

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:

Veškovo, A., 2016. Projekt nakupovalnega centra. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Može, P.): 40 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5924/>

Datum arhiviranja: 17-10-2016

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:

Veškovo, A., 2016. Projekt nakupovalnega centra. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Može, P.): 40 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5924/>

Archiving Date: 17-10-2016

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:

ANDREJ VEŠKOVO

PROJEKT NAKUPOVALNEGA CENTRA

Diplomska naloga št.: 269/B-GR

DESIGN OF SHOPPING CENTRE

Graduation thesis No.: 269/B-GR

Mentor:

doc. dr. Primož Može

Ljubljana, 22. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani/-a študent/-ka _____, vpisna številka _____, avtor/-ica
pisnega zaključnega dela študija z naslovom: _____

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: _____

Datum: _____

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.014.2:725.1:339.378.2(043.2)
Avtor:	Andrej Veškovo
Mentor:	doc. dr. Primož Može
Somentor:	/
Naslov:	Projekt nakupovalnega centra
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	40 str., 7 pregl., 24 sl., 13 pril.
Ključne besede:	Jeklene konstrukcije, sovprežna plošča, ekscentrično povezje, strižni člen

Izvleček

Projekt nakupovalnega centra v Ljubljani obsega tehnično poročilo, zasnovo konstrukcije, obtežbe, računski model nosilnih konstrukcij, dimenzioniranje v mejnem stanju nosilnosti in uporabnosti, potresnem projektne stanju, dimenzioniranje tipičnih spojev ter pozicijske načrte in skice spojev. Jeklena konstrukcija prenaša horizontalne obremenitve v obeh smereh z ekscentričnimi povezji. Stropna konstrukcija je sovprežna. Sekundarni nosilci se členkasto spajajo s primarnimi nosilci, ki prenašajo obtežbo dalje do stebrov. V programu Scia Engineer se opravi računski model povezja, kjer iz notranjih sil in pomikov dimenzioniramo profile. V strižnih členih se disipira potresna energija, ostale elemente (preostali deli prečk, diagonale, stebri) povezja pa moramo načrtovati po principu projektiranja nosilnosti. Projektirali smo v skladu z Evrokod standardi 1 (vplivi na konstrukcije), 3 (jeklene konstrukcije), 4 (sovprežne konstrukcije) in 8 (potresno odporne konstrukcije).

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	624.014.2:725.1:339.378.2(043.2)
Author:	Andrej Veškovo
Supervisor:	Assist. Prof. Primož Može, PhD.
Cosupervisor:	/
Title:	Design of shopping centre
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	40 p., 7 tab., 24 fig., 13 ann.
Keywords:	Steel structures, composite steel-concrete slab, eccentric braces, seismic link

Abstract

The design of the shopping center in Ljubljana includes technical report, conceptual design, load actions, global analysis, design in the ultimate limit state (ULS), in the serviceability limit state (SLS) and in the seismic design state, position plans of the structure and the connections. The steel frame with the eccentric bracing carries horizontal loads in both directions. The composite slab is used for the inter-storey structure. Secondary beams are connected to the primary beams by hinge connections. The global analysis was performed in a computer program Scia Engineer. The internal forces and displacements as calculated were used for the design of the frames. The seismic links are designed to dissipate seismic energy. Other elements in a frame like columns and diagonals are designed with the principle of the capacity design. The structure was designed in accordance with Eurocode Standards 1 (actions on structures), 3 (steel structures), 4 (composite structures) and 8 (earthquake resistant structures).

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Primožu Možetu za strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi staršem, ki so me v času študija vedno podpirali.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 TEHNIČNO POROČILO	2
2.1 Zasnova	2
2.2 Konstrukcijski elementi	3
2.2.1 Profili	3
2.2.2 Sovprežna plošča	3
2.2.3 Fasada	3
2.2.4 Spoji	3
3 OBTEŽBE	4
3.1 Lastna teža betonske plošče	4
3.2 Lastna teža jeklenih profilov	4
3.3 Preostala stalna obtežba	4
3.3.1 Medetažna konstrukcija	4
3.3.2 Streha	4
3.4 Fasadna konstrukcija	4
3.5 Koristna obtežba	4
3.6 Obtežba vetra	5
3.7 Potres	7
3.7.1 Okvir X	7
3.7.1 Okvir Y	9
4 RAČUNSKI MODEL	11
5 DIMENZIONIRANJE V MEJNEM STANJU NOSILNOSTI	12
5.1 Sovprežna plošča	12
5.1.1 Medetažna konstrukcija	12
5.1.1.1 Faza betoniranja	12
5.1.1.2 Končno stanje	13
5.2 Sekundarni nosilec	14
5.2.1 Medetažna konstrukcija	14
5.2.1.1 Montažno stanje	14
5.2.1.1.1 Obremenitev	14
5.2.1.1.2 Nosilnost prereza	14
5.2.1.1.3 Kompaktnost	14
5.2.1.1.4 Kontrola bočne zvrnitve	14
5.2.1.1.5 Začetni pomik	15
5.2.1.2 Končno stanje	15
5.2.1.2.1 Obremenitev	15
5.2.1.2.2 Nosilnost prereza	16
5.2.1.2.3 Čepi $\phi 19$	16
5.2.1.2.4 Upogibki	17
5.3 Primarni nosilec	18
5.3.1 Računski model	18
5.3.2 Nosilnost prereza	18
5.3.3 Kompaktnost	18
5.3.4 Kontrola bočne zvrnitve	19
5.3.5 Pomik	19
5.4 Stebri	19

6 DIMENZIONIRANJE V POTRESNEM PROJEKTNEM STANJU	20
6.1. Strižni člen v okvirju X	20
6.1.1 Izračun obremenitev in odpornosti.....	20
6.1.2 Vrsta seizmičnega člana	21
6.1.3 Rotacija člana	21
6.1.4 Ojačitve stojine.....	22
6.2 Strižni člen v okvirju Y	23
6.2.1 Izračun obremenitev in odpornosti.....	23
6.2.2 Vrsta seizmičnega člana	24
6.2.3 Rotacija člana	24
6.2.4 Ojačitve stojine.....	25
6.3 Varovani deli okvirja X.....	25
6.3.1 Steber.....	26
6.3.2 Diagonale povezja	26
6.3.3 Prečka izven člana.....	27
6.4 Varovani deli okvirja Y	28
6.4.1 Steber.....	28
6.4.2 Diagonale povezja	28
6.4.3 Prečka izven člana.....	29
6.5 Kontrola poškodb	30
7 DIMENZIONIRANJE SPOJEV.....	31
7.1 Spoj primarni – sekundarni nosilec	31
7.1.1 Dimenzije	31
7.1.2 Obremenitev	31
7.1.3 Zvar	32
7.1.4 Nosilnosti vezne pločevine S275	32
7.1.5 Kontrola vijakov M22 8.8	32
7.1.6 Strižni iztrg vijakov	32
7.1.7 Nosilnost neto prereza	33
7.2 Spoj strižni člen – diagonala	33
7.2.1 Dimenzije	34
7.2.2 Obremenitev	34
7.2.3 Kontrola nosilnosti vezne pločevine S275	34
7.2.4 Kontrola nosilnosti vzdolžne pločevine S275	35
7.2.5 Zvar med diagonalo in pločevino	36
7.2.6 Zvar med prečko in pločevino.....	36
7.2.7 Kontrola vijakov M33 8.8	37
8 ZAKLJUČEK.....	39

KAZALO SLIK

Slika 1: Tloris medetažne konstrukcije	2
Slika 2: Okvir v smeri X - osi 1 in 6.....	2
Slika 3: Okvir v smeri Y – os A in F.....	3
Slika 4: Razpored sten na področja (SIST EN 1991-1-4, 2005).....	6
Slika 5: 1. nihajna oblika in model mase	8
Slika 6: 1. nihajna oblika in model mase	9
Slika 7: Povezje v smeri X	11
Slika 8: Povezje v smeri Y	11
Slika 9: Dopustni razponi pločevine v vlogi opaža, tabela 1 (Beg in sod., 2003)	12
Slika 10: Dopustni razponi v končnem stanju pri MSN, tabela 8 (Beg in sod., 2003).....	13
Slika 11: Dopustni razponi v končnem stanju pri MSU, tabela 2 (Beg in sod., 2003).....	13
Slika 12: Plastična razporeditev napetosti pri delni strižni povezavi (SIST EN 1994-1-1, 2004).....	15
Slika 13: Zveza med momentom M_{Rd} in reducirano silo N_c (SIST EN 1994-1-1: 2004).....	16
Slika 14: Obtežba primarnega nosilca	18
Slika 15: Rotacija člena (SIST EN 1998-1, 2004).....	21
Slika 16: Prikaz ojačitve strižnega člena IPE500	22
Slika 17: Stik primarni - sekundarni nosilec	31
Slika 18: Vijačen in varjen spoj strižni člen – diagonala.....	33
Slika 19: Prikaz bruto in neto prereza vezne pločevine.....	34
Slika 20: Prikaz bruto in neto prereza vozliščne pločevine	35
Slika 21: Ekscenter in razdelitev sile na komponenti	35
Slika 22: Zvar med diagonalo in pločevino	36
Slika 23: Zvar in ekscenter osne sile	36
Slika 24: Strižni iztrg vijakov	37

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Dimenzioniranje v mejnem stanju nosilnosti	3
Preglednica 2: Dimenzioniranje v potresnem mejnem stanju	3
Preglednica 3: Lastna teža	4
Preglednica 4: Kontrola pogoja 1 pri varovanem delu prečke povezja X	27
Preglednica 5: Kontrola pogoja 2 pri varovanem delu prečke povezja X	28
Preglednica 6: Kontrola pogoja 1 pri varovanem delu prečke povezja Y	30
Preglednica 7: Kontrola pogoja 2 pri varovanem delu prečke povezja Y	30

[Ta stran je namenoma prazna.]

1 UVOD

Projektiramo nakupovalni center, ki ima poleg pritličja še dve etaži. Naloga je zasnovana in obdelana v smislu projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja, obsega pa tehnično poročilo, zasnovo, obtežbe in obtežne kombinacije, računski model, dimenzioniranje v mejnem stanju nosilnosti in potresnem projektne stanju, kontrolo pomikov v mejnem stanju uporabnosti ter pozicijske načrte tlorisov, prerezov in izbranih detajlov.

Nosilna konstrukcija je jeklena. Vertikalne obremenitve se prenašajo preko sovprežne plošče do sovprežnih nosilcev in nato preko primarnih nosilcev do stebrov. Horizontalne obremenitve se v obeh smereh prenašajo z ekscentričnimi povezji.

Pri dimenzioniranju sovprežnih plošč si pomagamo s tabelami, ki nam povedo, kolikšni so največji možni razponi med nosilci pri izbrani debelini in marki betonske plošče. Uporabi se profilirana trapezna pločevina HI-Bond, ki jo proizvaja podjetje Trimo. Iz izbranega razpona nato dimenzioniramo sovprežne nosilce. Spodnja in vrhnja plošča sta enaki, strehe pa v diplomski nalogi ne obravnavamo.

V programu Scia Engineer modeliramo ekscentrična povezja v X in Y smeri. Pokazali smo, da je vpliv teorije drugega reda (globalne nepopolnosti) pri računu notranjih sil nepomemben. Na računski model nanesemo vse obtežbe. Za horizontalno obremenitev bo merodajna potresna obtežna kombinacija. Ta se s snegom ne kombinira, saj objekt leži pod 1000 metri nadmorske višine. Potresna energija se sipa v strižnih členih (del prečke med obema diagonalama), ki delujejo neelastično. Ostale elemente povezja zavarujemo, da se izognemo nastanku plastičnega členska.

Načrti tlorisov in prerezov so v merilu 1:100, načrti izbranih detajlov pa v merilu 1:10.

Pri projektiranju si pomagamo s Priročnikom za projektiranje gradbenih konstrukcij in Evrokod standardi 1 (vplivi na konstrukcije), 3 (jeklene konstrukcije), 4 (sovprežne konstrukcije) in 8 (potresno odporne konstrukcije).

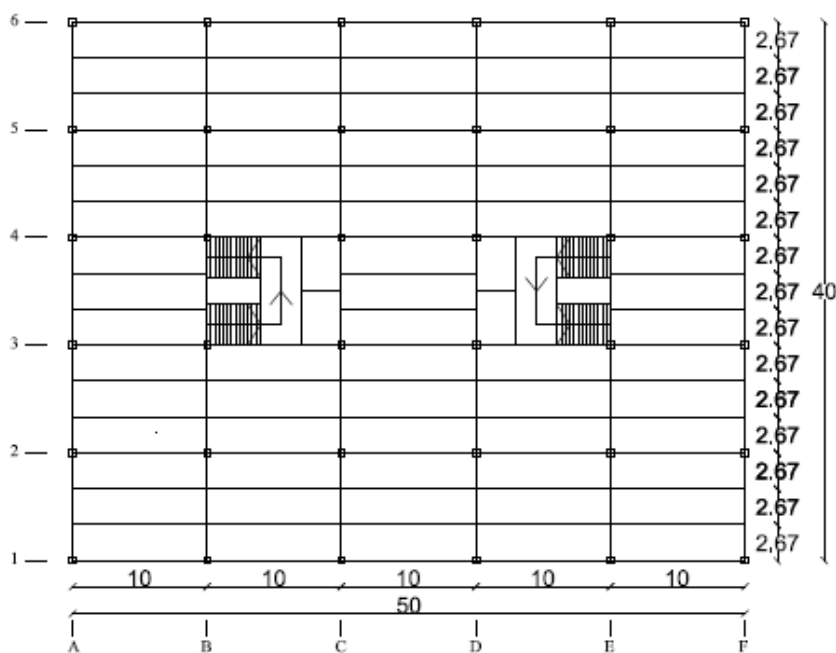
2 TEHNIČNO POROČILO

2.1 Zasnova

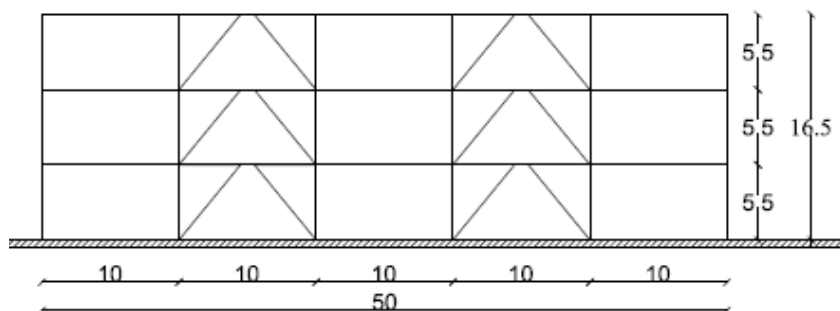
Nakupovalni center pravokotne tlorisne oblike se nahaja v Ljubljani na 300 metrov nadmorske višine. Leži v vetni coni 1, na terenu kategorije IV in v snežni coni A2. Pri potresni analizi upoštevamo tip tal A, s projektnim pospeškom $a_g = 0,25g$.

Objekt, dolžine 50 metrov in širine 40 metrov, ima poleg pritličja še 2 etaži, ki sta visoki po 5,5 metra. Zaradi velikega števila ljudi, so temu primerne tudi stopnice, ki se nahajajo blizu vhoda na zahodni ter na vzhodni strani objekta. Zraven stopnic so še dvigala. Na medetažni konstrukciji upoštevamo koristno obtežbo $5,5kN/m^2$ (od tega $0,5kN/m^2$ prispevajo predelne stene), zato dobimo dokaj veliko maso konstrukcije.

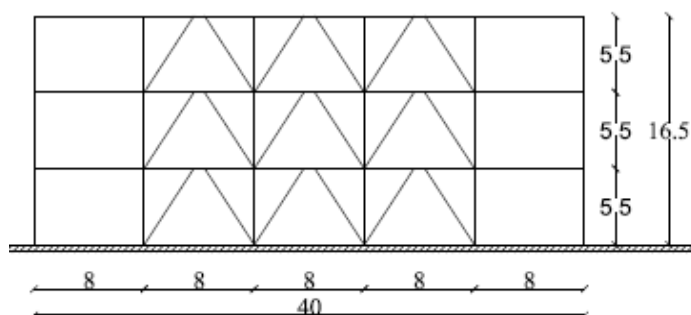
Horizontalno togost objekta zagotavljamo z okvirji z ekscentričnimi povezji v obeh smereh. V vzdolžni smeri sta 2 okvirja s po 2 povezji, v prečni smeri pa 2 okvirja s po 3 povezji. Ti okvirji so na obodih konstrukcije. Stropna konstrukcija je izvedena sovprežno. Sekundarni nosilci, dolžine 10 metrov, so členkasto pritrjeni na primarno nosilno konstrukcijo, ta pa je členkasto pritrjena na stebre.



Slika 1: Tloris medetažne konstrukcije



Slika 2: Okvir v smeri X - osi 1 in 6



Slika 3: Okvir v smeri Y – os A in F

2.2 Konstruktivski elementi

2.2.1 Profili

Vsi elementi so iz jekla kvalitete S275.

Preglednica 1: Dimenzioniranje v mejnem stanju nosilnosti

Primarni nosilci	HEA550
Sekundarni nosilci	IPE400
Stebri	HEA340

Preglednica 2: Dimenzioniranje v potresnem mejnem stanju

	Okvir X	
	Strižni člen	Diagonala
1	IPE500	SHS260/10
2	IPE400	SHS200/12.5
3	IPE180	SHS120/8

	Okvir Y	
	Strižni člen	Diagonala
1	IPE450	SHS250/10
2	IPE400	SHS200/12
3	IPE180	SHS100/10

2.2.2 Sovprežna plošča

Uporabljena je profilirana pločevina TRIMO HI-BOND 55, debeline $t = 8\text{mm}$, $f_{yk} = 250\text{MPa}$ (S250). Na pločevino je nanesen beton debeline $h = 12\text{cm}$, kvalitete C25/30. Uporabljeni so čepi Nelson za povezavo med ploščo in nosilci. Izbrani čepi so premera $d = 19\text{mm}$ in višine $h_{sc} = 90\text{mm}$.

2.2.3 Fasada

Uporabimo Trimo fasadne panele Qbiss.Air debeline 12cm. Obtežba fasade je 1kN/m^2 .

2.2.4 Spoji

Za stik med primarnim in sekundarnim nosilcem uporabimo vijake M22 8.8. Stik je členkast, kjer se zaradi zasuka pojavi majhen moment, ki ga dobimo z množenjem prečne sile in razdalje, ki predstavlja oddaljenost vijakov od primarnega nosilca.

Stik strižni člen – diagonala povezja je izveden z vezno pločevino. Ta je privarjena na diagonalo in vijačena na strižni člen. Uporabimo vijake M33 8.8.

3 OBTEŽBE

3.1 Lastna teža betonske plošče

→ strjen beton debeline $h = 12\text{cm}$
 $g = 2,41\text{kN/m}$

3.2 Lastna teža jeklenih profilov

Preglednica 3: Lastna teža

Primarni nosilci:	HEA550		1	2	3
g=	1,65kN/m	Strižni člen X:	IPE500	IPE400	IPE180
Sekundarni nosilci:	IPE400	g=	0,90kN/m	0,66kN/m	0,19kN/m
g=	0,66kN/m	Strižni člen Y:	IPE450	IPE400	IPE180
		g=	0,77kN/m	0,66kN/m	0,19kN/m

Obtežbo pločevin in vijakov pri spojih ter diagonal v povezjih pri računu potresne obtežbe upoštevamo tako, da lastne teže profilov množimo s faktorjem 1,1.

