

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:

Gačnik, J., 2014. Projekt štirietazne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Sinur, F.): 50 str.

Datum arhiviranja: 20-10-2014

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:

Gačnik, J., 2014. Projekt štirietazne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Sinur, F.): 50 pp.

Archiving Date: 20-10-2014

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:

JURE GAČNIK

**PROJEKT ŠTIRIETAŽNE INDUSTRIJSKE STAVBE S
POUDARKOM NA POTRESNI ODPORNOSTI**

Diplomska naloga št.: 109/B-GR

**SEISMIC DESIGN OF FOUR-STOREY INDUSTRIAL
BUILDING**

Graduation thesis No.: 109/B-GR

Mentor:
doc. dr. Franc Sinur

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 10. 07. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Jure Gačnik izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom "Projekt štiri-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 digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 8. 7. 2014

Jure Gačnik

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	624.014.2(497.4)(043.2)
Avtor:	Jure Gačnik
Mentor:	doc. dr. Franc Sinur
Naslov:	Projekt štiri-etažne industrijske stavbe s poudarkom na potresni odpornosti
Tip dokumenta:	diplomska naloga - univerzitetni študij
Obseg in oprema:	50 str., 22 pregl., 22 slik, 35 pril.
Ključne besede:	Jeklana stavba, momentni okvir, centrično povezje, potres, sovprežna plošča, vuta, oslabitev pasnic

Izvleček

V diplomski nalogi obravnavamo zasnovano in dimenzioniranje štiri-etažne industrijske stavbe v obsegu projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja. Nosilno konstrukcijo predstavlja 6 upogibnih okvirjev z razponom 9 metrov na medosni razdalji 10 metrov, ki potekajo v prečni smeri objekta. Horizontalna nosilnost v vzdolžni smeri je zagotovljena s centričnimi povezji. Stropna konstrukcija je zasnovana kot sovprežna plošča, ki se podpira na sekundarne sovprežne nosilce, ki so členkasto priključeni na primarne jeklene nosilce konstrukcije.

Vplive na konstrukcijo smo določili iz slovenskih standardov SIST EN 1991 in SIST EN 1998. Globalno analizo smo naredili z dvema ravninskima modeloma v računalniškem programu SCIA Engineer 2013.1, izračunana pa je z elastično analizo po teoriji drugega reda z upoštevanjem začetnih globalnih geometrijskih nepopolnosti.

Posebna pozornost je posvečena potresni analizi in dimenzioniranju na potresno projektno stanje. Disipacijo energije predvidimo v prečkih ter v centričnih povezjih, medtem ko stebre varujemo.

Ob stikih prečk s stebri pride do velikih negativnih momentov, zato na teh mestih nosilec ojačamo z vutami, na pasnicah prečk pa predvidimo oslabitev. Tako dosežemo optimalno izkoriščenost le teh, kar v nadaljevanju vpliva na optimalno izbiro dimenzij stebrov.

V mejnem stanju nosilnosti (MSU) preverimo pomike, ki se izkažejo za skladne s standardom.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION WITH ABSTRACT

UDC: 624.014.2(497.4)(043.2)
Author: Jure Gačnik
Supervisor: Assist. Prof. Franc Sinur Ph.D
Title: Seismic design of four-storey industrial building
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 50 p., 22 tab., 22 fig., 35 ann.
Key words: Steel structure, moment resisting frame, concentric bracing, earthquake, composite slab, haunch, weakening of flanges

Abstract

This graduation thesis examines the concept and design of a four-storey industrial building within the scope of the project to obtain a building permit. The supporting structure is constituted by 6 steel moment resisting frames with a 9-metre span, running transversely every 10 meters along the length of the building. Longitudinal horizontal load capacity is provided through concentric bracing. Floors are designed as a composite slab supported by secondary composite beams, which are simply supported by the primary steel beams.

Influences on the structure are predicted in accordance with Slovenia's SIST EN 1991-1998 standard. Global analysis was made using two planar models in a SCIA Engineer 2013.1 program environment, while calculations were undertaken through an elastic analysis with consideration of the initial geometric imperfections and second order theory.

Special attention was dedicated to seismic design. Dissipation of energy is provided in the beams and concentric bracing in order to protect the columns.

Due to the numerous negative moments calculated, the junctures of beams with columns were reinforced with haunches. In achieving optimum utilization, the choice of column dimension is affected by the projected weakening at the flanges of beams.

In the assessment of the serviceability limit state, displacements appear to be consistent with the given recommendations.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč, nasvete in usmeritve pri izdelavi diplomske naloge bi se iskreno rad zahvalil mentorju doc. dr. Francu Sinurju.

Za pridobljeno znanje s področja jeklenih konstrukcij hvala pokojnemu prof. dr. Darku Begu.

Iskrena hvala tudi moji družini, ki me je podpirala in spodbujala ves čas študija.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION WITH ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO TABEL	IX
KAZALO SLIK	X
1 UVOD	1
2 TEHNIČNO POROČILO	2
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	4
2.2.4 Medetažna stropna konstrukcija	4
2.2.5 Centrično povezje	4
2.2.6 Fasada	4
2.2.7 Spoji	4
3 OBTEŽBE	5
3.1 Lastna in stalna obtežba	5
3.1.1 Streha in medetažne konstrukcije	5
3.1.2 Fasadna konstrukcija	5
3.2 Koristna obtežba	5
3.3 Obtežba snega	5
3.4 Obtežba vetra	6
3.4.1 Hitrost	6
3.4.2 Tlak vetra na zunanje ploskve	7
4 POTRESNA OBTEŽBA	9
4.1 Masa za potresno analizo	9
4.2 Spekter pospeškov	10
4.2.1 Nihajni čas v prečni smeri	11

4.2.2	Nihajni čas v vzdolžni smeri	11
4.3	Potresna analiza	11
4.3.1	Prečni okvir	12
4.3.2	Vzdolžni okvir	14
5	OBTEŽNE KOMBINACIJE	16
5.1	Mejno stanje nosilnosti (MSN)	16
5.1.1	Kombinacije vplivov za stalna in začasna projektna stanja	16
5.1.2	Kombinacije vplivov za potresno projektno stanje	16
5.2	Kombinacije vplivov za mejno stanje uporabnosti (MSU)	16
6	RAČUNSKI MODEL NOSILNIH KONSTRUKCIJ IN PODKONSTRUKCIJ	18
6.1	Računski model momentnega prečnega okvirja	18
6.1.1	Začetne globalne nepopolnosti	18
6.2	Računski model okvirja s centričnim povezjem	19
6.2.1	Začetne globalne nepopolnosti	19
6.3	Statična analiza	19
7	DIMENZIONIRANJE	20
7.1	Sekundarni nosilec	21
7.1.1	Geometrijske karakteristike	21
7.1.2	Obremenitev	21
7.1.3	Odpornost	22
7.1.4	Kontrola nosilnosti	22
7.2	Prečka	23
7.2.1	Prerez 1-1	23
7.2.2	Prerez 2-2	26
7.3	Centrično povezje	27
7.4	Steber	27
7.4.1	Obremenitev	28
7.4.2	Nosilnost	29
7.4.3	Stabilnost	29
8	GLAVNI SPOJI	32
8.1	Momentni spoj med prečko in stebrom	32
8.1.1	Material in elementi	32
8.1.2	Obremenitve	32
8.1.3	Dimenzioniranje	33

8.2	Členkast spoj med sekundarnim nosilcem in prečko	38
8.2.1	Material in geometrija	38
8.2.2	Obremenitve	38
8.2.3	Dimenzioniranje	38
9	MEJNO STANJE UPORABNOSTI	42
9.1	Prečni okvir	42
9.1.1	Prečke	42
9.1.2	Stebri	43
9.2	Vzdolžni okvir	43
9.2.1	Prečke	43
9.2.2	Stebri	44
10	POPIS MATERIALA	45
10.1	Jekleni elementi	45
10.2	Ostali elementi	46
10.3	Skupna masa	46
11	UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI	47
	VIRI	48
	SEZNAM PRILOG	49

KAZALO TABEL

Preglednica 1: Tlak vetra na ploskve stavbe v prečni smeri	8
Preglednica 2: Tlak vetra na ploskve stavbe v vzdolžni smeri	8
Preglednica 3: Masa za potresno analizo	10
Preglednica 4: Skupna masa posamezne etaže za potresno analizo	10
Preglednica 5: Masa posameznih etaž	10
Preglednica 6: Kontrola vpliva teorije drugega reda – momentni okvir	12
Preglednica 7: Izračun potresnih sil glede na posamezne etaže - okvir	13
Preglednica 8: Kontrola vpliva teorije drugega reda - okvir s povezji	14
Preglednica 9: Izračun potresnih sil glede na posamezne etaže – povezje	15
Preglednica 10: Obtežba na sekundarni nosilec	22
Preglednica 11: Dimenzioniranje nateznih diagonal centričnega povezja	27
Preglednica 12: Notranje sile v stebrih	28
Preglednica 13: Masa stebrov	45
Preglednica 14: Masa prečk	45
Preglednica 15: Masa sekundarnih nosilcev	45
Preglednica 16: Masa nateznih diagonal	45
Preglednica 17: Masa vut	46
Preglednica 18: Masa betonskih plošč	46
Preglednica 19: Masa estrihov	46
Preglednica 20: Masa kamene volne	46
Preglednica 21: Masa fasadnih panelov	46
Preglednica 22: Skupna masa	46

KAZALO SLIK

Slika 1: Tloris	2
Slika 2: Prerez A-A	3
Slika 3: Prerez B-B	3
Slika 4: Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra $V_{b,0}$ [SIST EN 1991-1-4, 2007]	6
Slika 5: Razdelitev sten na področja [SIST EN 1991-1-4: 2005]	7
Slika 6: Razporeditev 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: Primeri razporeditve koristne obtežbe	17
Slika 10: Model prečnega okvirja	18
Slika 11: Model vzdolžnega okvirja	19
Slika 12: Vplivna širina posameznega sekundarnega nosilca	21
Slika 13: Skica stika prečke, stebra in vute	23
Slika 14: Razdalja med vutama	24
Slika 15: Redukcija nosilnosti stojine	25
Slika 16: Momentni spoj	34
Slika 17: Členkasti spoj med sekundarnim in primarnim nosilcem	38
Slika 18: Strižni iztrg - "block shear"	41
Slika 19: Ovojnica relativnih pomikov u_z [mm] prečk najbolj obremenjenega prečnega okvirja	42
Slika 20: Ovojnica absolutnih pomikov u_x [mm] stebrov najbolj obremenjenega prečnega okvirja	43
Slika 21: Ovojnica relativnih pomikov u_z [mm] prečk najbolj obremenjenega vzdolžnega okvirja	43
Slika 22: Ovojnica absolutnih pomikov u_x [mm] stebrov najbolj obremenjenega vzdolžnega okvirja	44

1 UVOD

Diplomska naloga obravnava zasnovo, statični izračun in dimenzioniranje štiri etažne industrijske stavbe.

Stavba, ki je pravokotne tlorisne oblike, se bo predvidoma nahajala v Krškem.

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

Notranje statične količine so dobljene z geometrijsko nelinearno analizo (TDR) z upoštevanjem začetnih globalnih geometrijskih nepopolnosti.

Vplivi na konstrukcijo so določeni v skladu s standardi SIST EN 1991 in SIST EN 1998. Lastna in stalna obtežba sta določeni v skladu s SIST EN 1991-1-1 in sicer na podlagi izbranih jeklenih profilov, debeline sovprežne armirano betonske plošče, predpostavljene obtežbe sten, inštalacij, fasade ter obtežbe podkonstrukcij, kot so estrih, izolacije in zaključni sloji.

Stavba je namenjena skladiščenju in obratovanju težkih strojev, zato je upoštevana velika koristna obtežba, ki znaša $8 \frac{kN}{m^2}$. Obtežba snega je določena v skladu s standardom SIST EN 1991-1-3, obtežba vetra pa v skladu s SIST EN 1991-1-4.

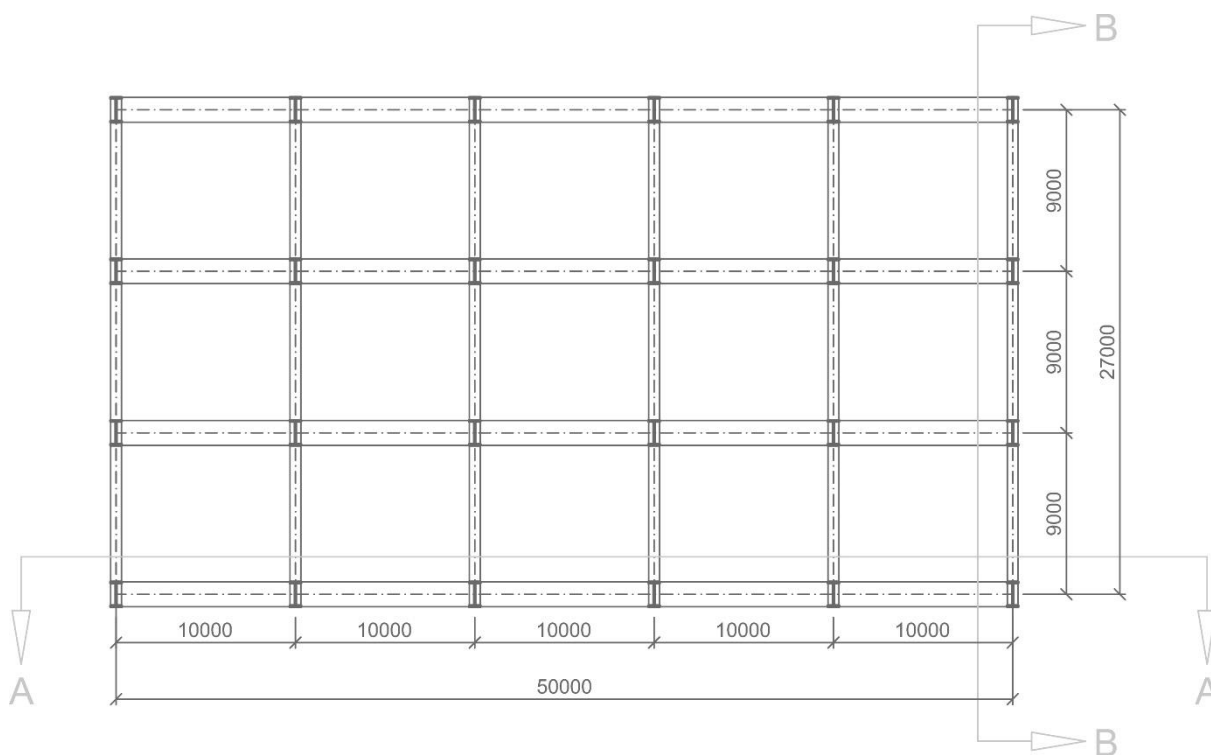
Potresno projektiranje je opravljeno v skladu s standardom SIST EN 1998-8. Upoštevan je projektni pospešek tal $a_g = 0,2 \frac{m}{s^2}$. Tip tal v Krškem predpostavimo in ga uvrstimo v kategorijo B. Za določitev potresne obtežbe je uporabljena metoda z vodoravnimi silami.

2 TEHNIČNO POROČILO

2.1 Zasnova

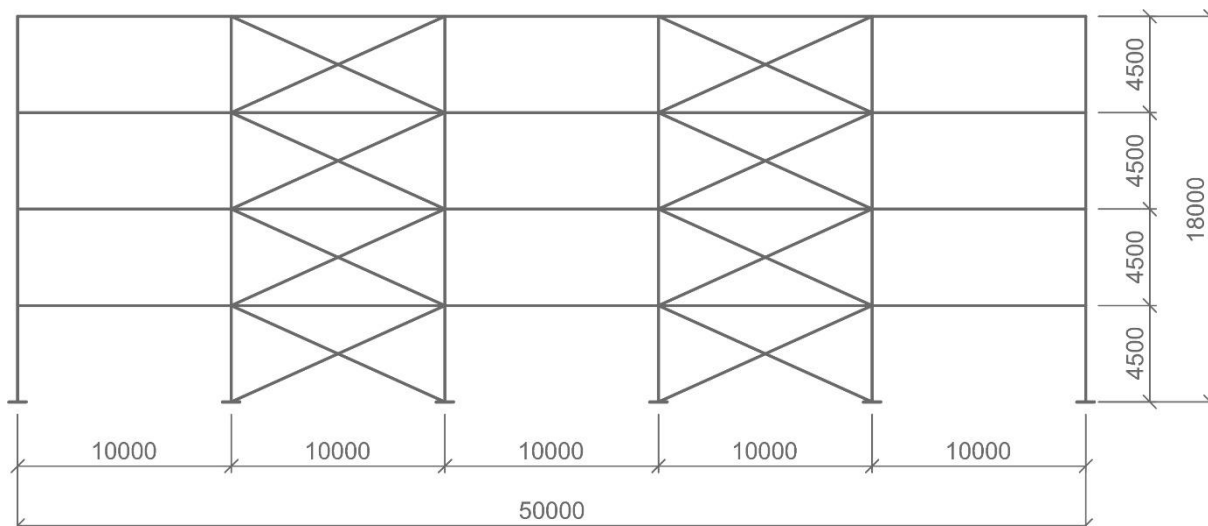
Želja investitorja je izgradnja štiri etažne industrijske stavbe s povečano koristno obtežbo. Le ta znaša $8 \frac{kN}{m^2}$. Objekt se nahaja na nadmorski višini 163 m, leži v vetrni coni 1 in snežni coni A2. Pri potresni analizi smo upoštevali tip tal B s projektnim pospeškom tal $a_g = 0,20 g$.

Tloris stavbe je pravokotnik dolžine 50 m in širine 27 m (Slika 1). Svetla etažna višina povsod znaša vsaj 3,5 m, višina posamezne etaže pa je 4,5 m. Objekt je deloma v sovprežni izvedbi. Streho izvedemo kot ravno z minimalnim naklonom, ki znaša 2%. Uporabljeni materiali so jeklo S235 JR, S460 JR, beton C30/37 in jeklo za armiranje S500.



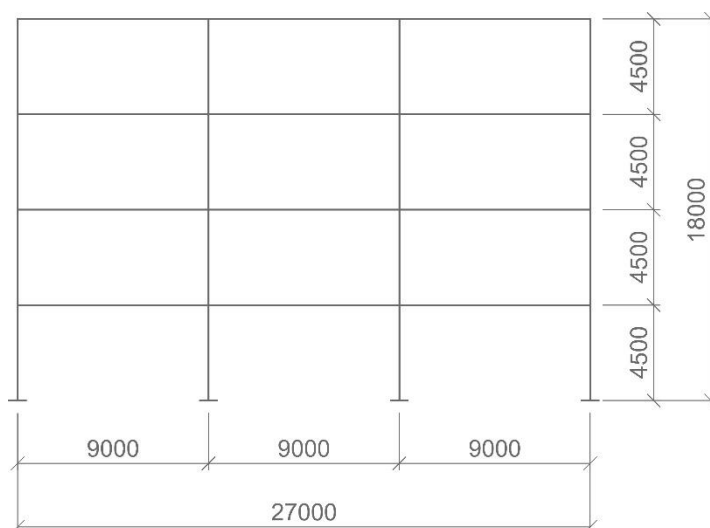
Slika 1: Tloris

V vzdolžni smeri je horizontalna stabilnost objekta zagotovljena z okvirji s centričnim povezji (Slika 2), le-ti so na medsebojni razdalji $l_{yi} = 9m$. Centrična povezja so locirana le v krajnih vzdolžnih okvirjih.



Slika 2: Prerez A-A

Primarni momentni okvirji potekajo v prečni smeri objekta na medsebojni razdalji $l_{xi} = 10m$ (Slika 3).



Slika 3: Prerez B-B

2.2 Konstrukcijski elementi in uporabljen material

2.2.1 Stebri

Za stebre je uporabljen profil **HEB 800** in sicer iz jekla trdnostnega razreda **S460 JR**.

2.2.2 Primarni nosilci

Na stebre so v prečni smeri objekta togo priključeni jekleni nosilci **HEA 600**. Ob stebrih so na prečke pritrjene vute dolžine $l_{vuta} = 150cm$ in višine $h_{vuta} = 20cm$. Osnovna prečka je v območju vute lokalno oslABLJENA. Nosilci in vute so iz jekla kvalitete **S235 JR**.

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 600** iz jekla kvalitete **S235 JR**. Razpon med sekundarnimi nosilci znaša $l = 3m$.

2.2.4 Medetažna stropna konstrukcija

Debelina sovprežne plošče znaša $h_{plošča} = 12cm$. Uporabljen trdnostni razred betona je **C30/37**. Sovprežno delovanje je zagotovljeno v smeri sekundarnih nosilcev.

2.2.5 Centrično povezje

Osnovni namen centričnega povezja je prevzem horizontalne obtežbe v vzdolžni smeri objekta. V prvi etaži so uporabljena centrična povezja tipa **RHS 300/200/12,5**, v drugi **RHS 300/200/8,0**, v tretji **RHS 200/150/10,0**, v četrti pa **RHS 200/150/5,0**. Vsa povezja so iz jekla kvalitete **S235 JR**.

2.2.6 Fasada

Fasada je izvedena s fasadnimi paneli, ki so preko podkonstrukcije pritrjeni na medetažno konstrukcijo. Obtežba je zgolj predpostavljena, saj sama fasada v projektu ni obravnavana.

2.2.7 Spoji

Med sekundarnim nosilcem in prečko pomičnega okvirja je izveden **členkasti spoj**. Uporabljena je priključna pločevina iz jekla trdnostnega razreda **S235 JR**, ki je na prečko pritrjena s polnonosilnim zvarom, na sekundarni nosilec pa s tremi vijaki **M30 5.8**.

Prečka pomičnega momentnega okvirja je na steber pritrjena s polnonosilnim **momentnim spojem**. Uporabljena je čelna pločevina iz jekla kvalitete **S235 JR**, ki je na prečko pritrjena s polno nosilnim zvarom, na steber pa z vijaki **M27 10.9**. V stebru je izvedena ojačitev stojine.

3 OBTEŽBE

3.1 Lastna in stalna obtežba

3.1.1 Streha in medetažne konstrukcije

- Sovprežna plošča
 $h = 12\text{ cm}$
 $g = 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- Estrih
 $h = 5\text{ cm}$
 $g = 1,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- Kamena volna
 $h = 5\text{ cm}$
 $g = 0,03 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- Inštalacije
 $g = 0,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- Stene
 $g = 0,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- Sekundarni jekleni nosilec IPE 600
 $g = 1,22 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

3.1.2 Fasadna konstrukcija

Za fasadno konstrukcijo smo izbrali Trimo fasadne panele, ki bodo pritrjeni na 1,5 m in 3,0 m višine etaže. Podkonstrukcija se opira na vsako medetažno ploščo. Teža fasadnih panelov, vključno s fasadno podkonstrukcijo, znaša $g_f = 0,55 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$.

3.2 Koristna obtežba

Projektira se industrijska stavba, v kateri se bodo poleg strojev za proizvodnjo nahajala tudi skladišča. Stavba je uvrščena v kategorijo E (skladišča) [1]. Obtežba znaša $q = 8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$. Glede na izbrano kategorijo stavbe in podano koristno obtežbo, določimo koncentrirano obtežbo, ki znaša $Q_k = 7\text{ kN}$.

