$$

Debelina pločevine ustreza pogoju, da je debelina večja ali enaka premeru vijaka.

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$27,25kN \leq 513,94kN$$

- **Odpornost proti preboju pločevine**

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 828,69kN$$

$$t = \min(t_f; t_p) = \min(3,1cm; 3,0cm) = 3,0cm$$

$\gamma_{M2}$  ... delni faktor odpornosti

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

$$264,75kN \leq 828,69kN$$

- **Kontrola nosilnosti stojine stebra v področju spoja zaradi vnosa koncentrirane sile**

$$F_{c,Ed} = \Sigma r_i \cdot \frac{F_{max}}{r_{max}} = 2944,4kN$$

$$a = 0,46 \cdot t_w$$

$a = 8mm$  ... debelina zvara med pasnico stebra in prečno pločevino

$t_p = 30mm$  ... debelina čelne pločevine

$$K = t_f + a \cdot \sqrt{2} = 32,13mm$$

$$b_{eff} = t_f \cdot 2 \cdot t_p + 2 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2} + 5 \cdot K = 33,33cm$$

- **Nosilnost stojine v tlaku**

$$N_{Rd,W} = b_{eff} \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1466,7kN \quad \dots \text{nosilnost stojine}$$

Ker je  $N_{Rd,W} < F_{c,Ed}$ , je ojačitev stojine potrebna.

$$N_{Ed} = F_{c,Ed} - N_{Rd,W} = 2944,4kN - 1466,7kN = 1477,7kN$$

$$t_{p0} \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{(b_f - t_w) \cdot f_y} = 1,89cm$$

Izberem  $t_{p0} = 19mm$ .

Kontrola kompaktnosti pločevine:

$$c/t \leq 0,33 \varepsilon$$

$$\frac{53,4cm}{1,9cm} = 28,1 \leq 33\varepsilon = 30,36$$

$$A_0 = (b_f - t_w) \cdot f_{p0} = (30cm - 1,6cm) \cdot t_{p0} = 53,96cm^2$$

$$N_{Ed} \leq A_0 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 53,96 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 1483,9kN$$

$$1477,7kN \leq 1483,9kN$$

- **Kontrola tlačne nosilnosti pasnice vute:**

$$F_{Ed} \leq F_{Rd}$$

$$F_{Ed} = F_{c,Ed} = 2382,8kN$$



Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

$$F_{Rd} = 1,4 \cdot b_{vuta} \cdot t_{vuta} \cdot f_y = 2425,5kN$$

$$t_{vuta} \geq 2,1cm$$

Tlačno nosilnost pasnice vute smo povečali za 40% in sicer 20% smo pripisali utrjevanju materiala, drugih 20% pa k nosilnosti doprinese predpostavka, da se del napetosti iz pasnice prenese tudi na stojino nosilca [11]. Izbrana debelina pasnice je enaka, kot pasnice primarnega nosilci, HEA 450.

- **Kontrola strižne nosilnosti stojine panela v stebru**

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1,0$$

$V_{wp,Ed}$  ... projektna strižna sila v panelu stojine stebra, izračunana ob upoštevanju plastične odpornosti bližnjih območij sipanja v spojih.

$V_{wp,Rd}$  ...strižna odpornost panela

$$V_{wp,Ed} \approx \frac{M_{pl,y,Rd,P}}{z} = \frac{132606kNcm}{61,9cm} = 2142,3kN$$

$$z = h - tf = 65 - 3,1 = 61,9cm$$

$$V_{wp,Rd} = V_{pl,Rd,P} = 1366,7kN$$

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

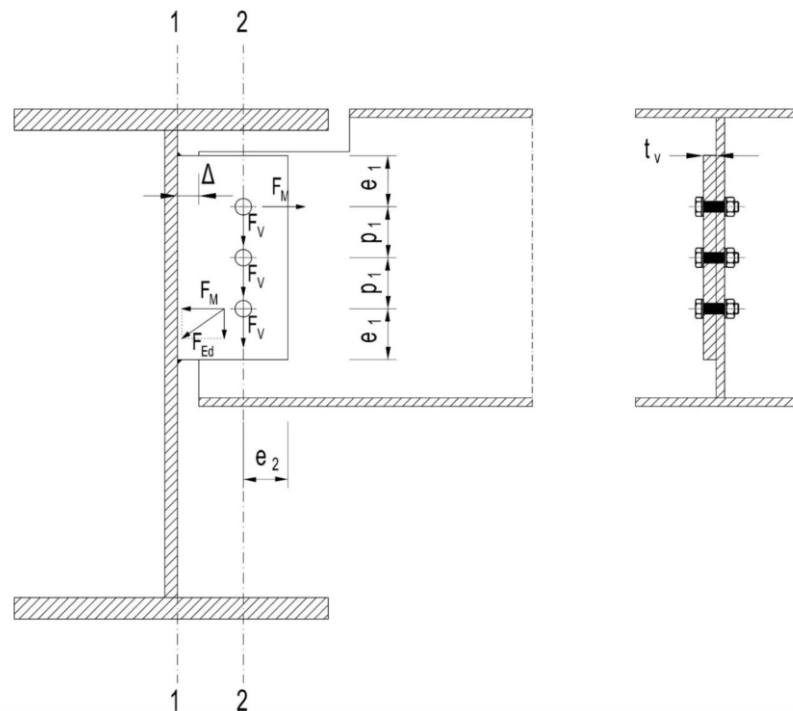
Potrebna je ojačitev stojine.

$$V_{ed} = V_{wp,Ed} - V_{pl,Rd,P} = 775,6kN$$

$$V_{pl,Rd,ojač.} = h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = 49,4 \cdot 1,2 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = 1098kN$$

Izbrali smo obojestransko ojačitev:  $t_{ojač.} = 6mm$

## 8.4 Členkast spoj med sekundarnim nosilcem in prečko



Slika 13: Spoj med sekundarnim nosilcem in prečko (Gačnik, 2014)

### 8.4.1 Material in geometrija

Nosilec: IPE 240, S275 J0  
 Pločevina:  $t_v = 8\text{mm}$ , S275 J0  
 Vijaki: M22 8.8  
 Zvar:  $a = 5\text{mm}$

### 8.4.2 Obremenitve

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q = 41,06\text{kN/m}$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed} \cdot L}{2} = 123,19\text{kN}$$

### 8.4.3 Dimenzioniranje

Zasuk profila na mestu 2-2:

$$\varphi = \frac{q_{Ed} \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I_y} = 0,014\text{rad}$$

$$\Delta \geq \frac{\varphi \cdot h}{2} = 15,2\text{mm}$$

$$d_0 = 24\text{mm}$$

$$e_1 \approx 2 \cdot d_0 = 4,8\text{cm}$$

$$e_2 \approx 1,5 \cdot d_0 = 3,6\text{cm}$$

$$p_1 \approx p_2 \approx 3 \cdot d_0 = 72\text{mm}$$

#### Ravnina 1-1

$$\Delta = 11\text{mm}$$

- **Kontrola nosilnosti pločevine**

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot (\Delta + e_2) = 578,98kNcm$$

$$h_v = 2 \cdot (p_1 + e_1) = 24cm$$

$$W_{el,y} = \frac{t_v \cdot h_v^2}{6} = 76,8cm^3$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 2112kNcm$$

$$M_{Ed} \leq M_{el,Rd}$$

$$578,98kNcm \leq 2112kNcm$$

- **Kontrola striga**

$$A_v = h_v \cdot t_v = 19,2cm^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 304,84kN$$

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

$$123,19kN \leq 304,84kN$$

### Ravnina 2-2

$$\Delta = 11mm$$

- **Kontrola nosilnosti pločevine**

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot (e_2 + \Delta) = 578,98kNcm$$

$$F_m = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot p} = 40,21kN$$

$$F_v = \frac{V_{Ed}}{2} = 61,59kN$$

- **Kontrola strižne nosilnosti vijaka**

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 145,92kN$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_m^2 + F_v^2} = 73,56kN$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$73,56kN \leq 145,92kN$$

- **Kontrola bočnih pritiskov**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 85,31kN$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25; 1,0; \frac{f_{ub}}{f_u} \right\} = \{0,67; 0,75; 1\} = 0,67$$

$$t = \min(t_v; t_w) = \min(8mm; 6,2mm) = 6,2mm$$

$$k_1 = 2,50$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$73,56kN \leq 85,31kN$$

- **Kontrola pretrga pločevina (»BLOCK SHEAR«)**

$$A_{nv} = (e_1 + 2 \cdot p_1 - 2,5 \cdot d_0) \cdot t = 10,56cm^2$$

$$A_{nt} = \left( e_2 - \frac{d_0}{2} \right) \cdot t = 1,92cm^2$$

$$t = \min(t_v; t_w) = \min(8mm; 6,2mm) = 6,2mm$$

$$V_{eff,Rd} = 0,5 \cdot A_{nt} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 155,25kN$$

$$V_{Ed} \leq V_{eff,Rd}$$

$$123,19kN \leq 155,25kN$$

## 9 MEJNO STANJE UPORABNOSTI

V menjem stanju uporabnosti (MSU), preverjamo konstrukcijo na t.i. obratovalno obtežbo.

V skladu z [vir] EC, pr. 1-12 so največji priporočeni pomiki omejeni na:

**Prečke**

$$w_{max} = L/250$$

**Stebri**

- Celotni vodoravni pomik konstrukcije višine H:

$$u_{max} = H/500$$

- Vodoravni pomik etaže višine  $H_i$

$$u_{max,i} = H_i/300$$

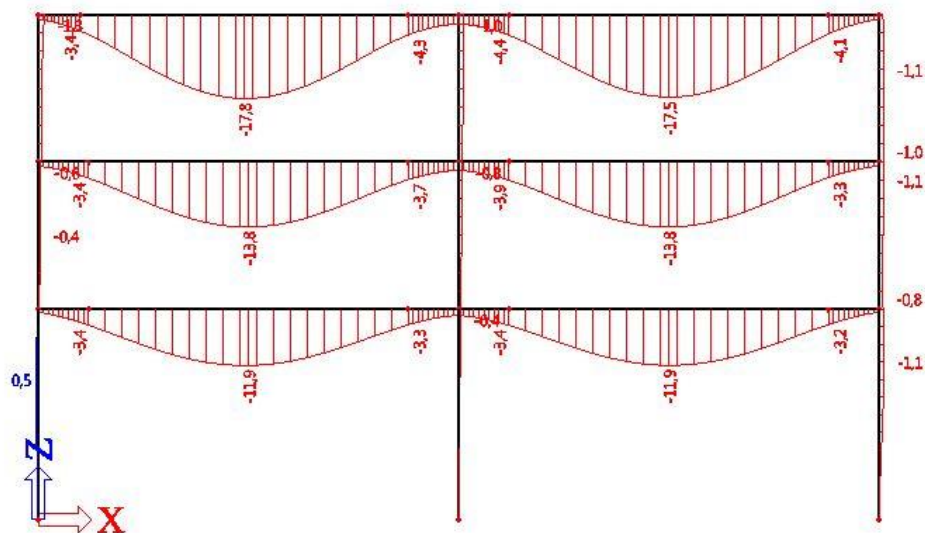
Pomike v mejnem stanju uporabnosti smo določili pri pogosti obtežni kombinaciji:

$$\Sigma G_{k,j} + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \Psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$$

### 9.1 Prečni okvir

#### 9.1.1 Prečke

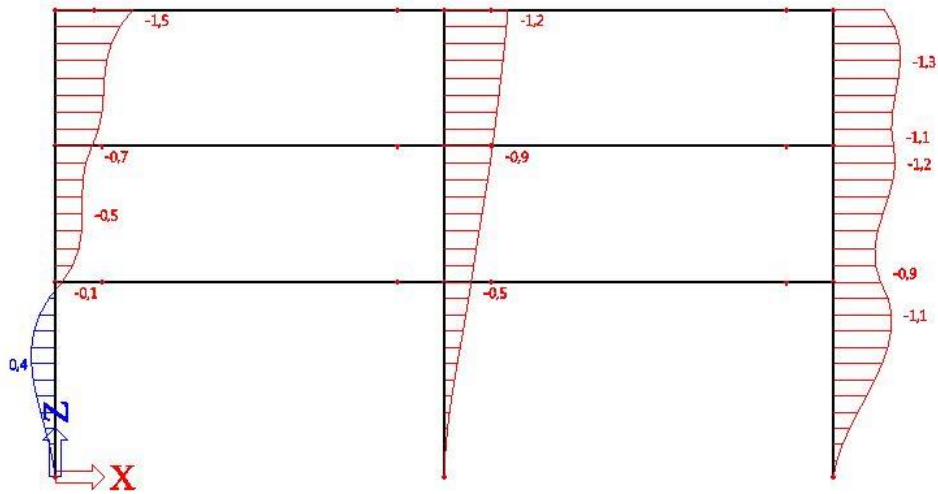
Največji relativni pomik znaša:  $w = 17,5\text{mm} \leq w_{max} = 40\text{mm}$  (Slika 14).