3.3 Preostala stalna obtežba

3.3.1 Medetažna konstrukcija

→ epoksi premaz (Peran SL, 2mm)
 $g = 0,10\text{kN/m}^2$
 → estrih (5cm)
 $g = 1,20\text{kN/m}^2$
 → zvočna in toplotna izolacija (steklena volna, 10cm)
 $g = 0,05\text{kN/m}^2$
 → instalacije
 $g = 0,30\text{kN/m}^2$
 → spuščen strop
 $g = 0,10\text{kN/m}^2$

Skupaj:

$g_s = 1,75\text{kN/m}^2$

3.3.2 Streha

V diplomski nalogi konstrukcije strehe ne obravnavamo. Sicer pa predpostavimo, da je lahka, z ocenjeno skupno stalno težo $0,8\text{kN/m}^2$ (konstrukcija, kritina, instalacije). To upoštevamo pri računu potresnih sil.

3.4 Fasadna konstrukcija

→ Qbiss.Air
 $g = 1,0\text{kN/m}^2$

3.5 Koristna obtežba

Na medetažni konstrukciji upoštevamo po standardu SIST EN 1991-1-1 za kategorijo D2-nakupovalni centri (trgovine) naslednjo obtežbo: $q = 5\text{kN/m}^2$.

Prišteti moramo še obtežbo premičnih predelnih sten $q = 0,5\text{kN/m}^2$.

3.6 Obtežba vetra

Nakupovalni center leži v vetrni coni 1, kar pomeni, da je temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra enaka $v_{b,0} = 20\text{m/s}$.

S pomočjo faktorjev dobimo osnovno hitrost vetra:

$c_{dir} = 1,0$... smerni faktor

$c_{season} = 1,0$... faktor letnega časa

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

Teren, na katerem bo zgrajen objekt, uvrščamo v IV. kategorijo – tereni, kjer vsaj 15% površine zavzemajo stavbe, višine vsaj 15 metrov:

$z_0 = 1\text{m}$... hrapavostna dolžina

$z_{min} = 10\text{m}$... minimalna višina, določena v preglednici 4.1 v EN 1991-1-4

$z_{0,II} = 0,05\text{m}$

Pri višini stavbe $z_{min} \leq z = 16,5\text{m} \leq z_{max} = 200\text{m}$:

Faktor terena k_r :

$$k_r = 0,19 \cdot (1/0,05)^{0,07} = 0,234$$

Faktor hrapavosti:

$$c_r(z) = 0,234 \cdot \ln(z/z_0) = 0,656$$

Faktor hribovitosti:

$$c_0(z) = 1,0$$

Srednja hitrost:

$$v_m(z) = v_b \cdot c_r(z) \cdot c_0(z) = 13,12\text{m/s}$$

Osnovni tlak:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 250\text{kPa} = 0,25\text{kN/m}^2$$

Faktor izpostavljenosti:

$$c_e(z) = 1,23 \text{ ... interpolacija}$$

Tlak pri največji hitrosti pri sunkih vetra:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 0,3075\text{kN/m}^2$$

Tlak vetra na zunanje ploskve na objektu:

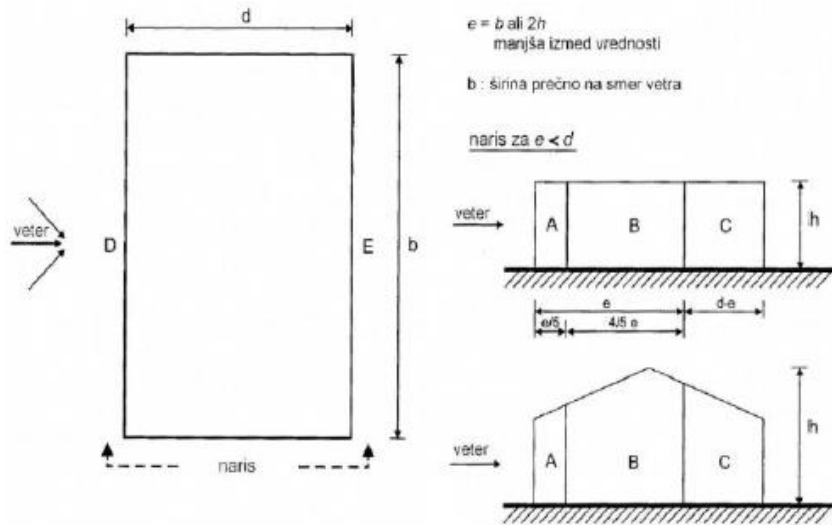
$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

c_{pe} ... koeficient zunanjega tlaka

w_e ... tlak vetra na zunanje ploskve objekta

Pri analizi vetra na določenih področjih sten in strehe dobimo tlake, ponekod pa srke. Tlaki so pozitivno predznačeni, srki pa negativno.

V diplomski nalogi me za račun vpliva vetra na konstrukcijo zanima tlak na področju D in srk na področju E. V programu Scia Engineer veter modeliramo tako, da na eni strani nanese obtežbo, ki je enaka seštevku tlaka in srka.



Slika 4: Razpored sten na področja (SIST EN 1991-1-4, 2005)

Veter prečno (na okvir v smeri Y): $\theta = 0^\circ$

Geometrija:

$h = 16,5\text{m}$... višina

$b = 50\text{m}$... dolžina

$d = 40\text{m}$... širina

$c = \min(b; 2h) = 33\text{m}$

Iz razmerja višine in širine objekta odčitamo (preglednica iz SIST EN 1991-1-4) koeficient zunanje tlaka c_{PE} . Ker sta površini področij D in E večji od 10m^2 odčitamo koeficiente $c_{PE,10}$.

$$h/d = 0,41 \rightarrow \begin{aligned} c_{PE}^D &= +0,8 \text{ ...tlak} \\ c_{PE}^E &= -0,5 \text{ ...srk} \end{aligned}$$

Obtežba vetra:

$$w_e^D = 0,300\text{kN/m}^2$$

$$w_e^E = -0,1875\text{kN/m}^2$$

Veter vzdolžno (na okvir v smeri X): $\theta = 90^\circ$

Geometrija:

$h = 16,5\text{m}$... višina

$b = 40\text{m}$... dolžina

$d = 50\text{m}$... širina

$c = \min(b; 2h) = 33\text{m}$

$$h/d = 0,66 \rightarrow \begin{aligned} c_{PE}^D &= +0,7 \text{ ...tlak} \\ c_{PE}^E &= -0,3 \text{ ...srk} \end{aligned}$$

Obtežba vetra:

$$w_e^D = 0,2625\text{kN/m}^2$$

$$w_e^E = -0,1125\text{kN/m}^2$$

Ker je višina objekta manjša od širine, torej $h \leq b$, predpostavimo konstantne napetosti vetra po višini.

3.7 Potres

Objekt se nahaja v Ljubljani, za katero velja projektni pospešek tal $a_g = 0,25g$.

Tla so tipa A:

$$\rightarrow S = 1,0$$

$$\rightarrow T_B = 0,15s$$

$$\rightarrow T_C = 0,40s$$

$$\rightarrow T_D = 2,00s$$

Nakupovalni center je zasnovan tako, da je pravilen po tlorisu in višini. Zaradi svoje enostavnosti in simetričnosti uporabimo poenostavljen ravninski model z vodoravnimi silami za analizo in projektiranje konstrukcije.

Horizontalno togost v obeh smereh prenašamo z ekscentričnimi povezji. Konstrukcija ima srednjo stopnjo duktilnosti DCM, s faktorjem obnašanja $q = 4,0$. Pri tem morajo biti vsi prerezi v 1., 2. ali 3. razredu kompaktnosti. Območja sipanja potresne energije so znana: ta se bo sipala v strižnih členih. Tam bo nastal plastični členek, kjer se bo element obnašal neelastično. Ostale elemente, ki so del okvirja (steber, prečke, diagonale) bo treba zavarovati. Pri tem bomo upoštevali seizmične notranje sile, ki se bodo povečale za faktor izkoriščenosti Ω .

Potresni vpliv računamo z naslednjo enačbo (Beg in sod., 2009):

$$\sum G_{K,j} + \gamma_1 \cdot A_K + \psi_2 \cdot Q_K$$

Pri tem je:

G_K ... karakteristična vrednost stalne obtežbe

Q_K ... karakteristična vrednost koristne obtežbe

A_K ... karakteristična vrednost potresne obtežbe

$\gamma_1 = 1,0$... faktor pomembnosti (objekt je v II. kategoriji)

Za račun mase objekta velja naslednja enačba:

$$M = \sum G_{K,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{K,i}$$

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2i} = 1,0 \cdot 0,6 = 0,6 \text{ (kategorija D: trgovine)}$$

Masa prve in druge etaže: $F_{M1} = F_{M2} = 16919,8kN = 1724750,3kg$

Masa strehe: $F_S = 1600kN = 163098,9kg$

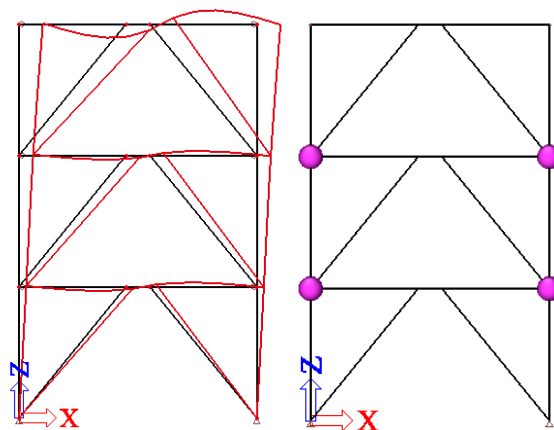
Skupna masa: $F_M = F_{M1} + F_{M2} + F_S = 35439,6kN = 3612599,4kg$

3.7.1 Okvir X

V smeri X namestimo 4 ekscentrična povezja. Ko poznamo maso objekta, lahko v programu Scia Engineer izračunamo nihajni čas: $T_{1,X} = 0,69s$. Ta pade v polje med časi T_C in T_D , kjer so hitrosti nihanja konstantne.

$$T_C = 0,40s \leq T_{1,X} = 0,69s \leq T_D = 2,0s$$

Računski model povezja je v poglavju 4.



Slika 5: 1. nihajna oblika in model mase

Projektni pospešek:

$$S_d = a_g \cdot S \cdot (2,5/q) \cdot (T_c/T_{1,x}) = 0,25 \cdot 1,0 \cdot (2,5/4,0) \cdot (0,4/0,69) = 0,09g$$

Celotna potresna sila v smeri X:

$$\lambda = 0,85 \dots \text{pri več kot 2 etažah in } T_{1,x} = 0,69s < 2 \cdot T_c = 0,8s$$

$$F_b = S_d \cdot m \cdot \lambda = 0,09 \cdot 35439,6kN \cdot 0,85 = 2711,1kN$$

Potresna sila na 1 povezje:

$$F_{b,1} = F_b / 4 = 677,8kN$$

Razdelitev sil po višini:

$$F_i = F_b \cdot z_i \cdot F_{m,i} / (\sum z_j \cdot F_{m,j})$$

$$z_1 = 5,5m$$

$$z_2 = 11m$$

$$z_3 = 16,5m$$

$$F_1' = 206,4kN$$

$$F_2' = 412,8kN$$

$$F_3' = 58,6kN$$

Upoštevati je potrebno tudi vpliv slučajne ekscentričnosti:

$$\delta = 1 + 1,2 \cdot x/L_e = 1,6$$

Izračunan faktor pomnožimo z dobljenima potresnima silama na 1 povezje in dobimo:

$$F_1 = \delta \cdot F_1' = 1,6 \cdot 206,4 = 330,24kN$$

$$F_2 = \delta \cdot F_2' = 1,6 \cdot 412,8 = 660,48kN$$

$$F_3 = \delta \cdot F_3' = 1,6 \cdot 58,6 = 93,76kN$$

Dobljeni potresni sili vnesemo v program Scia Engineer za analizo objekta.

Pri tem ne upoštevamo teorije drugega reda, saj ni izrazita, kot je prikazano v naslednjih računih.

Vpliv teorije drugega reda (TDR):

$$\theta = P_{tot} \cdot d_r / (h \cdot V_{tot}) \leq 0,1$$

P_{tot} ...sila težnosti v etaži in nad njo

F_M ...sila enaka masi obravnavane etaže in nad njo

V_{tot} ...prečna sila (potres)

d_r ...projektni pomik etaže, odvisen od relativnega pomika etaže in faktorja obnašanja q

$h = 5,5\text{m}$...višina etaže

θ ... koeficient TDR

$$P_{\text{tot},1} = F_M/4 = 35439,6\text{kN}/4 = 8859,9\text{kN}$$

$$V_{\text{tot},1} = 1084,48\text{kN}$$

$$d_{r,1} = d_{e,1} \cdot q = 9,4 \cdot 4 = 37,6\text{mm}$$

$$\theta_1 = P_{\text{tot},1} \cdot d_{r,1} / (h_1 \cdot V_{\text{tot},1}) = 0,052 \leq 0,1$$

$$P_{\text{tot},2} = F_{M2}/4 = 18519,5\text{kN}/4 = 4629,95\text{kN}$$

$$V_{\text{tot},2} = 754,24\text{kN}$$

$$d_{r,2} = d_{e,2} \cdot q = (18,8-9,4) \cdot 4 = 37,6\text{mm}$$

$$\theta_2 = P_{\text{tot},2} \cdot d_{r,2} / (h_2 \cdot V_{\text{tot},2}) = 0,050 \leq 0,1$$

$$P_{\text{tot},3} = F_{M3}/4 = 1600\text{kN}/4 = 400\text{kN}$$

$$V_{\text{tot},3} = 93,76\text{kN}$$

$$d_{r,3} = d_{e,3} \cdot q = (29,5-18,8) \cdot 4 = 42,8\text{mm}$$

$$\theta_3 = P_{\text{tot},3} \cdot d_{r,3} / (h_3 \cdot V_{\text{tot},3}) = 0,034 \leq 0,1$$

Etažni pomiki so prikazani v PRILOGI 3.

3.7.1 Okvir Y

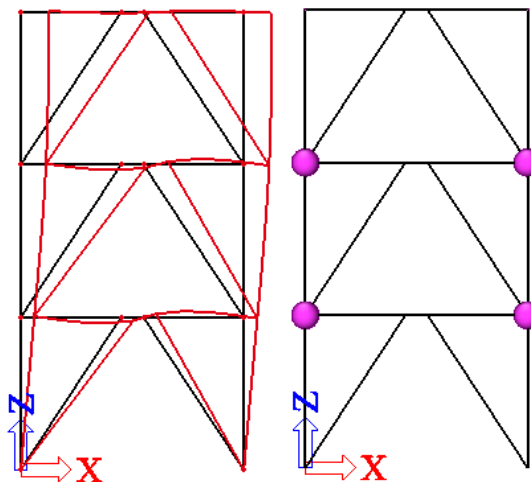
Postopek je enak še za okvir v smeri Y.

Ker pa je raster med nosilci nekoliko manjši – 8 metrov, v strižnem členu dobimo večje prečne sile, zato izberemo 6 povezij in tako zmanjšamo potresno obtežbo na povezje. Faktor obnašanja je $q = 4,0$.

Dobimo nihajni čas: $T_{1,Y} = 0,57\text{s}$.

$$T_C = 0,40\text{s} \leq T_{1,Y} = 0,57\text{s} \leq T_D = 2,0\text{s}$$

Računski model je v poglavju 4.



Slika 6: 1. nihajna oblika in model mase

Projektni pospešek:

$$S_d = a_g \cdot S \cdot (2,5/q) \cdot (T_C/T_{1,Y}) = 0,25g \cdot 1,0 \cdot (2,5/4,0) \cdot (0,4/0,57) = 0,11g$$

Celotna potresna sila v smeri Y:

$$\lambda = 0,85$$

$$F_b = S_d \cdot m \cdot \lambda = 0,11 \cdot 35439,6kN \cdot 0,85 = 3313,6kN$$

Potresna sila na 1 povezje:

$$F_{b,1} = F_b / 6 = 552,3kN$$

Razdelitev sil po višini:

$$F_i = F_b \cdot z_i \cdot F_{m,i} / (\sum z_j \cdot F_{m,j})$$

$$z_1 = 5,5m$$

$$z_2 = 11m$$

$$z_3 = 16,5m$$

$$F'_1 = 168,2kN$$

$$F'_2 = 336,4kN$$

$$F'_3 = 47,7kN$$

Vpliv slučajne ekscentričnosti:

$$\delta = 1 + 1,2 \cdot x/L_e = 1,6$$

Izračunan faktor pomnožimo z dobljenima potresnima silama na 1 povezje in dobimo:

$$F_1 = \delta \cdot F'_1 = 1,6 \cdot 168,2 = 269,1kN$$

$$F_2 = \delta \cdot F'_2 = 1,6 \cdot 336,4 = 538,2kN$$

$$F_3 = \delta \cdot F'_3 = 1,6 \cdot 47,7 = 76,4kN$$

Kot kasneje prikažemo, vpliv teorije drugega reda je premajhen, da bi ga upoštevali v računu potresnih sil.

Vpliv teorije drugega reda (TDR):

$$P_{tot,1} = F_{M1} / 6 = 35439,6kN / 6 = 5906,6kN$$

$$V_{tot,1} = 883,7kN$$

$$d_{r,1} = d_{e,1} \cdot q = 9,3 \cdot 4 = 37,2mm$$

$$\theta_1 = P_{tot,1} \cdot d_{r,1} / (h_1 \cdot V_{tot,1}) = 0,045 \leq 0,1$$

$$P_{tot,2} = F_{M2} / 6 = 18519,5kN / 6 = 3086,6kN$$

$$V_{tot,2} = 614,6kN$$

$$d_{r,2} = d_{e,2} \cdot q = (18,4 - 9,3) \cdot 4 = 36,4mm$$

$$\theta_2 = P_{tot,2} \cdot d_{r,2} / (h_2 \cdot V_{tot,2}) = 0,033 \leq 0,1$$

$$P_{tot,3} = F_{M3} / 6 = 1600kN / 6 = 266,7kN$$

$$V_{tot,3} = 76,4kN$$

$$d_{r,3} = d_{e,3} \cdot q = (26,6 - 18,4) \cdot 4 = 32,8mm$$

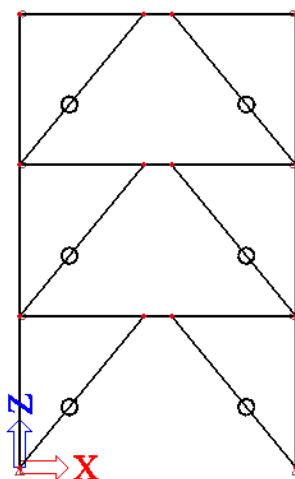
$$\theta_3 = P_{tot,3} \cdot d_{r,3} / (h_3 \cdot V_{tot,3}) = 0,021 \leq 0,1$$

Etažni pomiki so prikazani v PRILOGI 3.