3.3 Obtežba snega

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

Krško leži v coni A2 na nadmorski višini 163 m. Pri potresni obtežni kombinaciji vpliva snega ne upoštevamo, saj leži objekt na nadmorski višini manjši od 1500 m [3].

$s_k = 1,36 \frac{kN}{m^2}$... karakteristična obtežba snega na tleh

$\mu_1 = 0,8$... oblikovni koeficient obtežbe snega

$c_e = 1,0$... koeficient izpostavljenosti

$c_t = 1,0$... toplotni koeficient

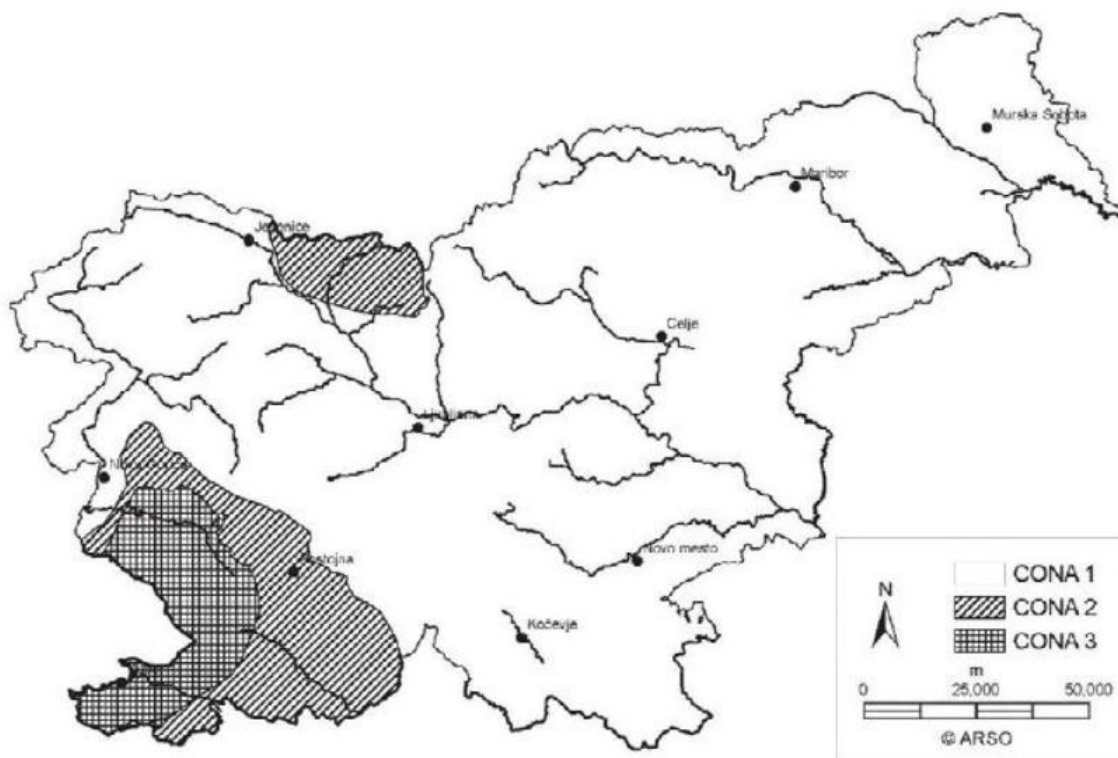
$s = \mu_1 \cdot s_k \cdot c_e \cdot c_t = 1,09 \frac{kN}{m^2}$... obtežba snega na streho

3.4 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.

3.4.1 Hitrost

Kot vidimo spodaj (Slika 4), Krško leži v coni 1 in sicer na nadmorski višini manjši od 800m. Stavba leži na terenu, ki spada v 2. 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 (izberem priporočeno vrednost)

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

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

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 22,6 \frac{m}{s} \dots \text{srednja hitrost vetra na višini } 18,8m$$

3.4.2 Tlak vetra na zunanje ploskve

Podatki o geometriji stavbe

$h = 18,8m$... višina stavbe

$b = 50,0m$... dolžina stavbe

$d = 27,0m$... širina stavbe

$e = 2 \cdot h = 37,6m$

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

$c_e(z) = 2,77$... faktor izpostavljenosti, odvisen od kategorije terena ter višine stavbe

$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 2,77 \cdot 250Pa = 691Pa$... največji tlak pri sunku vetra

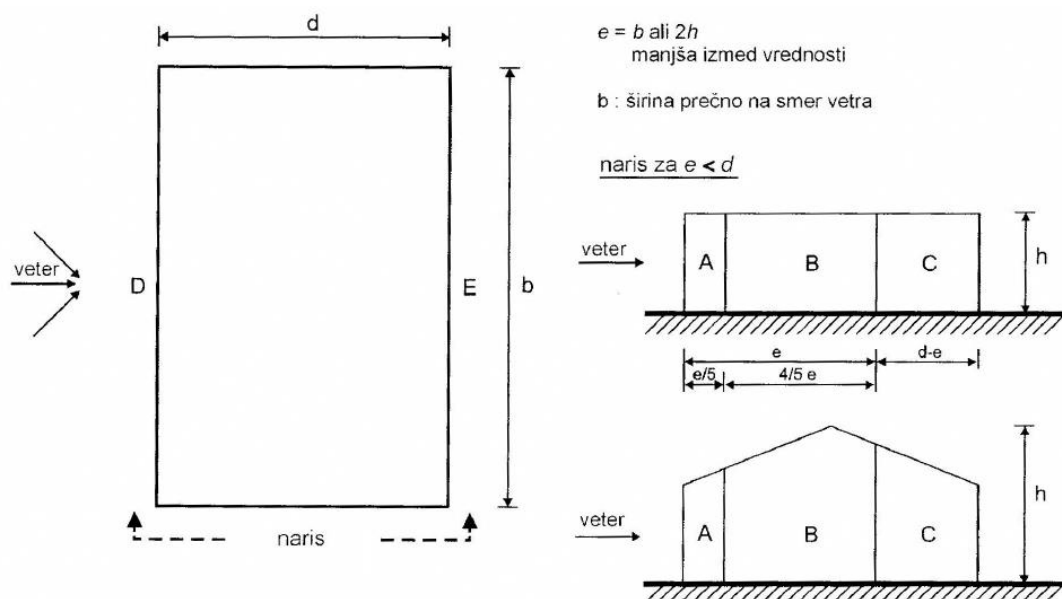
Tlak vetra izračunamo tako za posamezne ploskve zunanjih sten, kot tudi za posamezne ploskve strehe, kot je prikazano spodaj (Slika 5, Slika 6). Streha je ravna z minimalnim naklonom, ki znaša 2%. Ker je $h \leq b$, je $q_p(z)$ konstanten po vsej višini.

Tlak vetra po spodnji enačbi določimo za vsako ploskev posebej.

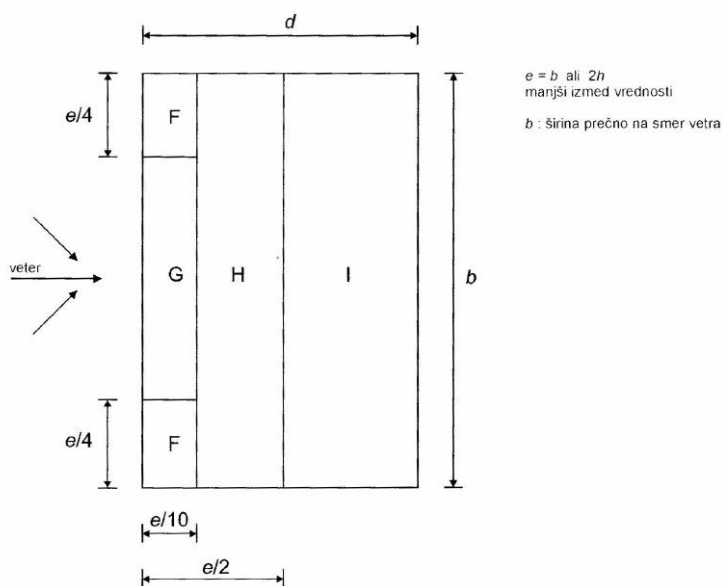
$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

z_e ... referenčna višina na zunanji tlak

c_{pe} ... koeficient zunanje tlaka



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



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

Veter v prečni smeri		
Cone	c_{pe}	w_e [Pa]
Streha		
G	- 1,20	- 828,2
H	- 0,70	- 483,7
I	+ 0,20	+/- 138,2
Stene		
A	- 1,20	- 829,2
B	- 0,80	- 552,8
D	+ 0,76	+ 525,2
E	- 0,42	- 290,2

Preglednica 1: Tlak vetra na ploskve stavbe v prečni smeri

Veter v vzdolžni smeri		
Cone	c_{pe}	w_e [Pa]
Streha		
G	- 1,20	- 828,2
H	- 0,70	- 483,7
I	+ 0,20	+/- 138,2
Stene		
A	- 1,20	- 829,2
B	- 0,80	- 552,8
C	- 0,50	- 345,5
D	+ 0,72	+ 495,4
E	- 0,33	- 230,8

Preglednica 2: Tlak vetra na ploskve stavbe v vzdolžni smeri

4 POTRESNA OBTEŽBA

Potresno obtežbo upoštevamo z nadomestnimi horizontalnimi silami [6].

Tip tal v Krškem je B, projektni pospešek tal znaša $a_g = 0,20g$.

Projektiramo konstrukcijo, ki je sposobna sipati energijo. Stopnja duktilnosti konstrukcije je visoka (DCH), kar pomeni, da morajo biti prerezi, kjer bo prišlo do disipacije energije, v 1. razredu kompaktnosti.

V prečni smeri bo sipanje energije potekalo v prečkah, kjer se bo konstrukcija obnašala neelastično. Tam mora biti zagotovljena zadostna duktilnost in nosilnost. Izberemo faktor obnašanja $q = 6$ [7].

V vzdolžni smeri pa bo sipanje potekalo v centričnih povezjih. Tudi tam se bo konstrukcija obnašala neelastično. Izberemo faktor obnašanja $q = 4$.

4.1 Masa za potresno analizo

Masa za potresno analizo je izračunana po spodnji enačbi.

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

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

$\varphi = 1,0$... kategorija E, skladišča

$\Psi_2 = 0,8$... kategorija E, skladišča

Zaradi velike koristne obtežbe in uvrstitve stavbe v kategorijo E, je masa za potresno analizo velika. To se odraža v velikih potresnih silah.

V vsaki etaži upoštevamo lastno, stalno in koristno obtežbo, medtem ko pri strehi koristne obtežbe ne upoštevamo. Prav tako ne upoštevamo obtežbe snega, saj se le ta v potresni kombinaciji ne upošteva.

Lastna obtežba				
	G [kg/m]	Dolžina [m]	Število	Skupaj [kg]
Sekundarni nosilci	122	10	50	67100
Primarni nosilci	178	9	18	31720
Stebri	262	4,5	24	28296
Stalna obtežba				
	Debelina [cm]	Gostota [kg/m ³]	Površina [m ²]	Skupaj [kg]
Betonska plošča	12	2500	1350	405000
Estrih	5	2500	1350	168750
Kamena volna	5	55	1350	3713
	[kN/m ²]		Površina [m ²]	Skupaj [kg]
Inštalacije	0,3		1350	40500
Stene	0,8		1350	108000
Fasada	0,5		693	34650
Koristna obtežba				
	[kN/m ²]		Površina [m ²]	Skupaj [kg]
Koristna	8		1350	1080000

Preglednica 3: Masa za potresno analizo

Masa za potresno analizo/etažo				
	Masa [kg]	Ψ	Skupaj [kg]	Skupaj [kN]
G	887728	1	887728	8708,6
Q	1080000	0,8	864000	8475,8
			1751728	17184,5

Preglednica 4: Skupna masa posamezne etaže za potresno analizo

Masa posameznih etaž		
Etaža	Skupaj [kg]	Skupaj [kN]
1	1751728	17184,5
2	1751728	17184,5
3	1751728	17184,5
4	887728	8708,6

Preglednica 5: Masa posameznih etaž

4.2 Spekter pospeškov

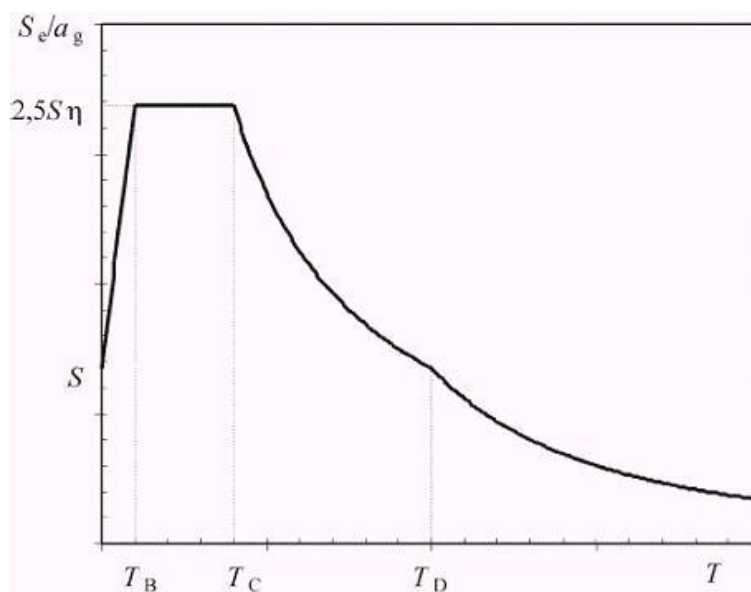
Skladno s standardom določimo elastični spekter pospeškov.

Podatki

- $a_g = 0,20g$
- Tip tal: B
 - S: 1,2
 - T_B : 0,15s
 - T_C : 0,5s
 - T_D : 2,0s
- 5% dušenje nihanja

Nihajni čas konstrukcije smo predpostavili tako, da upoštevamo elastični spekter na platoju, t.j. najbolj neugodna situacija (Slika 7). Nihajni čas je tako $T_B \leq T_{nihajni} \leq T_C$.

Informativno pa je spodaj narejena tudi okvirna ocena nihajnih časov [6]. Vidno je, da se nihajni čas vzdolžnega okvirja dejansko nahaja na platoju, medtem ko je dejanski nihajni čas prečnega okvirja, za razliko od predpostavljenega, ugodnejši.



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

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

$$T_{1,x} = c_t \cdot h^{3/4} = 0,085 \cdot 18^{3/4} = 0,74s$$

4.2.2 Nihajni čas v vzdolžni smeri

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

$$T_{1,y} = c_t \cdot h^{3/4} = 0,050 \cdot 18^{3/4} = 0,44s$$

4.3 Potresna analiza

Zaradi dodatne nosilnosti in konstrukcijske sposobnosti sipanja energije, lahko upoštevamo redukcijo potresnih sil s faktorjem obnašanja q , ki je odvisen od zasnove konstrukcije. V smeri pomičnega okvirja določimo $q = 6$ (DCH), v smeri okvirja s centričnimi povezji pa $q = 4$ (DCH). S tem faktorjem v nadaljnjem izračunu reduciramo dobljene potresne sile.

Vsi prerezi (ne velja za natezne elemente) morajo biti v 1. razredu kompaktnosti.

4.3.1 Prečni okvir

- **Potresna sila**

$$q = 6$$

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

$$S_d(T) = 0,10$$

$$F_b = 1004,4kN$$

- **Kontrola vpliva teorije drugega reda**

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

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

Kontrola vpliva TDR - momentni okvir						
Etaža	P _{tot}	V _{tot}	d _e	d _r	ϑ	Absolutni pomik
1	11716	1365	0,011	0,065	0,124	0,011
2	8320	1194	0,016	0,098	0,152	0,027
3	4925	854	0,013	0,081	0,104	0,041
4	1528	343	0,008	0,049	0,049	0,049

Preglednica 6: Kontrola vpliva teorije drugega reda – momentni okvir

$$\vartheta_{max} = 0,15$$

$$k_\delta = 1,18$$

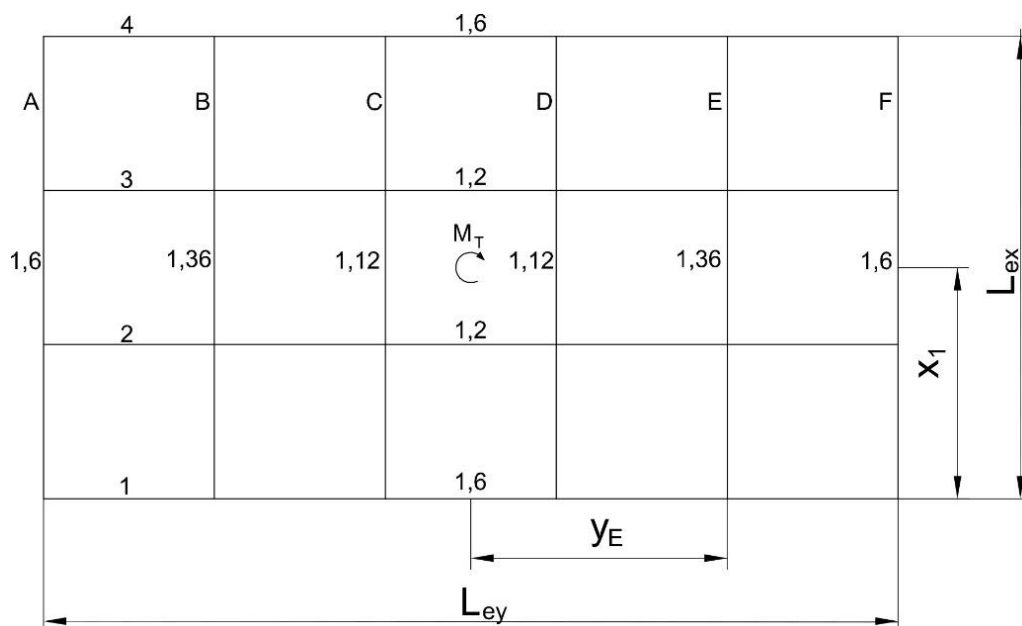
Izkaže se, da je potrebno upoštevati vpliv TDR, saj znaša $\vartheta_{max} = 0,15 > 0,1$.

Vpliv TDR upoštevamo tako, da izvedemo nelinearno geometrijsko analizo z upoštevanjem začetnih geometrijskih nepopolnosti.

Sicer pa bi se lahko poslužili tudi drugega načina, pri katerem s faktorjem k_δ povečamo notranje sile, ki so določene z linearno analizo.

- **Vpliv naključne torzije upoštevamo s faktorjem δ**

Torzijski vpliv izračunamo za najbolj obremenjen okvir, t.j. **okvir B oz. E** (Slika 8).



Slika 8: Vpliv naključne torzije

$$\delta = 1 + 1,2 \cdot \frac{y_E}{L_e}$$

$$\delta = 1,36$$

- **Kriterij za doseganje ustreznega porušnega mehanizma (šibka prečka – močan steber)**

$$\Sigma M_{pl,Rd}^s \geq 1,3 \cdot \Sigma M_{pl,Rd}^p$$

$$2 \cdot M_{pl,Rd}^s \geq 2 \cdot 1,3 \cdot (M_{pl,Rd}^p + (V_G + V_{pl,Rd}) \cdot l_{vute} + \frac{q \cdot l_{vute}^2}{2})$$

$$2 \cdot 4501,2kNm \geq 2 \cdot 1,3 \cdot (687,4kNm + (379,6kN + 1248,8kN) \cdot 1,5m + \frac{80 \frac{kN}{m} \cdot 1,5m^2}{2})$$

$$9002,4kNm \geq 8372,0kNm$$

- **Potresne sile v vsaki etaži na posamezen okvir**

Izračun naredimo za okvir B oziroma E (Slika 8).

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot F_{Mi}}{\sum_j z_j \cdot F_{Mj}}$$

$$F_i^{B,E} = \delta_{B,E} \cdot F_i$$

$$\delta_{B,E} = 1,36$$

Okvir						Upoštevani kδ
F _{M1} [kN]	2864	h ₁ [m]	4,5	F ₁ [kN]	170,17	200,70
F _{M2} [kN]	2864	h ₂ [m]	9	F ₂ [kN]	340,33	401,40
F _{M3} [kN]	2864	h ₃ [m]	13,5	F ₃ [kN]	510,50	602,10
F _{M4} [kN]	1451	h ₄ [m]	18	F ₄ [kN]	344,94	406,84
ΣF _M	10044			Σz _i ·F _{mi}	103455,87	

Preglednica 7: Izračun potresnih sil glede na posamezne etaže - okvir

4.3.2 Vzdolžni okvir

- Potresna sila**

$$q = 4$$

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

$$S_d(T) = 0,15$$

$$F_b = 2259,8kN$$

- Kontrola vpliva teorije drugega reda**

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

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

Kontrola vpliva TDR – okvir s povezji						
Etaža	P _{tot}	V _{tot}	d _e	d _r	δ	Absolutni pomik
1	18934	3615,72	0,012	0,049	0,057	0,049
2	13477	3178,42	0,028	0,061	0,058	0,110
3	8022	2303,82	0,041	0,056	0,043	0,166
4	2570	991,91	0,054	0,052	0,030	0,217

Preglednica 8: Kontrola vpliva teorije drugega reda - okvir s povezji

$$\vartheta_{max} = 0,06$$

$$k_\vartheta = 1,06$$

Izkaže se, da vpliva TDR ni potrebno upoštevati, saj $\vartheta_{max} = 0,06 < 0,1$.

- Vpliv naključne torzije upoštevamo s faktorjem δ**

Torzijski vpliv izračunamo za robni okvir, t.j. **okvir 1 oz. 4** (Slika 8).

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

$$\delta = 1,6$$

- Kriterij za doseganje ustreznega porušnega mehanizma (enakomerno izkoriščene vse diagonale po višini konstrukcije)**

$$\frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}} = 1,16 \leq 1,25$$

- Potresne sile v vsaki etaži na posamezen okvir**

Izračun naredimo za okvir 1 oziroma 4.