Slika 14: Ovojnica relativnih pomikov  $u_z$  [mm] prečk najbolj obremenilnega okvirja

#### 9.1.2 Stebri

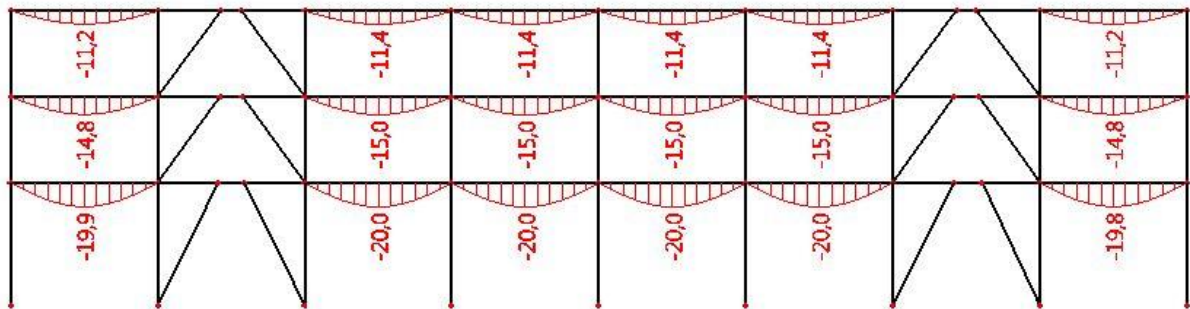
$u = 1,5\text{mm} \leq u_{max} = 24\text{mm}$  (Slika 15)

Slika 15: Ovojnica absolutnih pomikov  $u_x$  [mm] stebrov najbolj obremenilnega prečnega okvirja

## 9.2 Vzdolžni okvir

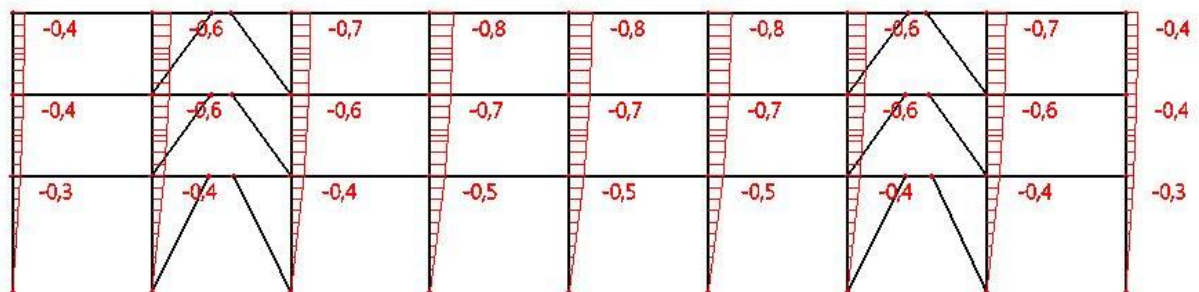
### 9.2.1 Prečke

$w = 20\text{mm} \leq w_{max} = 24\text{mm}$  (Slika 16)

Slika 16: Ovojnica relativnih pomikov  $u_z$  [mm] prečk najbolj obremenjenega vzdolžnega okvirja

### 9.2.2 Stebri

$w = 8\text{mm} \leq w_{max} = 24\text{mm}$  (Slika 17)

Slika 17: Ovojnica relativnih pomikov  $u_z$  [mm] stebrov najbolj obremenjenega vzdolžnega okvirja

## 10 ZAKLJUČEK

Skozi pisanje diplomske naloge smo se delno seznanili s postopkom projektiranja jeklenih konstrukcij.

Zasnovali smo konstrukcijo z večjimi razponi v smeri momentnega okvirja ter manjšimi v smeri povezij. Sledila je določitev obtežb, kjer smo se seznanili s standardoma EC 1990 in EC 1998. Odločili smo se za različne koristne obtežbe po etažah (industrija – pisarne), kar je vodilo do različnih dimenzij primarnih nosilcev po etažah.

V program SCIA Engineer 2013.1 smo pripravili dva ravninska modela, na katerih smo izvedeli statično analizo konstrukcije. Sledilo je dimenziniranje elementov kot so primarni nosilci, strižni členi, stebri, sekundarni nosilci, povezja ter spoji.

Zaradi kategorije v katero se uvršča stavba smo primorani upoštevati velik del koristne obtežbe v potresni analizi, kar vodi do velikih potresnih sil, ki so po večini merodajne za dimenzioniranje primarnih elementov. Izjema so bile le prečke v najvišji etaži, za katere se je za merodajno obtežbo izkazal sneg. Pri dimenzioniranju prečk, smo imeli največje momente ob vpetju, v polju pa so bile prečke manj izkoriščene. Prečke smo ojačali z vutami in tako smo lahko uporabili manjše dimenzije prečk in posledično iz pogoja o 'šibkih prečkih in močnih stebrih' uporabili tudi manjše stebre. Na konec vute smo predvidili oslabitev pasnic s čimer smo še dodatno optimizirali izkoriščenost prečk in zmanjšali potrebno nosilnosti polnonosilnih spojev.

Zaradi merodajnosti potresne obtežbe se je v mejnem stanju uporabnosti le-to izkazalo za nekritično, z izjemo sekundarnih nosilcev. Konstrukcija je projektirana na velike potresne sile, tako da doseganje kriterijev za mejno stanje uporabnosti ni bilo problematično.

Skozi pisanje diplomske naloge sem pridobil ogromno novega znanja ter se seznanil z zahtevnim delom projektantov. Hitro sem izkusil, da največkrat ni ene same rešitve problema. Rešitev je veliko, projektant pa je prepuščen lastni presoji. Ravno zato sta tako pomembna znanje in izkušnje.

Menim, da je taka diplomska naloga izvrstna priložnost za povezavo pridobljenega teoretičnega znanja tekom študija s praktičnim.

Kuštra, J. 2015. Projekt tri etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti.  
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

---

## 11 VIRI

- [1] SIST EN 1991-1-1: 2004 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi - Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb
- [2] SIST EN 1991-1-3: 2004 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi - Obtežba Snega
- [3] SIST EN 1991-1-3: 2004/A101:2008 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi - Obtežba snega – Nacionalni dodatek
- [4] SIST EN 1991-1-4:2005 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vpliv Vetra
- [5] SIST EN 1991-1-4:2005/A101:2008 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vpliv vetra – Nacionalni dodatek
- [6] SIST EN 1998-1, Evrokod 8: Projektiranje potresno-odpornih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe
- [7] SIST EN 1993-1-1, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe
- [8] SIST EN 1990, Evrokod: Osnove projektiranja konstrukcij
- [9] SIST EN 1994-1-2, Evrokod 4: Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe
- [10] Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije
- [11] The Steel Construction Institute, 1996. Joints in Steel Construction Moment Connections
- [12] Gačnik, J. 2014. Projekt štiri-etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Gačnik): 50f





## **SEZNAM PRILOG**

### **PRILOGA A: Popis materiala**

- A.1: Nosilna konstrukcija
- A.2: Masa betonskih plošč
- A.3: Masa Estrihov
- A.4: Masa toplotne izolacije
- A.5: Masa fasade s podkonstrukcijo
- A.6: Skupna Masa

### **PRILOGA B: Izpis obtežb v momentnem okvirju**

- B.1: Stalna obtežba
- B.2: Obtežba snega
- B.3: Obtežba vetra
- B.4: Koristna obtežba – vsa polja
- B.5: Koristna obtežba – desno polje
- B.6: Koristna obtežba – šahovnica
- B.7: Potresna obtežba

### **PRILOGA C: Izpis obtežb v okvirju z ekscentričnimi povezji**

- C.1: Stalna obtežba
- C.2: Obtežba snega
- C.3: Obtežba vetra
- C.4: Koristna obtežba – vsa polja
- C.5: Potresna obtežba

### **PRILOGA D: Izpis notranjih sil v momentnem okvirju – Mejsno stanje nosilnosti**

- D.1: Osnova sila v stebrih
- D.2: Prečna sila v stebrih
- D.3: Upogibni momenti v stebrih
- D.4: Osnova sila v prečkah
- D.5: Prečna sila v prečkah
- D.6: Upogibni momenti v prečkah

### **PRILOGA E: Izpis notranjih sil v okvirju s ekscentričnimi povezji – Mejno stanje nosilnosti**

- E.1: Osnove sile v stebrih
- E.2: Osnove sile v povezjih

E.3: Prečne sile v sekundarnih nosilcih

E.4: Upogibni momenti v sekundarnih nosilcih

**PRILOGA F: Izpis notranjih sil v momentnem okvirju – POTRESNA KOMBINACIJA (Gravitacijski del)**

F.1: Osne sile v stebrih – Potresna obtežna kombinacija

F.2: Prečne sile v stebrih – Potresna obtežna kombinacija

F.3: Upogibni moment v stebrih – Potresna obtežna kombinacija

F.4: Prečne sile v prečkah – Potresna obtežna kombinacija

F.5: Upogibni momenti v prečkah – Potresna obtežna kombinacija

**PRILOGA G: Izpis notranjih sil v momentnem okvirju – POTRESNA KOMBINACIJA (Gravitacijski del)**

G.1: Osne sile v stebrih – Potresna obtežna kombinacija

G.2: Osne sile v povezju – Potresna obtežna kombinacija

G.3: Prečne sile v sekundarnih nosilcih – Potresna obtežna kombinacija

G.4: Upogibni moment v sekundarnih nosilcih – Potresna obtežna kombinacija

**PRILOGA H: Izpis notranjih sil v okvirju z ekscentričnimi povezji – POTRESNA KOMBINACIJA (Seizmični del)**

H.1: Osna sila v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del – Ex)

H.2: Prečna sila v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del – Ex)

H.3: Upogibni moment v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del – Ex)

H.4: Osna sila v prečkah – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del - Ex)

H.5: Prečna sila v prečkah – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del - Ex)

H.6: Upogibni moment v prečkah – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del - Ex)

**PRILOGA I: Izpis notranjih sil v okvirju z ekscentričnimi povezji – POTRESNA KOMBINACIJA (Seizmični del)**

I.1: Osna sila v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (seizmični del – Ey)

I.2: Osna sila v diagonalah – Potresna obtežna kombinacija (seizmični del – Ey)

I.3: Prečna sila v strižnih členih – Potresna obtežna kombinacija (seizmični del – Ey)

I.4: Upogibni moment v strižnih členih – Potresna obtežna kombinacija (seizmični del – Ey)

Na koncu diplomske naloge so vpeti trije pozicijski načrti, ter dva detajla izvedbe spojev.

## PRILOGA A: Popis materiala

### A.1: Nosilna konstrukcija

<b>Lastna obtežba</b>				
	G [kg/m]	Dolžina [m]	Število	Skupaj [kg]
<b>Strižni členi</b>				
IPE 450	77,6	6	6	2794
IPE 330	49,1	6	6	1768
IPE 240	30,71	6	6	1106
<b>Povezje</b>				
SHS 200/200/12,5	56,96	5,58	12	3814
SHS 140/140/10	38,12	4,33	12	1981
SHS 120/120/7,1	23,80	4,36	12	1362
<b>Primarni nosilci</b>				
HEA 450	140	10	18	25200
HEA 400	125	10	18	22500
HEA 320	97,6	10	18	17568
<b>Sekundarni nosilci</b>				
IPE 240	30,71	6	198	36483
<b>Stebri</b>				
HEB 650	224,8	12	27	72835

### A.2: Masa betonskih plošč

<b>Betonska plošča</b>		
št. etaž	3	
Površina	960	m <sup>2</sup> /etažo
Debelina	12	cm
Gostota	2500	kg/m <sup>3</sup>
Skupna masa	864000	kg

### A.3: Masa estrihov

<b>Estrih</b>		
št. etaž	3	
Površina	960	m <sup>2</sup> /etažo
Debelina	5	cm
Gostota	2500	kg/m <sup>3</sup>
Skupna masa	360000	kg

A.4: Masa toplotne izolacije

<b>Toplotna izolacija</b>		
št. etaž	3	
Površina	960	m <sup>2</sup> /etažo
Debelina	5	cm
Gostota	55	kg/m <sup>3</sup>
Skupna masa	7920	kg

A.5: Masa fasade s podkonstrukcijo

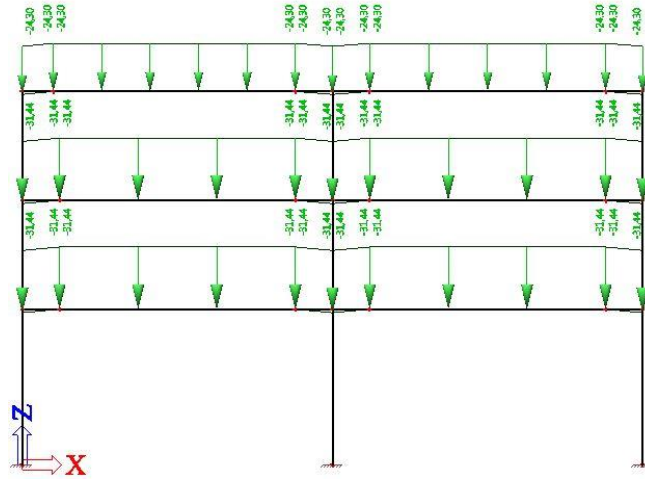
<b>Fasada s podkonstrukcijo</b>		
Površina	1632	m <sup>2</sup>
Masa/ m <sup>2</sup>	50	kg/m <sup>2</sup>
Skupna masa	81600	