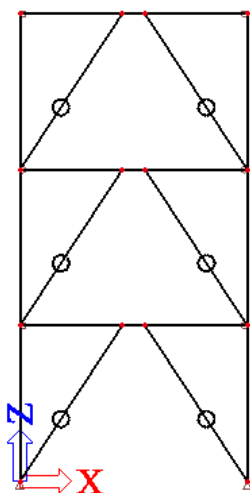
4 RAČUNSKI MODEL

V programu Scia Engineer smo opravili računski model za obe smeri, kjer horizontalno togost zagotavljamo z ekscentričnimi povezji. V smeri X imamo 2 okvirja s po 2 ekscentričnima povezjema, v smeri Y pa 2 okvirja s po 3 ekscentričnimi povezji.

Računska modela sta ravninska, saj je objekt pravilen po tlorisu in višini.



Slika 7: Povezje v smeri X



Slika 8: Povezje v smeri Y

Povezje modeliramo tako, da v podporah dovolimo zasuk, diagonale in prečke pa so členkasto pritrjene na stebre. Diagonale in stebri so obremenjeni samo z osnimi silami.

Model uporabimo za izračun nihajnega časa, etažnih pomikov in notranjih sil elementov.

Pri računanju nihajnega časa nanese maso vsake etaže in napišemo masno kombinacijo ter vsak element razdelimo na 5 končnih elementov. Nato zaženemo modalno analizo ter dobimo nihajne čase pri štirih nihajnih oblikah.

V program nanese vse obtežbe in opravimo več obtežnih kombinacij. Pri dimenzioniranju povezij je merodajno seizmično projektno stanje.

Prikaz pomikov in notranjih sil najdemo v PRILOGAH.

5 DIMENZIONIRANJE V MEJNEM STANJU NOSILNOSTI

5.1 Sovprežna plošča

Medetažna konstrukcija in streha delujeta kot sovprežni plošči. Uporabimo profilirano trapezno pločevino TRIMO HI-BOND 55. Ta ima naslednje parametre: višina 55 mm, debelina 0,8 mm, dolžina vala znaša 150 mm, kvaliteta jekla pa S250 GD ($f_{yp} = 250\text{MPa}$).

Pri betonu izberem marko C25/30, debeline 12 cm. Pri končnem sidranju uporabimo čepe $\phi 19$.

S pomočjo tabel za dimenzioniranje sovprežnih stropov s profilirano pločevino lahko določimo maksimalni razpon med dvema sekundarnima nosilcema. Tabele obstajajo za montažno stanje, ko deluje pločevina kot opaž, in za končno stanje po strditvi betona.

5.1.1 Medetažna konstrukcija

Razpon med sekundarnimi nosilci je 2,67m.

5.1.1.1 Faza betoniranja

Med betoniranjem ima pločevina vlogo opaža. Za obe mejni stanji določimo največji razmak med podpornimi nosilci. Ta seveda ne sme biti presežen iz strani dejanskega razpona.

MSU: pri debelini betona $h = 12\text{cm}$, je največji dopustni razpon $L_{dov} = 278\text{cm}$.

MSN: pri debelini betona $h = 12\text{cm}$, širini podpore med $b = 100\text{mm}$ in $b = 200\text{mm}$, izberem $L_{dov} = 250\text{cm}$.

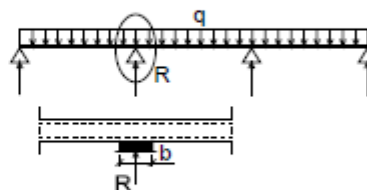
$$L_{dov} = \min(L_{dov,MSN}; L_{dov,MSU}) = 250\text{cm}.$$

Sam sem izbral razpon med nosilcema $2,67\text{m} = 267\text{cm}$, kar pomeni, da moramo dodati začasno podporo med nosilci:

$$L_{zp} = L/2 = 133,5\text{cm} \leq L_{dov} = 250\text{cm}$$

Mejna stanja uporabnosti (upogibki)

h (cm)	L_{Dov} (cm)
12	278
14	261
16	248
18	237



Mejna stanja nosilnosti

h (cm)	upogibna nosilnost	Vnos koncentriranih sil nad vmesnimi podporami s širino b				
		b = 10 mm	b = 50 mm	b = 100 mm	b = 200 mm	b = 300 mm
12	261	212	239	250	259	261
14	243	193	219	230	239	242
16	228	177	203	213	223	227
18	216	164	189	200	209	213

Slika 9: Dopustni razponi pločevine v vlogi opaža, tabela 1 (Beg in sod., 2003)

5.1.1.2 Končno stanje

Za končno stanje upoštevamo metodo B3 po metodi delne strižne vezi. To pomeni, da smo izbrali čepi $\phi 19$, ki jih sidramo v vsak drugi val (razmak med čepi $e = 30\text{cm}$) in armaturno mrežo Q257. Pri omenjeni metodi se ne upošteva strižne nosilnosti pločevine.

Najprej izračunamo obtežbo na pločevino. Pri tem pazimo, da ne upoštevamo lastne teže, temveč samo stalno in koristno:

$$q_{ED}^{MSN} = 1,35 \cdot g_s + 1,50 \cdot q = 10,6 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{ED}^{MSU} = 1,00 \cdot g_s + 1,00 \cdot q = 7,25 \text{ kN/m}^2$$

Pri obtežbi glede MSN interpoliramo in dobimo največji dovoljen razpon:

$$L_{\max} = ((12-10,6)/(12-10)) \cdot (325-304) + 304 = 318,7 \text{ cm} \geq L = 267 \text{ cm}$$

Tabela 8: Dopustni razponi HI-Bond sovprežnih stropov (v centimetrih) - mejna stanja nosilnosti

pločevina: HI-Bond 55, $t = 0,8 \text{ mm}$, $f_{yk} = 250 \text{ MPa}$
beton: C 25/30

h(cm)	g_l (kN/m ²)	metoda	p_{sd}^{MSN} (kN/m ²)												
			3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
12	2,41	B1	395	388	345	326	296	274	256	241	228	217	208	200	193
		B2	464	431	405	383	347	321	299	282	267	254	243	234	225
		B3	471	438	411	388	353	325	304	286	271	258	247	237	229
		B4	522	485	455	430	391	360	336	317	300	286	273	262	253
		B5	588	547	513	485	440	408	379	356	337	321	308	295	284
		B6	626	582	545	515	468	431	402	379	359	342	327	314	302

Slika 10: Dopustni razponi v končnem stanju pri MSN, tabela 8 (Beg in sod., 2003)

Na enak način preverimo še razpone za MSU:

$$L_{\max} = 394 - (394 - 381)/4 = 387,75 \text{ cm} \geq L = 267 \text{ cm}$$

Tabela 2: Dopustni razponi HI-Bond sovprežnih stropov (v centimetrih) - mejna stanja uporabnosti

pločevina: HI-Bond 55, $t = 0,8 \text{ mm}$, $f_{yk} = 250 \text{ MPa}$
beton: C 20/25, C 25/30, C 30/37, C 35/45

h (cm)	g_l (kN/m ²)	vrsta betona	p_{sd}^{MSU} (kN/m ²)											
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16
12	2,41	C 20/25	504	470	445	424	406	391	378	367	357	339	322	308
		C 25/30	507	474	448	427	409	394	381	370	359	342	325	311
		C 30/37	511	477	451	430	412	397	384	372	362	344	327	313
		C 35/45	514	481	454	433	415	400	386	375	364	347	329	315

Slika 11: Dopustni razponi v končnem stanju pri MSU, tabela 2 (Beg in sod., 2003)

Ker sta obe kontroli večji od dejanskega razpona med nosilci, ki znaša 267cm, je ta razdalja primerna.

Potrebna armatura:

Zagotoviti moramo še negativno (zgornjo) armaturo proti razpokanju nad podpornimi nosilci:

$$A_{\text{neg}}^{\text{potr}} = 0,004 \cdot 100 \text{ cm} \cdot (12 \text{ cm} - 5,5 \text{ cm}) = 2,6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Potrebujemo še armaturo za raznos obtežbe, ki se vstavi predvsem zaradi predelnih sten:

$$A_{\text{raznos}}^{\text{potr}} = 0,002 \cdot 100 \text{ cm} \cdot (12 \text{ cm} - 5,5 \text{ cm}) = 1,3 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5.2 Sekundarni nosilec

5.2.1 Medetažna konstrukcija

Sekundarni nosilec pri medetažni konstrukciji je profila IPE400, jekla kvalitete S275. Skupaj z betonom C25/30 tvori sovprežni nosilec. Dolžina nosilca znaša 10m, razpon med nosilci pa je 2,67m.

5.2.1.1 Montažno stanje

Vsa obtežba pade na nosilec, saj je to šele faza betoniranja.

Obtežbe na meter (vplivna širina je 2,67m):

→ lastna teža jeklenega nosilca: $g_a = 0,66\text{kN/m}$

→ lastna teža svežega betona: $g_c = 0,12\text{m} \cdot 2,67\text{m} \cdot 26\text{kN/m}^3 = 8,33\text{kN/m}$

→ lastna teža strjenega betona: $g_c = 0,12\text{m} \cdot 2,67\text{m} \cdot 25\text{kN/m}^3 = 8,01\text{kN/m}$

→ lastna teža opaža: $g_{op} = 0,4\text{kN/m}^2 \cdot 2,67\text{m} = 1,07\text{kN/m}$

→ lastna teža delavcev in opreme: $q_m = 0,75\text{kN/m}^2 \cdot 2,67\text{m} = 2,0\text{kN/m}$

5.2.1.1.1 Obremenitev

$$q_{ED}^{MSN} = 1,35 \cdot g_a + 1,50 \cdot (g_c^{svez} + g_{op} + q_m) = 1,35 \cdot 0,66 + 1,50 \cdot (8,33 + 1,07 + 2,0) = 17,99\text{kN/m}$$

$$q_{ED}^{MSU} = 1,0 \cdot g_a + 1,0 \cdot g_c^{strjen} + 1,0 \cdot q_{op} = 1,0 \cdot 0,66 + 1,0 \cdot 8,01 + 1,0 \cdot 1,07 = 9,74\text{kN/m}$$

5.2.1.1.2 Nosilnost prereza

-Kontrola elastične upogibne nosilnosti

$$M_{ED} = q_{ED}^{MSN} \cdot L^2 / 8 = 224,9\text{kNm} \leq M_{el,Rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 319\text{kNm}$$

-Kontrola elastične strižne nosilnosti

$$A_v = A - 2 \cdot b_f \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 42,7\text{cm}^2$$

$$V_{ED} = q_{ED}^{MSN} \cdot L / 2 = 99,95\text{kN} \leq V_{el,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 677,9\text{kN}$$

Ker je $V_{el,Rd}/2$ več od V_{ED} , interakcija M-V ni potrebna.

5.2.1.1.3 Kompaktnost

$$\varepsilon = \sqrt{235/275} = 0,92$$

- pasnica: $c/t_f = 6,67 \leq 9\varepsilon = 8,28$

- stojina: $d/t_w = 38,5 \leq 72\varepsilon = 66,24$

Pasnica in stojina sta kompaktni v upogibu - 1. razred.

- strig: $d/t_w = 38,5 \leq 72 \cdot (\varepsilon/\eta) = 55,2$

Stojina je kompaktna v strigu - 1. razred.

5.2.1.1.4 Kontrola bočne zvrnitve

V programu LTBeam izračunamo kritični moment $M_{cr} = 398,41\text{kNm}$.

Na sredini nosilca dolžine $L = 10\text{m}$ namestimo začasne bočne podpore. Potek izračuna je prikazan v PRILOGI 8.

$$\tilde{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}} = 0,95$$

Krivulja a → $\alpha = 0,21$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (\tilde{\lambda}_{LT} - 0,4)) + 0,75 \cdot \tilde{\lambda}_{LT}^2 = 0,90$$

$$\chi_{LT} = 1 / (\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - 0,75 \cdot \tilde{\lambda}_{LT}^2}) = 0,79$$

$$M_{ED} = 224,9\text{kNm} \leq M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot M_{el,Rd} = 284,9\text{kNm}$$

5.2.1.1.5 Začetni pomik

Pomik nepodprtega nosilca ($L=10\text{m}$):

$$w_{\max} = 5 \cdot q_{\text{ED}}^{\text{MSU}} \cdot L^4 / (384 \cdot E \cdot I_y) = 2,61\text{cm}$$

Začetni pomik se prišteje pomiku v končnem stanju. Skupni pomik je prevelik, zato nosilec v montažnem stanju začasno podpremo na sredini (kontinuirni nosilec čez dve polji $L=2 \times 5\text{m}$):

$$w_{\max} = 0,80\text{cm} \text{ (izračunano v programu Scia Engineer)}$$

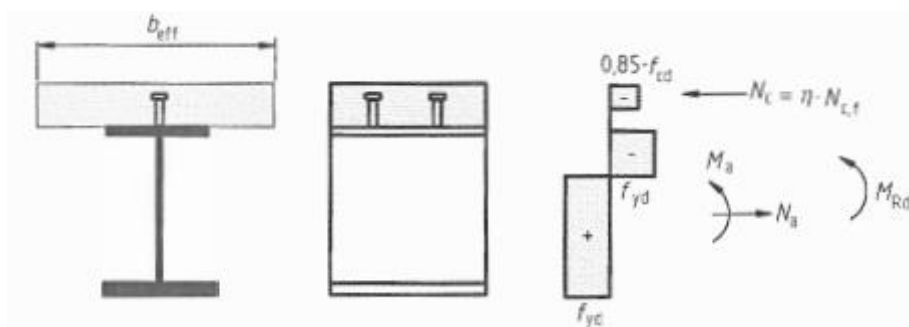
5.2.1.2 Končno stanje

Po strditvi betona delujeta skupaj z nosilcem kot sovprežni nosilec. Ker imamo prostoležeče nosilce, so posledično momenti pozitivni. V končnem stanju je prirastek obtežbe relativno majhen, zato ni potrebe po doseganju plastične upogibne nosilnosti sovprežnega prereza in uporabim metodo delne strižne povezave. Upogibno nosilnost momenta M_{RD} se izračuna na podlagi plastične metode. Pri tem uporabimo reducirano tlačno silo v betonski pasnici N_c namesto tlačne sile pri polni strižni povezavi N_{cf} .

Stopnjo strižne povezave računamo po enačbi:

$$\eta = 1 - (355/f_y) \cdot (0,75 - 0,03 \cdot L_c) = 0,42 \geq 0,40$$

Izberem minimalno stopnjo strižne povezave: $\eta = 0,42$



Slika 12: Plastična razporeditev napetosti pri delni strižni povezavi (SIST EN 1994-1-1, 2004)

Efektivna širina nosilca je $b_{\text{eff}} = 2 \cdot L/8 = 250\text{cm}$.

Obtežbe:

Profil: $g_a = 0,66\text{kN/m}$

Plošča: $g_c = 2,41\text{kN/m}^2 \cdot 2,67\text{m} = 6,44\text{kN/m}$

Ostala stalna: $g_s = 1,7\text{kN/m}^2 \cdot 2,67\text{m} = 4,67\text{kN/m}$

Koristna: $q = 5,5\text{kN/m}^2 \cdot 2,67\text{m} = 14,69\text{kN/m}$

5.2.1.2.1 Obremenitev

$$q_{\text{ED}}^{\text{MSN}} = 1,35 \cdot (g_a + g_c + g_s) + 1,5 \cdot q = 1,35 \cdot (0,66 + 6,44 + 4,67) + 1,5 \cdot 14,69 = 37,92\text{kN/m}$$

$$q_{\text{ED}}^{\text{MSU}} = 1,0 \cdot (g_a + g_c + g_s + q) = 1,0 \cdot (0,66 + 6,44 + 4,67 + 14,69) = 26,46\text{kN/m}$$

5.2.1.2.2 Nosilnost prereza

-Kontrola upogibne nosilnosti

$$N_{cf} = N_{pl,a} \rightarrow x_{pl} \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = A_a \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2323,75 \text{ kN}$$

$$x_{pl} = 4,37 \text{ cm} \leq h_c = 12 \text{ cm}$$

$$r = h/2 + h_c - x_{pl}/2 = 29,8 \text{ cm} = 0,298 \text{ m}$$

$$M_{pl,Rd} = N_{pl,a} \cdot r = 2323,75 \text{ kN} \cdot 0,298 \text{ m} = 692,5 \text{ kNm}$$

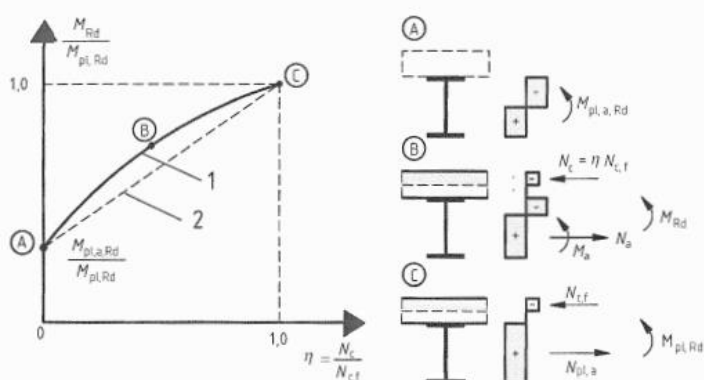
$$M_{pl,a,Rd} = W_y \cdot f_y = 359,4 \text{ kNm}$$

$$N_c = \eta \cdot N_{cf} = 0,42 \cdot 2323,75 \text{ kN} = 976 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) \cdot \eta = 499,3 \text{ kNm}$$

$$M_{ED} = q_{ED}^{MSN} \cdot L^2 / 8 = 474 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 499,3 \text{ kNm}$$

Pri računu kritičnega prečnega prereza M_{Rd} smo uporabili linearno aproksimacijo AC.



Slika 13: Zveza med momentom M_{Rd} in reducirano silo N_c (SIST EN 1994-1-1: 2004)

- Kontrola strižne nosilnosti

$$V_{ED} = q_{ED}^{MSN} \cdot L/2 = 189,6 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 677,9 \text{ kN}$$

5.2.1.2.3 Čepi $\phi 19$

$$h_{sc}/d = 90/19 = 4,7 > 4,0 \rightarrow \alpha = 1$$

Projektna strižna nosilnost čepa je manjša izmed naslednjih dveh vrednosti:

$$P_{Rd1} = 0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2 / (4 \cdot \gamma_v) = 0,8 \cdot 45 \text{ kN/cm}^2 \cdot \pi \cdot 1,9^2 \text{ cm}^2 / (4 \cdot 1,25) = 81,7 \text{ kN}$$

$$P_{Rd1} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} / \gamma_v = 0,29 \cdot 1,0 \cdot 1,9^2 \text{ cm}^2 \sqrt{2,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 3100 \text{ kN/m}^2} / 1,25 = 73,7 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \min(P_{Rd1}, P_{Rd2}) = 73,7 \text{ kN}$$

Ker so čepi uporabljeni skupaj s pločevino, se strižna nosilnost reducira.