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot F_{Mi}}{\sum_j z_j \cdot F_{Mj}}$$

$$F_i^{1,4} = \delta_{1,4} \cdot F_i$$

$$\delta_{1,4} = 1,6$$

Povezje					
F_{M1} [kN]	4989,20	h_1 [m]	4,5	F_1	437,30
F_{M2} [kN]	4989,20	h_2 [m]	9	F_2	874,60
F_{M3} [kN]	4989,20	h_3 [m]	13,5	F_3	1311,90
F_{M4} [kN]	2829,20	h_4 [m]	18	F_4	991,91
ΣF_M [kN]	17797			$\Sigma z_i * F_{mi}$ [kNm]	185633,85

Preglednica 9: Izračun potresnih sil glede na posamezne etaže – povezje

5 OBTEŽNE KOMBINACIJE

5.1 Mejno stanje nosilnosti (MSN)

Z obtežnimi kombinacijami za mejno stanje nosilnosti vplive kombiniramo tako, da dobimo najbolj neugodne obremenitve v posameznih elementih konstrukcije (Slika 9). Preverjamo odpornost konstrukcijskih elementov glede na obremenitve (osna sila, prečna sila, upogibni moment ter kombinacija osne sile in upogibnega momenta). [8]

5.1.1 Kombinacije vplivov za stalna in začasna projektna stanja

Kombinacije vplivov: $\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \gamma_{0,1} \cdot Q_{k,i}$

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

Obtežne kombinacije v smeri prečnega okvirja

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

Obtežne kombinacije v smeri vzdolžnega okvirja

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

5.2 Kombinacije vplivov za mejno stanje uporabnosti (MSU)

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

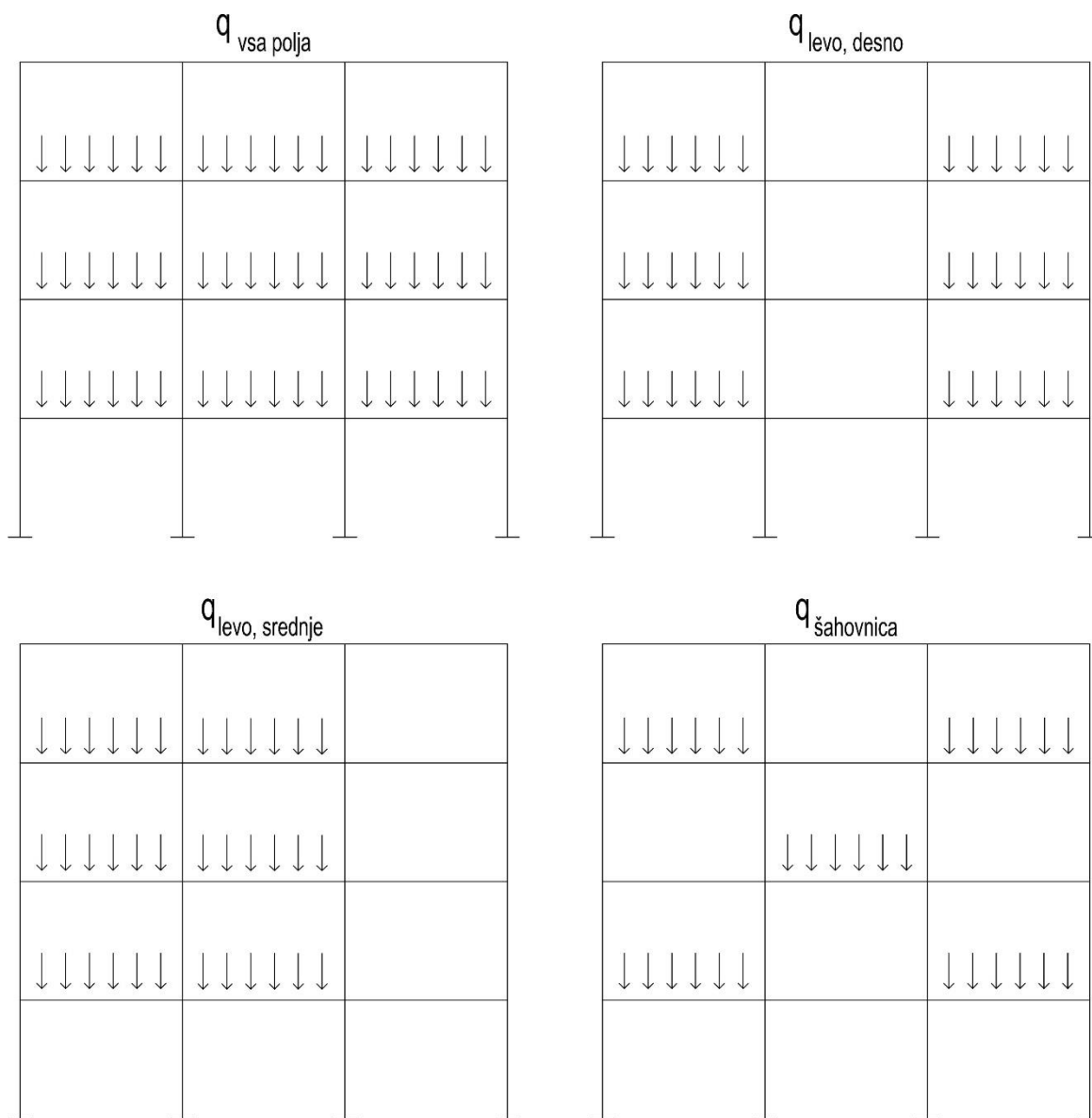
Obtežne kombinacije v smeri okvirja

- 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.) $1,0 \cdot G + 0,9 \cdot Q_{\text{levo in srednje}}$

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

Obtežne kombinacije v smeri okvirja

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



Slika 9: Primeri razporeditve koristne obtežbe

6 RAČUNSKI MODEL NOSILNIH KONSTRUKCIJ IN PODKONSTRUKCIJ

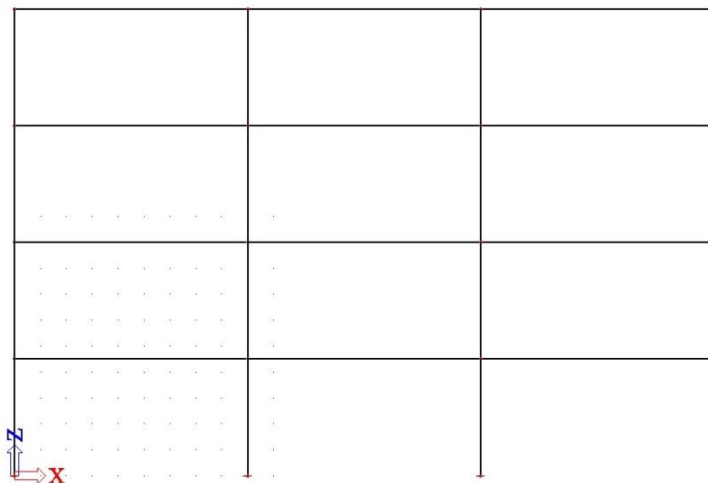
Nosilno konstrukcijo stavbe predstavlja 6 momentnih okvirjev z razponom 9m na medsebojni razdalji 10m. Horizontalna nosilnost v vzdolžni smeri je zagotovljena s štirimi okvirji s centričnim povezjem.

V podporah so preprečeni vsi pomiki. V smereh pomičnega okvirja so prečke vpete na stebre, medtem ko so v smeri centričnih povezij sekundarni nosilci členkasto pritrjeni na prečke.

Konstrukcijo analiziramo z dvema ravninskima računskima modeloma in sicer z momentnim okvirjem v osi B oziroma E ter okvirjem s centričnim povezjem v osi 1 oziroma 4. [7]

6.1 Računski model momentnega prečnega okvirja

Spodaj (Slika 10) je prikazan model prečnega okvirja.



Slika 10: Model prečnega okvirja

6.1.1 Začetne globalne nepopolnosti

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

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

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = 0,47$$

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

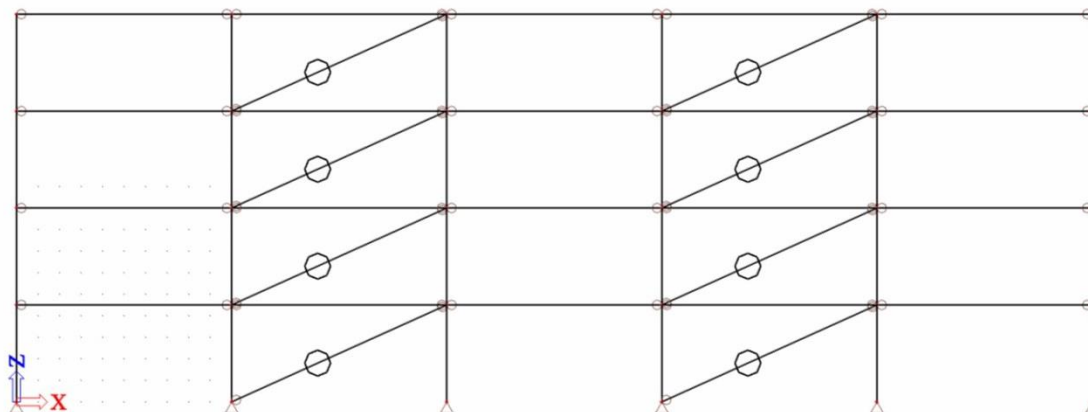
$$m = 4$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0,79$$

$$\varphi_x = \varphi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 2,6 \text{ mm/m}$$

6.2 Računski model okvirja s centričnim povezjem

Spodaj (Slika 11) je prikazan model vzdolžnega okvirja.



Slika 11: Model vzdolžnega okvirja

6.2.1 Začetne globalne nepopolnosti

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

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

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = 0,47$$

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

$$m = 6$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0,76$$

$$\varphi_y = \varphi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 2,5 \text{ mm/m}$$

6.3 Statična analiza

Statična analiza dveh neodvisnih ravninskih modelov je bila narejena z računalniškim programom SCIA Engineer 2013.1. Začetne globalne nepopolnosti smo upoštevali pri geometrijsko nelinearni analizi.

Stavba je pravokotne tlorisne oblike dolžine 50 m in širine 27 m. Svetla etažna višina v vseh nadstropjih znaša vsaj 3,5 m, sama etažna višina pa zaradi velikih dimenzij nosilne konstrukcije znaša 4,5 m.

7 DIMENZIONIRANJE

Zaradi velike koristne obtežbe konstrukcije in posledično velikih potresnih sil se izkaže, da je za dimenzioniranje vseh konstrukcijskih elementov, razen sekundarnih nosilcev, merodajna potresna obtežba.

Projektiramo konstrukcijo s sposobnostjo sipanja energije. To naredimo tako, da predvidimo območja sipanja energije – ta so v smeri pomičnih momentnih okvirjev prečke, v drugi smeri pa centrična povezja. Vute in stebre varujemo, saj se tam plastični členki ne smejo pojaviti.

Ker dejanskih mehanskih lastnosti jekla, ki so višje od nominalnih, ne poznamo, je za uspešno projektiranje varovanih elementov potrebno oceniti najvišjo napetost tečenja jekla $f_{y,nom}$. To napetost upoštevamo pri računanju odpornosti elementov, ki sipajo energijo in s tem zagotovimo, da bo do plastifikacije in nastanka plastičnega členka prišlo na predvidenih mestih. Na ta način konstrukcijske elemente izven območja sipanja zavarujemo in s tem zagotovimo, da ostanejo v elastičnem stanju. Poslužimo se 1. načina, kar pomeni, da upoštevamo $f_{y,nom} = 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot f_y$, kjer je $\gamma_{OV} = 1,25$.

Za elemente, ki jih varujemo, moramo pri določitvi notranjih sil upoštevati tudi faktor dodatne nosilnosti Ω , ki predstavlja obratno vrednost izkoriščenosti prereza v elementih, kjer je predvideno neelastično obnašanje.

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

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

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

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

$N_{Ed,E}$, $M_{Ed,E}$, $V_{Ed,E}$ – 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 s centričnim povezjem
 - $\Omega_{povezje} = \min\left(\frac{N_{pl,Ref,i}}{N_{Ed,i}}\right)$

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

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

7.1 Sekundarni nosilec

Sekundarni nosilec je sovprežen. Na obeh straneh je členkasto vpet v primarno nosilno konstrukcijo. Uporabljen material je jeklo S235 JR ter armiran beton C30/37. [9]

7.1.1 Geometrijske karakteristike

- **Nosilec**

$$L = 10m$$

$$L_e = 0,85 \cdot L = 8,5m$$

$$b_e = \frac{L_e}{8} = 1,06m$$

$$b_{eff} = 2 \cdot b_e = 2,13m$$

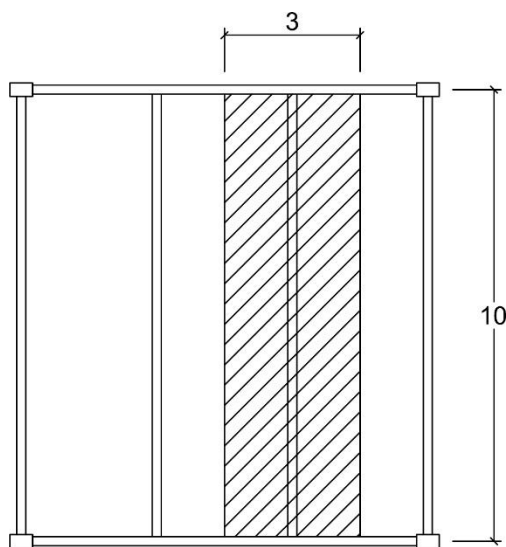
- **Sovprežna plošča**

C 30/37

$$h_c = 12cm$$

$$f_{ck} = 3,0 \frac{kN}{cm^2}$$

7.1.2 Obremenitev



Slika 12: Vplivna širina posameznega sekundarnega nosilca

Pri izračunu obtežb smo upoštevali, da je vplivna širina za posamezen nosilec enaka 3 metre (Slika 12). Tako dobimo obtežbo na tekoči meter, ki je merodajna za izračun.

Obtežba		
Stalna		
Sekundarni nosilec	1,2	kN/m
Beton	9,0	kN/m
Estrih	3,8	kN/m
Kamena volna	0,1	kN/m
Inštalacije	0,9	kN/m
Stene	2,4	kN/m
Koristna		
q	24,0	kN/m

Preglednica 10: Obtežba na sekundarni nosilec

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

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

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

$$M_{Ed,proj} = 763,4 \text{ kNm}$$

7.1.3 Odpornost

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

$$x_{pl} = 8,6 \text{ cm}$$

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

$$r = 37,7 \text{ cm}$$

$$M_{pl,Rd} = A \cdot f_y \cdot r$$

$$M_{pl,Rd} = 1381,6 \text{ kNm}$$

7.1.4 Kontrola nosilnosti

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

$$763,4 \text{ kNm} \leq 1381,6 \text{ kNm}$$

Zadošča izbrani profil **IPE 600**. Izkoriščenost prereza znaša 55%, kontrola bočne zvrnitve pa zaradi polne sovprežnosti nosilca ni potrebna. Prerez je v mejnem stanju nosilnosti (MSN) v tolikšni meri predimenzioniran zaradi kontrole mejnega stanja uporabnosti (MSU), saj so se ob uporabi profila IPE 500 pomiki prečk izkazali za prevelike.

V fazi gradnje, ko čepi še niso aktivirani, je potrebno nosilec dodatno bočno podpreti z začasno zavarovalno konstrukcijo, ki jo kasneje odstranimo.

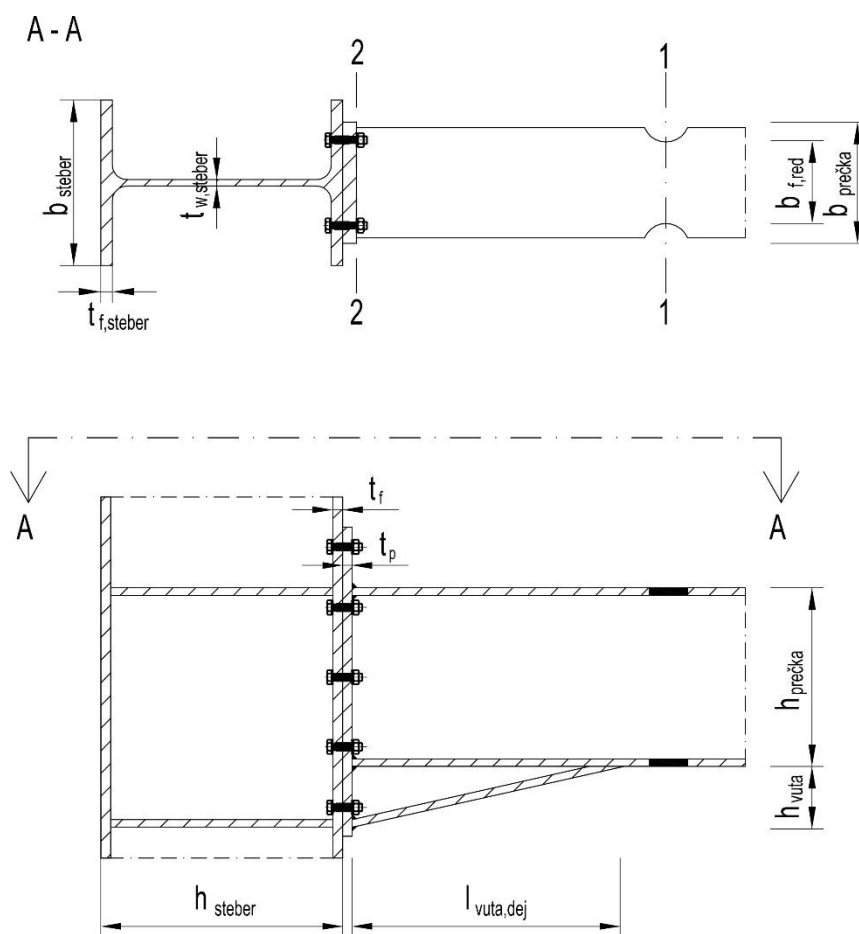
7.2 Prečka

V območju prečke so najbolj kritični negativni momenti ob stebrih, ki so bistveno večji od pozitivnih v polju. V ta namen so uporabljene vute, ki omogočijo uporabo manjših nosilcev, kot bi bili sicer potrebni. Poleg tega je ob stiku prečke z vuto narejena oslabitev pasnic prečke. Tam je namreč predviden nastanek plastičnega členka. Vuta in steber sta varovana.

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

$$\gamma_{OV} = 1,25$$

Za prečko izberemo profil **HEA 600** in sicer iz jekla kvalitete **S235 JR**.



Slika 13: Skica stika prečke, stebra in vute

7.2.1 Prerez 1-1

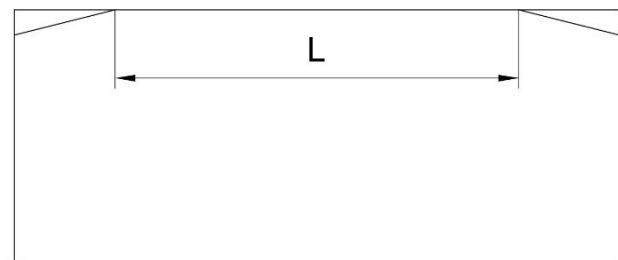
Z namenom varovanja stebrov, stikov ter vut predvidimo nastanek plastičnega členka v nosilcu in sicer tik pred začetkom vute. Cilj je kar najbolje izkoristiti nosilnost. To storimo z oslabitvijo pasnic z obeh strani. Tako dobimo reducirano širino pasnice $b_{f,red}$, ki je merodajna za izračun karakteristik tega prereza (Slika 13).

Obremenitev

Prečne sile:

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

$$V_{Ed}^{1-1} = 379,6kN + \frac{2 \cdot 687,4kNm \cdot 1,1 \cdot 1,25}{6m} = 694,7kN$$



Slika 14: Razdalja med vutama

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

L ... razpon primarnega nosilca med obema vutama (Slika 14)

Momenti:

$$M_{Ed}^{1-1} = 676,6kN$$

Nosilnost oslabiljenega prereza

$$g = 8cm$$

$$b_{f,red} = 14cm$$

$$W_{pl,y}^{1-1} = 2 \cdot b_{f,red} \cdot t_f \cdot \left(\frac{c}{2} + \frac{t_f}{2}\right) + 2 \cdot \frac{c}{2} \cdot t_w \cdot \frac{c}{4} = 2925,2cm^3$$

$$V_{pl,Rd}^{1-1} = 1,2 \cdot t_w \cdot h_{prečke} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$V_{pl,Rd}^{1-1} = 1,2 \cdot 1,3cm \cdot 59cm \cdot \frac{23,5 \frac{kN}{cm^2}}{\sqrt{3}} = 1248,8kN$$

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

$$M_{pl,Rd}^{1-1} = 2925,2 cm^3 \cdot 23,5 \frac{kN}{cm^2} = 687,4kNm$$

- **Kontrola strižne nosilnosti**

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

$$694,7kN \leq 1248,8kN$$

- **Kontrola upogibne nosilnosti**

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

$$676,6kNm \leq 687,4kNm$$

- **Kontrola M-V interakcije**

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

$$694,7kN < 624,4kN$$

$$\frac{V_{Ed}^{1-1}}{V_{pl,Rd}^{1-1}} = 0,56$$

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 za približno 1,3%, medtem ko nosilnost pasnic ostane nespremenjena (Slika 15).

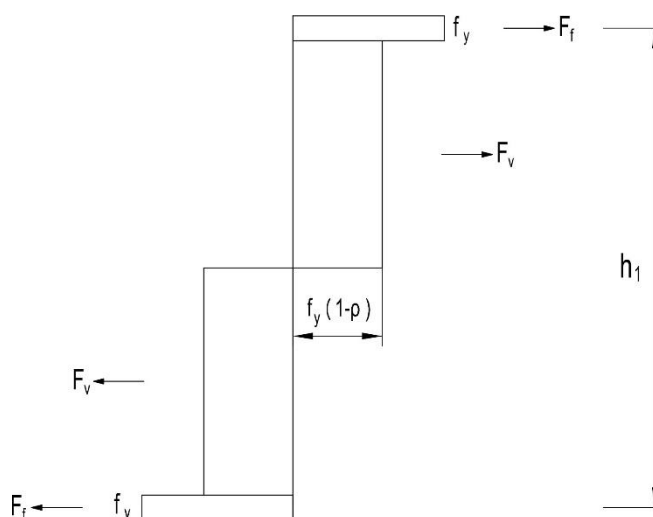
- **Izračun dejanske nosilnosti**

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = 0,013$$

$$F_f = b_{f,red} \cdot t_f \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 14cm \cdot 2,5cm \cdot \frac{23,5 \frac{kN}{cm^2}}{1} = 822,5kN$$

$$F_v = (1 - \rho) \cdot \frac{h_w}{2} \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = (1 - 0,013) \cdot 28,3cm \cdot 1,3cm \cdot 23,5 \frac{kN}{cm^2} = 814,4kN$$

$$M_{pl,Rd} = F_f \cdot h_1 + F_v \cdot \frac{h_w}{2} = 822,5kN \cdot 56,5cm + 814,4kN \cdot 27cm = 684,6kNm \geq M_{Ed}^{1-1}$$



Slika 15: Redukcija nosilnosti stojine

7.2.2 Prerez 2-2

Obremenitev

$$M_{Ed,G}^{2-2} = M_{Ed,G}^{1-1} + V_{Ed,G}^{1-1} \cdot l_{dej} + \frac{(g_{Ed} + q) \cdot l_{dej}^2}{2}$$

$$M_{Ed,G}^{2-2} = 224,9kNm + 379,6kN \cdot 1,10m + \frac{(78,7 \frac{kN}{m} + 80 \frac{kN}{m}) \cdot (1,10m)^2}{2} = 738,5kNm$$

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

$$M_{Ed,E}^{2-2} = 479,4kNm + 154,6kN \cdot 1,10m = 649,5kNm$$

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

$$M_{Ed,proj}^{2-2} = 738,5kNm + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 649,5kNm = 1649,4kNm$$

$$V_{Ed,G}^{2-2} = V_{Ed,G}^{1-1} + (g_{Ed} + q) \cdot l_{dej}$$

$$V_{Ed,G}^{2-2} = 379,6kN + (78,7 \frac{kN}{m} + 80 \frac{kN}{m}) \cdot 1,10m = 554,2,6kN$$

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

$$V_{Ed,E}^{2-2} = 154,6kN$$

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

$$V_{Ed,proj}^{2-2} = 554,2kN + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 154,6kN = 771,0kN$$

Nosilnost prečke in vute

Na podlagi projektnih obremenitev določimo geometrijo prereza z vuto:

$$A = 325,5cm^2$$

$$h = 20cm$$

$$l = 150cm$$

$W_{pl,Rd}^{2-2}$... plastični odpornostni moment, izračunan s programom SCIA Engineer 2013.1

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

$$M_{pl,Rd}^{2-2} = 8212,8cm \cdot 23,5 \frac{kN}{cm^2} = 1930,0kNm$$

$$V_{pl,Rd}^{2-2} = 1,2 \cdot (h_{prečka} + h_{vuta}) \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$V_{pl,Rd}^{2-2} = 1,2 \cdot (59cm + 20cm) \cdot 1,3cm \cdot \frac{23,5 \frac{kN}{cm^2}}{\sqrt{3}} = 1672,1kN$$

- **Kontrola strižne nosilnosti**

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

$$771,0kN < 836,0kN$$

- **Kontrola upogibne nosilnosti**

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

$$1649,4kNm < 1930,0kNm$$

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

7.3 Centrično povezje

Za določitev dimenzij centričnega povezja smo upoštevali zgolj natezne diagonale, saj se tlačene uklonijo. Uporabljeno je jeklo razreda **S235 JR**. Pri dimenzioniranju je potrebno upoštevati naslednja dva kriterija:

- Relativna vitkost diagonale je omejena z naslednjim pogojem: $1,3 \leq \lambda \leq 2$
- Največji faktor dodatne nosilnosti se od najmanjšega ne sme razlikovati za več kot 25%, pri

$$\text{čemer je } \Omega_i = \frac{N_{pl,Rd,i}}{N_{Ed,i}}. \text{ V tem primeru znaša } \frac{\Omega_{max}}{\Omega_{min}} = 1,15 \leq 1,25$$

Za povezje smo izbrali škatlaste profile RHS, ki se v tem primeru izkažejo za ugodne, saj se lahko uklonijo okoli šibke osi in na ta način ni težav glede kriterija z relativno vitkostjo. V vsaki etaži so 4 povezja.