A.6: Skupna masa

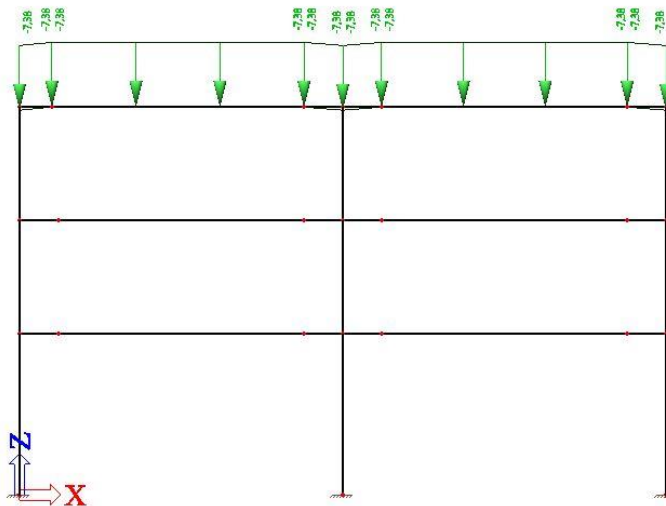
<b>Skupna masa</b>		
Jekleni elementi	187	ton
Betonska plošča	864	ton
Ostalo	450	ton
Skupna masa	1501	ton