Pločevina je prečno na nosilec:

$$k_t = 0,7 \cdot b_0 \cdot (h_{sc}/h_p - 1) / (\sqrt{n_r} \cdot h_p) = 0,7 \cdot 75 \cdot (90/55 - 1) / (\sqrt{1} \cdot 55) = 0,61$$

$b_0 = 150/2 = 75$... polovična vrednost dolžine vala

$$P_{Rd} = 73,7 \cdot 0,61 = 44,957 \text{ kN}$$

Računska prečna sila F_t na strižni čep:

$$F_t = k_\phi \cdot d_{d0} \cdot t \cdot f_{ypk} / \gamma_c = 22,8 \text{ kN}$$

Pri tem je:

$$d_{d0} = 1,1 \cdot d = 2,09 \text{ cm}$$

$$1,5d_{d0} = 3,135 \text{ cm} \leq a = 10,5 \text{ cm}$$

$$k_\phi = 1 + a/d_{d0} = 6$$

Računska vzdolžna sila F_1 na strižni čep izhaja iz porazdelitve čepov, ki jih namestimo v vsak val, torej na razdalji $e = 15\text{cm}$.

$$n = (L/2)/e = 500\text{cm}/15\text{cm} = 33,3 \rightarrow 34 \text{ čepov}$$

$$n = N_c/F_1 \rightarrow F_1 = N_c/n = 976\text{kN}/34 = 28,7\text{kN}$$

$$\text{Pogoj: } F_1^2/P_{Rd}^2 + F_t^2/P_{Rd}^2 = 28,7^2/44,59^2 + 22,8^2/44,59^2 \leq 1,0 \rightarrow 0,67 \leq 1,0$$

Pogoja razmaka med čepi:

$$e = 15\text{cm} \geq e_{\min} = 5d = 9,5\text{cm}$$

$$e = 15\text{cm} \leq e_{\max} = \min(6h_c = 6 \cdot 12 = 72\text{cm}; 80\text{cm}) = 72\text{cm}$$

Pogoj za enakomerno raporeditev čepov:

$$M_{pl,Rd}/M_{pl,a,Rd} = 692,5\text{kNm}/359,4\text{kNm} = 1,93 \leq 2,5$$

Vzdolžni strig na betonsko pasnico:

$$V_{ED} = \tau_{ED}/h_f = N_c/(2h_f \cdot L/2) = 976\text{kN}/(2 \cdot 6,5\text{cm} \cdot 500\text{cm}) = 0,15\text{kN/cm}^2$$

h_f ... dolžina strižnega preloma

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck}/250) = 0,54$$

$$\theta_f = 26,5^\circ$$

$$V_{ED} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin\theta_f \cdot \cos\theta_f = 0,36\text{kN/cm}^2$$

Armatura:

$$A_{sf} = V_{ED} \cdot h_f \cdot s_f / (f_{sk} / \gamma_s \cdot \cot\theta_f) = 1,12\text{cm}^2/\text{m} \leq A_{sf,plošče} = 2,57\text{cm}^2/\text{m}$$

Mehka armatura na vale Q257, ki smo jo izbrali z metodo B3 pri sovprežnih ploščah, je večja od A_{sf} , zato ne potrebujemo dodatne vzdolžne armature za prevzem vzdolžnega striga.

5.2.1.2.4 Upogibki

Skupni pomik je seštevek začetnega v montažnem stanju in končnega pomika.

Obtežba:

$$q_{ED}^{MSU} = 1,0 \cdot (g_s + q) = 1,0 \cdot (4,67 + 14,69) = 19,36\text{kN/m}$$

Vpliv lezenja:

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

$$n_L = 2 \cdot n_0 = 13,54$$

Račun vztrajnostnega momenta sovprežnega nosilca:

$$A_c = b_{\text{eff}} \cdot h_c = 250 \cdot 12 = 3000\text{cm}^2$$

$$A_{\text{sov}} = A_a + A_c/n_L = 306,1\text{cm}^2$$

$$a = h/2 + h_c/2 = 40/2 + 12/2 = 26\text{cm}$$

$$a_a = a \cdot A_c / (A_{\text{sov}} \cdot n_L) = 18,82\text{cm}$$

$$a_c = a \cdot A_a / A_{\text{sov}} = 7,18\text{cm}$$

$$I_c = b_{\text{eff}} \cdot h_c^3 / 12 = 36000\text{cm}^4$$

$$I_{\text{sov}} = I_a + A_a \cdot a_a^2 + (I_c + A_c \cdot a_c^2) / n_L = 67140,3\text{cm}^4$$

Pomik:

$$w_{\max} = 5 \cdot g_{ED}^{MSU} \cdot L^4 / (384 \cdot E \cdot I_{\text{sov}}) = 1,79\text{cm}$$

Skupni pomik:

$$w_{\text{skupaj}} = 0,80\text{cm} + 1,79\text{cm} = 2,59\text{cm} \leq L/250 = 4\text{cm}$$

5.3 Primarni nosilec

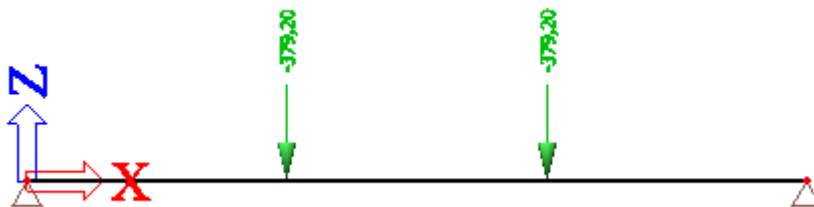
Obremenitev na primarni nosilec deluje po principu reakcija-akcija. Iz reakcij sekundarnih sovprežnih nosilcev se obtežba prenese kot akcija na primarne nosilce. Ti so na obeh etažah dolžine $L = 8\text{m}$. Sekundarni nosilci so členkasto pritrjeni na primarne nosilce. Najbolj obremenjeni primarni nosilci nosijo 4 sekundarne nosilce.

5.3.1 Računski model

Iz obtežbe $q_{ED} = 37,92\text{kN/m}$ na sekundarni nosilec (glej obremenitev sekundarnega nosilca) dobimo reakcije v podporah.

Reakcija v eni podpori je $R_z = q_{ED} \cdot L/2 = 37,92\text{kN/m} \cdot 10\text{m}/2 = 189,6\text{kN}$

Na primarni nosilec delujeta dva sekundarna nosilca na vsaki strani, zato akcijo sekundarnih nosilcev pomnožimo z 2: $F_1 = F_2 = 189,6\text{kN} \cdot 2 = 379,2\text{kN}$



Slika 14: Obtežba primarnega nosilca

Iz slike je razvidno, da sta reakciji v podporah primarnega nosilca enaki $R_{z,1} = R_{z,2} = 379,2\text{kN}$.

Največji upogibni moment:

$$M_{ED} = R_{z,1} \cdot L/3 = 379,2\text{kN} \cdot 8,0\text{m}/3 = 1012,5\text{kNm}$$

Največja prečna sila:

$$V_{ED} = R_{z,1} = R_{z,2} = 379,2\text{kN}$$

Izkaže se, da bo merodajen pomik. Dobimo profil HEA550.

5.3.2 Nosilnost prereza

-Kontrola upogibne nosilnosti

$$M_{ED} = 1010,19\text{kNm} \leq M_{pl,Rd} = W_y \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1271,05\text{kNm}$$

-Kontrola strižne nosilnosti

$$A_v = A - 2 \cdot b_f \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 83,96\text{cm}^2$$

$$V_{ED} = 379,2\text{kN} \leq V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 1333,04\text{kN}$$

M-V interakcija ni potrebna.

5.3.3 Kompaktnost

$$\varepsilon = \sqrt{235/275} = 0,92$$

- pasnica: $c/t_f = 6,25 \leq 9\varepsilon = 8,28$

- stojina: $d/t_w = 35,04 \leq 72\varepsilon = 66,24$

Pasnica in stojina sta kompaktni v upogibu - 1. razred.

- strig: $d/t_w = 35,04 \leq 72 \cdot (\varepsilon/\eta) = 55,2$

Stojina je kompaktna v strigu - 1. razred.

5.3.4 Kontrola bočne zvrnitve

V programu LTBeam izračunam kritični moment $M_{cr} = 6638,8\text{kNm}$ pri bočnih podporah postavljenih na vsaki tretjini nosilca, torej na dolžini $L = 2,67\text{m}$. V PRILOGI 9 je prikazan potek izračuna kritičnega momenta in podatki o robnih pogojih podpor.

$$\tilde{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_y \cdot f_y / M_{cr}} = 0,43$$

Krivulja c $\rightarrow \alpha = 0,49$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (\tilde{\lambda}_{LT} - 0,4) + 0,75 \cdot \tilde{\lambda}_{LT}^2) = 0,58$$

$$\chi_{LT} = 1 / (\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - 0,75 \cdot \tilde{\lambda}_{LT}^2}) = 0,98$$

$$M_{ED} = 1010,19\text{kNm} \leq M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd} = 1245,6\text{kNm}$$

5.3.5 Pomik

$$w_{max} = F_1 \cdot (L/3) \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot (L/3)^2) / (24E \cdot I_y) = 2,93\text{cm} \leq w_{dov} = L/250 = 3,2\text{cm}$$

5.4 Stebri

Pri najbolj obremenjenih stebrih je osna sila seštevek reakcij dveh primarnih in dveh sekundarnih nosilcev na medetažni konstrukciji.

$$\text{Tako dobimo osno silo } N_{ED} = (2 \cdot 379,2\text{kN} + 2 \cdot 189,6\text{kN}) \cdot 2 = 2275,2\text{kN}.$$

Pri stebrih je problematičen uklon okoli šibke osi, iz katere dobimo merodajen profil HEA340.

Kasneje bo prikazano dimenzioniranje stebrov, ki jih zavarujemo zaradi potresne obtežbe, a zaradi manjše osne sile ne bodo merodajni. Uklonska dolžina stebrov je enaka višini etaže, torej 5,5 metra.

Uklon okoli šibke osi z:

$$l_{uz} = 550\text{cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 86,8$$

$$\tilde{\lambda} = l_{uz} / (i_y \cdot \lambda_1) = 0,85$$

Krivulja c $\rightarrow \alpha = 0,49$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (\tilde{\lambda} - 0,2) + \tilde{\lambda}^2) = 1,02$$

$$\chi = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \tilde{\lambda}^2}) = 0,63$$

$$N_{ED} = 2275,2\text{kN} \leq \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2304,2\text{kN}$$

6 DIMENZIONIRANJE V POTRESNEM PROJEKTNEM STANJU

Potresno obremenitev v smeri X prenašata 2 okvirja s po 2 ekscentričnima povezjema. Okvirja se nahajata na obodu konstrukcije. V smeri Y imamo 2 obodna okvirja s po 3 ekscentričnimi povezji. Elemente v okvirjih dimenzioniramo glede na potresno obremenitev, saj je ta merodajna (dobimo največje notranje sile). Potresna energija se bo sipala v strižnih členih, ostale elemente okvirjev pa zavarujemo z upoštevanjem faktorja dodatne nosilnosti.

Obremenitev strižnega člena:

$$N_{ED} = N_{ED,G} + k_{\delta} \cdot N_{ED,E}$$

$$V_{ED} = V_{ED,G} + k_{\delta} \cdot V_{ED,E}$$

$$M_{ED} = M_{ED,G} + k_{\delta} \cdot M_{ED,E}$$

Pri tem so:

$N_{ED,G}$, $V_{ED,G}$, $M_{ED,G}$... notranje sile, ki jih povroča gravitacijski del seizmičnega projektne stanja

$N_{ED,E}$, $V_{ED,E}$, $M_{ED,E}$... notranje sile, ki jih povroča seizmični del seizmičnega projektne stanja

Vpliv torzije je že upoštevan, faktor vpliva teorije drugega reda k_{δ} pa je enak 1,0.

Obremenitev varovanih elementov – steber, diagonale (SIST EN 1998-1, 2004):

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E}$$

S to formulo izračunamo samo osne sile, kajti imamo ekscentrično povezje, kjer so stebri in diagonale obremenjeni samo z osno silo.

Pri varovanju prečk izven seizmičnega člena pa poleg osne sile upoštevamo še prečne sile in upogibne momente, ki nam jih izpiše že sam program.

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E}$$

$$V_{ED} = V_{ED,G} + V_{ED,E}$$

$$M_{ED} = M_{ED,G} + M_{ED,E}$$

6.1. Strižni člen v okvirju X

Diagrami notranjih sil elementov v povezju X so podani v PRILOGI 4 za gravitacijski in PRILOGI 6 za seizmični del seizmičnega projektne stanja.

6.1.1 Izračun obremenitev in odpornosti

1. etaža: IPE500

$$N_{ED} = 168,31 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = f_y \cdot A = 3190 \text{ kN}$$

$$N_{ED} / N_{Rd} = 0,052 \leq 0,15 \rightarrow V_{p,link} = f_y / \sqrt{3} \cdot t_w \cdot (h - t_f) = 783,8 \text{ kN}$$

$$M_{p,link} = f_y \cdot b \cdot t_f \cdot (h - t_f) = 425,92 \text{ kNm}$$

$$V_{ED} = 601,93 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = 330,79 \text{ kNm}$$

2. etaža: IPE400

$$N_{ED} = 357,51 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = f_y \cdot A = 2323,75 \text{ kN}$$

$$N_{ED} / N_{Rd} = 0,15 \leq 0,15 \rightarrow V_{p,link} = f_y / \sqrt{3} \cdot t_w \cdot (h - t_f) = 527,7 \text{ kN}$$

$$M_{p,link} = f_y \cdot b \cdot t_f \cdot (h - t_f) = 258,3 \text{ kNm}$$

$$V_{ED} = 422,47 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = 231,65 \text{ kNm}$$

3. etaža: IPE180

$$N_{ED} = 51,53 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = f_y \cdot A = 657,25 \text{ kN}$$

$$N_{ED}/N_{Rd} = 0,079 \leq 0,15 \rightarrow V_{p,link} = f_y / \sqrt{3} \cdot t_w \cdot (h - t_f) = 144,7 \text{ kN}$$

$$M_{p,link} = f_y \cdot b \cdot t_f \cdot (h - t_f) = 34,43 \text{ kNm}$$

$$V_{ED} = 50,84 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = 27,72 \text{ kNm}$$

6.1.2 Vrsta seizmičnega člena

Potresna energija se disipira v strižnem členu. Ta je glede na dolžino lahko kratek, srednje dolg ali dolg. Pri kratkem členu se energija disipira s strigom, pri dolgem členu se z upogibom, pri srednje dolgem členu pa deloma s strigom ter deloma z upogibom.

Dolžina strižnega člena je v smeri X na obeh etažah enaka $e = 100 \text{ cm}$.

$$\alpha = M_{ED}^{\min} / M_{ED}^{\max}$$

1. etaža:

$$e_S = 0,8 \cdot (1 + \alpha) \cdot M_{p,link} / V_{p,link} = 87 \text{ cm}$$

$$e_L = 1,5 \cdot (1 + \alpha) \cdot M_{p,link} / V_{p,link} = 163 \text{ cm}$$

$$e_S \leq e = 100 \text{ cm} \leq e_L$$

→ srednje dolgi člen

2. etaža:

$$e_S = 0,8 \cdot (1 + \alpha) \cdot M_{p,link} / V_{p,link} = 77 \text{ cm}$$

$$e_L = 1,5 \cdot (1 + \alpha) \cdot M_{p,link} / V_{p,link} = 145 \text{ cm}$$

$$e_S \leq e = 100 \text{ cm} \leq e_L$$

→ srednje dolgi člen

3. etaža:

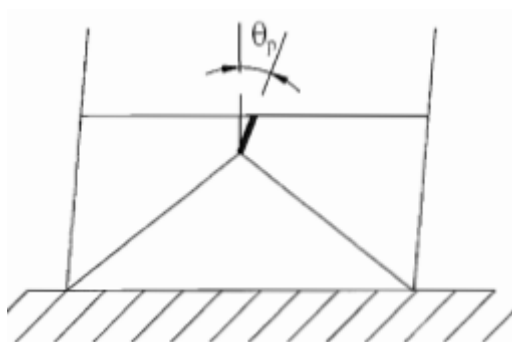
$$e_L = 1,5 \cdot (1 + \alpha) \cdot M_{p,link} / V_{p,link} = 72 \text{ cm}$$

$$e_L \leq e = 100 \text{ cm}$$

→ dolgi člen

6.1.3 Rotacija člena

Rotacije členov morajo biti manjše od maksimalnih dovoljenih. Te v prvih dveh etažah dobimo z interpolacijo kratkih in dolgih strižnih členov, saj imamo srednje dolg strižni člen.



Slika 15: Rotacija člena (SIST EN 1998-1, 2004)

Največje dovoljene rotacije:

- kratki členi: $\theta_p \leq \theta_{pR} = 0,08\text{rad}$

- dolgi členi: $\theta_p \leq \theta_{pR} = 0,02\text{rad}$

Formula za izračun rotacije člena:

$$\theta_p = L \cdot d_{v,x} / (e' \cdot h)$$

θ_p ... rotacija člena (v radianih)

$L = 10\text{m}$... dolžina povezja

$d_{v,x}$... relativni etažni pomik

e' ... efektivna dolžina strižnega člena

h ... višina etaže

Za srednje dolgi člen na prvi etaži: $\theta_{pR,max} = 0,07\text{rad}$... interpolacija

$$\theta_{p,1} = L \cdot d_{v,x} / (e' \cdot h_1) = 10 \cdot 0,0094 / (1,0 \cdot 5,5) = 0,017\text{rad} \leq \theta_{pR,max} = 0,07\text{rad}$$

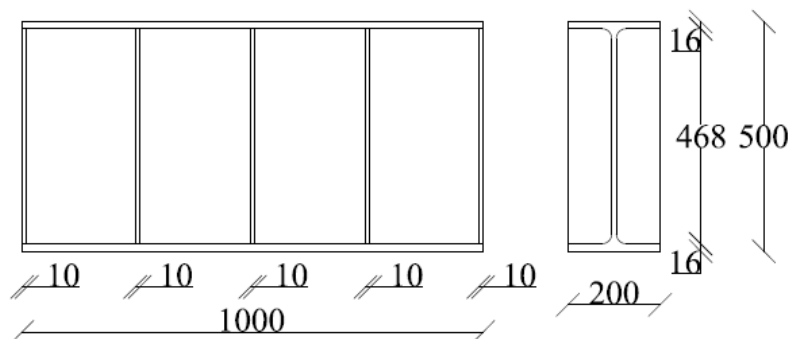
Za srednje dolgi člen na drugi etaži: $\theta_{pR,max} = 0,06\text{rad}$... interpolacija

$$\theta_{p,2} = L \cdot d_{v,x} / (e' \cdot h_2) = 10 \cdot 0,0094 / (1,0 \cdot 5,5) = 0,017\text{rad} \leq \theta_{pR,max} = 0,06\text{rad}$$

Za dolgi člen na tretji etaži: $\theta_{pR,max} = 0,02\text{rad}$

$$\theta_{p,3} = L \cdot d_{v,x} / (e' \cdot h_2) = 10 \cdot 0,0107 / (1,0 \cdot 5,5) = 0,019\text{rad} \leq \theta_{pR,max} = 0,02\text{rad}$$

6.1.4 Ojačitve stojine



Slika 16: Prikaz ojačitve strižnega člena IPE500

1. etaža:

Robne:

-širina $b_{st} = (b - 2 \cdot t_w) = 17,96\text{cm}$

-debelina $t_{st} = \max(1; 0,75 \cdot t_w) = 1\text{cm}$

-višina $h_{st} = (h - 2 \cdot t_f) = 46,8\text{cm}$

Vmesne:

Za $\theta_p < 0,02\text{rad}$:

Kratki členi: $d_{st,1} = 52 \cdot t_w - h_{st} / 5 = 43,68\text{cm}$

Dolgi členi: $d_{st,2} = 1,5 \cdot b = 30\text{cm}$

Izberem $d_{st} = 25\text{cm}$... razdalja od robnih ojačitev do vmesne

2. etaža:

Robne:

$$\text{-širina } b_{st} = (b - 2 \cdot t_w) = 16,28\text{cm}$$

$$\text{-debelina } t_{st} = \max(1; 0,75 \cdot t_w) = 1,01\text{cm} \cong 1\text{cm}$$

$$\text{-višina } h_{st} = (h - 2 \cdot t_f) = 37,3\text{cm}$$

Vmesne:

$$\text{Za } \theta_p < 0,02\text{rad:}$$

$$\text{Kratki členi: } d_{st,1} = 52 \cdot t_w - h_{st} / 5 = 37,26\text{cm}$$

$$\text{Dolgi členi: } d_{st,2} = 1,5 \cdot b = 27\text{cm}$$

$$\text{Izberem } d_{st} = \min(d_{st,1}; d_{st,2}) = 27\text{cm} \cong 25\text{cm}$$

3. etaža:

Robne:

$$\text{-širina } b_{st} = (b - 2 \cdot t_w) = 8,57\text{cm}$$

$$\text{-debelina } t_{st} = \max(1; 0,75 \cdot t_w) = 1\text{cm}$$

$$\text{-višina } h_{st} = (h - 2 \cdot t_f) = 16,4\text{cm}$$

Vmesne:

$$\text{Dolgi členi: } d_{st} = 1,5 \cdot b = 13,65\text{cm}$$

$$\text{Izberem } d_{st} = 13,65\text{cm} \cong 10\text{cm}$$

6.2 Strižni člen v okvirju Y

Diagrami notranjih sil elementov v povezju Y so podani v PRILOGI 5 za gravitacijski in PRILOGI 7 za seizmični del seizmičnega projektnega stanja.