Za dimenzioniranje je merodajna potresna obtežna kombinacija.

1. Etaža								
Profil	N_{Ed} [kN]	A [cm ²]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	Ω	i_z [cm]	l_u [cm]	λ	Ω/Ω_{min}
RHS 300/200/12.5	2325,0	117	2749,5	1,18	8,0	1096,6	1,46	1,07
2. Etaža								
Profil	N_{Ed} [kN]	A [cm ²]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	Ω	i_z [cm]	l_u [cm]	λ	Ω/Ω_{min}
RHS 300/200/8.0	1581,4	76,8	1804,8	1,14	8,2	1096,6	1,42	1,03
3. Etaža								
Profil	N_{Ed} [kN]	A [cm ²]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	Ω	i_z [cm]	l_u [cm]	λ	Ω/Ω_{min}
RHS 200/150/10.0	1377,2	64,9	1525,15	1,11	5,9	1096,6	1,98	1,00
4. Etaža								
Profil	N_{Ed} [kN]	A [cm ²]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	Ω	i_z [cm]	l_u [cm]	λ	Ω/Ω_{min}
RHS 200/150/5.0	621,9	33,7	791,95	1,27	6,1	1096,6	1,91	1,15

Preglednica 11: Dimenzioniranje nateznih diagonal centričnega povezja

7.4 Steber

Za dimenzioniranje je kritičen prerez stebra ob vpetju, saj se tam zaradi delovanja velike potresne sile razvije velik upogibni moment. Preveriti je potrebno delovanje potresa v obeh smereh. Prvi profil, ki ustreza vsem projektnim zahtevam je **HEB 800** iz jekla kvalitete **S460 JR** [10].

7.4.1 Obremenitev

Notranje sile v stebrih			
	1,0·G + 0,8·Q	E _x	E _y
N _{Ed} [kN]	-3851,46	-29,32	-2315,66
V _{Ed} [kN]	14,58	383,48	/
M _{Ed} [kNm]	-46,90	-1274,95	/

Preglednica 12: Notranje sile v stebrih

$\gamma_{OV} = 1,25$... faktor dodatne nosilnosti

$\Omega_{prečka} = 1,02$... faktor izkoriščenosti prečke

$\Omega_{povezje} = 1,11$... faktor izkoriščenosti povezja

Vodilen je potres v smeri prečnega okvirja (smer x)

Osne sile

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

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

Prečne sile

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

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

Momenti

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

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

Vodilen je potres v smeri vzdolžnega okvirja (smer y)

Osne sile

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

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

Prečne sile

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

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

Momenti

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

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

Izkaže se, da so za dimenzioniranje merodajne obtežne kombinacije, ko je vodilen potres v smeri prečnega okvirja (smer x).

Projektne obremenitve stebrov

- $N_{Ed,proj} = -4950,2kN$
- $V_{Ed,proj} = 550,3kN$
- $M_{Ed,proj} = -1828,1kN$

7.4.2 Nosilnost

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

$$N_{pl,Rd} = 334cm^2 \cdot \frac{44,0 \frac{kN}{cm^2}}{1} = 14696,0kN$$

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

$$M_{pl,Rd,y} = 10230cm^3 \cdot \frac{44,0 \frac{kN}{cm^2}}{1} = 4501,2kNm$$

- **Kontrola strižne nosilnosti**

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

$$550,3kN < 1631,5kN$$

Interakcije M-V ni potrebno preverjati.

- **Kontrola upogibne nosilnosti**

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

$$1828,1kNm < 4501,2kNm$$

- **Interakcija upogibnega momenta in osnih sil**

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{4950,2kN}{14696,0kN} + \frac{1828,1kNm}{4501,2kNm} \leq 1$$

$$0,74 \leq 1$$

7.4.3 Stabilnost

$$i_y = 32,8cm$$

$$i_z = 6,7cm$$

$$l_{u,y} = 450cm$$

$$l_{u,z} = 450cm$$

$$\lambda_1 = 93,9$$

$$\varepsilon = 1,0$$

$$L = 450cm$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 1,0$$

$$C_1 = 2,05$$

$$\pi = 3,14$$

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

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

$$l_{ul,T} = 450cm$$

$$I_t = 946cm^4$$

$$I_z = 14900cm^4$$

$$I_w = 21840000cm^6$$

$$A = 334cm^2$$

Uklonske dolžine l_{uy} , l_{uz} ter $l_{uL,T}$ so višine nadstropja. 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]

- **Upogibni uklon**

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_i = \frac{l_u}{i_i \cdot \lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,15$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,72$$

V skladu s preglednico (Pr. 3-18; [10]) določimo redukcijski faktor χ . Zaradi uporabe jekla trdnostnega razreda S460 za uklon okoli osi y-y in z-z uporabimo uklonsko krivuljo a_0 .

$$\chi_y = 1,00$$

$$\chi_z = 0,89$$

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

$$4950,2kN \leq 14696,0kN$$

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

$$4950,2kN \leq 13079,4kN$$

- **Bočna zvrnitev**

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

$$M_{cr} = 1.386.330kNcm$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{10230cm^3 \cdot 44,0 \frac{kN}{cm^2}}{1386330kNcm}} = 0,57$$

Ker je prerez v 1. razredu kompaktnosti, lahko upoštevamo $W_y = W_{pl,y}$.

V skladu s preglednico (Pr. 3-25; [10]) izberemo uklonsko krivuljo b.

$$\chi_{LT} = 0,92$$

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

$$1828,1kNm \leq 4141,1kNm$$

- **Interakcija uklona in bočne zvrnitve**

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. $\Psi = 0$.

$$k_{yy} = 0,89$$

$$k_{zy} = 0,67$$

$$C_{my} = 0,9$$

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

V skladu z enačbama (3-77 in 3-78; [10]) naredimo kontrolo za uklon okoli obeh osi ter hkrati tudi za bočno zvrnitev.

- **Kontrola uklona okoli osi y + bočna zvrnitev**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$
$$0,66 \leq 1$$

- **Kontrola uklona okoli osi z + bočna zvrnitev**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$
$$0,71 \leq 1$$

8 GLAVNI SPOJI

Da zagotovimo nastanek plastičnega členka v prečkah in diagonalah, je spoje potrebno dimenzionirati kot polno nosilne.

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

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

R_{fy} ... plastična nosilnost priključenega elementa, ki lahko sipa energijo, izračunana z nominalno vrednostjo napetostjo tečenja f_y

γ_{OV} ... faktor dodatne nosilnosti

8.1 Momentni spoj med prečko in stebrom

Momentni spoj med primarnim nosilcem **HEA 600** ter stebrom **HEB 800** je polno nosilen.

8.1.1 Material in elementi

Steber HEB 800, S460 JR

$$h = 80,0\text{cm}$$

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

$$t_f = 3,3\text{cm}$$

$$t_w = 1,75\text{cm}$$

Prečka HEA 600, S235 JR

$$h = 59,0\text{cm}$$

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

$$t_f = 2,5\text{cm}$$

$$t_w = 1,3\text{cm}$$

Pločevina: S235 JR

Vijaki: M27 10.9

$$t_p \geq d$$

$$t_p = 30\text{mm}$$

8.1.2 Obremenitve

Potresna obtežba v prečki povzroči linearen potek momentne linije – na eni strani nanjo deluje pozitivni, na drugi pa negativni upogibni moment. Spodaj sta izračunana oba primera.

Upoštevan negativni moment potresne obtežbe

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

$$V_{Ed,G} = 379,6\text{kN}$$

$$V_{Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd}^{prečka}}{L} = \frac{2 \cdot 68742\text{kNcm}}{600\text{cm}} = 229,1\text{kN}$$

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= V_{Ed,G} + (g_{Ed} + 0,8 \cdot q) \cdot l_{vuta,dej} + V_{Ed,M} \\ &= 379,6\text{kN} + \left(0,79 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} + 0,8 \cdot 0,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}\right) \cdot 110\text{cm} + 229,1\text{kN} = 766,0\text{kN} \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \left(M_{pl,Rd}^{prečka} + (V_{Ed,G} + V_{Ed,M}) \cdot l_{vuta} + \frac{(g_{Ed} + 0,8 \cdot q) \cdot l_{vuta,dej}^2}{2} \right)$$

$$M_{Ed} = 1,1 \cdot 1,25 \cdot \left(687,4 \text{ kNm} + (379,6 \text{ kN} + 229,1 \text{ kN}) \cdot 1,1 \text{ m} + \frac{\left(78,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0,8 \cdot 80 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) \cdot (1,1 \text{ m})^2}{2} \right) = 1984,5 \text{ kNm}$$

Upoštevan pozitivni moment potresne obtežbe

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

$$V_{Ed,G} = 379,6 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd}^{prečka}}{L} = -\frac{2 \cdot 68742 \text{ kNcm}}{600 \text{ cm}} = -229,1 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + (g_{Ed} + 0,8 \cdot q) \cdot l_{vuta,dej} + V_{Ed,M} \\ = 379,6 \text{ kN} + \left(0,79 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} + 0,8 \cdot 0,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \right) \cdot 110 \text{ cm} - 229,1 \text{ kN} = 307,8 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,1 \cdot \gamma_{OV} \cdot \left(-M_{pl,Rd}^{prečka} + (V_{Ed,G} - V_{Ed,M}) \cdot l_{vuta} + \frac{(g_{Ed} + q) \cdot l_{vuta,dej}^2}{2} \right)$$

$$M_{Ed} = 1,1 \cdot 1,25 \cdot \left(-687,4 \text{ kNm} + (379,6 \text{ kN} - 229,1 \text{ kN}) \cdot 1,1 \text{ m} + \frac{\left(78,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0,8 \cdot 80 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) \cdot (1,1 \text{ m})^2}{2} \right) = -435,5 \text{ kNm}$$

8.1.3 Dimenzioniranje

Prečka – čelna pločevina

Spoj je izveden s polno nosilnim zvarom.

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

$$a_1 = 12 \text{ mm}$$

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

$$a_2 = 7 \text{ mm}$$

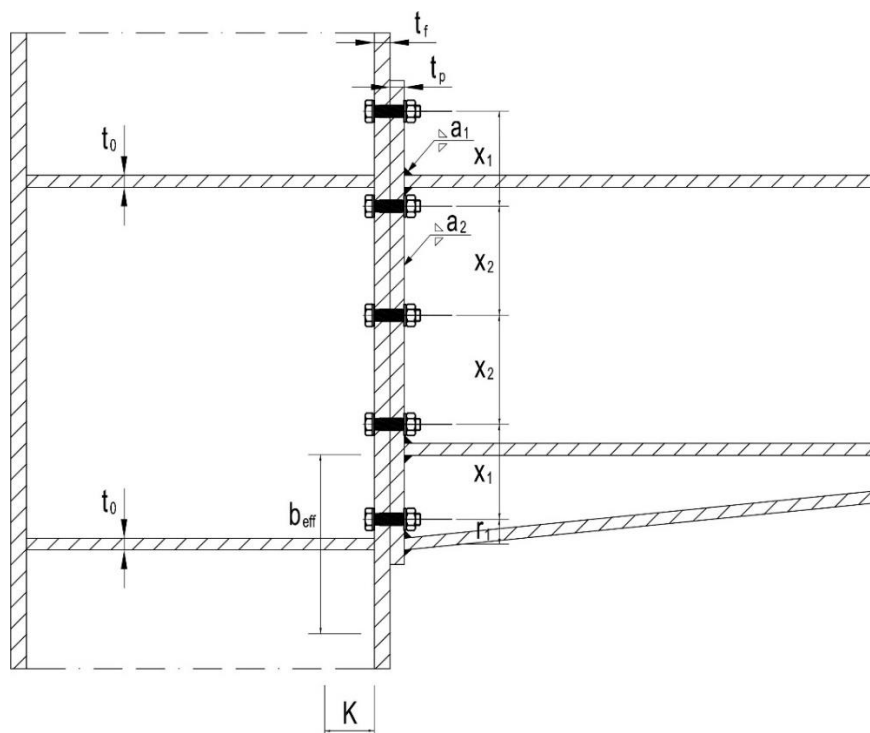
Čelna pločevina – steber

Vijaki: M27 10.9

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

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

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



Slika 16: Momentni spoj

- Razpored lukenj**

$n = 6$ – število vrst

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 4,0 \text{ cm}$$

Kot je razvidno zgoraj, vijake ob upoštevanju pogojev $x_1 = 18,2 \text{ cm} \geq 2,2 \cdot d_0 = 6,6 \text{ cm}$ ter $x_2 = 15,33 \text{ cm} \geq 2,2 \cdot d_0 = 6,6 \text{ cm}$ smiselno razporedimo. Upoštevamo simetričnost spoja (Slika 16).

$m = 4$ – število stolpcev

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 4,0 \text{ cm}$$

$$p_2 = \frac{b - 2 \cdot e_2}{3} = \frac{30,0 \text{ cm} - 8,0 \text{ cm}}{3} = 7,3 \text{ cm}$$

$$p_2 = 7,3 \text{ cm} \geq 2,4 \cdot d_0 = 7,2 \text{ cm}$$

$$r_1 = \frac{t_f}{2} + e_1 = 6,25 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}r_2 &= r_1 + x_1 = 24,45\text{cm} \\r_3 &= r_2 + x_2 = 39,78\text{cm} \\r_4 &= r_3 + x_2 = 55,11\text{cm} \\r_5 &= r_4 + x_2 = 70,45\text{cm} \\r_6 &= r_4 + x_1 = 88,65\text{cm} \\ \Sigma r_i^2 &= 18078,4\text{cm}^2\end{aligned}$$

$$F_{max} = \frac{(M_{Ed} \cdot r_{max})}{\Sigma r_i^2} = \frac{198450\text{kNcm} \cdot 88,65\text{cm}}{18078,4\text{cm}^2} = 973,1\text{kN}$$

Obremenitev najbolj obremenjenega vijaka

$$F_{t,Ed} = \frac{F_{max}}{4} = 243,3\text{kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{24} = \frac{783,6\text{kN}}{24} = 32,7\text{kN}$$

Kontrole nosilnosti vijaka (kategorija C)

- **Strižna nosilnost**

$$F_{v,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{p,c}}{\gamma_{M3}}$$

n ... število tornih površin

μ ... torni količnik

γ_{M3} ... delni varnostni faktor za MSN ali MSU

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

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

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

$$32,7\text{kN} \leq 102,8\text{kN}$$

- **Natezna nosilnost**

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4,59\text{cm}^2 \cdot 100 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 330,5\text{kN}$$

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

$$243,3\text{kN} \leq 330,5\text{kN}$$

- **Interakcija strižnih in osnih sil**

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

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

$$\frac{32,7 kN}{102,8 kN} + \frac{243,3 kN}{1,4 \cdot 330,5 kN} = 0,84 \leq 1$$

- **Nosilnost na bočni pritisk**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,83 \cdot 36 \frac{kN}{cm^2} \cdot 2,7 cm \cdot 3,0 cm}{1,25} = 484,1 kN$$

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

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

$$32,7 kN \leq 484,1 kN$$

- **Odpornost proti preboju pločevine**

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 3,14 \cdot 4,8 cm \cdot 3,0 cm \cdot 36 \frac{kN}{cm^2}}{1,25} = 781,3 kN$$

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

γ_{M2} ... delni faktor odpornosti

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

$$243,3 kN \leq 781,3 kN$$

Kontrola nosilnosti stojine stebra v področju spoja zaradi vnosa koncentrirane sile

$$F_{c,Ed} = \Sigma r_i \cdot \frac{F_{max}}{r_{max}} = 284,69 cm \cdot \frac{973,1 kN}{88,65 cm} = 3125,0 kN$$

$$a = 0,46 \cdot t_w = 0,46 \cdot 17 mm = 7,8 mm$$

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

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

$$K = t_f + a \cdot \sqrt{2} = 33 mm + 8 mm \cdot \sqrt{2} = 44,3 mm$$

$$b_{eff} = t_f + 2 \cdot t_p + 2 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2} + 5 \cdot K = 3,3 cm + 2 \cdot 3,0 cm + 2 \cdot 1,2 cm \cdot \sqrt{2} + 5 \cdot 4,0 cm$$

$$= 32,7 cm$$

- **Nosilnost stojine v tlaku**

$$N_{Rd,w} = b_{eff} \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 32,7\text{cm} \cdot 1,75\text{cm} \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 2518,0\text{kN}$$

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

$$N_{Ed} = F_{c,Ed} - N_{Rd,w} = 3125,0\text{kN} - 2518,0\text{kN} = 607,0\text{kN}$$

$$t_{p0} \geq \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{(b_f - t_w) \cdot f_y} = \frac{607,0\text{kN} \cdot 1,0}{(30,0\text{cm} - 1,75\text{cm}) \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,49\text{cm}$$

Izberem $t_{p0} = 5\text{mm}$.

$$A_0 = (b_f - t_w) \cdot t_{p0} = (30\text{cm} - 1,75\text{cm}) \cdot 0,5\text{cm} = 14,1\text{cm}^2$$

$$N_{Ed} \leq A_0 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 14,1\text{cm}^2 \cdot \frac{44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 621,5\text{kN}$$

$$607,0\text{kN} \leq 621,5\text{kN}$$

- **Stojina stebra v strigu**

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

$$V_{pl,Rd} = h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 73,4\text{cm} \cdot 1,75\text{cm} \cdot \frac{44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1} = 3263,1\text{kN}$$

Ker je strižna nosilnost stojine stebra večja od vnosa koncentrirane sile, dodatna strižna ojačitev ni potrebna.

- **Kontrola tlačne nosilnosti pasnice vute**

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

$$F_{Ed} = 3125,0\text{kN}$$

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

$$t_{vute} \geq 3,2\text{cm}$$

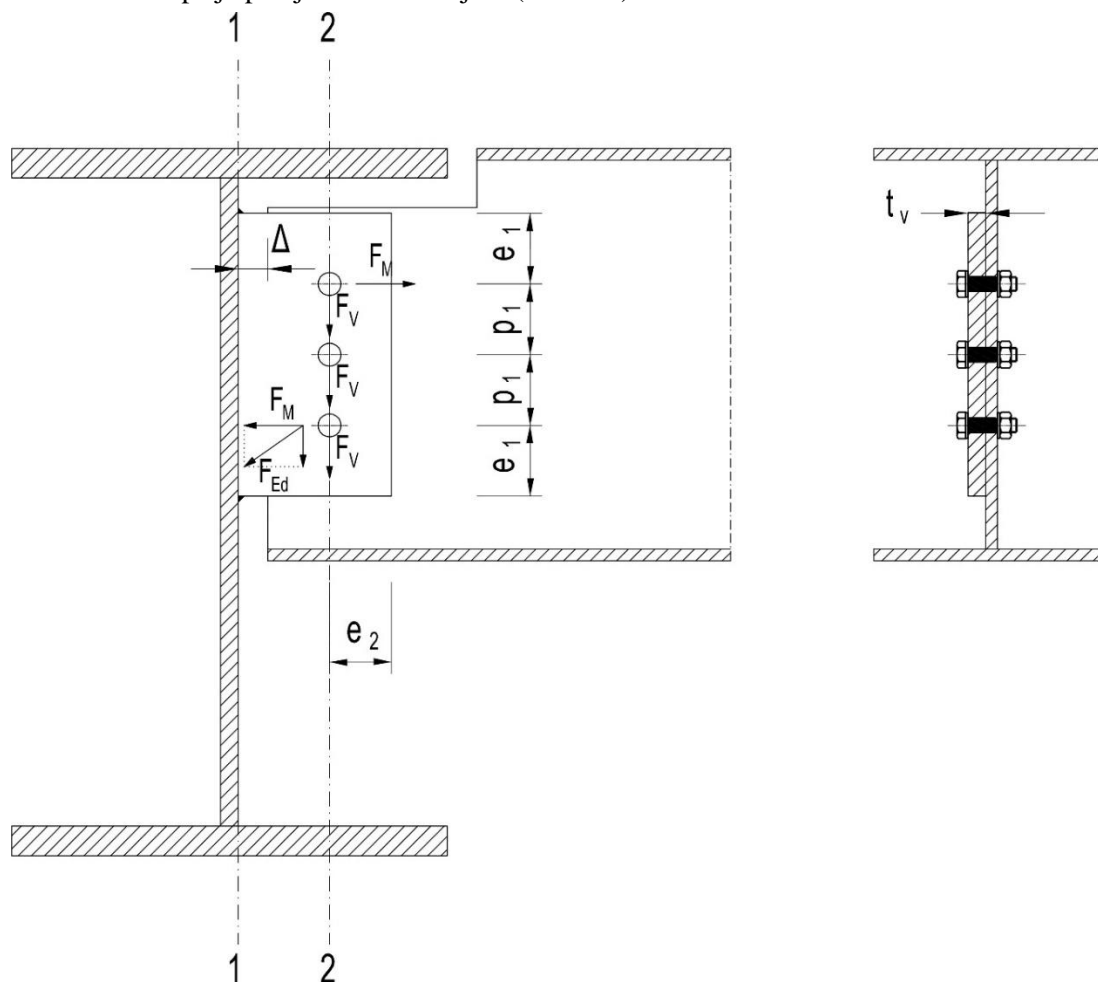
Faktor 1,4 v zgornjem izračunu predstavlja 20% povečano nosilnost prereza zaradi utrditve materiala, drugih 20% pa k nosilnosti doprinese predpostavka, da se del napetosti iz pasnice prenese tudi na stojino nosilca. [11]

Izberem debelino pasnice vute $t_{vute} = 4\text{cm}$.

Zaradi spremembe geometrijskih karakteristik prereza pasnice vute, ki je večja od predpostavljene v fazi dimenzioniranja elementa, kontrolo nosilnosti le-te ne izvedemo, saj je izbrana dimenzija debeline pasnice večja od predvidene.