## PRILOGA B: Izpis obtežb v momentnem okvirju

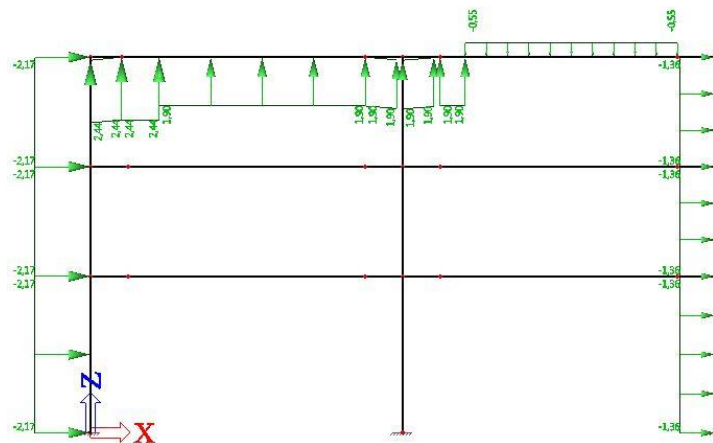
### B.1: Stalna obtežba



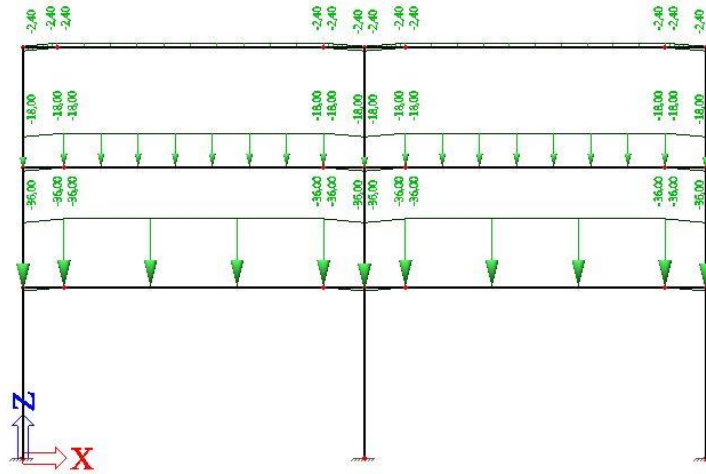
### B.2: Obtežba Snega



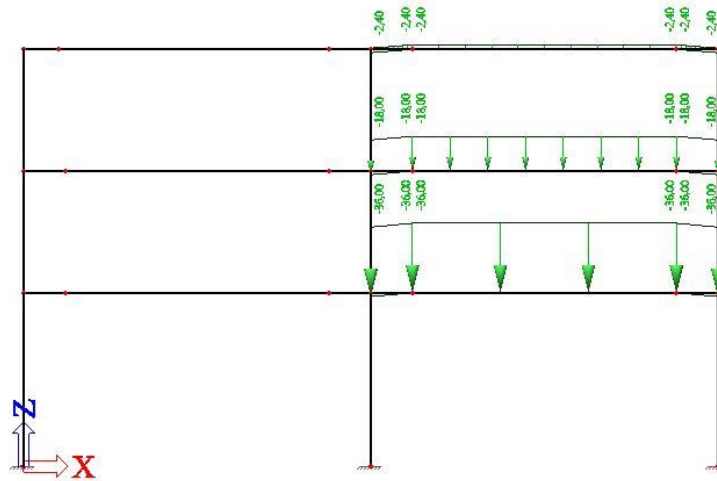
### B.3: Obtežba vetra



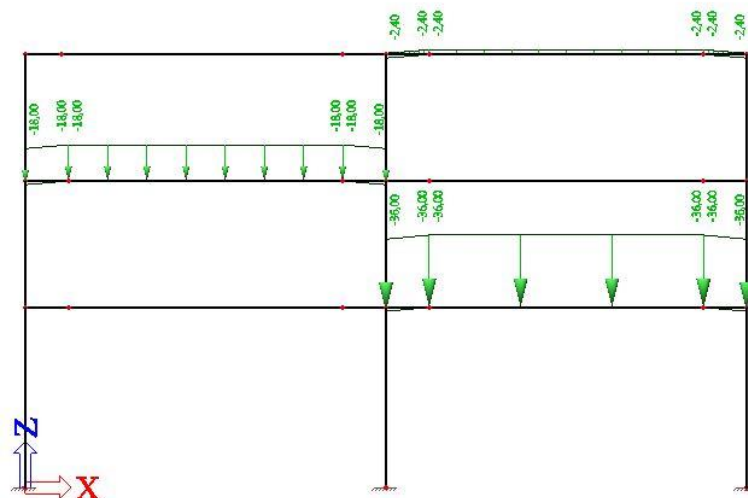
B.4: Koristna obtežba – vsa polja



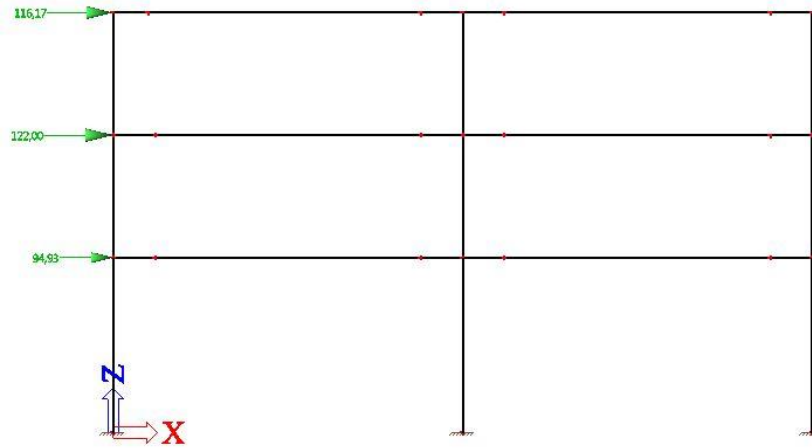
B.5: Koristna obtežba – desno polje



B.6: Koristna obtežba – šahovnica

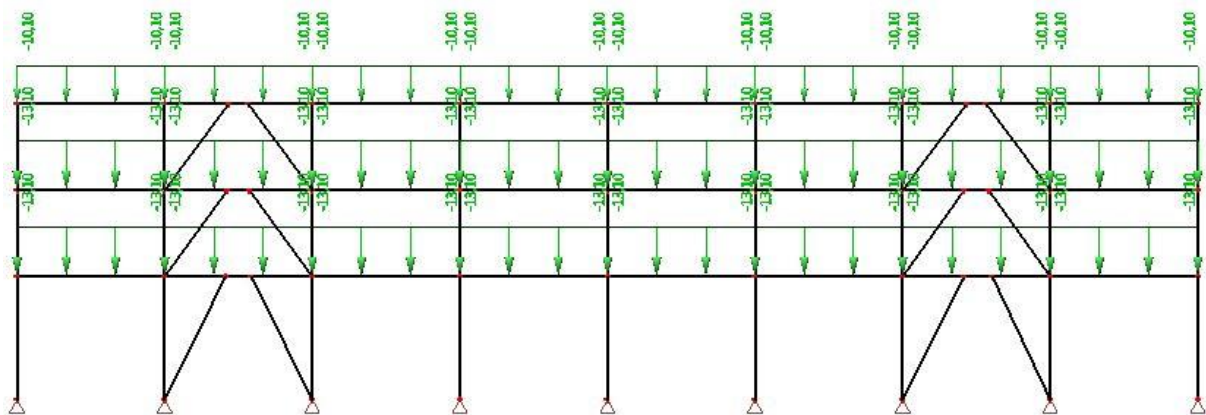


### B.7: Potresna obtežba

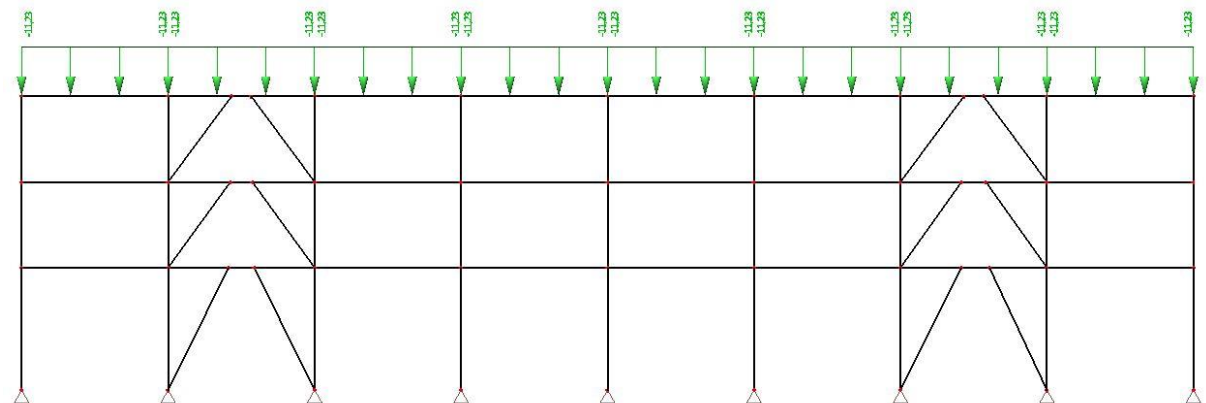


## PRILOGA C: Izpis obtežb v okvirju z ekscentričnimi povezji

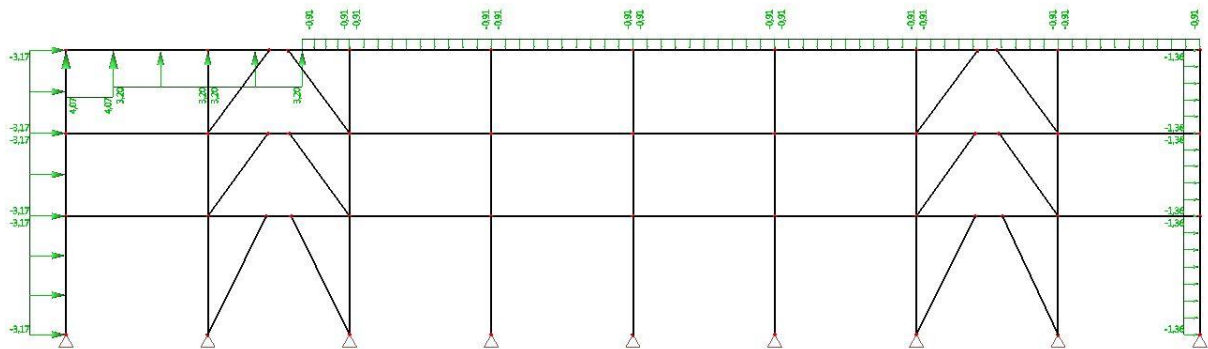
### C.1: Stalna obtežba



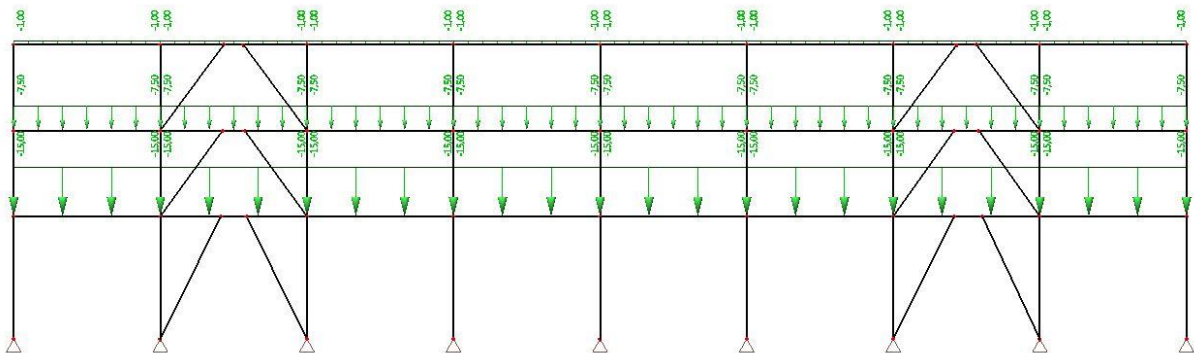
### C.2: Obtežba snega



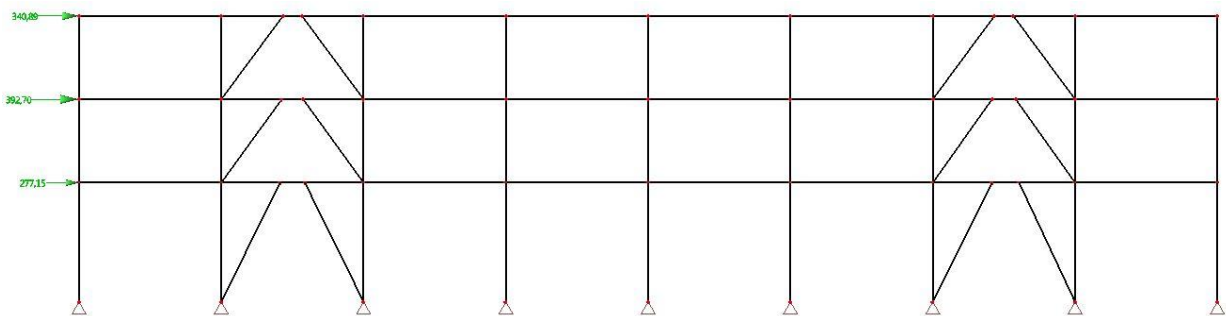
### C.3: Obtežba vetra



C.4: Koristna obtežba – vsa polja



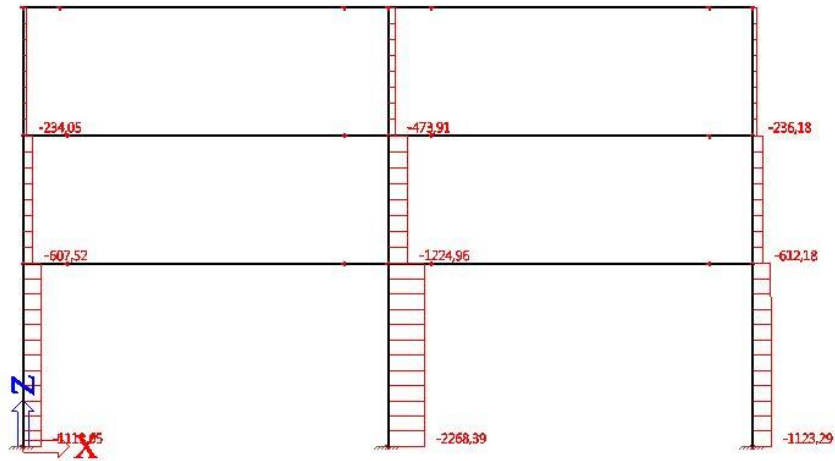
C.5: Potresna obtežba



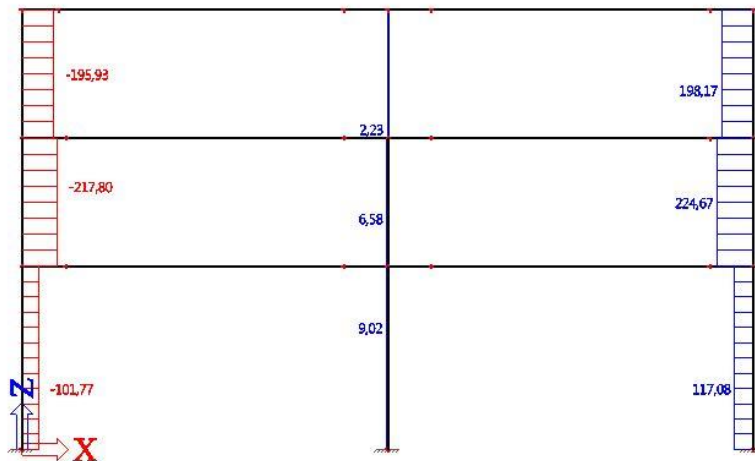


## PRILOGA D: Izpis notranjih sil v momentnem okvirju – Mejsno stanje nosilnosti

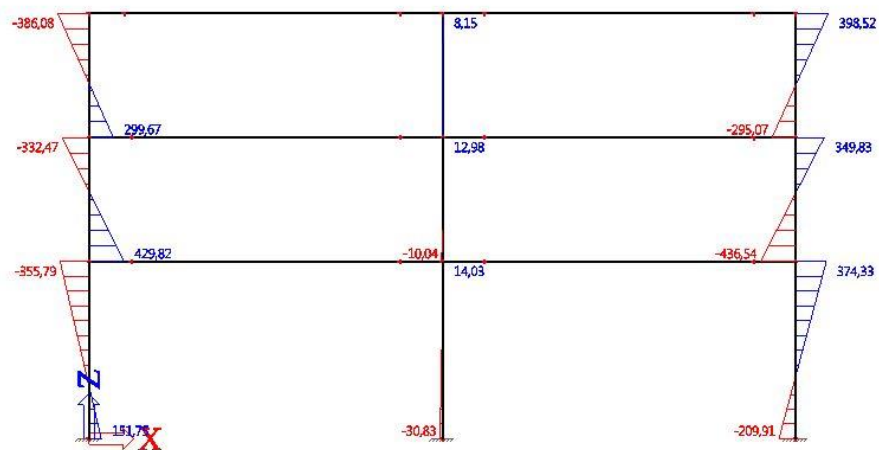
D.1: Osnova sila v stebrih – MSN



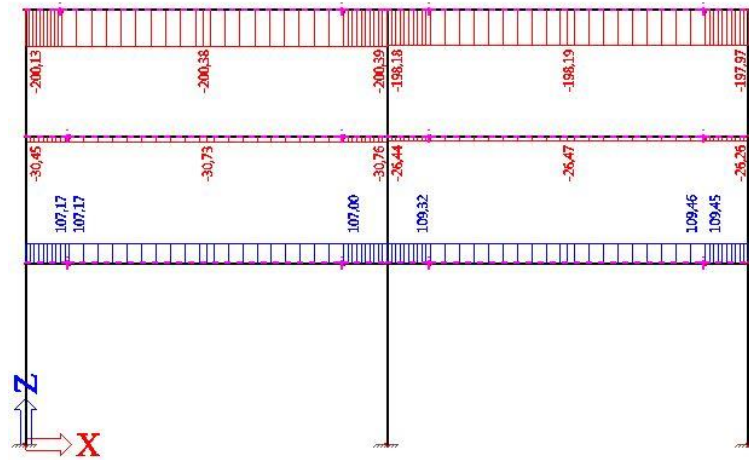
D.2: Prečna sila v stebrih – MSN



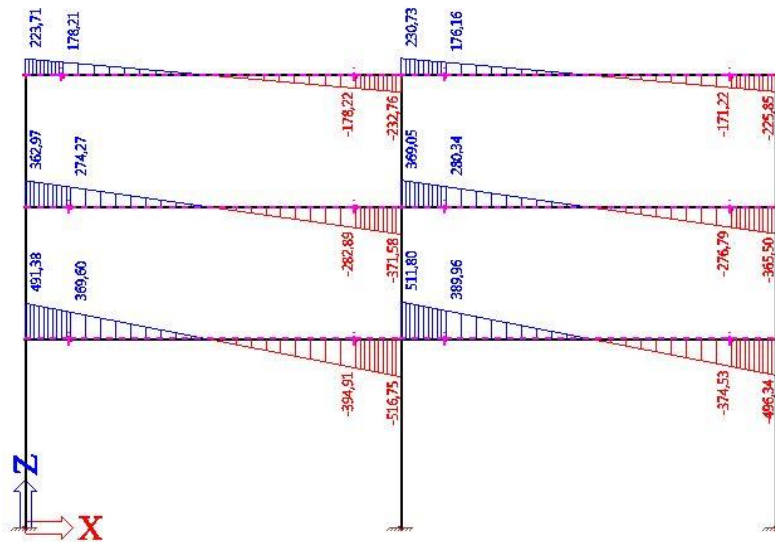
D.3: Upogibni momenti v stebrih - MSN



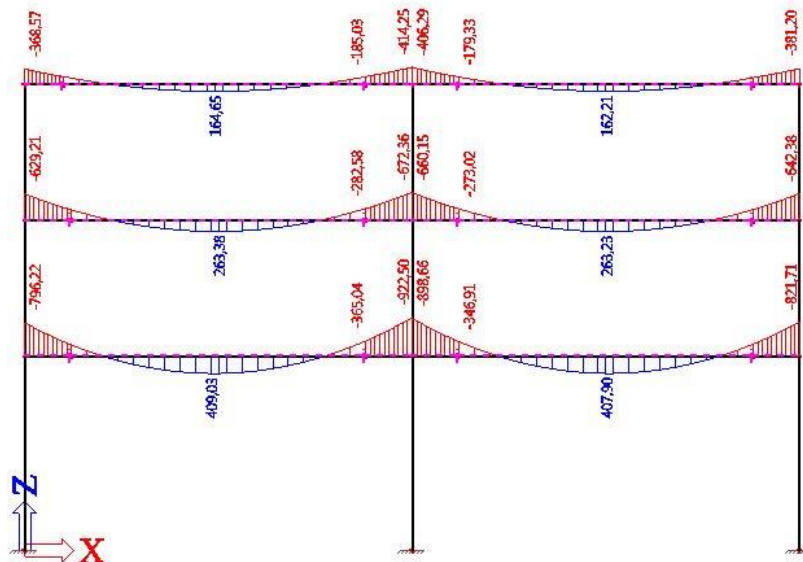
D.4: Osa sila v prečkah – MSN



D.5 Prečna sila v prečkah – MSN

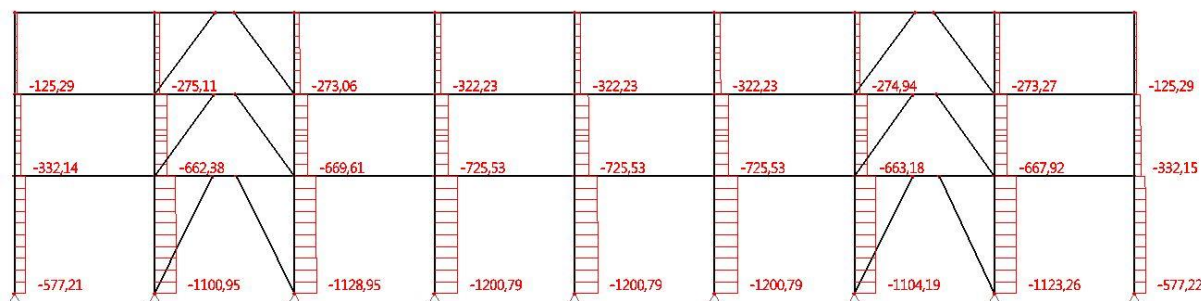


D.6 Upogibni momenti v prečkah – MSN