6.2.1 Izračun obremenitev in odpornosti

1. etaža: IPE450

$$N_{ED} = 137,44\text{kN}$$

$$N_{Rd} = f_y \cdot A = 2717\text{kN}$$

$$N_{ED} / N_{Rd} = 0,05 \leq 0,15 \rightarrow V_{p,link} = f_y / \sqrt{3} \cdot t_w \cdot (h - t_f) = 649,8\text{kN}$$

$$M_{p,link} = f_y \cdot b \cdot t_f \cdot (h - t_f) = 332,6\text{kNm}$$

$$V_{ED} = 607,96\text{kN}$$

$$M_{ED} = 312,31\text{kNm}$$

2. etaža: IPE400

$$N_{ED} = 339,38\text{kN}$$

$$N_{Rd} = f_y \cdot A = 2323,75\text{kN}$$

$$N_{ED} / N_{Rd} = 0,145 \leq 0,15 \rightarrow V_{p,link} = f_y / \sqrt{3} \cdot t_w \cdot (h - t_f) = 527,7\text{kN}$$

$$M_{p,link} = f_y \cdot b \cdot t_f \cdot (h - t_f) = 258,3\text{kNm}$$

$$V_{ED} = 423,45\text{kN}$$

$$M_{ED} = 229,49\text{kNm}$$

3. etaža: IPE180

$$N_{ED} = 46,92\text{kN}$$

$$N_{Rd} = f_y \cdot A = 657,25\text{kN}$$

$$N_{ED}/N_{Rd} = 0,07 \leq 0,15 \rightarrow V_{p,link} = f_y/\sqrt{3} \cdot t_w \cdot (h-t_f) = 144,7\text{kN}$$

$$M_{p,link} = f_y \cdot b \cdot t_f \cdot (h-t_f) = 34,43\text{kNm}$$

$$V_{ED} = 54,24\text{kN}$$

$$M_{ED} = 26,25\text{kNm}$$

6.2.2 Vrsta seizmičnega člena

Dolžina strižnega člena je v smeri Y na obeh etažah enaka $e = 80\text{cm}$.

$$\alpha = M_{ED}^{\min}/M_{ED}^{\max}$$

1. etaža:

$$e_s = 0,8 \cdot (1+\alpha) \cdot M_{p,link}/V_{p,link} = 82\text{cm}$$

$$e = 80\text{cm} < e_s$$

→ kratki člen

2. etaža:

$$e_s = 0,8 \cdot (1+\alpha) \cdot M_{p,link}/V_{p,link} = 78\text{cm}$$

$$e_L = 1,5 \cdot (1+\alpha) \cdot M_{p,link}/V_{p,link} = 147\text{cm}$$

$$e_s \leq e = 80\text{cm} \leq e_L$$

→ srednje dolgi člen

3. etaža:

$$e_L = 1,5 \cdot (1+\alpha) \cdot M_{p,link}/V_{p,link} = 71\text{cm}$$

$$e_L \leq e = 80\text{cm}$$

→ dolgi člen

6.2.3 Rotacija člena

V prvi etaži imamo kratki člen, zato bo maksimalna dovoljena rotacija enaka $0,08\text{rad}$. Za drugo etažo naredimo interpolacijo (srednje dolgi člen), v tretji etaži pa je dolgi.

Formula za izračun rotacije člena:

$$\theta_p = L \cdot d_{v,x}/(e' \cdot h)$$

θ_p ... rotacija člena (v radianih)

$L = 8\text{m}$... dolžina povezja

$d_{v,x}$... relativni etažni pomik

e' ... efektivna dolžina strižnega člena

h ... višina etaže

Za kratki člen na prvi etaži: $\theta_{pR,max} = 0,08\text{rad}$

$$\theta_{p,1} = L \cdot d_{v,x}/(e' \cdot h_1) = 8 \cdot 0,0093/(0,8 \cdot 5,5) = 0,017\text{rad} \leq \theta_{pR,max} = 0,08\text{rad}$$

Za srednje dolgi člen na drugi etaži: $\theta_{pR,max} = 0,074\text{rad}$... interpolacija

$$\theta_{p,2} = L \cdot d_{v,x}/(e' \cdot h_2) = 8 \cdot 0,0091/(0,8 \cdot 5,5) = 0,016\text{rad} \leq \theta_{pR,max} = 0,074\text{rad}$$

Za dolgi člen na tretji etaži: $\theta_{pR,max} = 0,02\text{rad}$

$$\theta_{p,3} = L \cdot d_{v,x}/(e' \cdot h_2) = 8 \cdot 0,0082/(0,8 \cdot 5,5) = 0,015\text{rad} \leq \theta_{pR,max} = 0,02\text{rad}$$

6.2.4 Ojačitve stojine

1. etaža:

Robne:

$$\text{-širina } b_{st} = (b - 2 \cdot t_w) = 17,12\text{cm}$$

$$\text{-debelina } t_{st} = \max(1; 0,75 \cdot t_w) = 1\text{cm}$$

$$\text{-višina } h_{st} = (h - 2 \cdot t_f) = 42,08\text{cm}$$

Vmesne:

Za $\theta_p < 0,02\text{rad}$:

$$\text{Kratki členi: } d_{st} = 52 \cdot t_w - h_{st} / 5 = 40,46\text{cm}$$

Izberem $d_{st} = 40\text{cm}$

2. etaža:

Robne:

$$\text{-širina } b_{st} = (b - 2 \cdot t_w) = 16,28\text{cm}$$

$$\text{-debelina } t_{st} = \max(1; 0,75 \cdot t_w) = 1\text{cm}$$

$$\text{-višina } h_{st} = (h - 2 \cdot t_f) = 37,3\text{cm}$$

Vmesne:

Za $\theta_p < 0,02\text{rad}$:

$$\text{Kratki členi: } d_{st,1} = 52 \cdot t_w - h_{st} / 5 = 37,26\text{cm}$$

$$\text{Dolgi členi: } d_{st,2} = 1,5 \cdot b = 27\text{cm}$$

Izberem $d_{st} = 20\text{cm}$

3. etaža:

Robne:

$$\text{-širina } b_{st} = (b - 2 \cdot t_w) = 8,57\text{cm}$$

$$\text{-debelina } t_{st} = \max(1; 0,75 \cdot t_w) = 1\text{cm}$$

$$\text{-višina } h_{st} = (h - 2 \cdot t_f) = 16,4\text{cm}$$

Vmesne:

$$\text{Dolgi členi: } d_{st} = 1,5 \cdot b = 13,65\text{cm}$$

Izberem $d_{st} = 13,65\text{cm} \cong 10\text{cm}$

6.3 Varovani deli okvirja X

Obremenitve gravitacijskega dela so prikazane v PRILOGI 4, obremenitve seizmičnega dela pa v PRILOGI 6.

Izkoriščenost Ω strižnega člena se izračuna glede na tip.

$$\text{Za kratke člene velja: } \Omega = 1,5 \cdot V_{p,link} / V_{ED}$$

$$\text{Za srednje in dolge člene velja: } \Omega = 1,5 \cdot M_{p,link} / M_{ED}$$

Izkoriščenost:

$$\Omega_1 = 1,5 \cdot M_{p,link} / M_{ED} = 1,5 \cdot 425,92 / 330,79 = 1,93 = \Omega_{max}$$

$$\Omega_2 = 1,5 \cdot M_{p,link} / M_{ED} = 1,5 \cdot 258,3 / 231,65 = 1,68 = \Omega_{min}$$

$$\Omega_3 = 1,5 \cdot M_{p,link} / M_{ED} = 1,5 \cdot 34,43 / 27,72 = 1,86$$

$$\Omega_{max} / \Omega_{min} = 1,15 \leq 1,25$$

$\Omega = \Omega_{min} = 1,68 \dots$ faktor dodatne nosilnosti prečnega prereza

$\gamma_{ov} = 1,25 \dots$ faktor dodatne nosilnosti (Beg in sod., 2011)

6.3.1 Steber

Zaradi gravitacijskih in seizminih vplivov imamo v stebrih okvirja X velike osne tlačne sile.

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} = 1563,19 \text{ kN}$$

Osne sile gravitacijskega dela so prikazane v PRILOGI 4, osne sile seizmičnega dela pa v PRILOGI 6.

Ker smo pri dimenzioniranju stebra v mejnem stanju nosilnosti imeli večjo osno silo, bo merodajen že izračunani profil HEA340.

6.3.2 Diagonale povezja

Ker so diagonale tlačene, obstaja nevarnost pojava uklona.

V prvi etaži dobimo obremenitev diagonal enako (glej PRILOGO 4 in PRILOGO 6):

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} = 2036,5 \text{ kN}$$

Merodajen bo škatlast profil SHS 260/10.

Uklon:

$$l_u = 710 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 86,8$$

$$\tilde{\lambda} = l_{uy} / (i_y \cdot \lambda_1) = 0,80$$

Krivulja a $\rightarrow \alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (\tilde{\lambda} - 0,2) + \tilde{\lambda}^2) = 0,88$$

$$\chi = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \tilde{\lambda}^2}) = 0,80$$

$$N_{ED} = 2036,5 \text{ kN} \leq \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2179,5 \text{ kN}$$

V drugi etaži je obremenitev nekoliko manjša:

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} = 1435,8 \text{ kN}$$

Merodajen bo profil SHS 200/12,5.

Uklon:

$$l_u = 710 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 86,8$$

$$\tilde{\lambda} = l_{uy} / (i_y \cdot \lambda_1) = 1,08$$

Krivulja a $\rightarrow \alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (\tilde{\lambda} - 0,2) + \tilde{\lambda}^2) = 1,18$$

$$\chi = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \tilde{\lambda}^2}) = 0,604$$

$$N_{ED} = 1430,1 \text{ kN} \leq \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1530 \text{ kN}$$

Obremenitev diagonal v najvišji etaži:

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} = 173,8 \text{ kN}$$

Merodajen bo profil SHS 120/8.

Uklon:

$$l_u = 710 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 86,8$$

$$\tilde{\lambda} = l_{uy} / (i_y \cdot \lambda_1) = 1,80$$

Krivulja a $\rightarrow \alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (\tilde{\lambda} - 0,2) + \tilde{\lambda}^2) = 2,29$$

$$\chi = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \tilde{\lambda}^2}) = 0,27$$

$$N_{ED} = 176,5 \text{ kN} \leq \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 261,35 \text{ kN}$$

6.3.3 Prečka izven člena

Na prvi in tretji etaži sta profila prečke enaka kot je strižni člen, na drugi etaži pa se nam kontrola nosilnosti ne izide, zato povečamo profil. Elementi so obremenjeni tako z osno silo kot z upogibnim momentom, zato moramo izpolniti naslednja pogoja:

$$\text{Pogoj 1: } N_{ED} / (\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{ED} / (\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}) \leq 1,0$$

$$\text{Pogoj 2: } N_{ED} / (\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{ED} / (\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}) \leq 1,0$$

Enačba vsebuje:

N_{ED}, M_{ED} ... projektne vrednosti notranjih sil

χ_y, χ_z ... redukcijska faktorja za uklon

χ_{LT} ... redukcijski faktor bočne zvrnitve

k_{yy}, k_{zy} ... interakcijska faktorja

Ker imamo IPE-prereze, ki so obremenjeni s tlačno osno silo in enoosnim upogibom, lahko pri drugem pogoju predpostavimo, da je $k_{zy} = 0$ (Beg in sod., 2009).

Dolžina elementa, ki poteka od strižnega člena do bližnjega stebra je enaka 4,5m. Na sredini te dolžine element še podpremo izven ravnine, tako da ni nevarnosti bočne zvrnitve $\chi_{LT} = 1,0$.

Uklonska dolžina za uklon okoli močne osi: $l_u = 4,5\text{m}$.

Uklonska dolžina za uklon okoli šibke osi: $l_u = 4,5\text{m}/2 = 2,25\text{m}$.

Obremenitve (PRILOGA 4 in PRILOGA 6):

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E}$$

$$M_{ED} = M_{ED,G} + M_{ED,E}$$

Formule:

$$\tilde{\lambda}_y = l_u / (i_y \cdot \lambda_1)$$

$$\tilde{\lambda}_z = l_u / (i_z \cdot \lambda_1)$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\tilde{\lambda} - 0,2) + \tilde{\lambda}^2)$$

$$\chi = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \tilde{\lambda}^2})$$

$A = N_{ED} / (\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1})$... razmerje obremenitve in odpornosti pri osni sili

$$k_{yy} = C_{my} \cdot (1 + (\tilde{\lambda}_y - 0,2) \cdot A)$$

$C_{my} = 0,6 + 0,4\Psi = 0,6$... faktor nadomestnega upogibnega momenta

$B = k_{yy} \cdot M_{ED} / (\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1})$... razmerje obremenitve in odpornosti pri momentu

Preglednica 4: Kontrola pogoja 1 pri varovanem delu prečke povezja X

POGOJ 1										
	Ned[kN]	Med[kNm]	λ	Φ	χ	A	k _{yy}	B	C=A+B	Kontrola
IPE500	1602,10	330,78	0,25	0,54	0,98	0,51	0,61	0,34	0,85	≤1,0
IPE450	1628,94	231,64	0,28	0,55	0,98	0,61	0,63	0,32	0,93	≤1,0
IPE180	214,80	27,72	0,70	0,80	0,84	0,39	0,72	0,43	0,82	≤1,0

Preglednica 5: Kontrola pogoja 2 pri varovanem delu prečke povezja X

POGOJ 2							
	Ned[kN]	Med[kNm]	λ	ϕ	χ	A	Kontrola
IPE500	1602,10	330,78	0,60	0,75	0,84	0,59	$\leq 1,0$
IPE450	1628,94	231,64	0,63	0,77	0,82	0,73	$\leq 1,0$
IPE180	214,80	27,72	1,47	1,47	0,45	0,73	$\leq 1,0$

6.4 Varovani deli okvirja Y

Obremenitve gravitacijskega dela so prikazane v PRILOGI 5, obremenitve seizmičnega dela pa v PRILOGI 7.

Izkoriščenost:

$$\Omega_1 = 1,5 \cdot V_{p,link} / V_{ED} = 1,5 \cdot 649,8 / 607,96 = 1,60 = \Omega_{min}$$

$$\Omega_2 = 1,5 \cdot M_{p,link} / M_{ED} = 1,5 \cdot 258,3 / 229,49 = 1,69$$

$$\Omega_3 = 1,5 \cdot M_{p,link} / M_{ED} = 1,5 \cdot 34,43 / 26,25 = 1,97 = \Omega_{max}$$

$$\Omega_{max} / \Omega_{min} = 1,23 \leq 1,25$$

$$\Omega = \Omega_{min} = 1,60$$

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

6.4.1 Steber

Tlačna osna sila:

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} = 1623,85 \text{ kN (iz PRILOGA 5 in PRILOGA 7)}$$

Steber je manj obremenjen od prejšnjih dveh, zato bo profil HEA340.

6.4.2 Diagonale povezja

Obremenitve so podobne tistim pri okvirju X (te dobimo v PRILOGI 5 in PRILOGI 7). Vendar so diagonale nekoliko krajše, kar ugodno vpliva na uklon, zato dobimo nekoliko manjše škatlaste profile od prejšnjih.

V prvi etaži dobimo:

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} = 1923,76 \text{ kN}$$

Merodajen bo škatlast profil SHS 250/10.

Uklon:

$$l_u = 660 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 86,8$$

$$\tilde{\lambda} = l_{uy} / (i_y \cdot \lambda_1) = 0,78$$

Krivulja a $\rightarrow \alpha = 0,21$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (\tilde{\lambda} - 0,2) + \tilde{\lambda}^2) = 0,87$$

$$\chi = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \tilde{\lambda}^2}) = 0,80$$

$$N_{ED} = 1923,76 \text{ kN} \leq \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2087,8 \text{ kN}$$

Druga etaža:

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} = 1381,92 \text{ kN}$$

Merodajen bo profil SHS 200/12.

Uklon:

$$l_u = 660\text{cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 86,8$$

$$\tilde{\lambda} = l_{uy} / (i_y \cdot \lambda_1) = 1,0$$

$$\text{Krivulja } a \rightarrow \alpha = 0,21$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (\tilde{\lambda} - 0,2) + \tilde{\lambda}^2) = 1,08$$

$$\chi = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \tilde{\lambda}^2}) = 0,67$$

$$N_{ED} = 1381,92\text{kN} \leq \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1634,3\text{kN}$$

Tretja etaža:

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} = 168,2\text{kN}$$

Merodajen bo profil SHS 100/10.