8.2 Členkast spoj med sekundarnim nosilcem in prečko

Stik med sekundarnim nosilcem IPE 600 ter primarnim nosilcem HEA 600 je izveden s členkastim spojem. Uporabimo vezno pločevino, ki je s polno nosilnim zvarom privarjena na primarni nosilec, na sekundarni nosilec pa je pritrjena s tremi vijaki (Slika 17).



Slika 17: Členkasti spoj med sekundarnim in primarnim nosilcem

8.2.1 Material in geometrija

Nosilec: IPE 600, S235 JR
 Pločevina: $t_v = 14\text{ mm}$, S235 JR
 Vijaki: M30 5.8
 Zvar: $a = 5\text{ mm}$

8.2.2 Obremenitve

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q = 1,35 \cdot 18,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,5 \cdot 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 61,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$V_{Ed} = \frac{(q_{Ed} \cdot L)}{2} = \frac{(61,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 10\text{m})}{2} = 305,5\text{ kN}$$

8.2.3 Dimenzioniranje

Zasuk profila na mestu 2-2:

$$\varphi = \frac{q_{Ed} \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot I_y} = 0,013 \text{ rad}$$

$$\Delta \geq \frac{\varphi \cdot h}{2} = 3,9 \text{ mm}$$

Zaradi velikosti zvara med primarnim nosilcem in pločevino, izberemo $\Delta = 12 \text{ mm}$.

$$d_0 = d + 3 \text{ mm} = 30 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 33 \text{ mm}$$

Razporeditev vijakov:

$$e_1 \approx 2 \cdot d_0 = 2 \cdot 33 \text{ mm} = 66 \text{ mm}$$

Izberemo $e_1 = 70 \text{ mm}$.

$$e_2 \approx 1,5 \cdot d_0 = 1,5 \cdot 33 \text{ mm} = 49,5 \text{ mm}$$

Izberemo $e_2 = 50 \text{ mm}$.

$$p_1 \approx p_2 \approx 3 \cdot 33 \text{ mm} = 99 \text{ mm}$$

Izberemo $p_1 = p_2 = 100 \text{ mm}$.

Ravnina 1-1

$$\Delta = 12 \text{ mm}$$

- **Kontrola nosilnosti pločevine**

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot (\Delta + e_2) = 305,5 \text{ kN} \cdot 6,2 \text{ cm} = 1894,1 \text{ kNcm}$$

$$h_v = 2 \cdot (p_1 + e_1) = 2 \cdot (10 \text{ cm} + 7 \text{ cm}) = 34 \text{ cm}$$

$$W_{el,y} = \frac{t_v \cdot h_v^2}{6} = \frac{(1,4 \text{ cm} \cdot (34 \text{ cm})^2)}{6} = 269,7 \text{ cm}^3$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{269,7 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 6338,7 \text{ kNcm}$$

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

$$18,9 \text{ kNm} \leq 63,4 \text{ kNm}$$

- **Kontrola striga**

$$A_v = h_v \cdot t_v = 34 \text{ cm} \cdot 1,4 \text{ cm} = 47,6 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 47,6 \text{ cm}^2 \cdot \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1 \cdot \sqrt{3}} = 645,8 \text{ kN}$$

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

$$305,5 \text{ kN} \leq 322,9 \text{ kN}$$

Ravnina 2 -2

$$\Delta = 12\text{mm}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot (e_2 + \Delta) = 305,5\text{kN} \cdot 6,2\text{cm} = 1894,1\text{kNcm}$$

$$F_m = \frac{M_{Ed}}{2 \cdot p} = \frac{1894,1\text{kNcm}}{2 \cdot 10\text{cm}} = 94,7\text{kN}$$

$$F_v = \frac{V_{Ed}}{3} = \frac{305,5\text{kN}}{3} = 101,8\text{kN}$$

- **Kontrola strižne nosilnosti vijaka**

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 7,07\text{cm}^2}{1,25} = 169,7\text{kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_m^2 + F_v^2} = \sqrt{94,7\text{kN}^2 + 101,8\text{kN}^2} = 139,0\text{kN}$$

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

$$139,0\text{kN} \leq 169,7\text{kN}$$

- **Kontrola bočnih pritiskov**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,71 \cdot 36,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 3,0\text{cm} \cdot 1,2\text{cm}}{1,25} = 184,0\text{kN}$$

$$k_1 = \min\left\{2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7\right\} = \min\{2,54; 2,50; 2,54\} = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left\{\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25; 1,0; \frac{f_{ub}}{f_u}\right\} = \min\{0,71; 0,76; 1,0; 1,25\} = 0,71$$

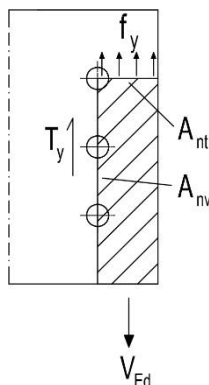
$$t = \min(t_v; t_w) = \min(14\text{mm}; 12\text{mm}) = 12\text{mm}$$

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

$$139,0\text{kN} < 184,0\text{kN}$$

- **Kontrola pretrga pločevine ("BLOCK SHEAR")**

Pozornost moramo posvetiti tudi pretrgu pločevine. Spodaj je vidno, v kateri liniji delujejo strižne in v kateri normalne napetosti (Slika 18).



Slika 18: Strižni iztrg - "block shear"

$$A_{nv} = (e_1 + 2 \cdot p_1 - 2,5 \cdot d_0) \cdot t = (7,0\text{cm} + 2 \cdot 10,0\text{cm} - 2,5 \cdot 3,3\text{cm}) \cdot 1,2\text{cm} = 22,5\text{cm}^2$$

$$A_{nt} = (e_2 - \frac{d_0}{2}) \cdot t = (5,0\text{cm} - \frac{3,2\text{cm}}{2}) \cdot 1,2\text{cm} = 4,1\text{cm}^2$$

$$t = \min(t_v; t_w) = \min(14\text{mm}; 12\text{mm}) = 12\text{mm}$$

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

$$V_{eff,Rd} = 0,5 \cdot 4,1\text{cm}^2 \cdot \frac{36,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} + 22,5\text{cm}^2 \cdot \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 364,3\text{kN}$$

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

$$305,5\text{kN} \leq 364,3\text{kN}$$

9 MEJNO STANJE UPORABNOSTI

V mejnem stanju uporabnosti (MSU) preverjamo pomike stebrov in prečk v najbolj neugodnih obtežnih kombinacijah.

V skladu z (Pr. 1-12; Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih) so največji priporočeni pomiki:

- Prečke:

$$w_{max} = L/250$$
- Stebri:
 - Celotni vodoravni pomik konstrukcije višine H:

$$u_{max} = H/500$$
 - Vodoravni pomik etaže višine H_i :

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

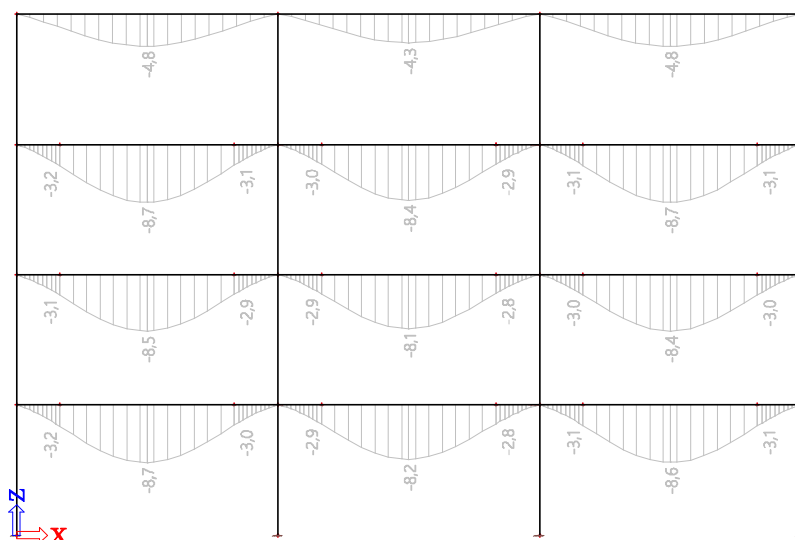
Za določitev pomikov v mejnem stanju uporabnosti je uporabljena spodaj napisana pogosta obtežna kombinacija.

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

9.1 Prečni okvir

9.1.1 Prečke

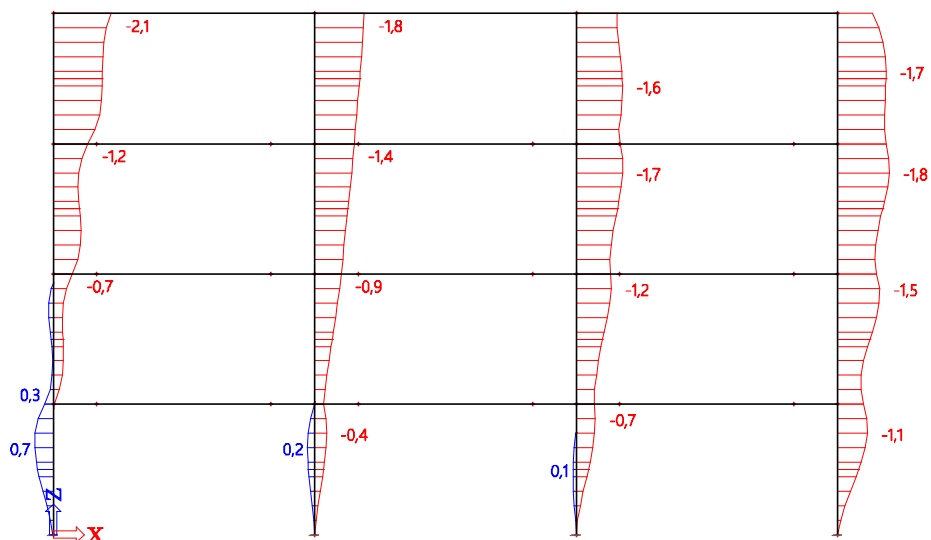
Največji relativni pomik znaša $w = 8,7\text{mm} \leq w_{max} = 36\text{mm}$ (Slika 19).



Slika 19: Ovojnica relativnih pomikov u_z [mm] prečk najbolj obremenjenega prečnega okvirja

9.1.2 Stebri

Do največjega absolutnega pomika pride v zgornjem delu levega stebra, le ta pa znaša $u = 2,1\text{mm} \leq u_{max} = 36\text{mm}$ (Slika 20).

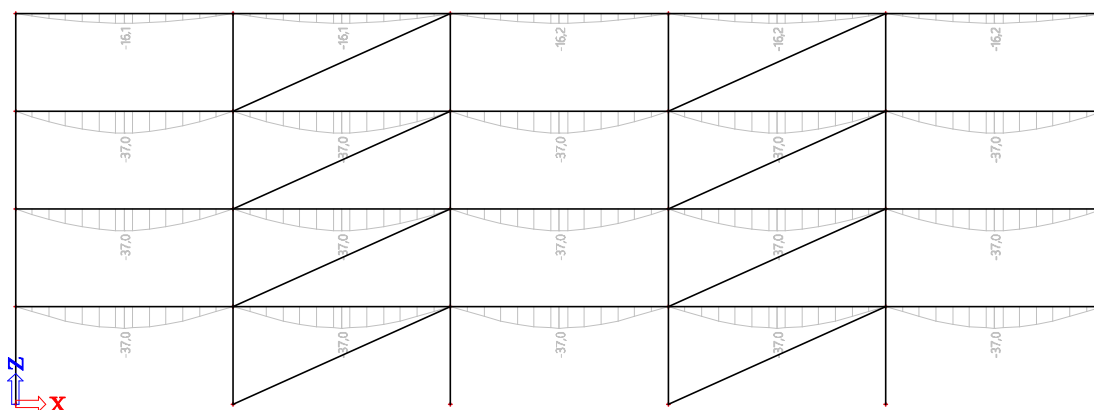


Slika 20: Ovojnica absolutnih pomikov u_x [mm] stebrov najbolj obremenjenega prečnega okvirja

9.2 Vzdolžni okvir

9.2.1 Prečke

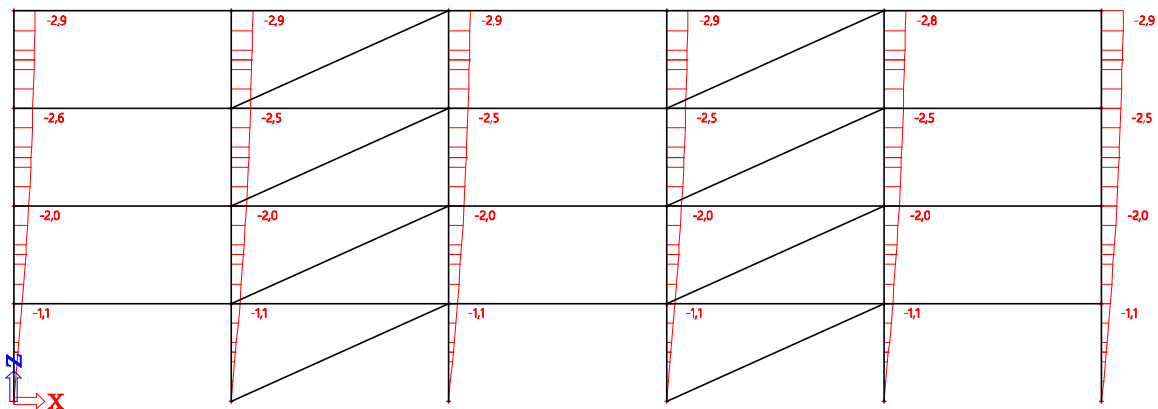
Največji relativni pomik sovprežnih nosilcev znaša $w = 37,0\text{mm} \leq w_{max} = 40\text{mm}$ (Slika 21).



Slika 21: Ovojnica relativnih pomikov u_z [mm] prečk najbolj obremenjenega vzdolžnega okvirja

9.2.2 Stebri

Do največjega absolutnega pomika pride v zgornjem delu levega stebra, le ta pa znaša $u = 2,9\text{mm} \leq 36\text{mm}$ (Slika 22).



Slika 22: Ovojnica absolutnih pomikov u_x [mm] stebrov najbolj obremenjenega vzdolžnega okvirja

10 POPIS MATERIALA

10.1 Jekleni elementi

Stebri - HEB B00		
Število	24	kosov
Dolžina	18	m
Masa/1m	262	kg/m
Skupna masa	113185	kg

Preglednica 13: Masa stebrov

Prečke - HEA 600		
Število	72	kosov
Dolžina	9	m
Masa/1m	178	kg/m
Skupna masa	115344	kg

Preglednica 14: Masa prečk

Sekundarni nosilci - IPE 600		
Število	200	kosov
Dolžina	10	m
Masa/1m	122	kg/m
Skupna masa	244000	kg

Preglednica 15: Masa sekundarnih nosilcev

Natezne diagonale		
1.etaža - RHS 300/200/12.5		
Število	8	kosov
Dolžina	11	m
Masa/1m	94	kg/m
Skupna masa	8272	kg
2.etaža - RHS 300/200/8.0		
Število	8	kosov
Dolžina	11	m
Masa/1m	62	kg/m
Skupna masa	5456	kg
3.etaža - RHS 200/150/10.0		
Število	8	kosov
Dolžina	11	m
Masa/1m	52	kg/m
Skupna masa	4576	kg
4.etaža - RHS 200/150/5.0		
Število	8	kosov
Dolžina	11	m
Masa/1m	30	kg/m
Skupna masa	2640	kg

Preglednica 16: Masa nateznih diagonal

Vute		
Število	36	kosov
Dolžina	1,21	m
Masa/1m	74	kg/m
Skupna masa	3214	kg

Preglednica 17: Masa vut

10.2 Ostali elementi

Betonska plošča		
Število	5	kosov
Površina	1350	m ²
Debelina	12	cm
Gostota	2500	kg/m ³
Skupna masa	2025000	kg

Preglednica 18: Masa betonskih plošč

Estrih		
Število	5	kosov
Površina	1350	m ²
Debelina	5	cm
Gostota	2500	kg/m ³
Skupna masa	843750	kg

Preglednica 19: Masa estrihov

Kamena volna		
Število	5	kosov
Površina	1350	m ²
Debelina	5	cm
Gostota	55	kg/m ³
Skupna masa	18563	kg

Preglednica 20: Masa kamene volne

Fasadni paneli		
Površina	2772	m ²
Masa/površino	50	kg/m ²
Skupna masa	138600	kg

Preglednica 21: Masa fasadnih panelov

10.3 Skupna masa

Skupna masa		
Jekleni elementi	497	ton
Ostali elementi	3026	ton
Skupaj	3523	ton

Preglednica 22: Skupna masa

11 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI

Tekom pisanja diplomske naloge sem se seznanil z delnim potekom projektiranja jeklenih konstrukcij. Že kaj kmalu sem prišel do spoznanja, da je uporaba standardov in njihovo razumevanje ključnega pomena v inženirski praksi.

Najprej je bilo potrebno zasnovati konstrukcijo ter določiti osnovne elemente prenosa obtežbe.

Sledila je določitev lastne in stalne obtežbe, obtežbe snega, vetra ter seveda potresne obtežbe, kateri sem v diplomski nalogi posvetil več pozornosti.

V programu SCIA Engineer 2013.1 sem naredil dva ravninska modela, v katerih sem izvedel statično analizo.

Sledilo je dimenzioniranje vseh glavnih konstrukcijskih elementov, kot so stebri, nosilci, sekundarni nosilci, povezja ter momentni in členkasti spoji.

Zaradi velike koristne obtežbe, se je potresna obtežba v večini primerov izkazala za merodajno. Sprva sem želel dimenzionirati sovprežne nosilce, a se zaradi kompleksnosti samega projektiranja le teh pri potresnem dimenzioniranju za to nisem odločil. Problem velikih negativnih momentov ob stebrih sem rešil z vutami ter oslabitvami pasnic. Slednje so potrebne, saj se stebri, stiki in vute uvrščajo med varovane elemente, katerih nosilnost je med drugim odvisna tudi od nosilnosti elementov, ki se obnašajo neelastično. Na ta način se torej izognemo predimenzioniranju varovanih elementov.

Zaradi merodajnosti potresne obtežbe se je ob preverjanju mejnega stanja uporabnosti izkazalo, da le to ni kritično, saj so elementi projektirani na velike potresne sile in se tako v kombinacijah MSU zelo malo pomaknejo. Mejno stanje uporabnosti je bilo merodajno pri dimenzioniranju sekundarnih sovprežnih nosilcev.

Tekom pisanja diplomske naloge sem pridobil veliko novega znanja, predvsem pa se mi zdi tovrstna diplomska naloga idealna priložnost za povezavo vsega pridobljenega teoretičnega znanja tekom študija.

Naučil sem se, da pri projektiranju največkrat ni ene same, idealne rešitve. Rešitev je namreč veliko, projektant pa je prepuščen lastni izbiri, katere se bo poslužil in na kakšen način.

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

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A Izpis obtežb v momentnem okvirju

- A.1 Stalna obtežba
- A.2 Obtežba snega
- A.3 Obtežba vetra
- A.4 Potresna obtežba
- A.5 Koristna obtežba – vsa polja
- A.6 Koristna obtežba – levo in srednje polje
- A.7 Koristna obtežba – levo in desno polje
- A.8 Koristna obtežba – šahovnica

PRILOGA B Izpis obtežb v okvirju s centričnim povezjem

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

PRILOGA C Izpis notranjih sil v momentnem okvirju - MSN (mejno stanje nosilnosti)

- C.1 Ovojnica osnih sil v stebrih – MSN (mejno stanje nosilnosti)
- C.2 Ovojnica prečnih sil v stebrih – MSN (mejno stanje nosilnosti)
- C.3 Ovojnica upogibnih momentov v stebrih – MSN (mejno stanje nosilnosti)
- C.4 Ovojnica osnih sil v prečkah – MSN (mejno stanje nosilnosti)
- C.5 Ovojnica prečnih sil v prečkah – MSN (mejno stanje nosilnosti)
- C.6 Ovojnica upogibnih momentov v prečkah – MSN (mejno stanje nosilnosti) - MSN

PRILOGA D Izpis notranjih sil v okvirju s centričnim povezjem – MSN (mejno stanje nosilnosti)

- D.1 Ovojnica osnih sil v stebrih – MSN (mejno stanje nosilnosti)
- D.2 Ovojnica osnih sil v centričnih povezjih – MSN (mejno stanje nosilnosti)
- D.3 Ovojnica prečnih sil v sekundarnih nosilcih – MSN (mejno stanje nosilnosti)
- D.4 Ovojnica upogibnih momentov v sekundarnih nosilcih – MSN (mejno stanje nosilnosti)

PRILOGA E Izpis notranjih sil v momentnem okvirju – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

- E.1 Ovojnica osnih sil v stebrih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)
- E.2 Ovojnica prečnih sil v stebrih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)
- E.3 Ovojnica upogibnih momentov v stebrih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)
- E.4 Ovojnica osnih sil v prečkah – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

E.5 Ovojnica osnih sil v prečkah – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

E.6 Ovojnica upogibnih momentov v prečkah – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

PRILOGA F Izpis notranjih sil v okvirju s centričnim povezjem – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

F.1 Ovojnica osnih sil v stebrih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

F.2 Ovojnica osnih sil v centričnih povezjih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

PRILOGA G Izpis pomikov v momentnem okvirju – MSU (mejno stanje uporabnosti)

G.1 Absolutni pomiki stebrov – MSU (mejno stanje uporabnosti)

G.2 Relativni pomiki prečk - MSU (mejno stanje uporabnosti)

PRILOGA H Izpis pomikov v okvirju s centričnim povezjem – MSU (mejno stanje uporabnosti)

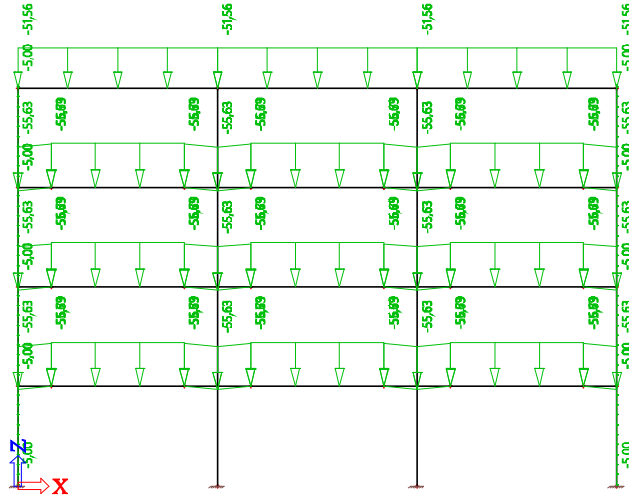
H.1 Absolutni pomiki stebrov - MSU (mejno stanje uporabnosti)

H.2 Relativni pomiki prečk - MSU (mejno stanje uporabnosti)

Načrti konstrukcije so vpeti na koncu sklopa Priloge.