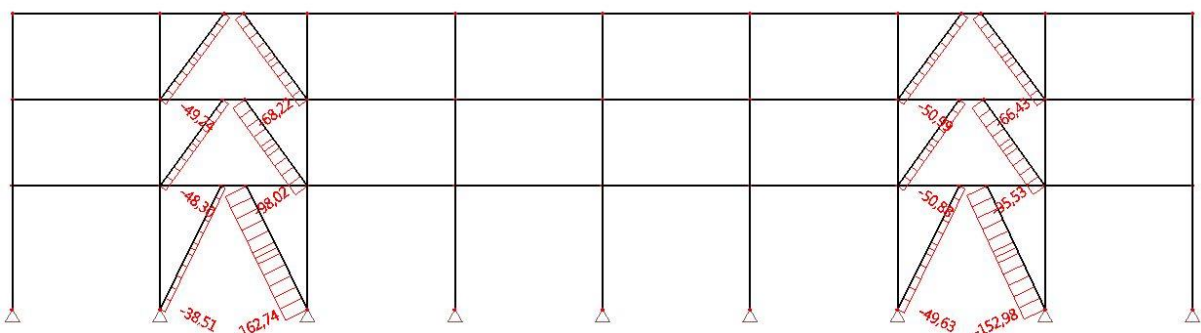


## PRILOGA E: Izpis notranjih sil v okvirju s ekscentričnimi povezji – Mejno stanje nosilnosti

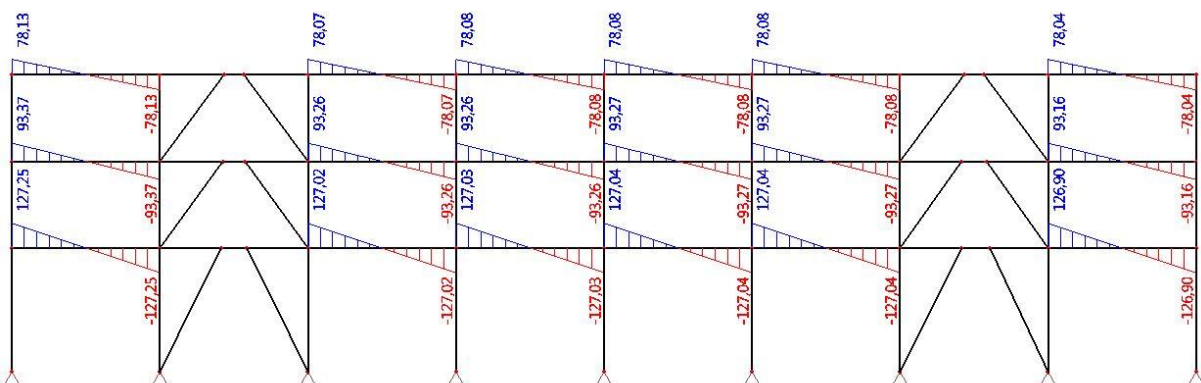
E.1: Osne sile v stebrih – MSN



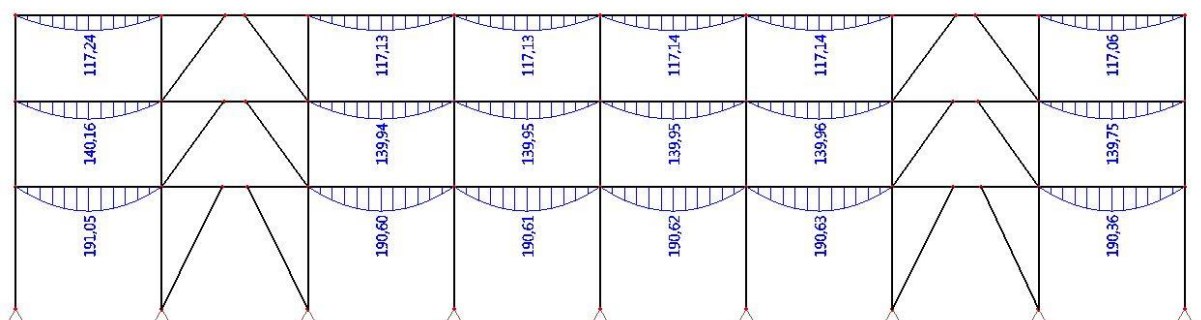
E.2: Osne sile v povezjih – MSN



E.3: Prečne sile v sekundarnih nosilcih – MSN

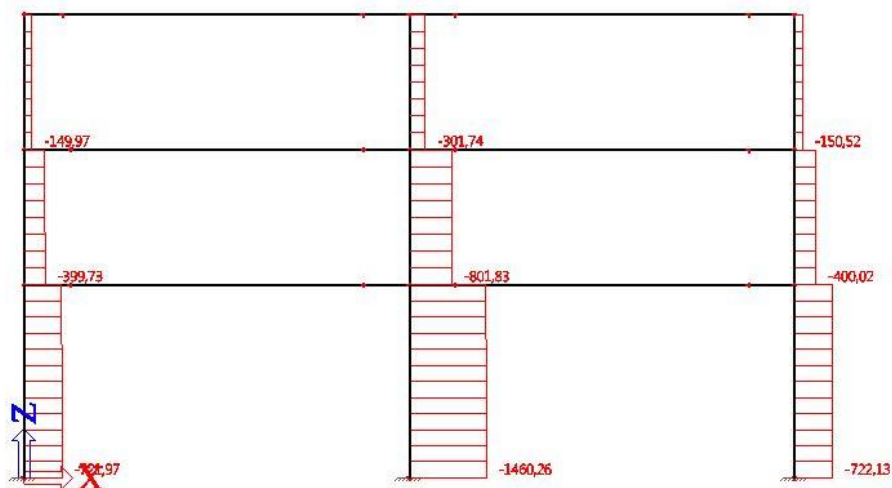


E.4: Upigibni momenti v sekundarnih nosilcih – MSN

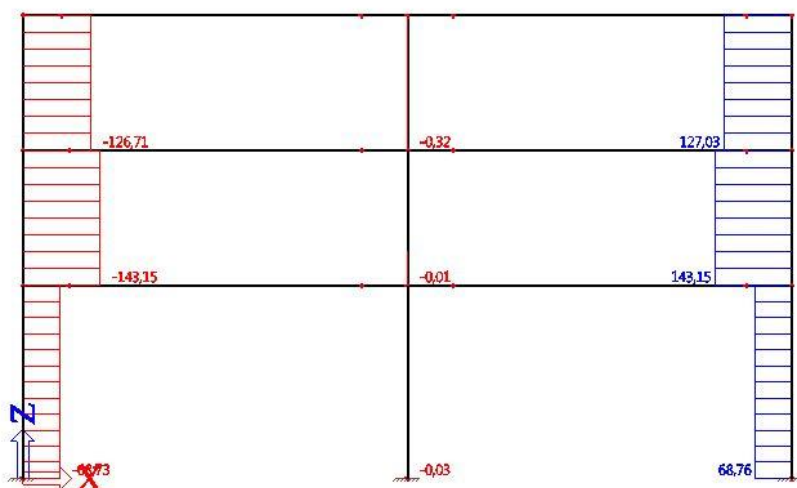


## PRILOGA F: Izpis notranjih sil v momentnem okvirju – POTRESNA KOMBINACIJA (Gravitacijski del)

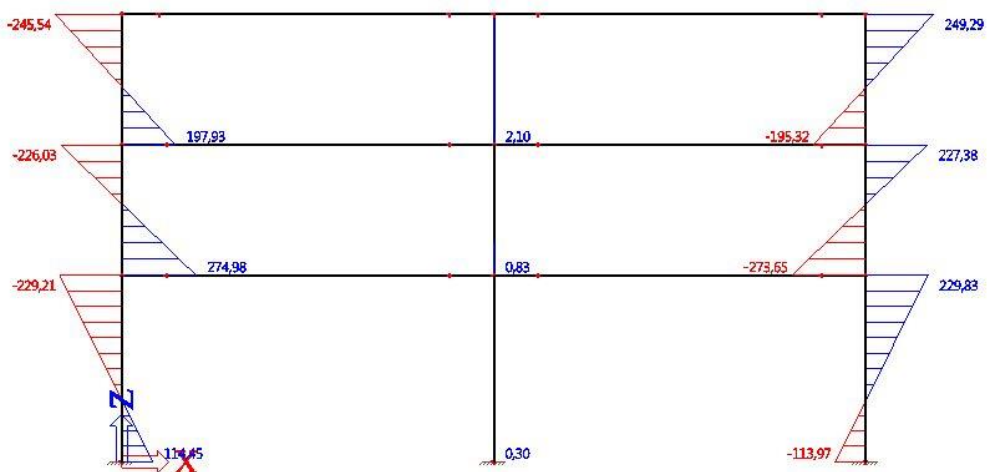
F.1: Osne sile v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (gravitacijski del)



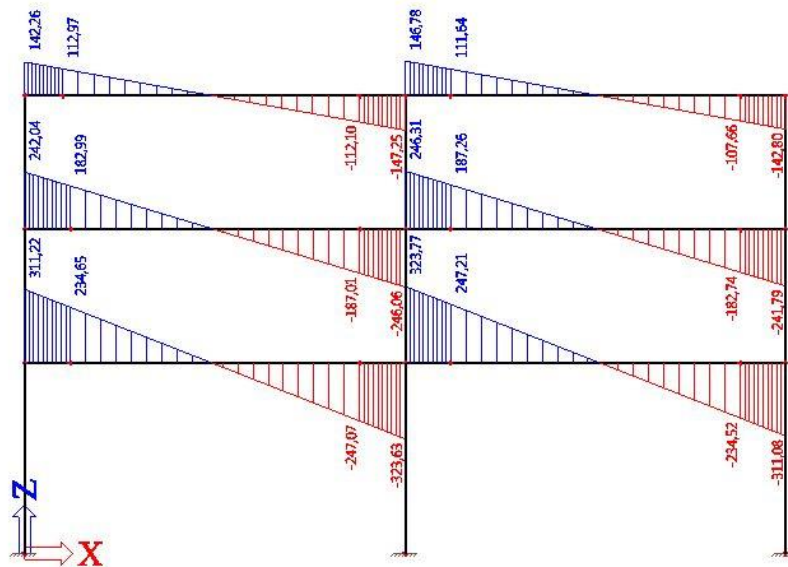
F.2: Prečne sile v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (gravitacijski del)



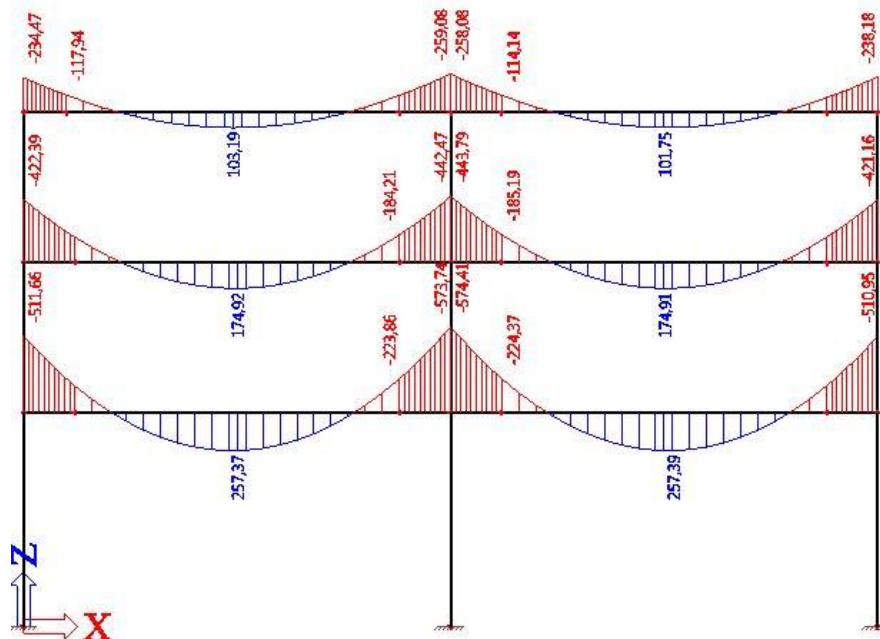
F.3: Upogibni moment v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (gravitacijski del)



F.4: Prečne sile sile v prečkah – Potresna obtežna kombinacija (gravitacijski del)

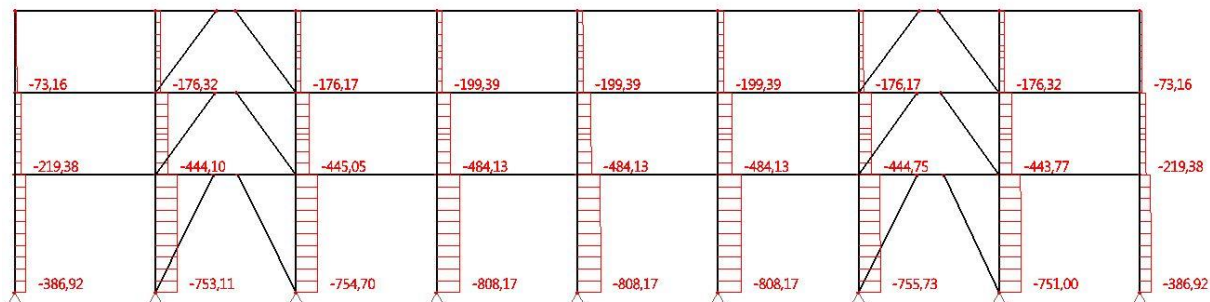


F.5: Upogibni momenti v prečkah – Potresna obtežna kombinacija (gravitacijski del)

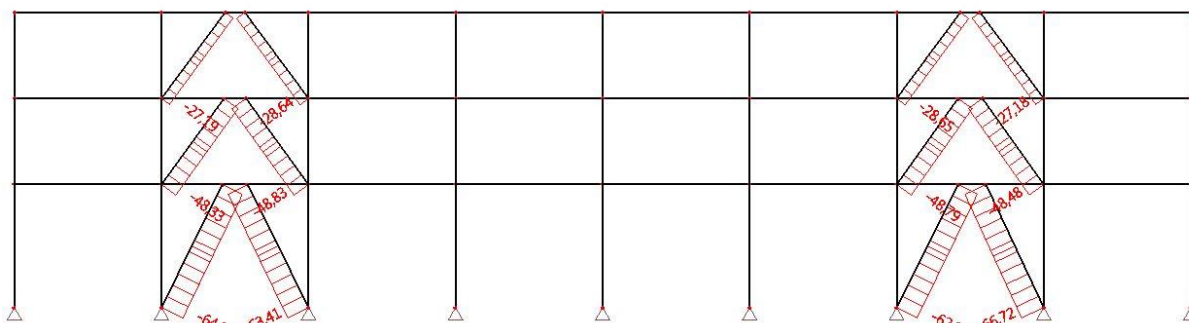


## PRILOGA G: Izpis notranjih sil v okvirju z ekscentričnimi povezji – POTRESNA KOMBINACIJA (Gravitacijski del)

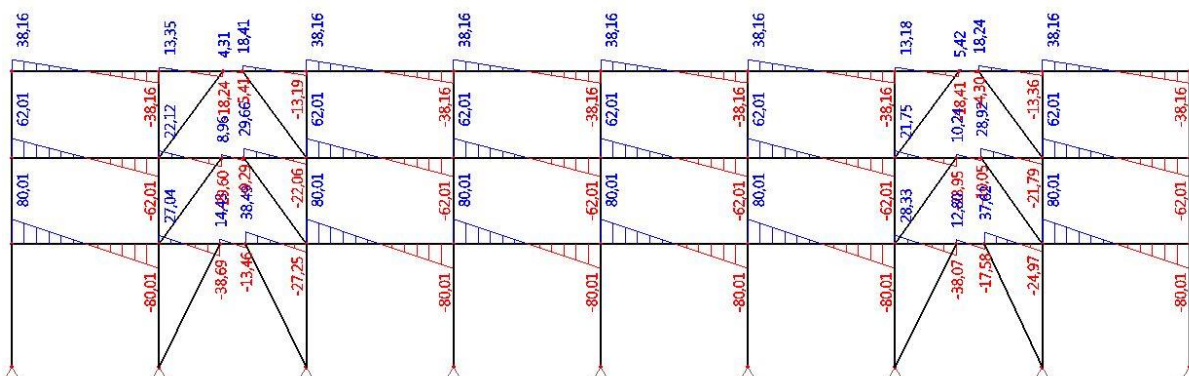
G.1: Osne sile v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (gravitacijski del)