Uklon:

$$l_u = 660\text{cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 86,8$$

$$\tilde{\lambda} = l_{uy} / (i_y \cdot \lambda_1) = 2,09$$

$$\text{Krivulja } a \rightarrow \alpha = 0,21$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (\tilde{\lambda} - 0,2) + \tilde{\lambda}^2) = 2,88$$

$$\chi = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \tilde{\lambda}^2}) = 0,21$$

$$N_{ED} = 168,2\text{kN} \leq \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 201,6\text{kN}$$

6.4.3 Prečka izven člena

Na vseh treh etažah imamo profile prečk enake kot v strižnem členu. Elementi so obremenjeni tako z osno silo kot z upogibnim momentom, zato moramo izpolniti naslednja pogoja:

$$\text{Pogoj 1: } N_{ED} / (\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{ED} / (\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}) \leq 1,0$$

$$\text{Pogoj 2: } N_{ED} / (\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{ED} / (\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}) \leq 1,0$$

Enačba vsebuje:

N_{ED}, M_{ED} ... projektne vrednosti notranjih sil

χ_y, χ_z ... redukcijska faktorja za uklon

χ_{LT} ... redukcijski faktor bočne zvrnitve

k_{yy}, k_{zy} ... interakcijska faktorja

Ker imamo IPE-prereze, ki so obremenjeni s tlačno osno silo in enoosnim upogibom, lahko pri drugem pogoju predpostavimo, da je $k_{zy} = 0$ (Beg in sod., 2009).

Na sredini dolžine prečke, ki je dolga 3,6m podpremo izven ravnine.

Uklonska dolžina za uklon okoli močne osi: $l_u = 3,6\text{m}$.

Uklonska dolžina za uklon okoli šibke osi: $l_u = 3,6\text{m} / 2 = 1,8\text{m}$.

Obremenitve (PRILOGA 5 in PRILOGA 7):

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E}$$

$$M_{ED} = M_{ED,G} + M_{ED,E}$$

Formule:

$$\tilde{\lambda}_y = l_u / (i_y \cdot \lambda_1)$$

$$\tilde{\lambda}_z = l_u / (i_z \cdot \lambda_1)$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\tilde{\lambda}_z - 0,2) + \tilde{\lambda}_z^2)$$

$$\chi = 1 / (\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \tilde{\lambda}_z^2})$$

$$A = N_{ED} / (\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}) \dots \text{razmerje obremenitve in odpornosti pri osni sili}$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot (1 + (\tilde{\lambda}_y - 0,2) \cdot A)$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4\Psi = 0,6 \dots \text{faktor nadomestnega upogibnega momenta}$$

$$B = k_{yy} \cdot M_{ED} / (\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}) \dots \text{razmerje obremenitve in odpornosti pri momentu}$$

Preglednica 6: Kontrola pogoja 1 pri varovanem delu prečke povezja Y

POGOJ 1										
	Ned[kN]	Med[kNm]	λ	ϕ	χ	A	k _{yy}	B	C=A+B	Kontrola
IPE450	1190,1	312,31	0,22	0,53	0,99	0,44	0,61	0,41	0,85	≤1,0
IPE400	1258,65	229,49	0,26	0,54	0,98	0,55	0,62	0,39	0,94	≤1,0
IPE180	169,0	26,25	0,56	0,69	0,91	0,29	0,66	0,38	0,69	≤1,0

Preglednica 7: Kontrola pogoja 2 pri varovanem delu prečke povezja Y

POGOJ 2							
	Ned[kN]	Med[kNm]	λ	ϕ	χ	A	Kontrola
IPE450	1190,1	312,31	0,50	0,68	0,88	0,50	≤1,0
IPE400	1258,65	229,49	0,52	0,69	0,88	0,62	≤1,0
IPE180	169,0	26,25	0,78	0,90	0,74	0,35	≤1,0

6.5 Kontrola poškodb

$v = 0,5 \dots$ redukcijski faktor za stavbe pomembnosti kategorij I in II pri $T_R = 95$ let za MSU

$\alpha = 0,005 \dots$ neduktilni nekonstrukcijski elementi

Pogoj:

$$d_{r_i} \cdot v \leq \alpha \cdot h_i$$

$d_{r_i} \dots$ projektni etažni pomik oz. relativni etažni pomik (PRILOGA 3) pomnožen s faktorjem obnašanja

Okvir X:

1.) $37,6\text{mm} \cdot 0,5 = 18,8\text{mm} \leq 0,005 \cdot 5500\text{mm} = 27,5\text{mm}$

2.) $37,6\text{mm} \cdot 0,5 = 18,8\text{mm} \leq 0,005 \cdot 5500\text{mm} = 27,5\text{mm}$

3.) $42,8\text{mm} \cdot 0,5 = 21,4\text{mm} \leq 0,005 \cdot 5500\text{mm} = 27,5\text{mm}$

Okvir Y:

1.) $37,2\text{mm} \cdot 0,5 = 18,6\text{mm} \leq 0,005 \cdot 5500\text{mm} = 27,5\text{mm}$

2.) $36,4\text{mm} \cdot 0,5 = 18,2\text{mm} \leq 0,005 \cdot 5500\text{mm} = 27,5\text{mm}$

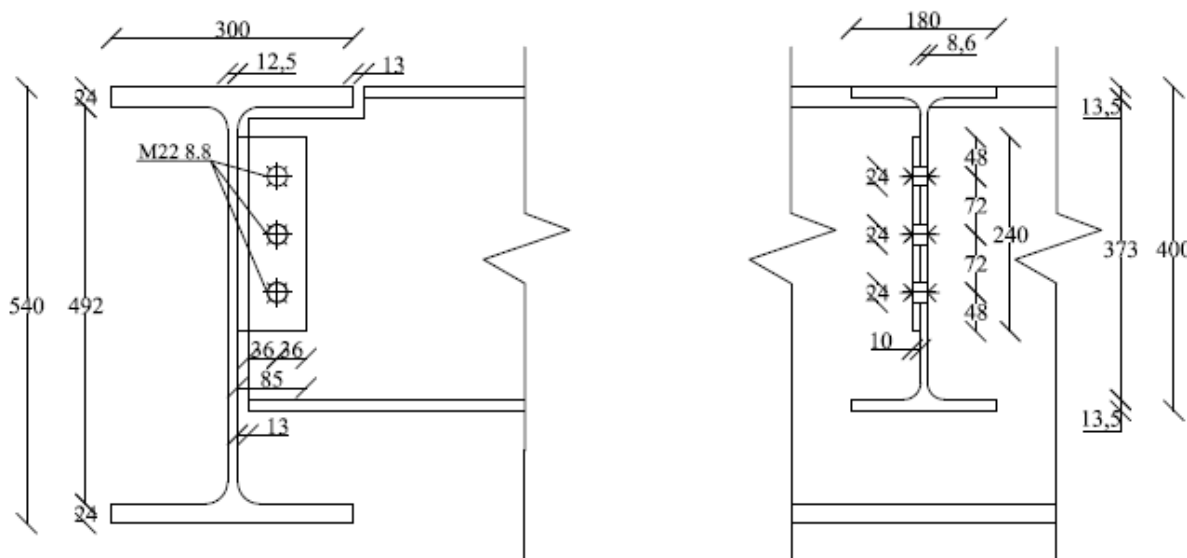
3.) $32,8\text{mm} \cdot 0,5 = 16,4\text{mm} \leq 0,005 \cdot 5500\text{mm} = 27,5\text{mm}$

7 DIMENZIONIRANJE SPOJEV

7.1 Spoj primarni – sekundarni nosilec

Obtežba se iz sekundarnega oziroma sovprežnega nosilca IPE400 prenese na primarni nosilec HEA550. Stik med njima je členkast, saj dobušča rotacijo. Ta je vedno na mestu, kjer je spoj najšibkejši – v našem primeru je torej os rotacije na stojini v težišču vijakov.

Izkaže se, da je za idealen profil in število vijakov merodajna strižna nosilnost pri neto prerezu.



Slika 17: Stik primarni - sekundarni nosilec

7.1.1 Dimenzije

Imamo 3 vijake M22 8.8.

$$d_o = 22 + 2 = 24 \text{ mm}$$

$$A_s = 3,03 \text{ cm}^2$$

$$f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$$

Vezna pločevina:

$$e_1 = 2d_o = 48 \text{ mm}$$

$$p_1 = p_2 = 3d_o = 72 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,5d_o = 36 \text{ mm}$$

$$h_v = 2p_1 + 2e_1 = 240 \text{ mm} \leq h_{v,max} = 349 \text{ mm}$$

$$t_v \geq t_{w,nosilec} = 8,6 \text{ mm} \rightarrow t_v = 10 \text{ mm}$$

7.1.2 Obremenitev

Sekundarni nosilec je obremenjen s porazdeljeno obtežbo $q_{ED} = 37,92 \text{ kN/m}$, ki smo jo izračunali pri dimenzioniranju v poglavju 5.

$$V_{ED} = q_{ED} \cdot L/2 = 189,6 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = V_{ED} \cdot e = 9,29 \text{ kNm}$$

Dolžina e je razdalja vijaka do primarnega nosilca. Pred tem izračunamo zasuk v spoju, iz katerega izberemo razmak med nosilci.

$$\phi = q_{ED} \cdot L^3 / (24 \cdot E \cdot I_y) = 0,0325 \text{ rad}$$

$$u = \phi \cdot h/2 = 6,5 \text{ mm}$$

$$\Delta = a\sqrt{2} + u = 12,2 \text{ mm} \rightarrow \Delta = 13 \text{ mm}$$

$$e = e_2 + \Delta = 36 + 13 = 49 \text{ mm}$$

7.1.3 Zvar

Med pločevino in HEA550.

$$\text{Kvaliteta S275: } a_{\max} = 0,48 \cdot t_v = 4,8 \text{ mm} \rightarrow a = 4 \text{ mm}$$

Kontrola:

$$l_{zv} \leq h_v - 2a\sqrt{2} = 228,7 \text{ mm} \rightarrow l_{zv} = 220 \text{ mm}$$

$$W_{zv} = 2a \cdot l_{zv}^2 / 6 = 64,5 \text{ cm}^3$$

$$n = M_{ED} / W_{zg} = 14,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$v_{II} = V_{ED} / (2a \cdot l_{zv}) = 10,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sqrt{v_{II}^2 + n^2} = 17,98 \text{ cm}^2 \leq f_{y,wd} = f_u / (\beta_w \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}) = 43 \text{ kN/cm}^2 / (0,85 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,25) = 23,37 \text{ kN/cm}^2$$

7.1.4 Nosilnosti vezne pločevine S275

- Kontrola upogibne nosilnosti:

$$W_{el,y} = t_v \cdot h_v^2 / 6 = 96 \text{ cm}^3$$

$$M_{el,Rd} = W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 26,4 \text{ kNm} \geq M_{ED} = 9,48 \text{ kNm}$$

- Kontrola strižne nosilnosti:

$$A_v = t_v \cdot h_v = 24 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 381,1 \text{ kN} \geq V_{ED} = 189,6 \text{ kN}$$

→ Interakcija M-V ni potrebna.

7.1.5 Kontrola vijakov M22 8.8

- Kontrola strižne nosilnosti:

Upoštevamo plastičen razpored sil na vijake. Edina zahteva je, da mora biti vezna pločevina duktilna.

$$F^V = V_{ED} / n = 63,2 \text{ kN}$$

$$F^M = M_{ED} / (2 \cdot p_1) = 65,8 \text{ kN}$$

$$F_{V,ED} = \sqrt{F^V{}^2 + F^M{}^2} = 91,2 \text{ kN} \leq F_{V,Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = 116,4 \text{ kN}$$

- Kontrola bočnih pritiskov:

$$k_{1,robni} = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 1,4p_2/d_0 - 1,7; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_d = e_1 / (3 \cdot d_0) = 0,67$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = 0,67$$

$$f_u = 43 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 126,8 \text{ kN} \geq F_{V,ED}$$

7.1.6 Strižni iztrg vijakov

$$A_{nv} = (e_1 + 2p_1 - 2,5d_0) \cdot t_v = 13,2 \text{ cm}^2$$

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

$$V_{eff,Rd} = 0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u / \gamma_{M2} + 0,5 \cdot A_{nv} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 250,9 \text{ kN} \geq V_{ED} = 189,6 \text{ kN}$$

7.1.7 Nosilnost neto prereza

- Kontrola strižne nosilnosti:

$$A_v = (h_v - n \cdot d_0) \cdot t_v = 16,8 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 266,7 \text{ kN} \geq V_{ED} = 189,6 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} / 2 = 133,4 \text{ kN} < V_{ED} = 189,6 \text{ kN}$$

Interakcija:

$$\rho = (2V_{ED} / V_{pl,Rd} - 1)^2 = 0,178$$

$$f_{y,red} = (1 - \rho) \cdot f_y = 22,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{Rd,red} = A_v \cdot f_{y,red} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 219,2 \text{ kN} \geq V_{ED} = 189,6 \text{ kN}$$

- Kontrola upogibne nosilnosti:

$$I_{y,neto} = h_v^3 \cdot t_v / 12 - n \cdot (d_0^3 \cdot t_v / 12) - d_0 \cdot t_v \cdot (2 \cdot (p_1 / 2)^2) = 1086,3 \text{ cm}^4$$

$$W_{zv} = I_{y,neto} / (h_v / 2) = 90,5 \text{ cm}^3$$

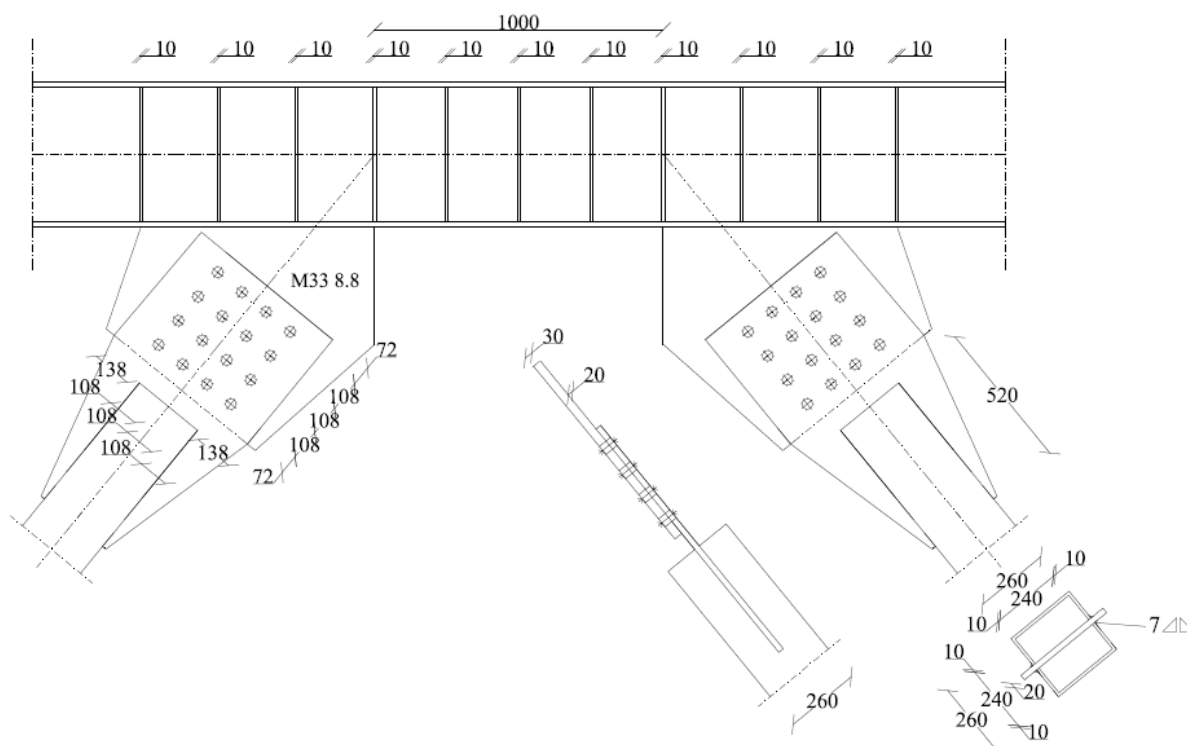
$$\sigma_{max} = M_{ED} / W_{zv} = 10,5 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{y,red} / \gamma_{M0} = 22,6 \text{ kN/cm}^2 / 1,0 = 22,6 \text{ kN/cm}^2$$

7.2 Spoj strižni člen – diagonala

Projektiramo polonosilen spoj v prvi etaži povežja v okviru X, kjer imamo strižni člen IPE500 in diagonalo SHS260/10. Spoj je obremenjen s tlačno in natezno osno silo, ki jo določimo z enačbo:

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} \text{ (obremenitve najdemo v PRILOGI 4 in PRILOGI 6)}$$

Za stik uporabimo vezno pločevino, ki je z enim elementom spojena preko vijakov, z drugim elementom pa je privarjena. Ker je spoj polonosilen, uporabimo prednapete vijake.



Slika 18: Vijachen in varjen spoj strižni člen – diagonala

7.2.1 Dimenzije

Obremenitev diagonale je kar velika, zato izberemo $n = 16$ vijakov, ki so razporejeni v 4 vrste in 4 stolpce. Vijaki so M33 8.8.

$$d_0 = 33 + 3 = 36 \text{ mm}$$

$$A_s = 6,94 \text{ cm}^2$$

$$f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$$

Vezna pločevina S275:

$$e_1 = 2d_0 = 72 \text{ mm}$$

$$p_1 = 3d_0 = 108 \text{ mm}$$

$$e_2 = 3,8d_0 = 138 \text{ mm}$$

$$p_2 = 3d_0 = 108 \text{ mm}$$

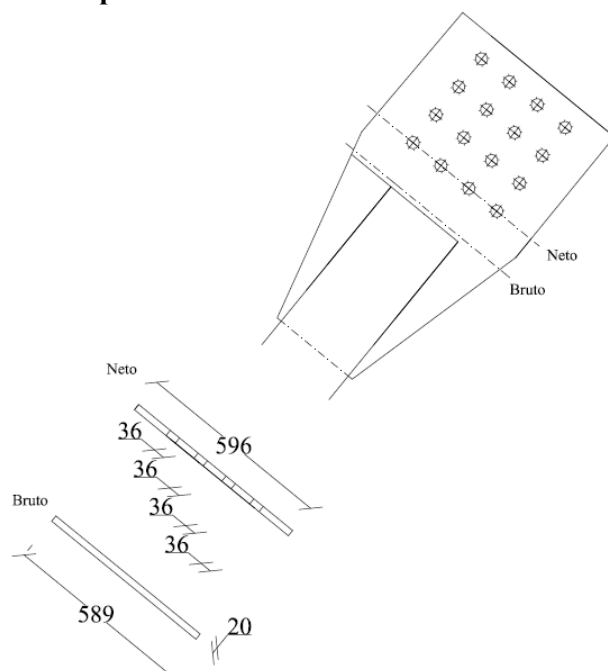
$$b_v = 3p_2 + 2e_2 = 596 \text{ mm}$$

$$t_v = 20 \text{ mm ... izberem}$$

7.2.2 Obremenitev

$$N_{ED} = N_{ED,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{ED,E} = 2036,5 \text{ kN}$$

7.2.3 Kontrola nosilnosti vezne pločevine S275



Slika 19: Prikaz bruto in neto prereza vezne pločevine

-Bruto prerez:

$$N_{ED} = 2036,5 \text{ kN} \leq N_{Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = (58,9 \cdot 2,0) \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \text{ kN/cm}^2 / 1,0 = 3239,5 \text{ kN}$$

-Neto prerez:

$$A_{neto} = (b_v - d_0 \cdot 4) \cdot t_v = (59,6 - 3,6 \cdot 4) \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} = 90,4 \text{ cm}^2$$