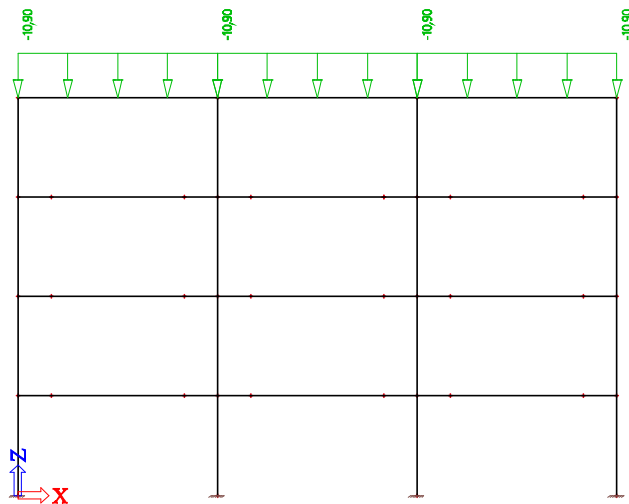
A.1

Stalna obtežba



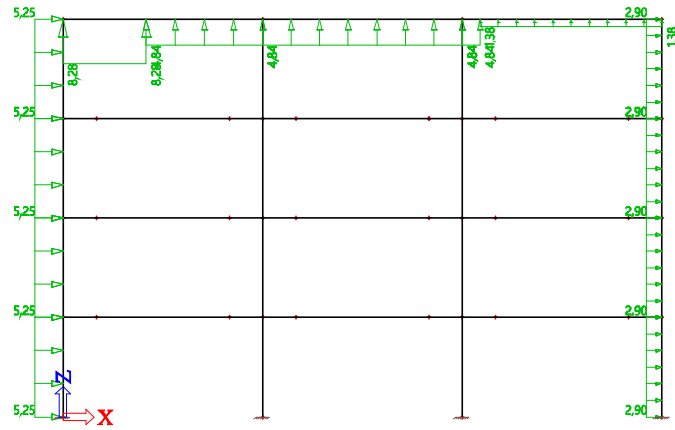
A.2

Obtežba snega



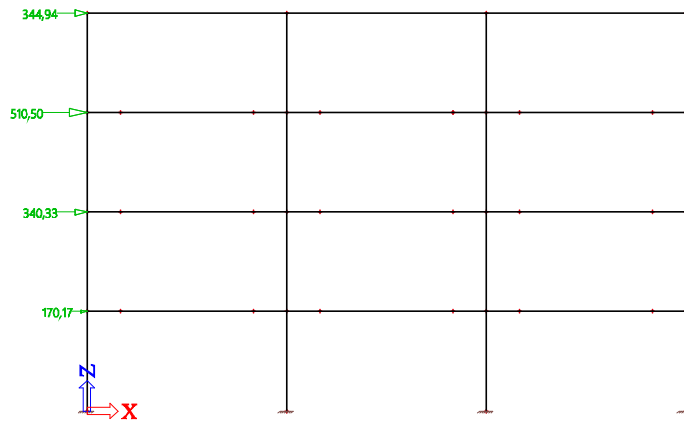
A.3

Obtežba vetra



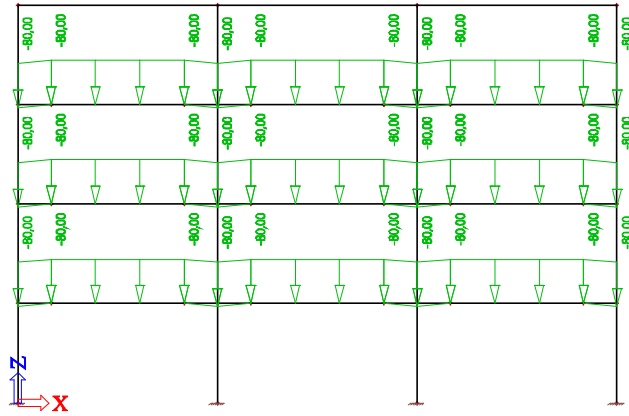
A.4

Potresna obtežba



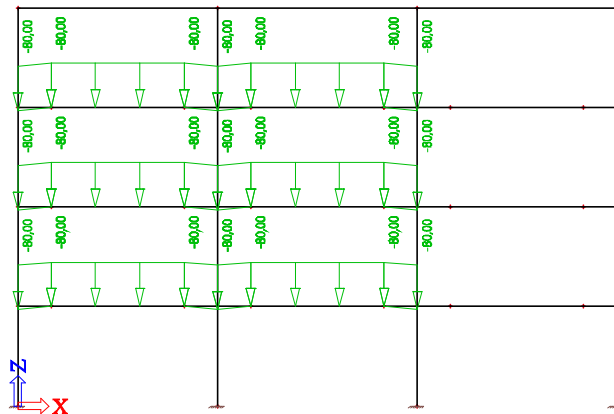
A.5

Koristna obtežba – vsa polja

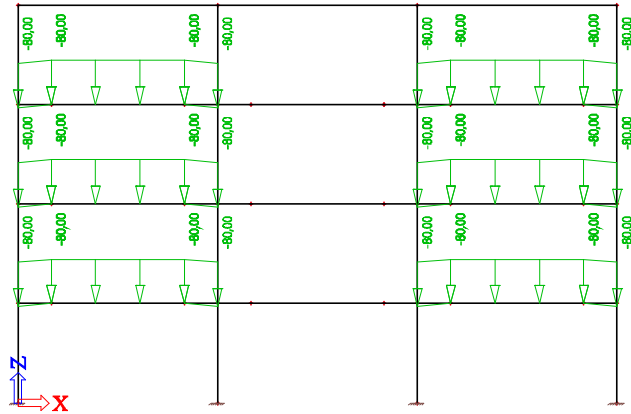


A.6

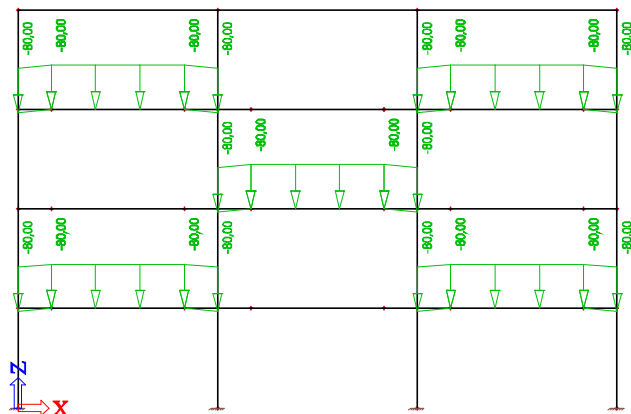
Koristna obtežba – levo in srednje polje



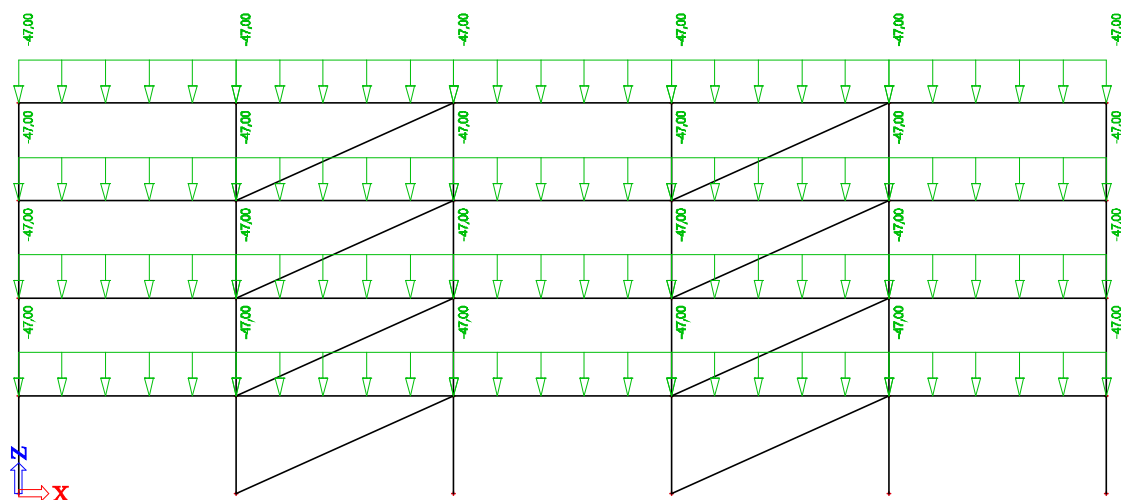
A.7 Koristna obtežba – levo in desno polje



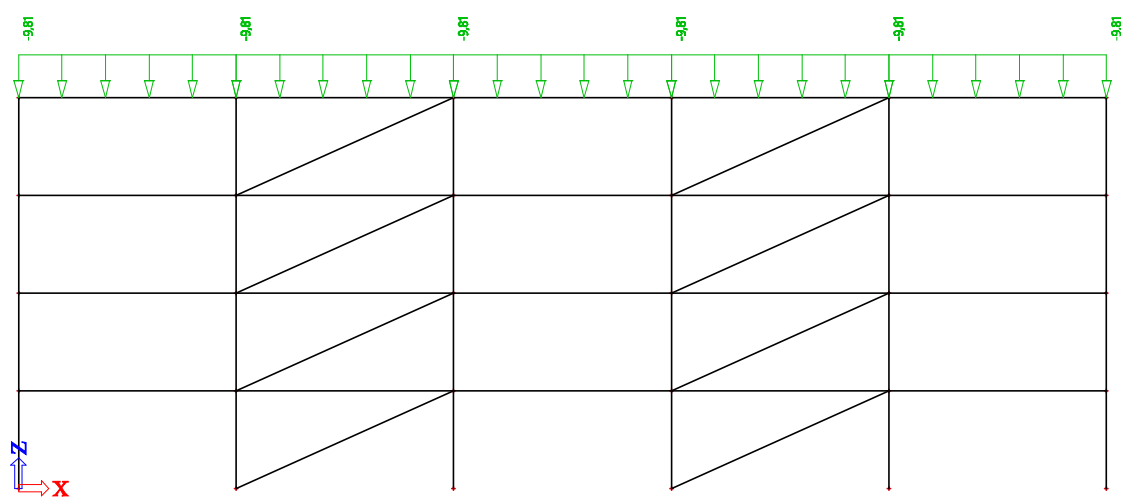
A.8 Koristna obtežba – šahovnica



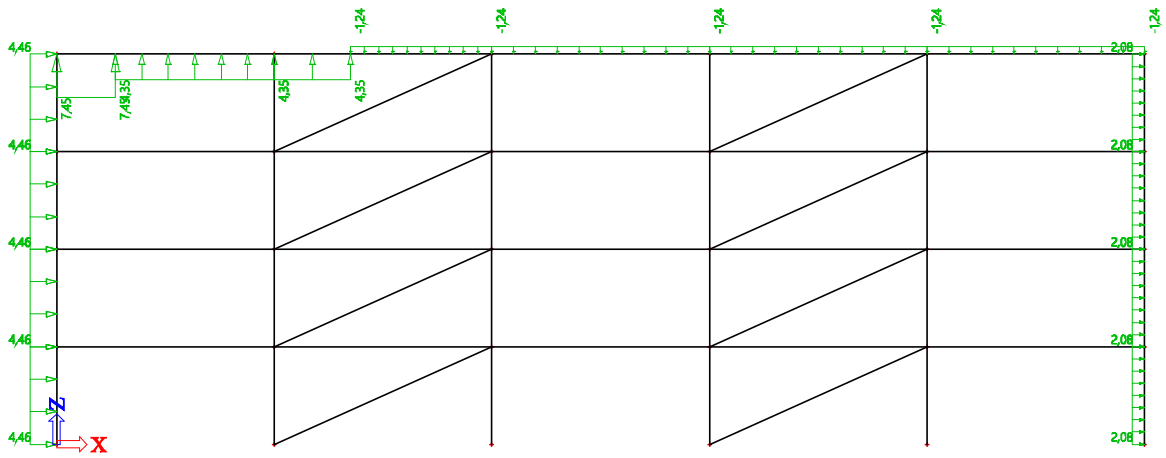
B.1 Stalna obtežba



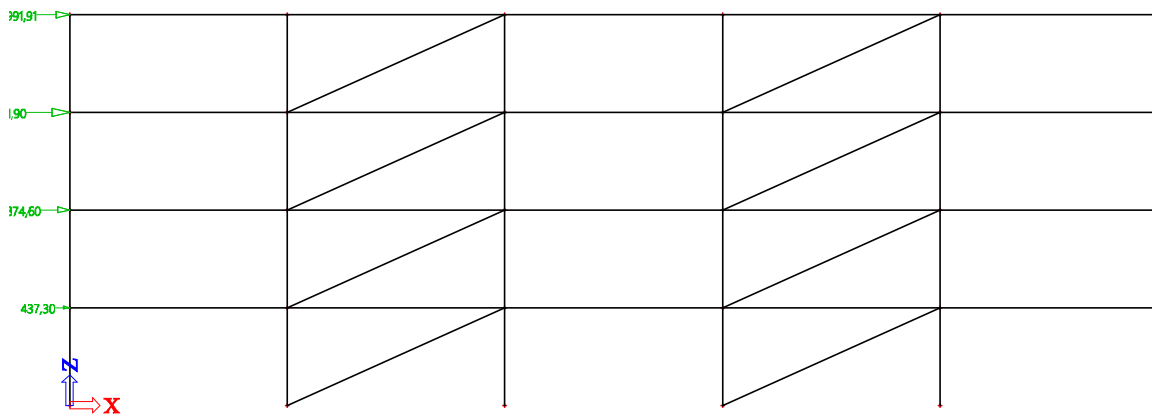
B.2 Obtežba snega



B.3 Obtežba vetra

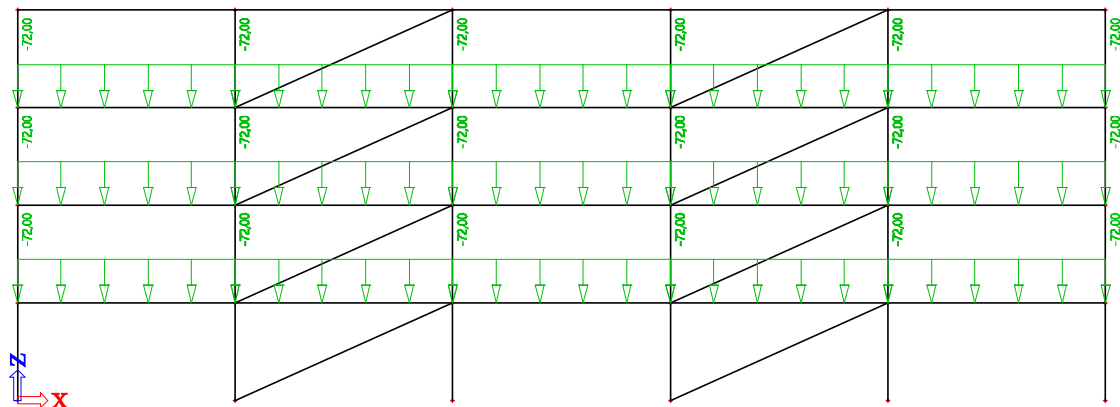


B.4 Potresna obtežba

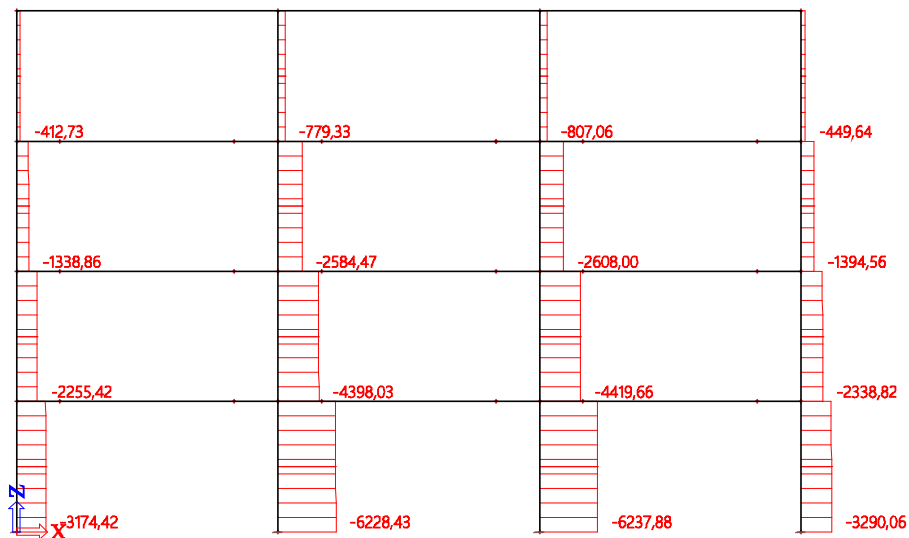


B.5

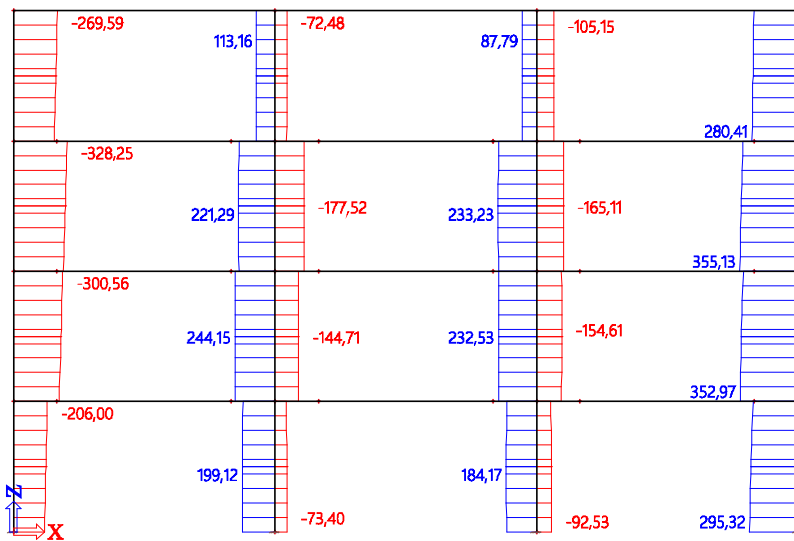
Koristna obtežba – vsa polja



C.1 Ovojnica osnih sil v stebrih – MSN (mejno stanje nosilnosti)

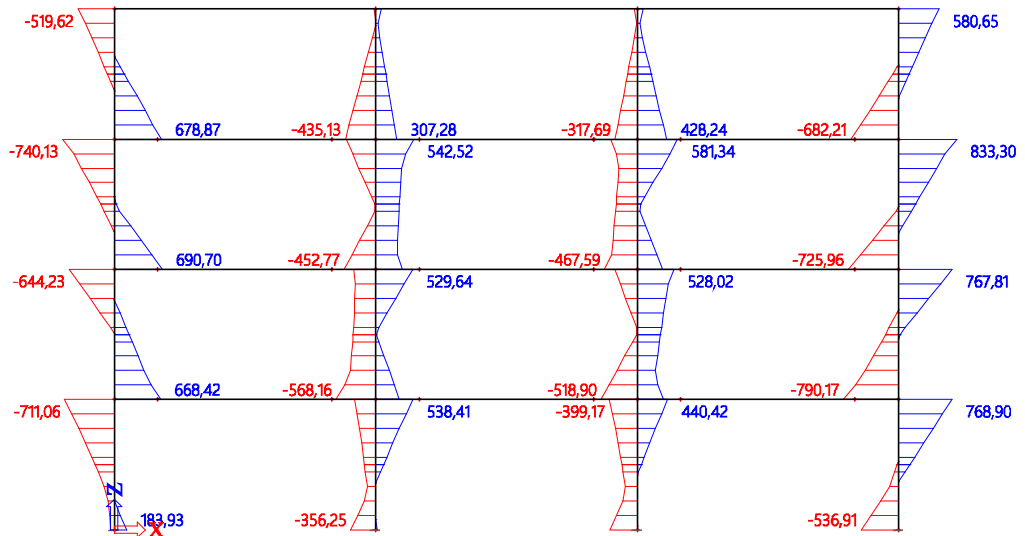


C.2 Ovojnica prečnih sil v stebrih – MSN (mejno stanje nosilnosti)



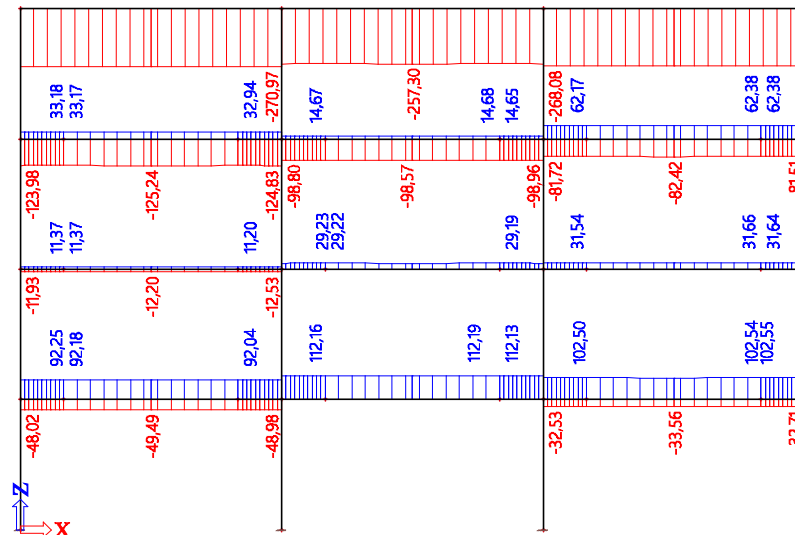
C.3

Ovojnica upogibnih momentov v stebrih – MSN (mejno stanje nosilnosti)

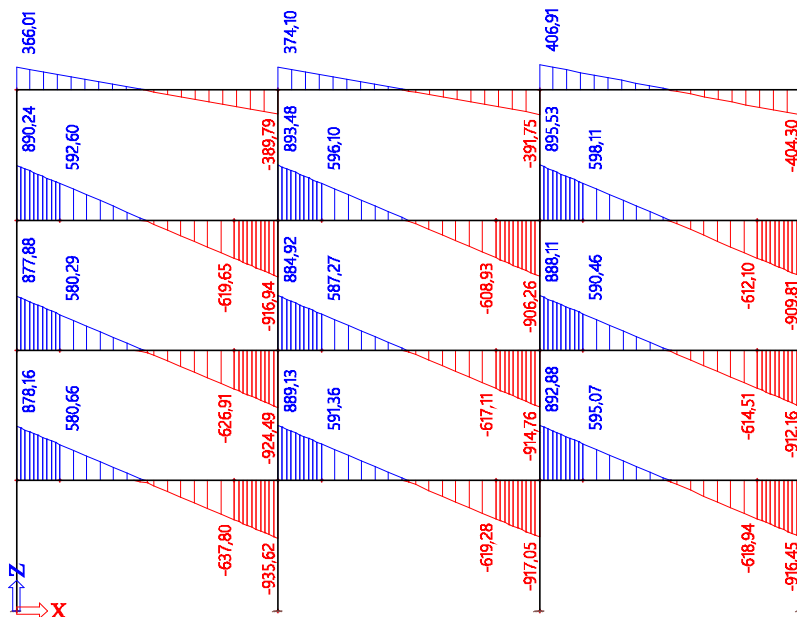


C.4

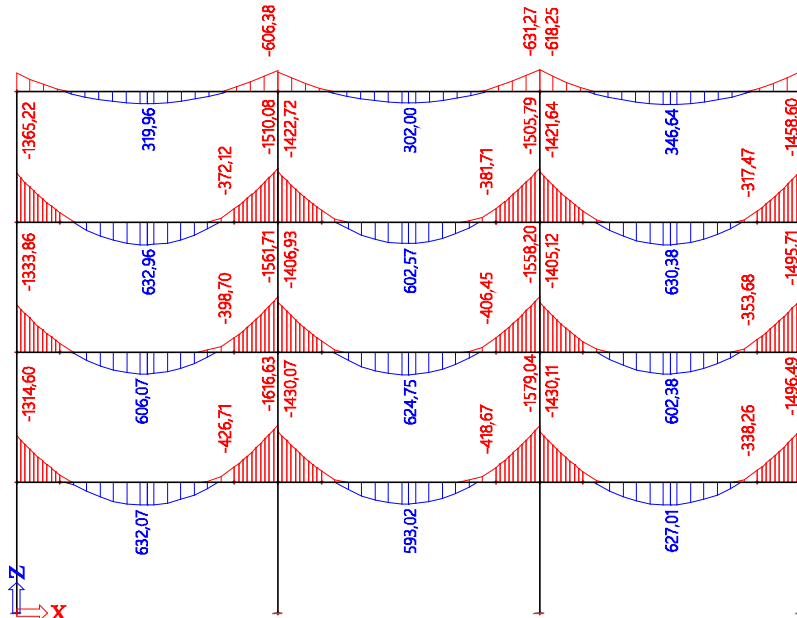
Ovojnica osnih sil v prečkah – MSN (mejno stanje nosilnosti)