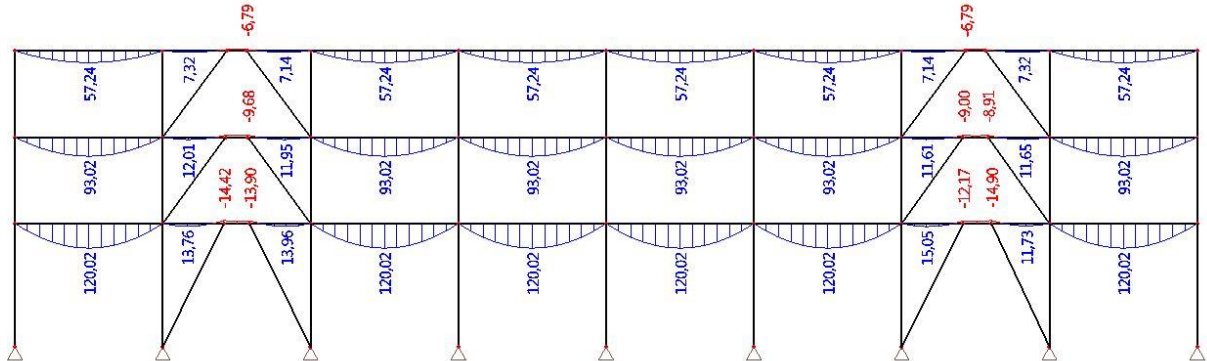
G.2: Osne sile v povezji – Potresna obtežna kombinacija (gravitacijski del)



G.3: Prečne sile v sekundarnih nosilcih – Potresna obtežna kombinacija (gravitacijski del)

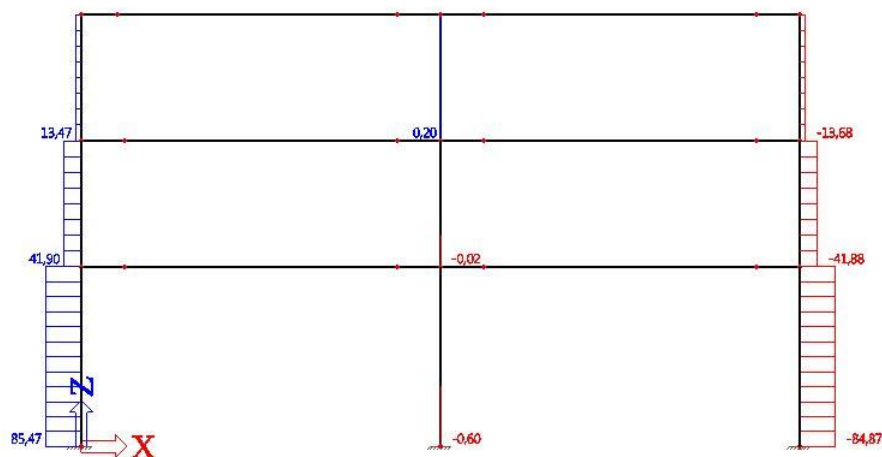


G.4: Upogibni moment v sekundarnih nosilcih – Potresna obtežna kombinacija (gravitacijski del)

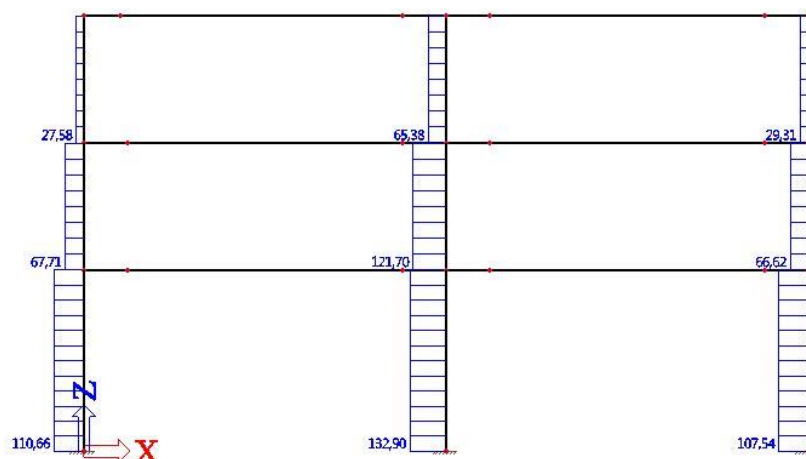


**PRILOGA H: Izpis notranjih sil v momentnem okvirju – POTRESNA KOMBINACIJA (Seizmični del)**

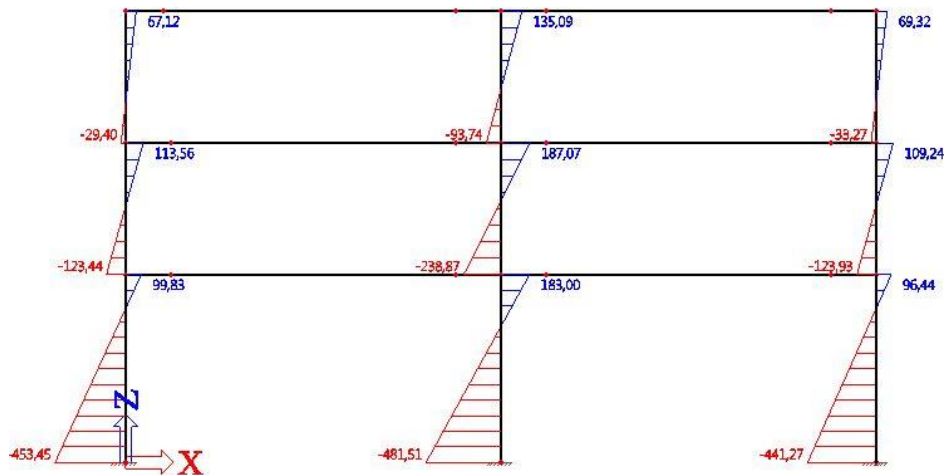
H.1: Očna sila v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del - Ex)



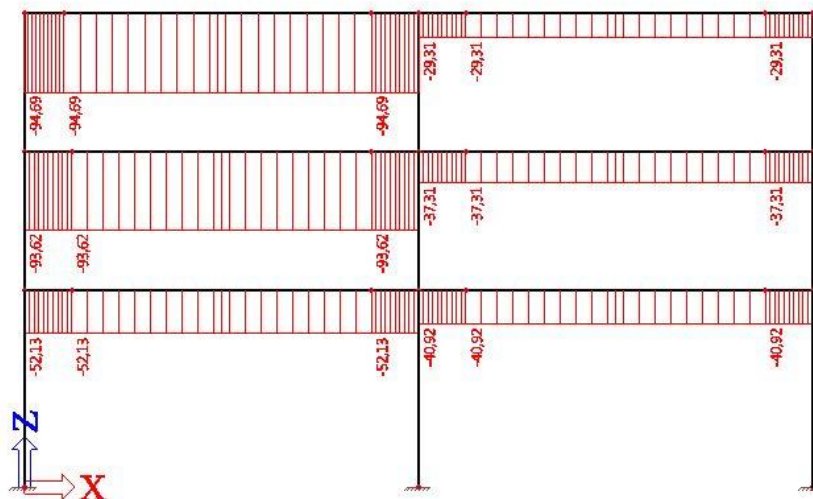
H.2: Prečna sila v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del - Ex)



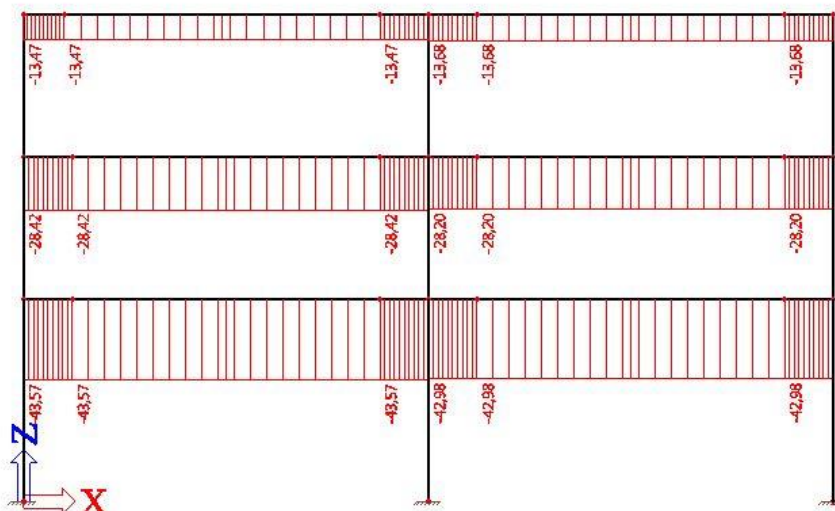
H.3: Upogibni moment v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del – Ex)



H.4: Osná sila v prečkah – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del - Ex)

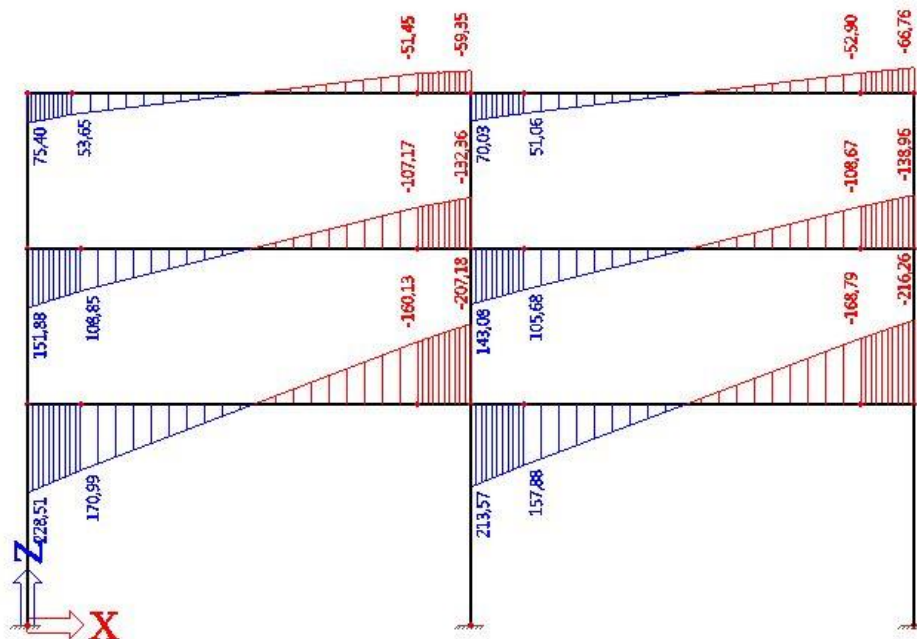


H.5: Prečna sila v prečkah – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del - Ex)