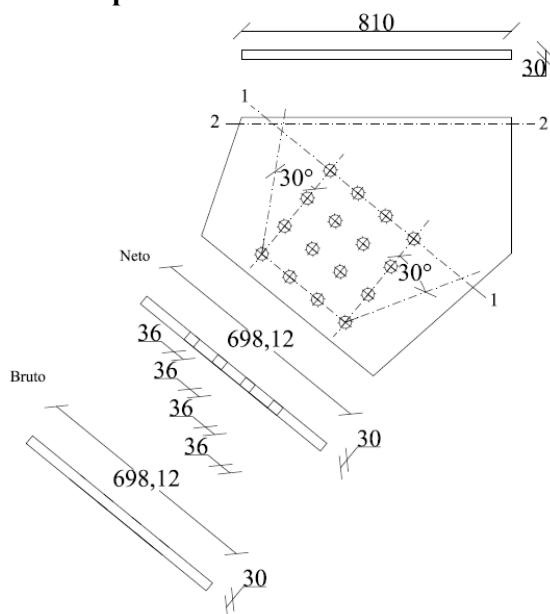
Pri tem je:

$$b_v = 596 \text{ mm} = 59,6 \text{ cm ... širina vezne pločevine}$$

$$t_v = 20 \text{ mm} = 2,0 \text{ cm ... debelina vezne pločevine}$$

$$N_{ED} = 2036,5 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 0,9 \cdot A_{neto} \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 90,4 \text{ cm}^2 \cdot 43 \text{ kN/cm}^2 / 1,25 = 2798,8 \text{ kN}$$

7.2.4 Kontrola nosilnosti vozliščne pločevine S275



Slika 20: Prikaz bruto in neto prereza vozliščne pločevine

Kontrola na prerezu 1-1:

-Bruto prerez:

$$N_{ED} = 2036,5 \text{ kN} \leq N_{Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = (69,8 \cdot 3,0) \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \text{ kN/cm}^2 / 1,0 = 5758,5 \text{ kN}$$

-Neto prerez:

$$A_{neto} = (b_v - d_0 \cdot 4) \cdot t_v = (69,8 - 3,6 \cdot 4) \text{ cm} \cdot 3,0 \text{ cm} = 166,2 \text{ cm}^2$$

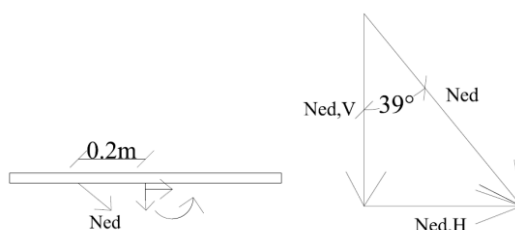
Pri tem je:

$$b_v = 698 \text{ mm} = 69,8 \text{ cm} \dots \text{širina vozliščne pločevine v prerezu 1-1}$$

$$t_v = 30 \text{ mm} = 3,0 \text{ cm} \dots \text{debelina vozliščne pločevine}$$

$$N_{ED} = 2036,5 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 0,9 \cdot A_{neto} \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 166,2 \text{ cm}^2 \cdot 43 \text{ kN/cm}^2 / 1,25 = 5145,6 \text{ kN}$$

Kontrola na prerezu 2-2:



Slika 21: Ekscenter in razdelitev sile na komponenti

Oсно silo N_{ED} razdelimo na horizontalno in vertikalno komponento.

N_{ED}^H ... horizontalna komponenta sile N_{ED}

N_{ED}^V ... vertikalna komponenta sile N_{ED}

-Osna nosilnost:

$$N_{ED}^V = \cos 39^\circ \cdot 2036,5 \text{ kN} = 1582,7 \text{ kN}$$

$$M_{ED} = e \cdot N_{ED}^V = 0,2 \text{ m} \cdot 1582,7 \text{ kN} = 316,5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_x = N_{ED}^V / A + M_{ED} / W_y = 1582,7 \text{ kN} / (81 \cdot 3,0) \text{ cm}^2 + 31650 \text{ kNm} / (81^2 \text{ cm}^2 \cdot 3,0 \text{ cm} / 6) = 16,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_x = 16,16 \text{ kN/cm}^2 \leq f_y / \gamma_{M0} = 27,5 \text{ kN/cm}^2 / 1,0 = 27,5 \text{ kN/cm}^2$$

-Strižna nosilnost:

$$A_v = b \cdot t_v = 81 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm} = 243 \text{ cm}^2$$

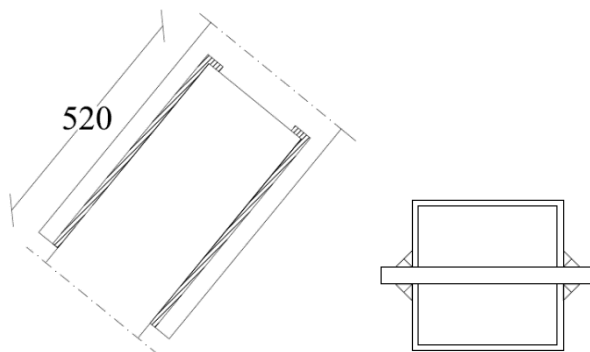
$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 243 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \text{ kN/cm}^2 / (\sqrt{3} \cdot 1,0) = 3858,3 \text{ kN}$$

$$V_{ED} = N_{ED}^H = \sin 39^\circ \cdot 2036,5 \text{ kN} = 1281,6 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 3858,3 \text{ kN}$$

$$V_{ED} = 1281,6 \text{ kN} \leq V_{pl,Rd} / 2 = 3858,3 \text{ kN} / 2 = 1929,15 \text{ kN}$$

Interakcija σ - τ ni potrebna.

7.2.5 Zvar med diagonalo in pločevino



Slika 22: Zvar med diagonalo in pločevino

Kvaliteta S275:

Izberem: $a = 7 \text{ mm}$

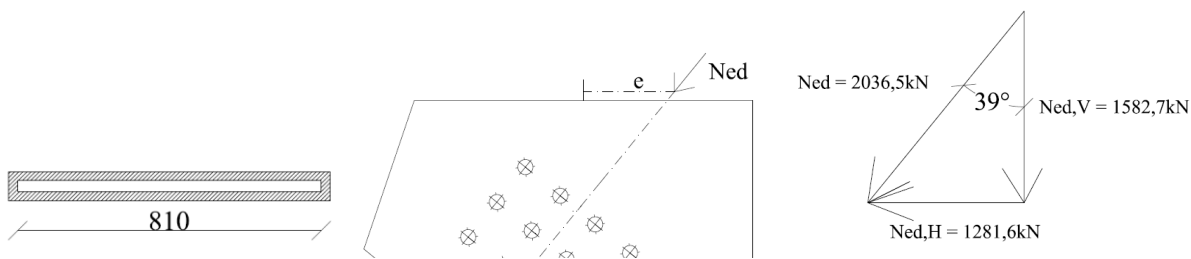
$$I_{zv} = 520 \text{ mm}$$

$$v_{II} = N_{ED} / (4 \cdot a \cdot I_{zv}) = 2036,5 \text{ kN} / (4 \cdot 0,7 \cdot 520,0 \text{ cm}^2) = 13,99 \text{ kN/cm}^2$$

Poenostavljena metoda:

$$v_{II} = 13,99 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{y,wd} = f_u / (\beta_w \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}) = 43 / (0,85 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,25) = 23,37 \text{ kN/cm}^2$$

7.2.6 Zvar med prečko in pločevino



Slika 23: Zvar in ekscenter osne sile

Kvaliteta S275: $a_{max} = 0,48 \cdot t_v = 14,4 \text{ mm} \rightarrow a = 14 \text{ mm}$

Ekscenter osne sile: $M_{ED} = N_{ED} \cdot e = 2036,5 \text{ kN} \cdot 0,2 \text{ m} = 407,3 \text{ kNm}$

$$I_{zv} = 810 \text{ mm}$$

$$A_{zv} = 2 \cdot a \cdot I_{zv} = 2 \cdot 1,4 \text{ cm} \cdot 81,0 \text{ cm} = 226,8 \text{ cm}^2$$

$$W_{zv} = 2 \cdot a \cdot I_{zv}^2 / 6 = 2 \cdot 1,4 \text{ cm} \cdot 81,0^2 \text{ cm}^2 / 6 = 3061,8 \text{ cm}^3$$

$$n = N_{ED}^V / A_{zv} + M_{ED} / W_{zv} = 1582,7 \text{ kN} / 226,8 \text{ cm}^2 + 40730 \text{ kNm} / 3061,8 \text{ cm}^3 = 20,28 \text{ kN/cm}^2$$

$$v_{II} = N_{ED}^H / A_{zv} = 1281,6 \text{ kN} / 226,8 \text{ cm}^2 = 5,65 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sqrt{n^2 + v_{II}^2} = \sqrt{20,28^2 + 5,65^2} = 21,05 \text{ kN/cm}^2 \leq f_u / (\beta_w \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}) = 43 \text{ kN/cm}^2 / (0,85 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,25) = 23,37 \text{ kN/cm}^2$$

7.2.7 Kontrola vijakov M33 8.8

- Kontrola strižne nosilnosti:

$$F_{V,ED} = N_{ED}/n = 2036,5\text{kN}/16 = 127,3\text{kN}$$

$$F_{V,Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{M2} = 266,5\text{kN}$$

$$F_{V,ED} = 127,3\text{kN} \leq F_{V,Rd} = 266,5\text{kN}$$

- Kontrola bočnih pritiskov:

$$f_u = 43\text{kN/cm}^2$$

$$k_{l,robni} = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 1,4p_2/d_0 - 1,7; 2,5) = 1,66$$

$$k_{l,notranji} = \min(1,4p_2/d_0 - 1,7; 2,5) = 1,66$$

$$\alpha_{d,robni} = e_1/(3 \cdot d_0) = 0,67$$

$$\alpha_{d,notranji} = p_1/(3 \cdot d_0) - 0,25 = 0,75$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0) = 0,67$$

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 252,5\text{kN} \geq F_{V,ED} = 127,3\text{kN}$$

- Torna nosilnost:

Sila prednapetja:

$$F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 80 \cdot 6,94 = 388,64\text{kN}$$

Projektna torna nosilnost:

$$F_{S,Rd} = F_{p,c} \cdot k_s \cdot \mu \cdot n / \gamma_{M3} = 388,64\text{kN} \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,0 / 1,25 = 155,5\text{kN} \geq F_{V,ED} = 127,3\text{kN}$$

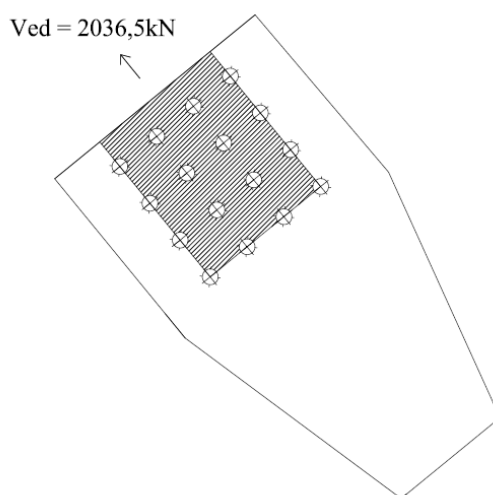
$k_s = 1,0$... koeficient, ki zajema vpliv velikosti in oblike lukenj

$\mu = 0,5$... torni količnik za razred torne površine A

$n = 1,0$... število tornih površin

$\gamma_{M3} = 1,25$... delni varnostni faktor

- Strižni iztrg vijakov:



Slika 24: Strižni iztrg vijakov

$$A_{nv} = (e_1 + 3p_1 - 3,5d_0) \cdot t_v = 54,0\text{cm}^2 \dots \text{prerez pri strižni nosilnosti}$$

$$A_{nt} = (3p_2 - 3d_0) \cdot t_v = 43,2\text{cm}^2 \dots \text{prerez pri natezni nosilnosti}$$

$$f_u = 43\text{kN/cm}^2$$

$$f_y = 27,5\text{kN/cm}^2$$

$$V_{\text{eff,Rd}} = A_{nt} \cdot f_u / \gamma_{M2} + 0,5 \cdot A_{nv} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2228,6\text{kN} \geq V_{\text{ED}} = 2036,5\text{kN}$$

8 ZAKLJUČEK

Naslov diplomske naloge sem izbral zaradi zanimanja o jeklenih konstrukcijah in kako se le-te projektirajo. Nasploh na dodiplomskem študiju gradbeništva se nismo ukvarjali s celotnim projektiranjem konstrukcij, zato se mi je zdelo pametno in zanimivo se lotiti take vrste diplomske naloge.

Začel sem z zasnovo nosilne konstrukcije objekta, ki sem jo zaradi pomanjkanja izkušenj večkrat spreminjal. Razlogov je bilo več: včasih sem imel premalo nosilcev, kar je pomenilo prevelike obremenitve primarnih nosilcev, ter obratno, preveč nosilcev in stebrov, kar ni bilo sprejemljivo za tako vrsto objekta. Pri zasnovi sem pazil tudi na to, da je objekt pravilen po tlorisu in višini, saj sem tako lahko v potresnem mejnem stanju uporabil metodo horizontalnih sil.

Sledil je izračun vseh obtežb, kjer je največ dela bilo z vetrom. Tega upoštevamo kot konstanten pritisk po višini na okvir, saj je višina manjša od širine objekta. Koristna obtežba je na medetažni konstrukciji velika, zato dobimo kar veliko maso konstrukcije.

Plošča medetažne konstrukcije je sovprežno izvedena. Pri dimenzioniranju sovprežnih nosilcev sem upošteval delno strižno povezavo med nosilcem in ploščo. Obtežba na primarne nosilce je »akcija«, ki je pri sekundarnih/sovprežnih nosilcih reakcija v podporah. Pri tem so bili za idealen profil merodajni pomiki nosilca (MSU).

Pri horizontalni obtežbi je bil merodajen potres, zato sem dimenzioniral v potresnem mejnem stanju. V programu Scia Engineer sem modeliral povezje za računsko analizo. Ugotovil sem, da je vpliv globalnih nepopolnosti zanemarljiv, kar je normalno za ekscentrična povezja.

Prikazal sem tudi dimenzioniranje dveh tipičnih spojev, in sicer spoj primarni-sekundarni nosilec ter spoj strižni člen-diagonala. Oba sem na koncu še narisal v merilu 1:10.

Veseli me izbira te diplomske naloge, saj bom pridobljeno znanje in izkušnje potreboval pri nadaljevanju študija ter kasneje v praksi.

VIRI

Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 1077 str.

SIST EN 1991-1-1: 2004: Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb

SIST EN 1991-1-3: 2004: Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega

SIST EN 1991-1-4: 2005: Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vpliv vetra

SIST EN 1993-1-1: 2005: Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe

SIST EN 1993-1-8: 2005: Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-8. del: Projektiranje spojev

SIST EN 1994-1-1: 2004: Evrokod 4: Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe

SIST EN 1998-1: 2004: Evrokod 8: Projektiranje potresno-odpornih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe

Beg, D., Hladnik, L., Može, P. 2003. Analiza TRIMO HI-Bond sovprežnih stropov : razvojno aplikativna naloga. Ljubljana: UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za metalne konstrukcije: 51 str.

SEZNAM PRILOG:

PRILOGA A: Obtežbe na ekscentrično povezje v smeri X

PRILOGA B: Obtežbe na ekscentrično povezje v smeri Y

PRILOGA C: Pomiki ekscentričnih povezij zaradi potresne obtežbe

PRILOGA D: Prikaz notranjih sil pri okvirju v smeri X – Gravitacijski del seizmičnega projektne stanja

PRILOGA E: Prikaz notranjih sil pri okvirju v smeri Y – Gravitacijski del seizmičnega projektne stanja

PRILOGA F: Prikaz notranjih sil pri okvirju v smeri X – Seizmični del seizmičnega projektne stanja

PRILOGA G: Prikaz notranjih sil pri okvirju v smeri Y – Seizmični del seizmičnega projektne stanja

PRILOGA H: Izpis poteka izračuna bočne zvrnitve sekundarnega nosilca v programu LTBeam

PRILOGA I: Izpis poteka izračuna bočne zvrnitve primarnega nosilca v programu LTBeam

Na koncu so priloženi še načrti:

Tloris medetažne konstrukcije

Prereza

Spoj primarni-sekundarni nosilec

Spoj strižni člen-diagonala

PRILOGA A: Obtežbe na ekscentrično povezje v smeri X

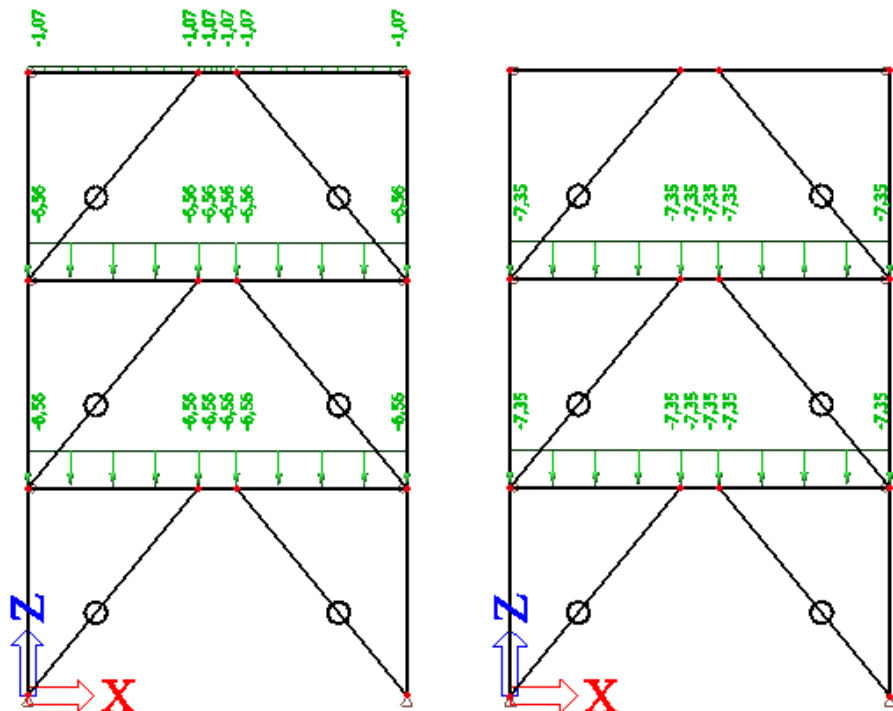
Stalna obtežba:

Izračun: $g_{1,2} = g_c + g_s + g_f = (2,41\text{kN/m}^2 + 1,75\text{kN/m}^2) \cdot (2,67\text{m}/2) + 1,0\text{kN/m}^2 \cdot 1,0\text{m} = 6,56\text{kN/m}$

$g_{\text{streha}} = 0,8\text{kN/m}^2 \cdot (2,67\text{m}/2) = 1,07\text{kN/m}$

Koristna obtežba:

Izračun: $q_{1,2} = 5,5\text{kN/m}^2 \cdot (2,67\text{m}/2) = 7,35\text{kN/m}$

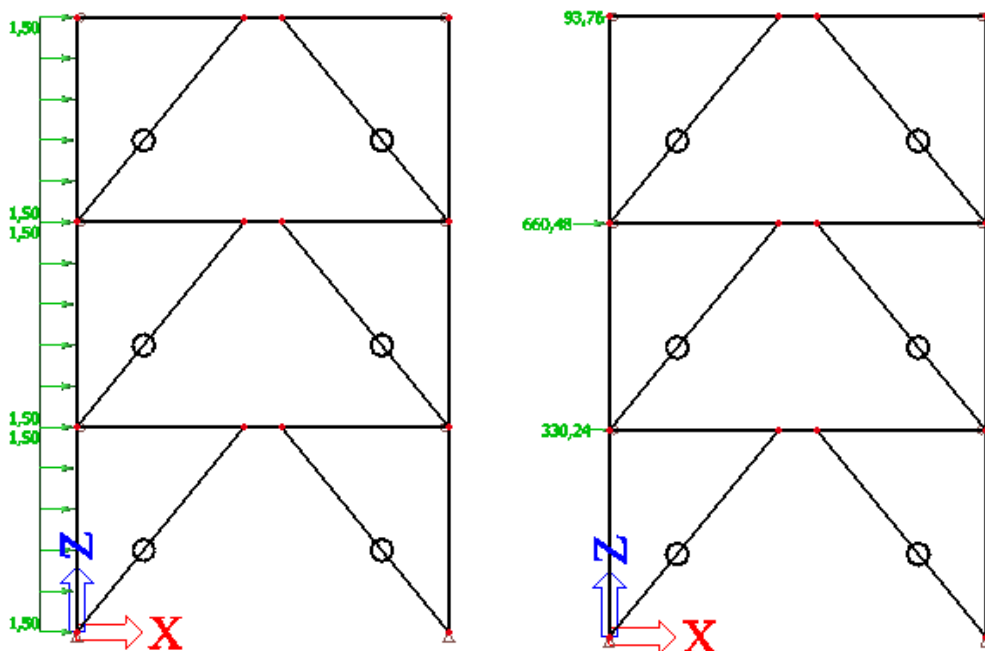


Veter:

Izračun: $q_w = 0,375\text{kN/m}^2 \cdot (8,0\text{m}/2) = 1,5\text{kN/m}$

Potres:

Izračun potresnih sil na povezje je prikazan v poglavju 3.7.