C.5 Ovojnica prečnih sil v prečkah – MSN (mejno stanje nosilnosti)

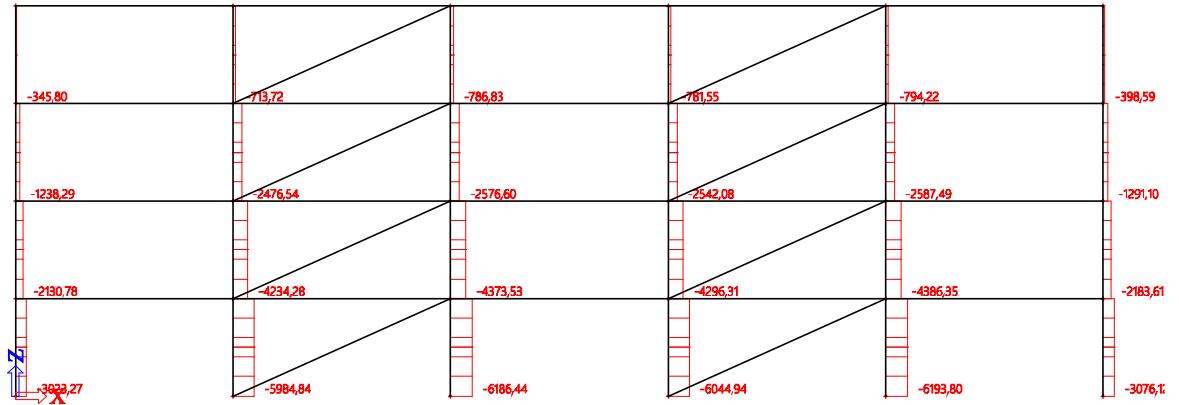


C.6 Ovojnica upogibnih momentov v prečkah – MSN (mejno stanje nosilnosti) - MSN



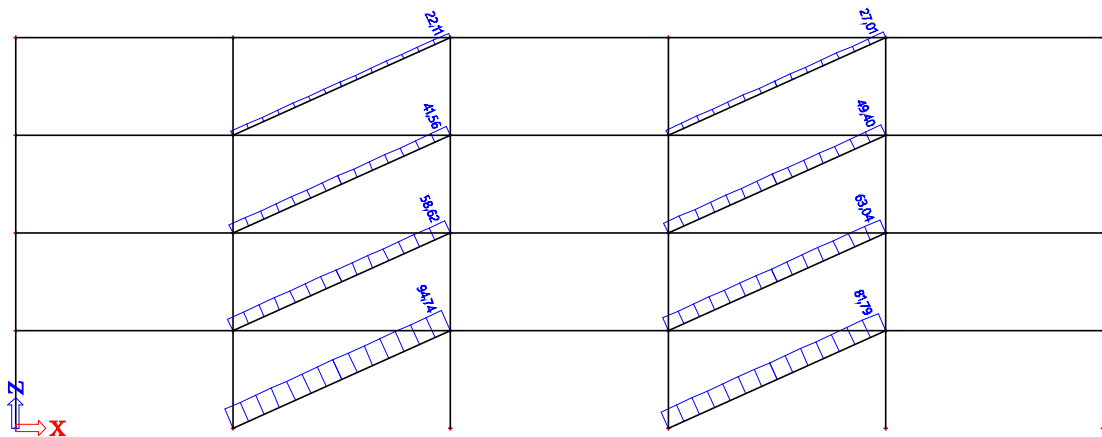
D.1

Ovojnica osnih sil v stebrih – MSN (mejno stanje nosilnosti)

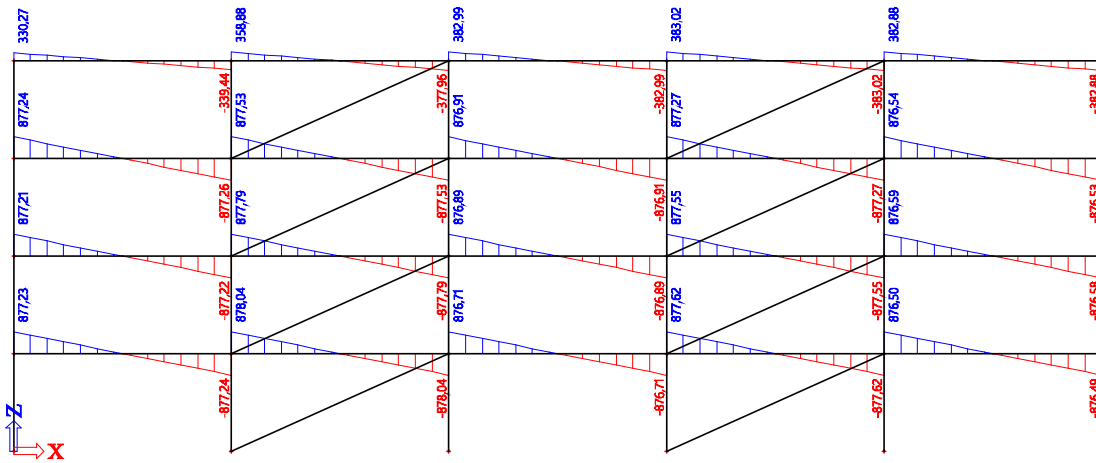


D.2

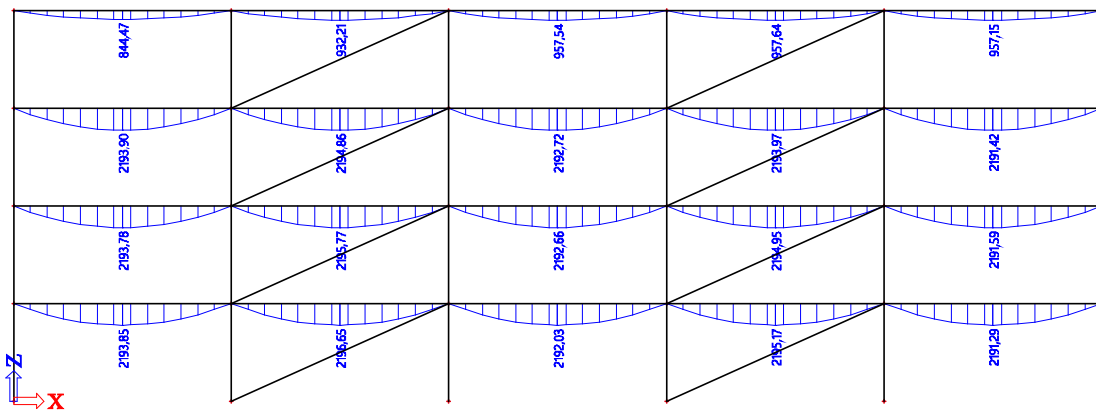
Ovojnica osnih sil v centričnih povezjih – MSN (mejno stanje nosilnosti)



D.3 Ovojnica prečnih sil v sekundarnih nosilcih – MSN (mejno stanje nosilnosti)

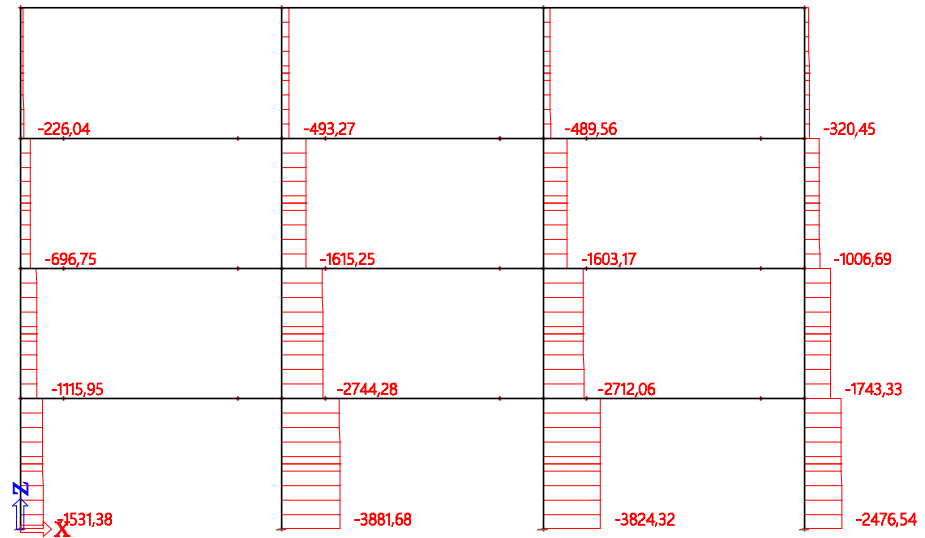


D.4 Ovojnica upogibnih momentov v sekundarnih nosilcih – MSN (mejno stanje nosilnosti)



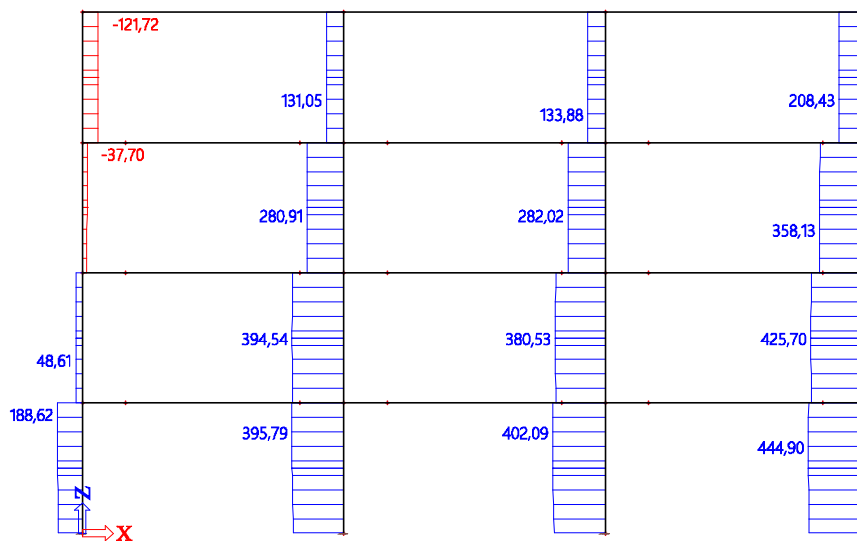
E.1

Ovojnica osnih sil v stebrih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

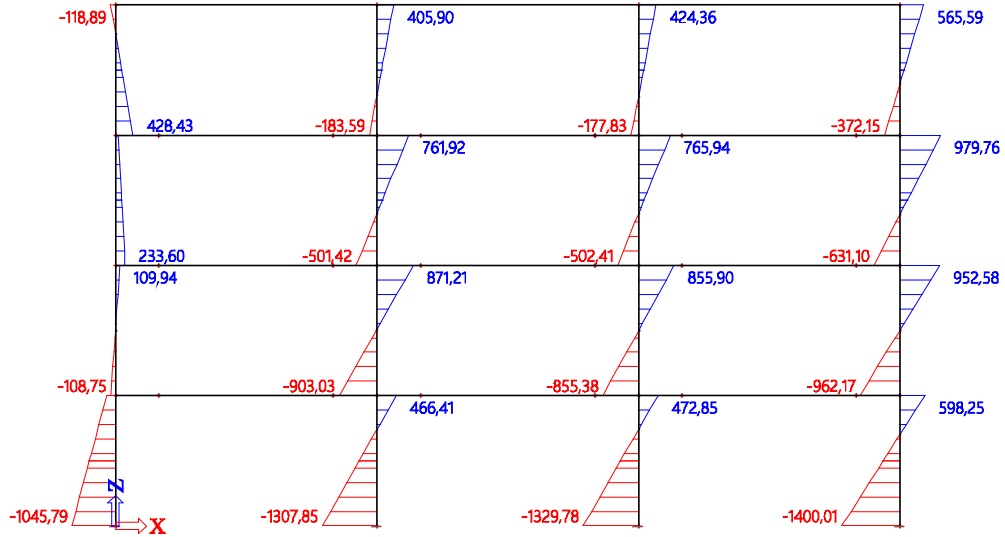


E.2

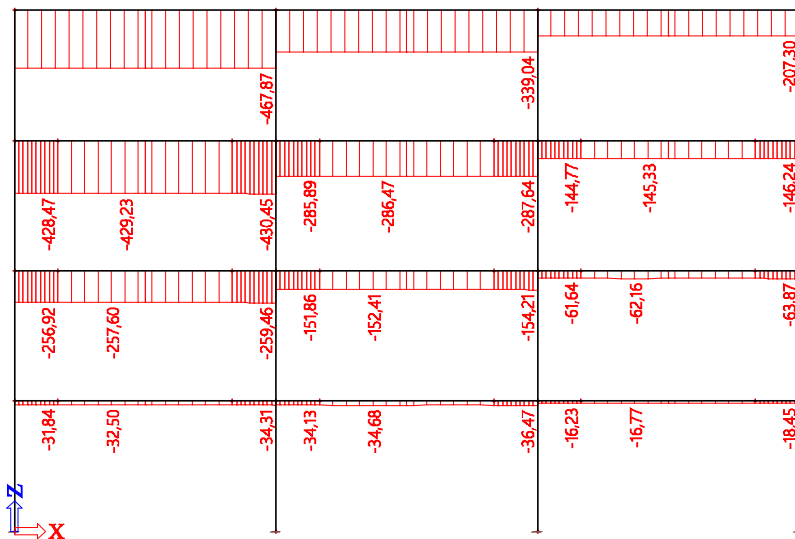
Ovojnica prečnih sil v stebrih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)



E.3 Ovojnica upogibnih momentov v stebrih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

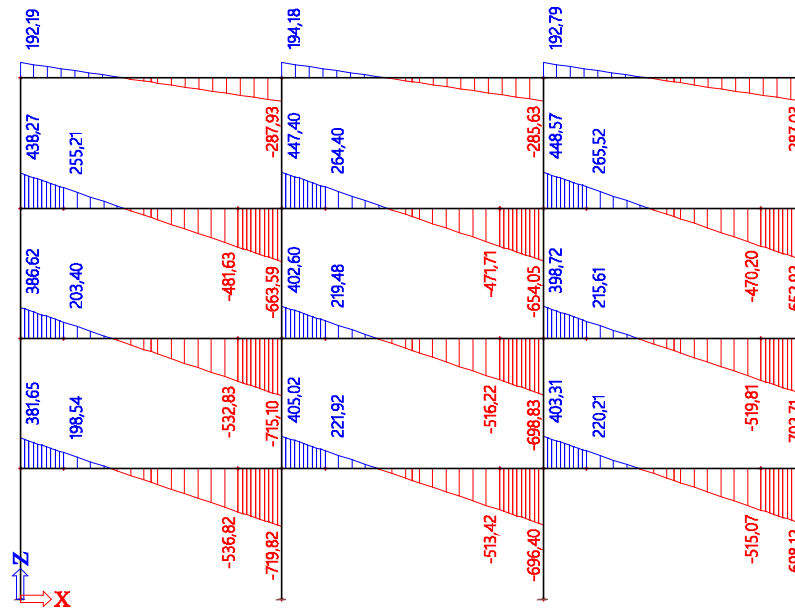


E.4 Ovojnica osnih sil v prečkah – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)



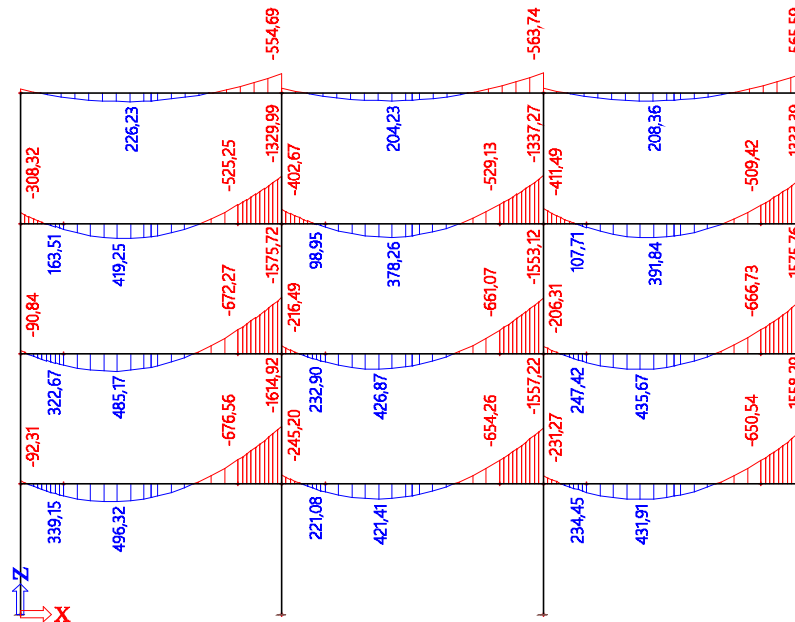
E.5

Ovojnica osnih sil v prečkah – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

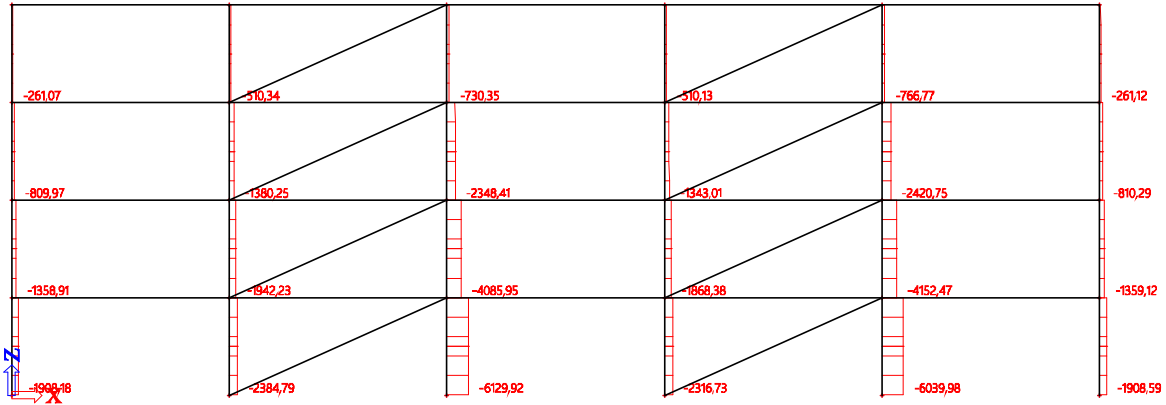


E.6

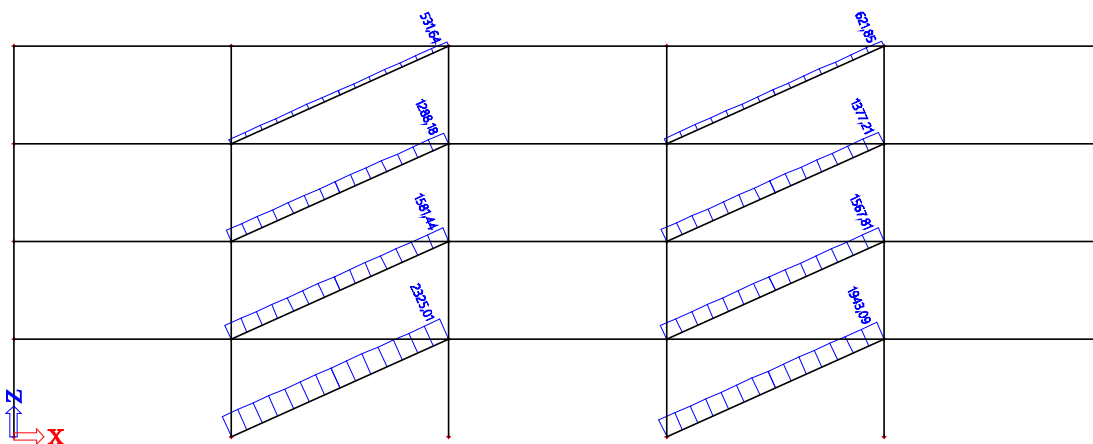
Ovojnica upogibnih momentov v prečkah – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)



F.1 Ovojnica osnih sil v stebrih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)

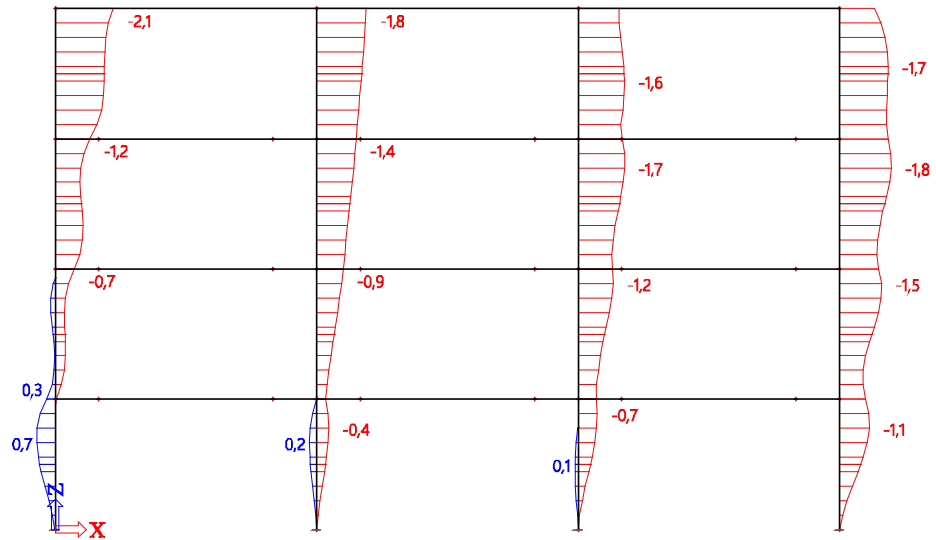


F.2 Ovojnica osnih sil v centričnih povezjih – POTRESNA KOMBINACIJA (gravitacijski + seizmični del)