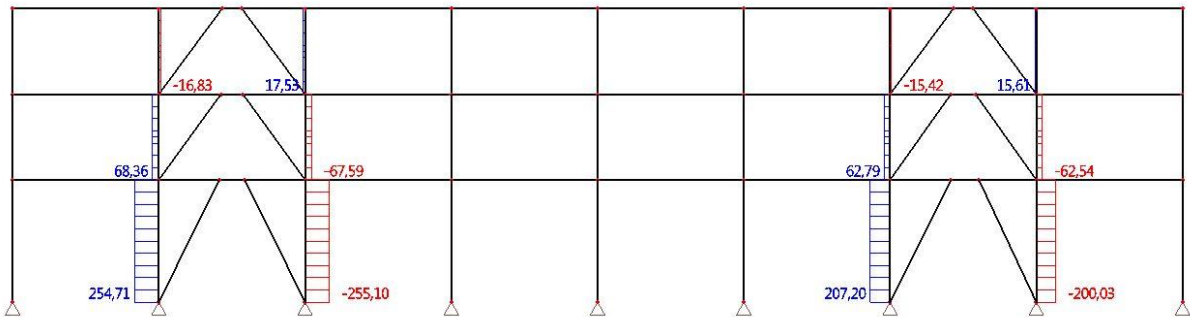


### H.6: Upogibni moment v prečkah – Potresna obtežna kombinacija (Seizmični del - Ex)

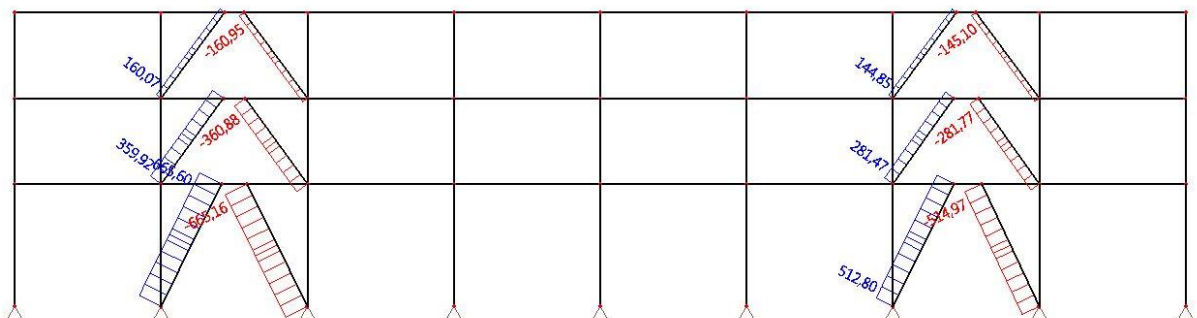


### PRILOGA I: Izpis notranjih sil v okvirju z ekscentričnimi povezji – POTRESNA KOMBINACIJA (Seizmični del)

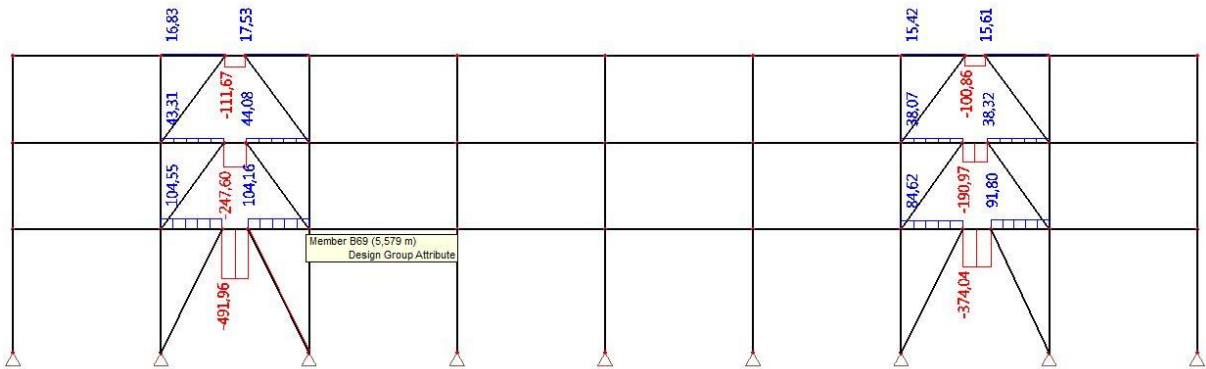
#### I.1: Osa sila v stebrih – Potresna obtežna kombinacija (seizmični del – Ey)



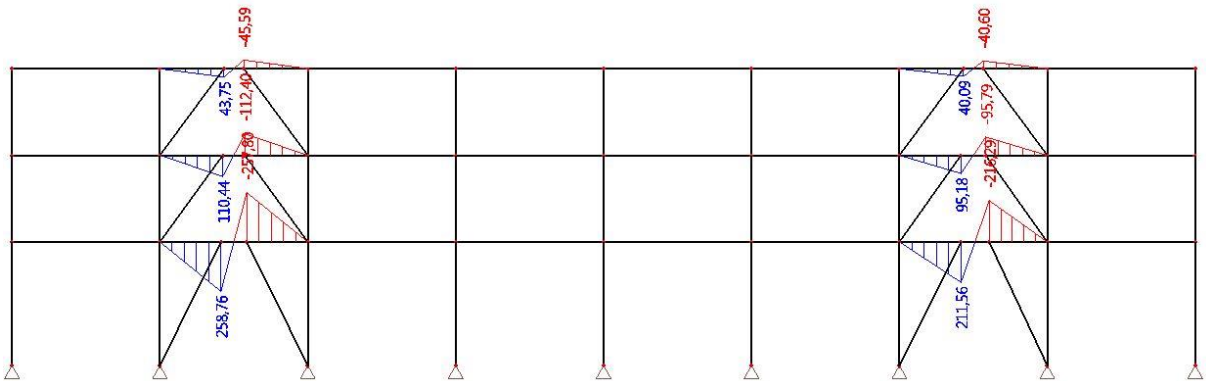
#### I.2: Osa sila v diagonalah – Potresna obtežna kombinacija (seizmični del – Ey)

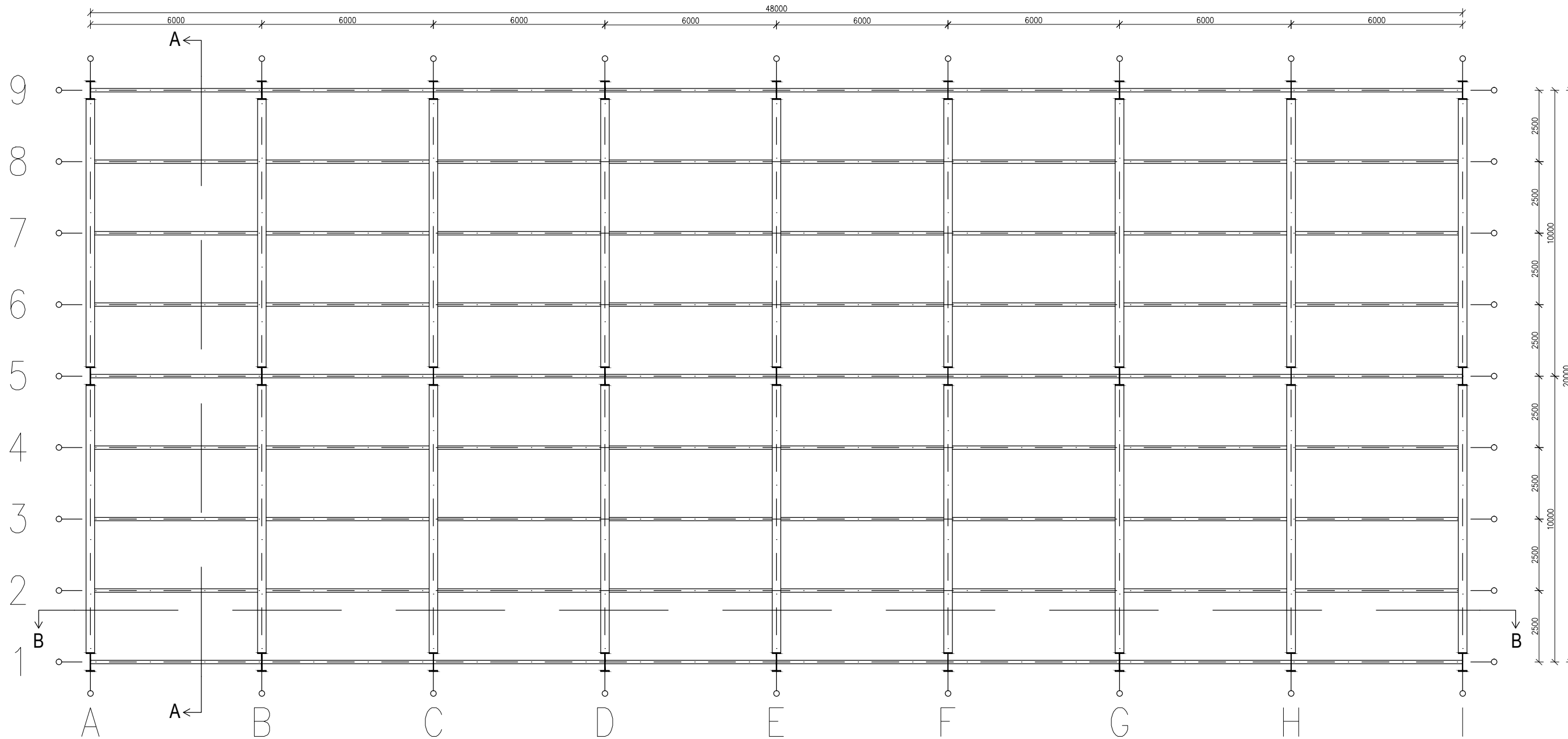


I.3: Prečna sila v strižnih členih – Potresna obtežna kombinacija (seizmični del – Ey)

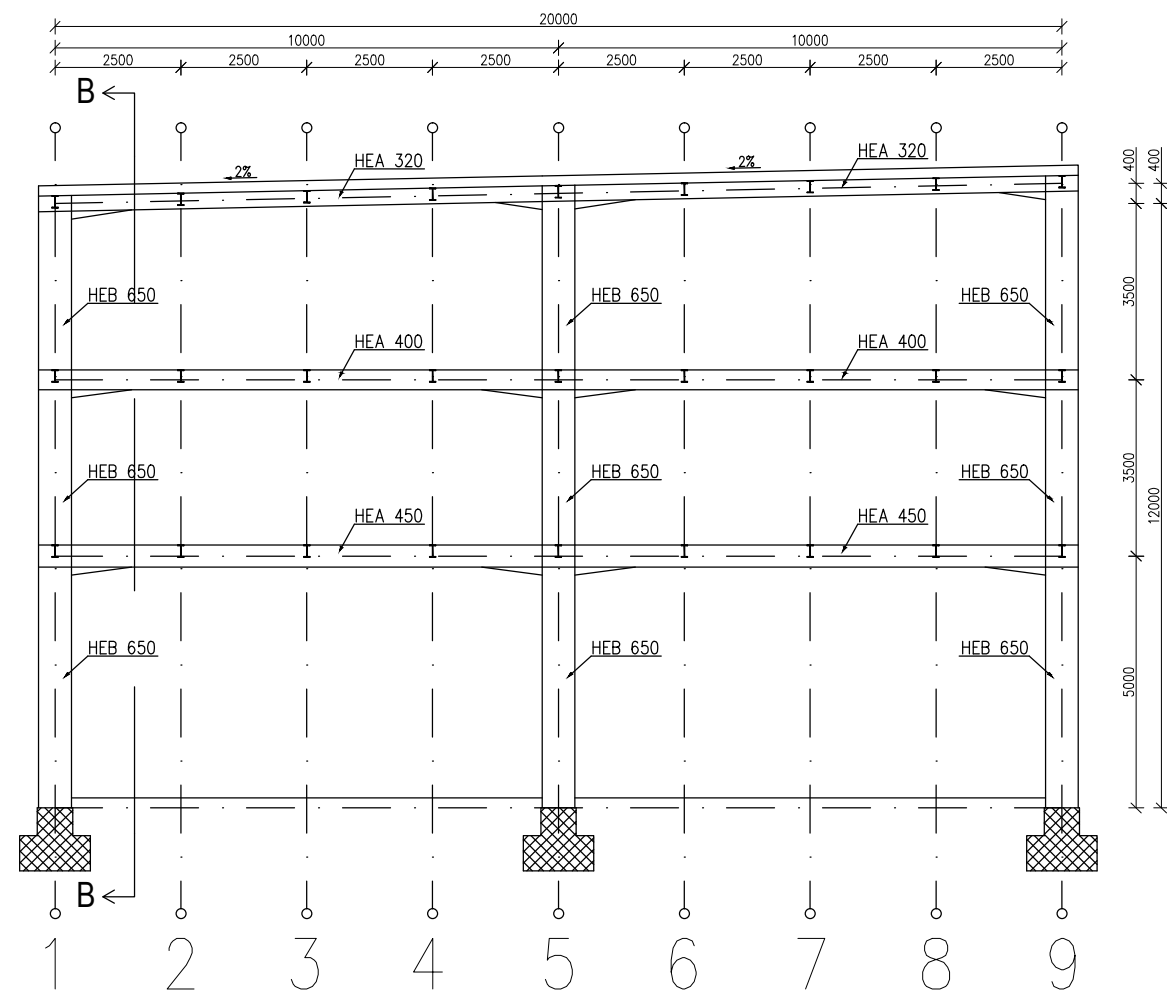


I.4: Upogibni moment v strižnih členih – Potresna obtežna kombinacija (seizmični del – Ey)