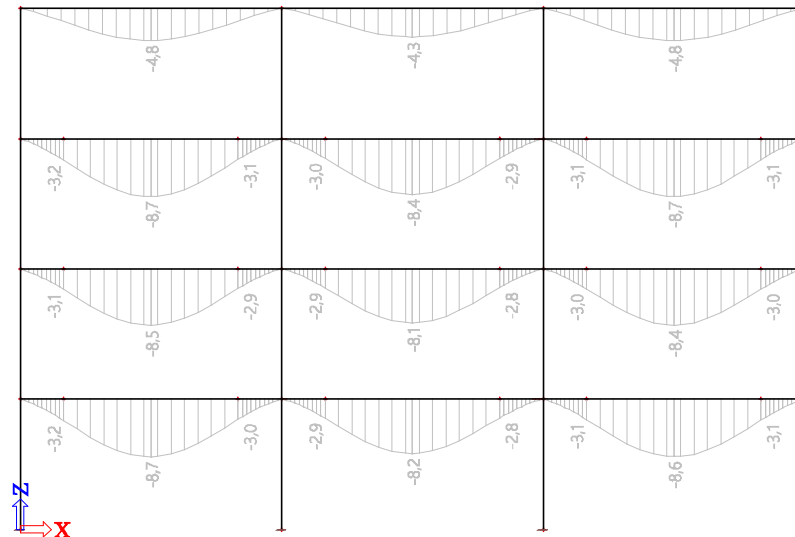
G.1

Absolutni pomiki stebrov – MSU (mejno stanje uporabnosti)

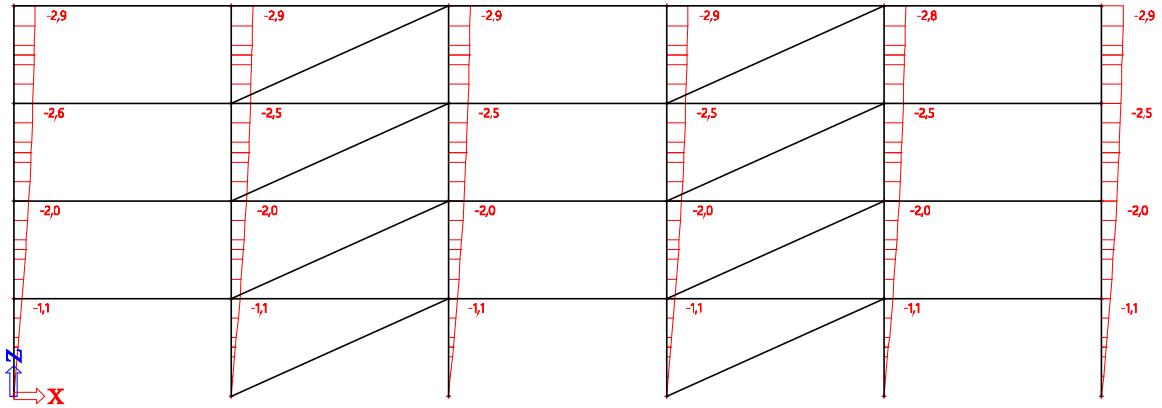


G.2

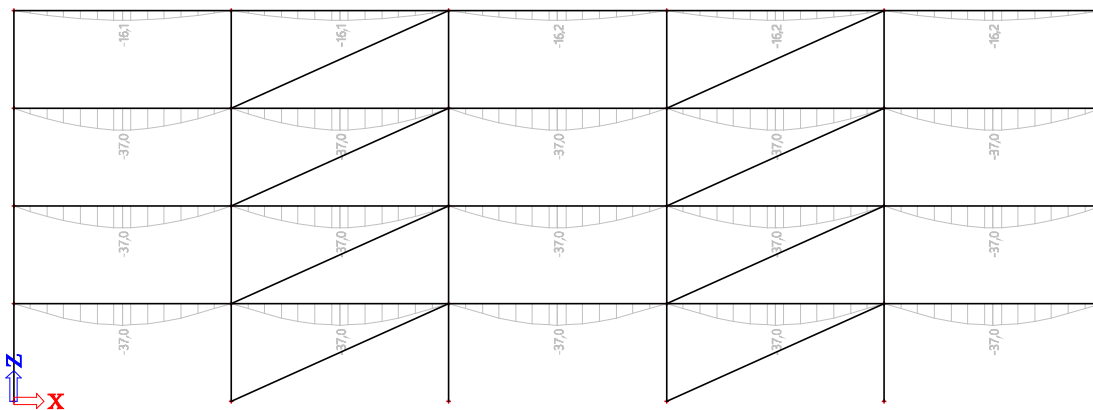
Relativni pomiki prečk - MSU (mejno stanje uporabnosti)

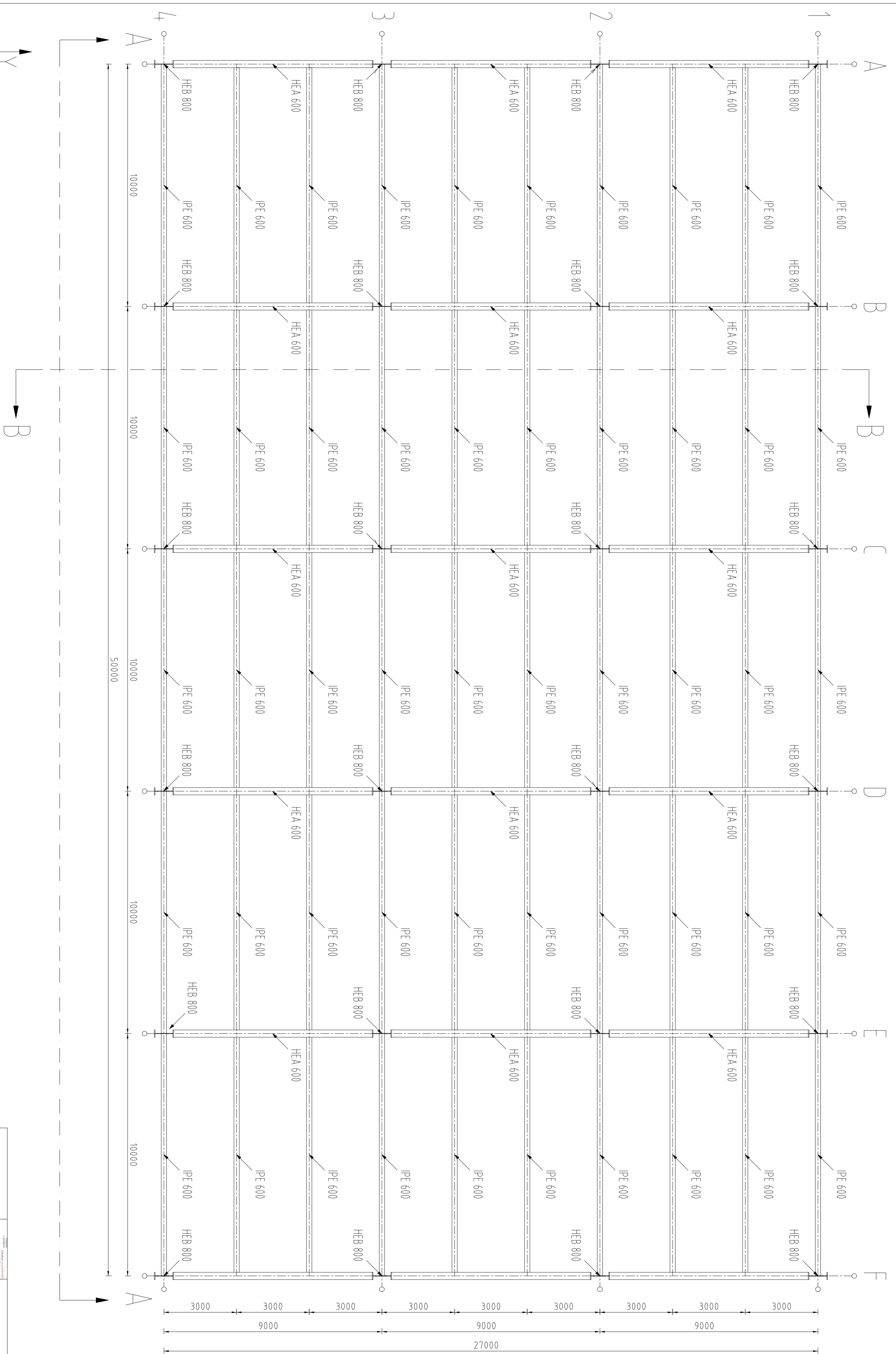


H.1 Absolutni pomiki stebrov - MSU (mejno stanje uporabnosti)

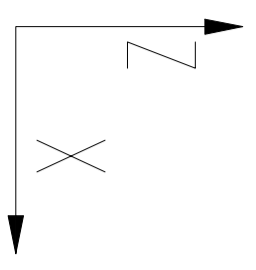
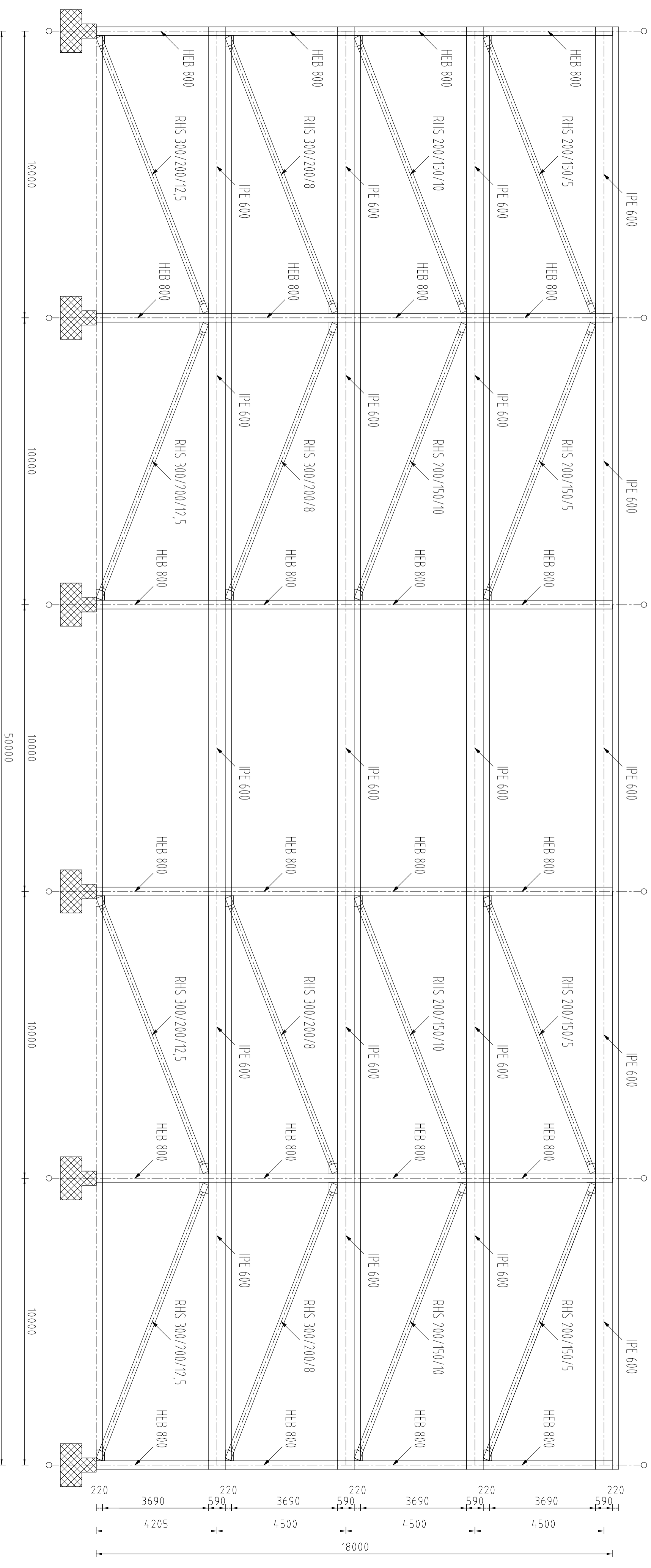


H.2 Relativni pomiki prečk - MSU (mejno stanje uporabnosti)

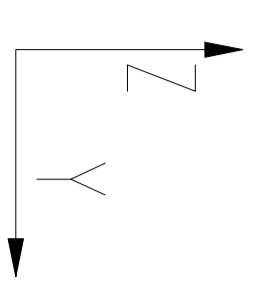
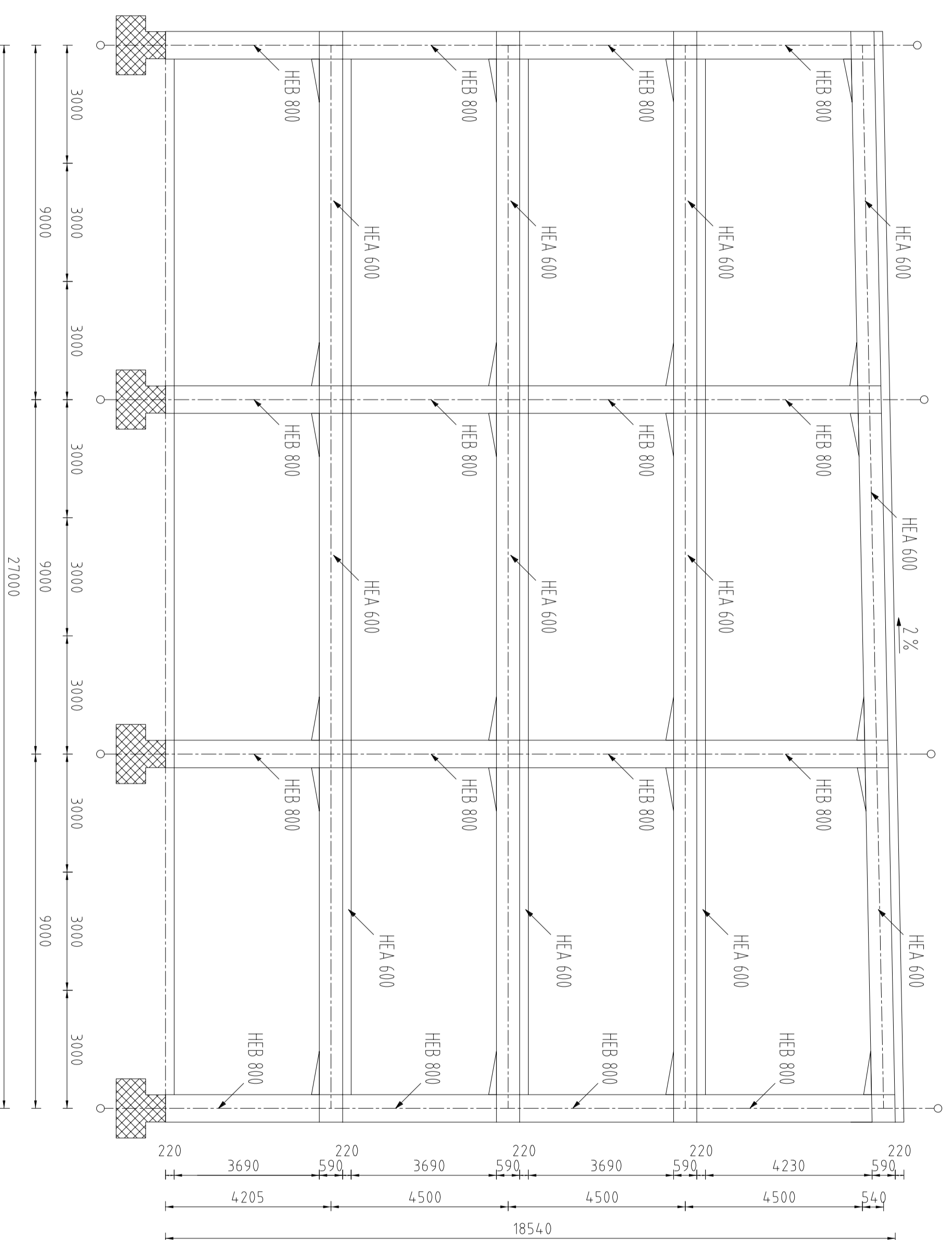




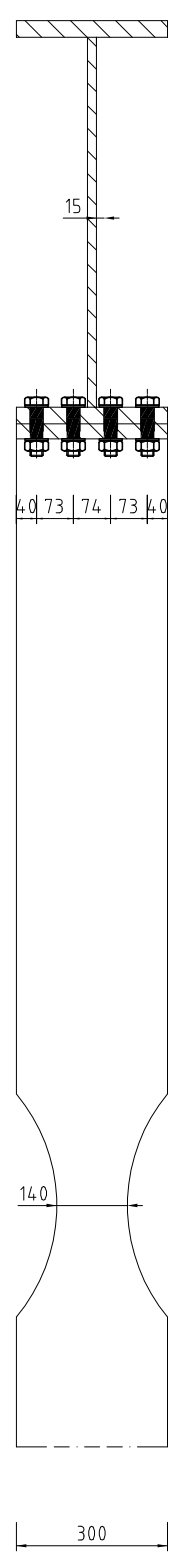
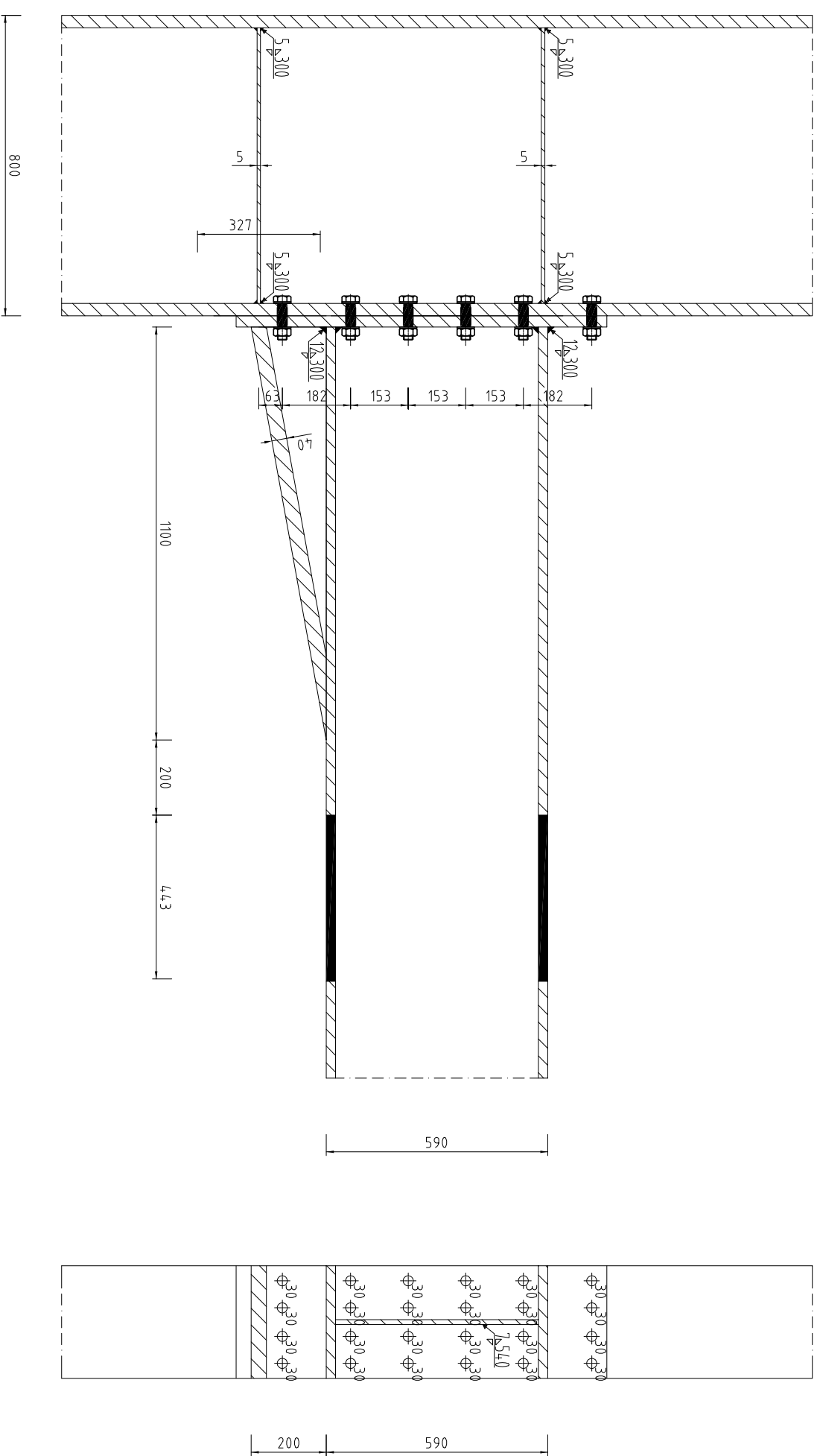
NASLOV:		Tloris objekta	
MERILO:	1:100	AVTOR:	Jure Gačnik
DATUM:	8.7.2014	FAZA PROJEKTA:	PGD



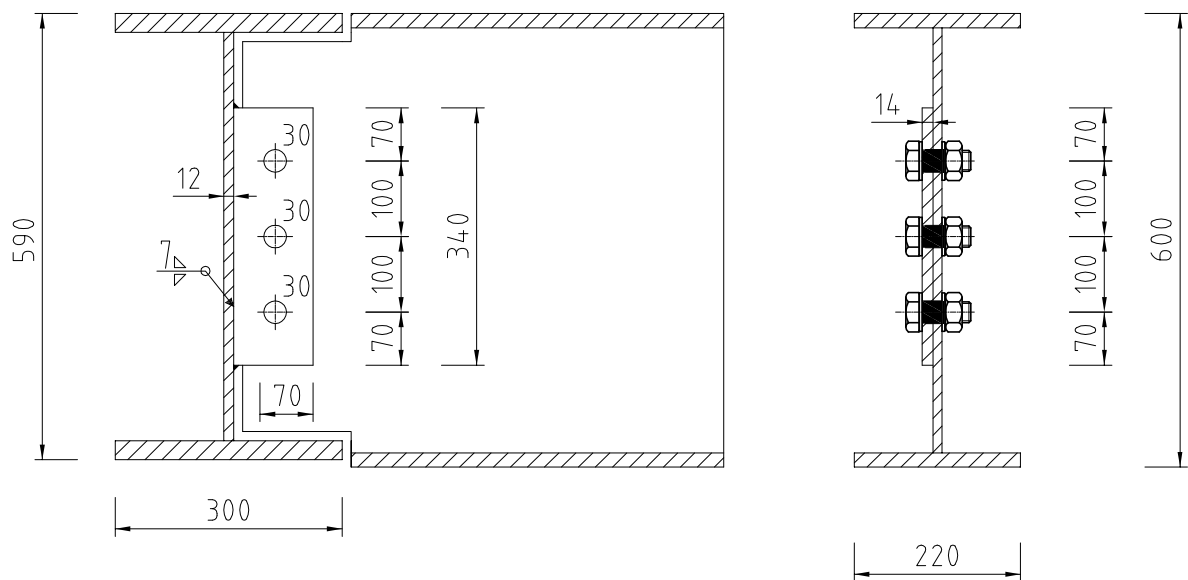
NASLOV:	Prerez A-A objekta		
MERLO:	1:100	AVTOR:	Jure Gačnik
DATUM:	8.7.2014	FAZA PROJEKTA:	PGD



NASLOV:		Prerez B-B objekta	
MERLO:	1:100	AVTOR:	Jure Gačnik
DATUM:	8.7.2014	FAZA PROJEKTA:	PGD



NASLOV: Detalji momentnega spoja med prečko in stebrom	
MERILO: 1:15	AVTOR: Jure Gačnik
DATUM: 8.7.2014	FAZA PROJEKTA: PGD



		<small>Univerza v Ljubljani</small> <small>Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko</small> 	
NASLOV: Detajl členkastega spoja med sek. nosilcem in prečko			
MERILO: 1:10		AVTOR: Jure Gačnik	
DATUM: 8.7.2014		FAZA PROJEKTA: PGD	