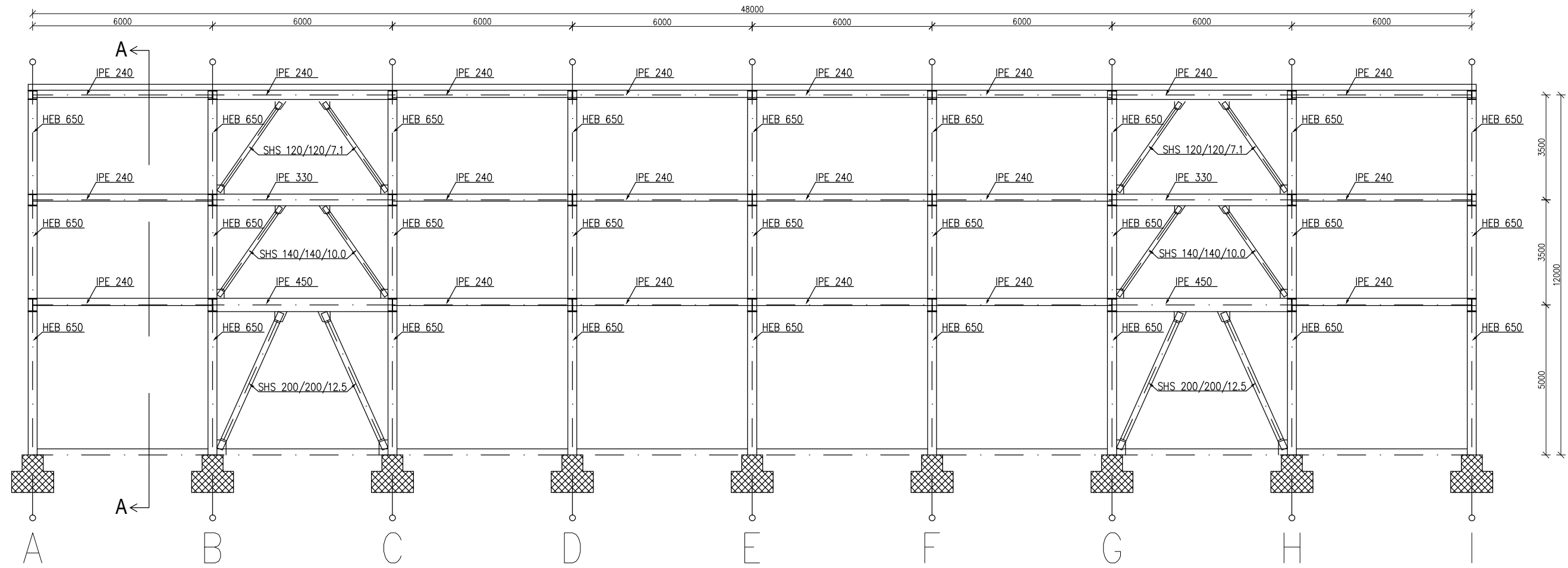




Projekt: <b>Projekt trietažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti</b>		Izdelač: <b>Jan Kuštra</b>	
Vsebina načrta: <b>Tloris objekta</b>		Datum izdelave: <b>2. 9. 2015</b>	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		Merilo: <b>1:150</b>	Stran: <b>1/3</b>



Projekt: <b>Projekt trietažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti</b>	Izdelač: <b>Jan Kuštra</b>	
Vsebina načrta: <b>Prečni prerez objekta A-A</b>	Datum izdelave: <b>2. 9. 2015</b>	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	Merilo: <b>1:150</b>	Stran: <b>2/3</b>

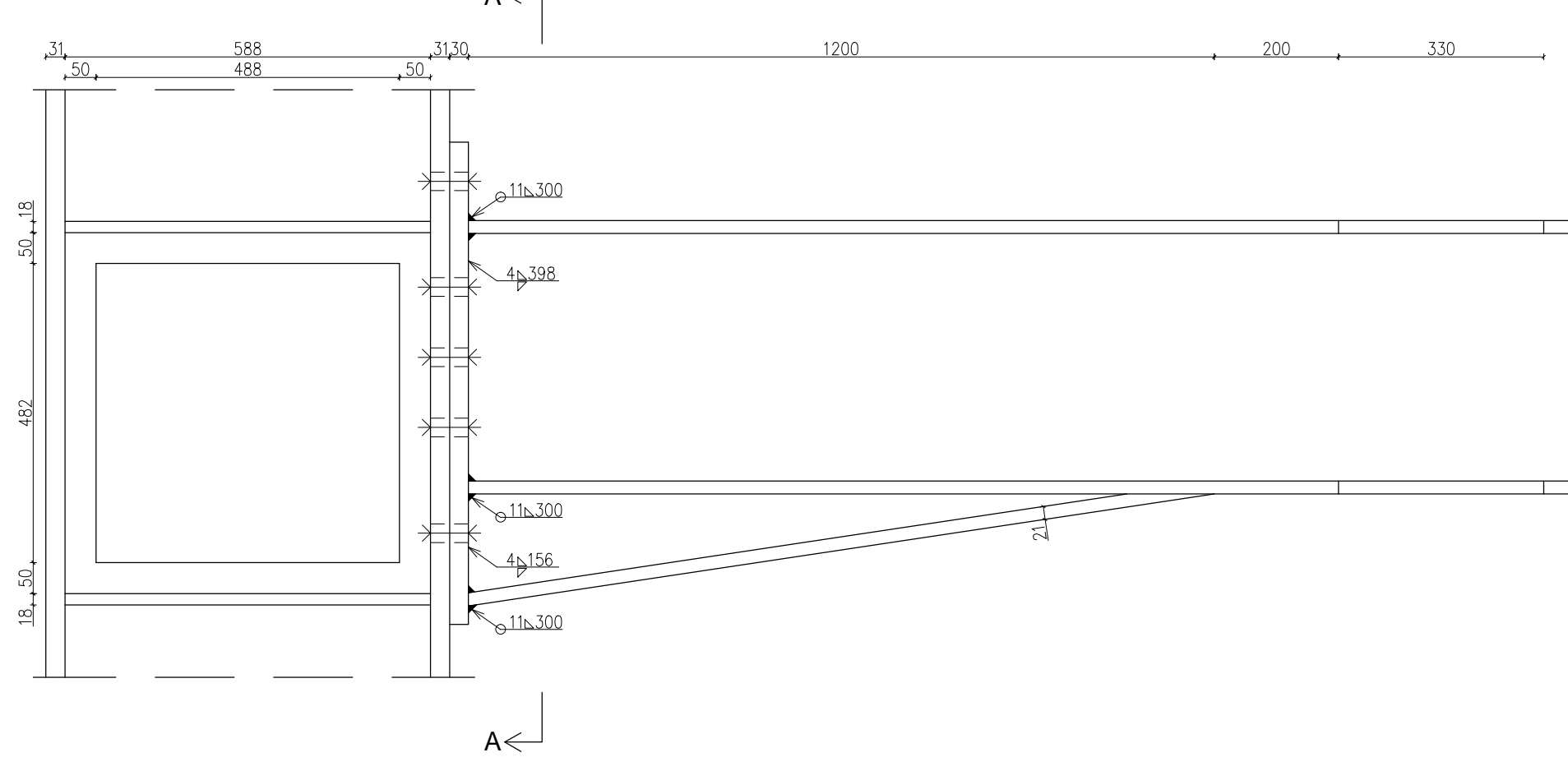


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

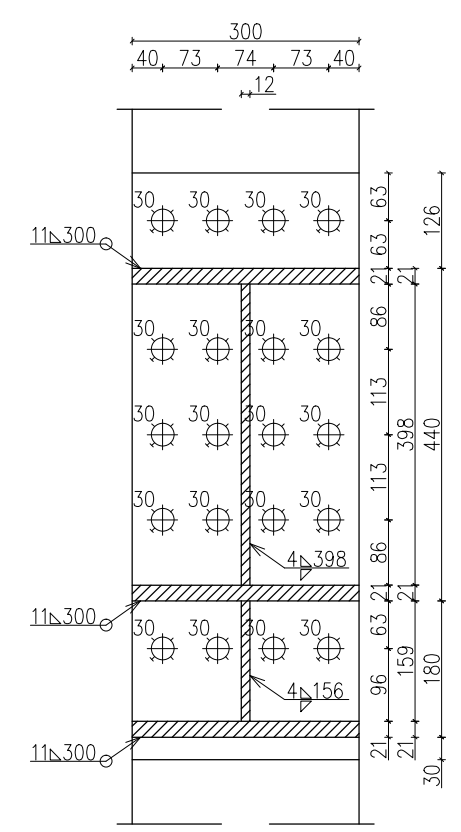
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Projekt: <b>Projekt trietažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti</b>		Izdelał: <b>Jan Kuštra</b>	
Vsebina načrta: <b>Vzdolžni prerez objekta B-B</b>		Datum izdelave: <b>2. 9. 2015</b>	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		Merilo: <b>1:150</b>	Stran: <b>3/3</b>

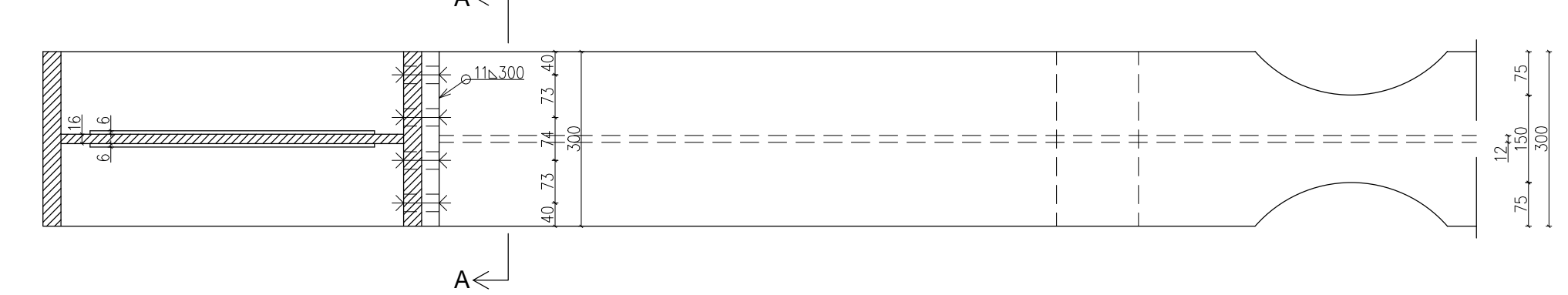
STRANSKI POGLED



PREREZ A-A



TLORIS

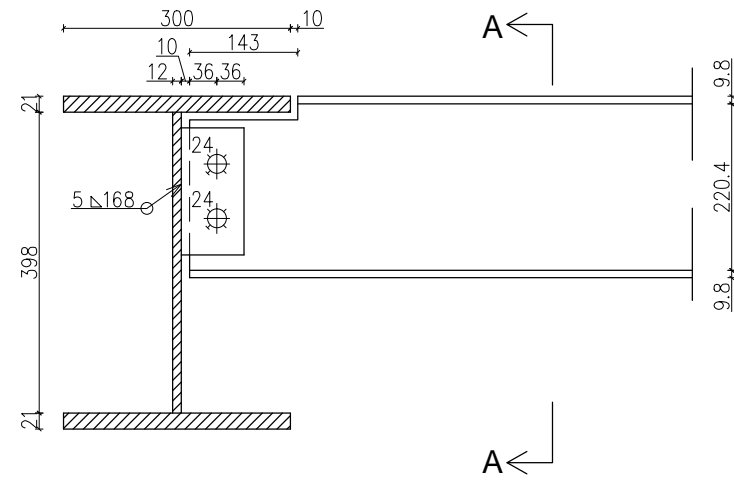


Projekt: <b>Projekt trietažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti</b>	Izdelał: <b>Jan Kuštra</b>	
Vsebina načrta: <b>Detajl momentnega spoja med prečko in stebrom</b>	Datum izdelave: <b>31. 8. 2015</b>	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	Merilo: <b>1:10</b>	Stran: <b>1/2</b>

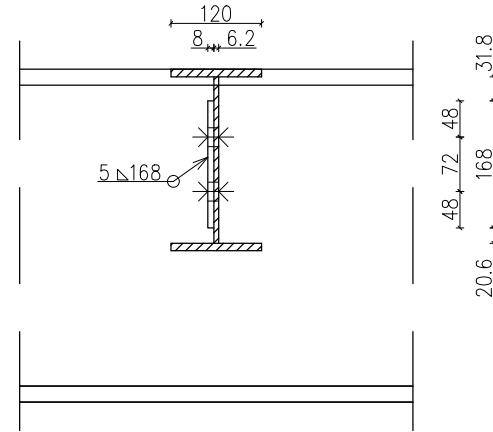
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

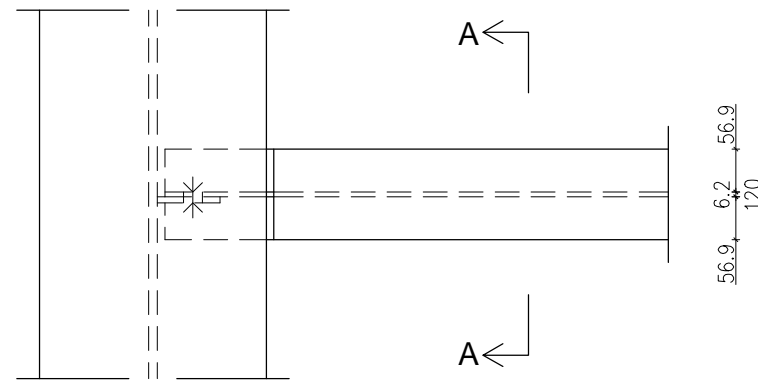
STRANSKI POGLED



PREREZ A-A



TLORIS



Projekt: Projekt trietažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti	Izdelał: Jan Kuštra
Vsebina načrta: Detajl členkastega spoja med sekundarnim nosilcem in prečko	Datum izdelave: 31. 8. 2015
Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	Merilo: 1:10
	Stran: 2/2