PRILOGA B: Obtežbe na ekscentrično povezje v smeri Y

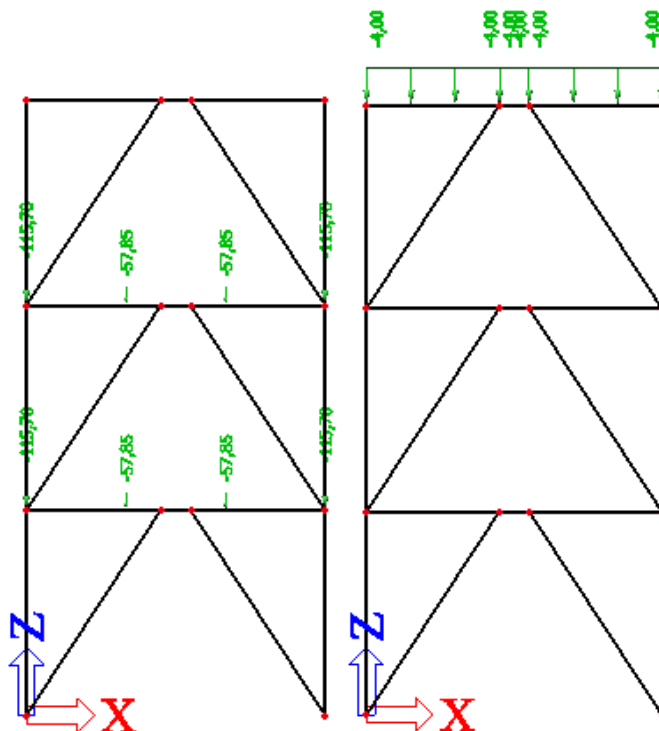
Stalna obtežba – točkovna obtežba nosilcev:

Izračun: $g = (2,41\text{kN/m}^2 + 1,75\text{kN/m}^2) \cdot 2,67\text{m} + 0,66\text{kN/m} = 11,57\text{kN/m}$

$F_{g,1} = 11,57\text{kN/m} \cdot 10\text{m}/2 = 57,85\text{kN}$... v polju nosilca

$F_{g,2} = 2 \cdot 11,57\text{kN/m} \cdot 10\text{m}/2 = 115,7\text{kN}$... nad stebrom

Stalna obtežba – streha: $F_{g,1} = 11,57\text{kN/m} \cdot 10\text{m}/2 = 57,85\text{kN}$

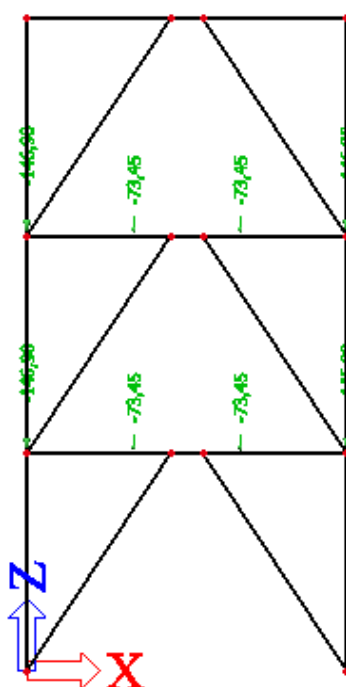


Koristna obtežba:

Izračun: $q = 5,5\text{kN/m}^2 \cdot 2,67\text{m} = 14,69\text{kN/m}$

$F_{q,1} = 14,69\text{kN/m} \cdot 10\text{m}/2 = 73,45\text{kN}$... v polju nosilca

$F_{q,2} = 2 \cdot 14,69\text{kN/m} \cdot 10\text{m}/2 = 146,9\text{kN}$... nad stebrom

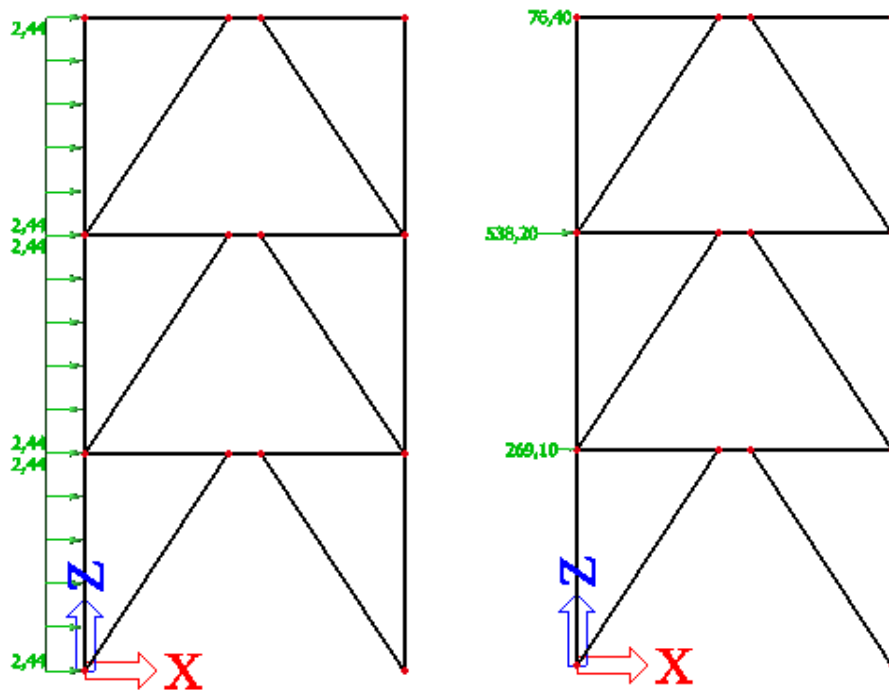


Veter:

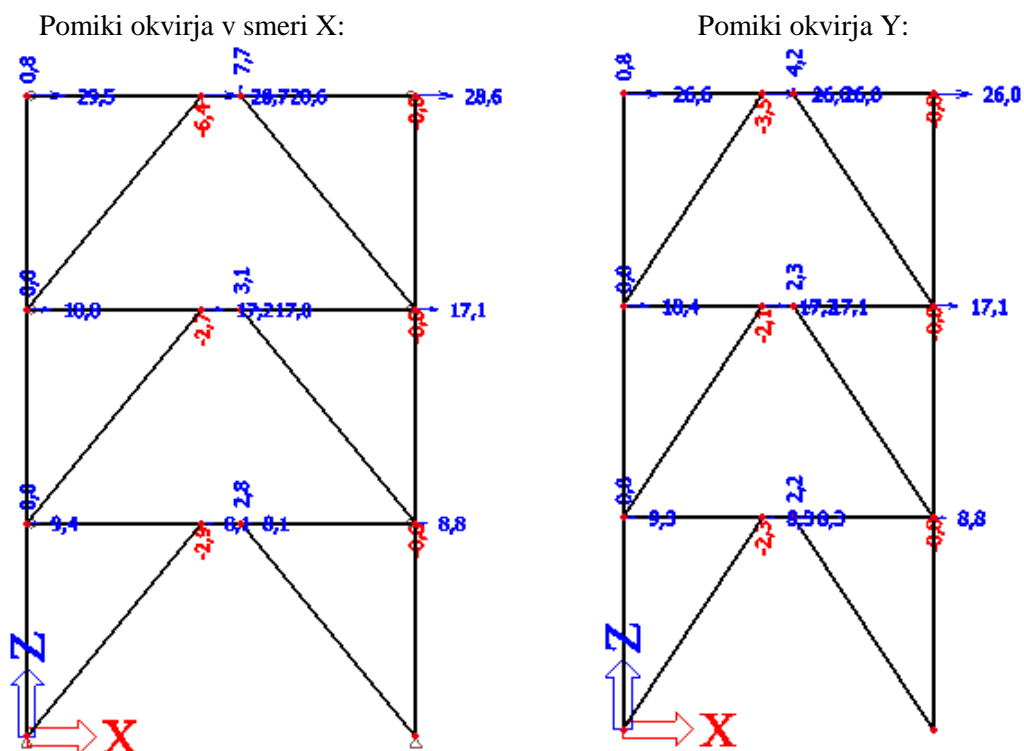
Izračun: $q_w = 0,4875 \text{ kN/m}^2 \cdot (10,0 \text{ m}/2) = 2,44 \text{ kN/m}$

Potres:

Izračun potresnih sil na povezje je prikazan v poglavju 3.7.

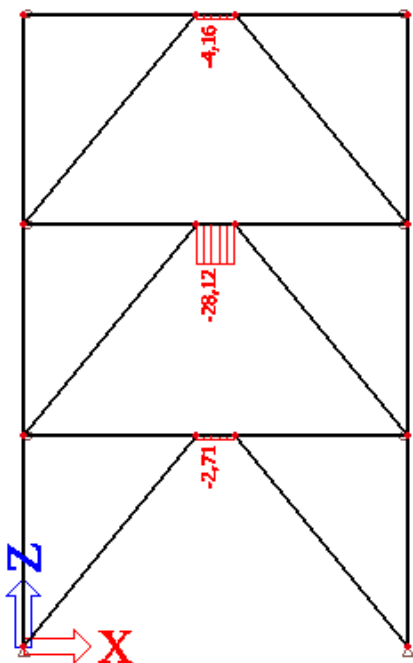


PRILOGA C: Pomiki ekscentričnih povezij zaradi potresne obtežbe

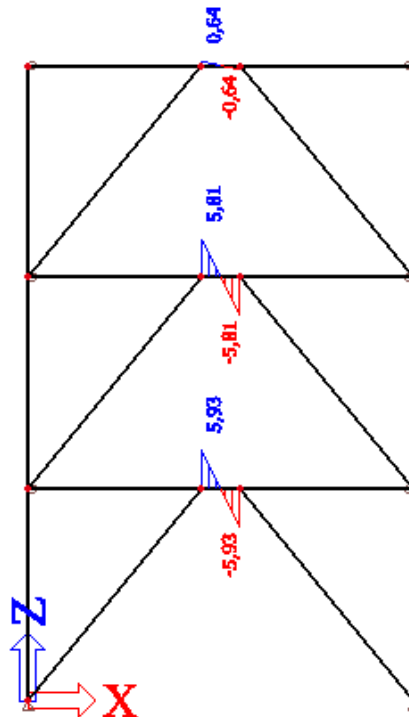


PRILOGA D: Prikaz notranjih sil pri okvirju v smeri X – Gravitacijski del seizmičnega projektnega stanja

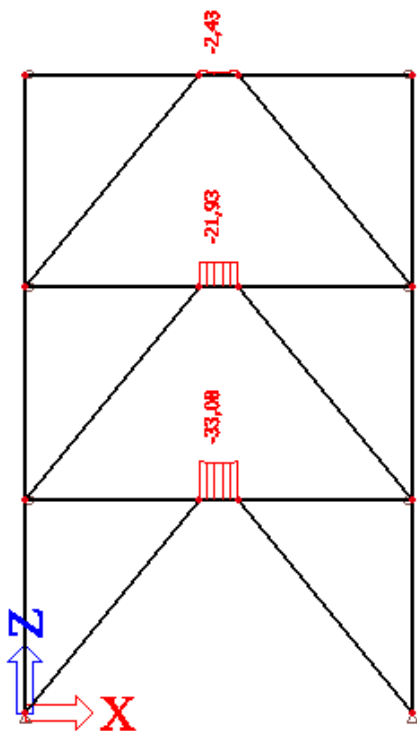
Strižni člen: OSNE SILE



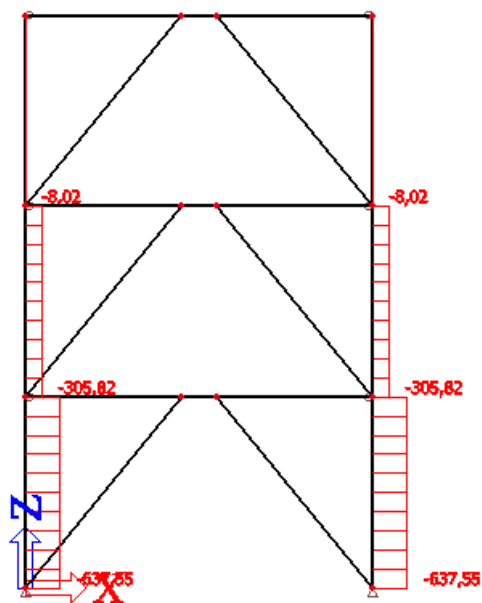
Strižni člen: PREČNE SILE



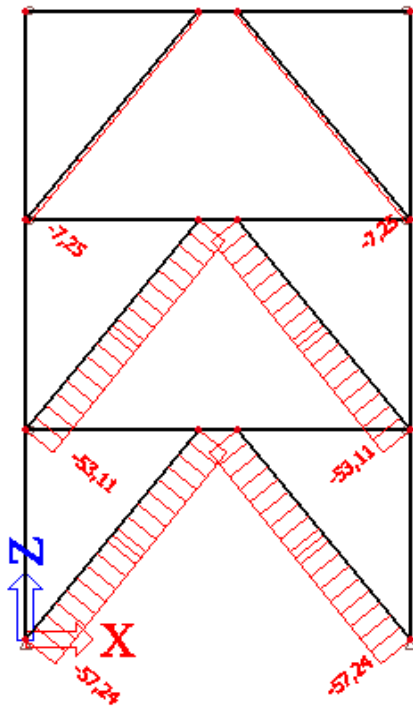
Strižni člen: UPOGIBNI MOMENTI



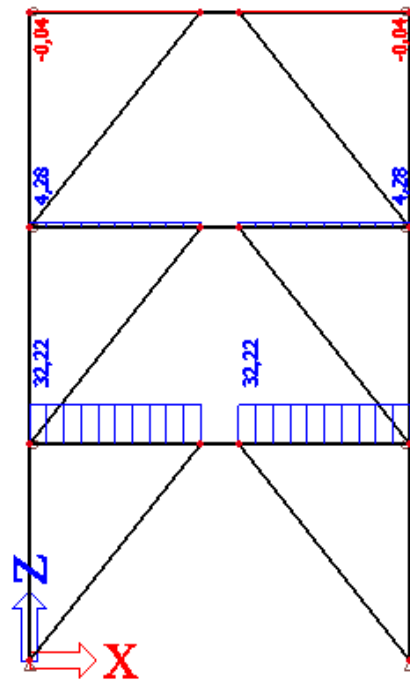
Steber: OSNE SILE



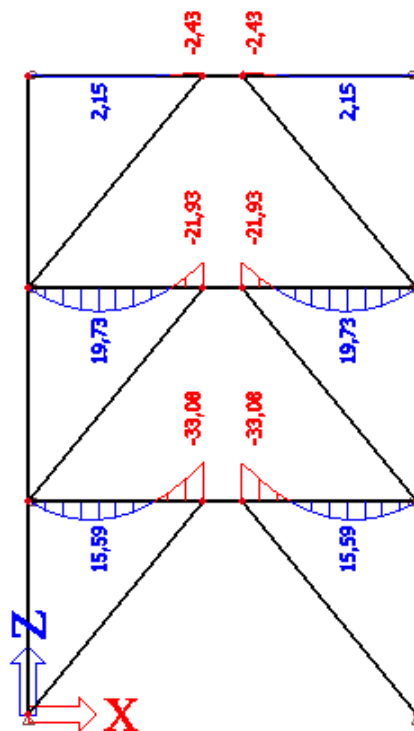
Diagonale: OSNE SILE



Prečka izven člena: OSNE SILE

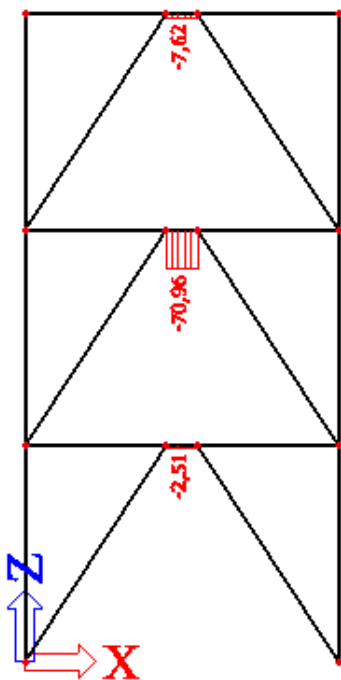


Prečka izven člena: UPOGIBNI MOMENTI

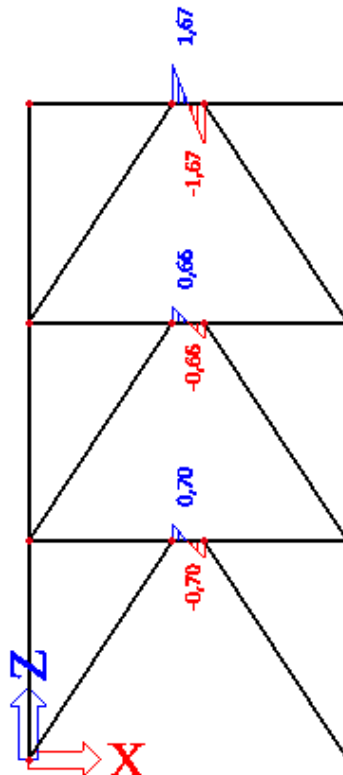


PRILOGA E: Prikaz notranjih sil pri okvirju v smeri Y – Gravitacijski del seizmičnega projektne stanja

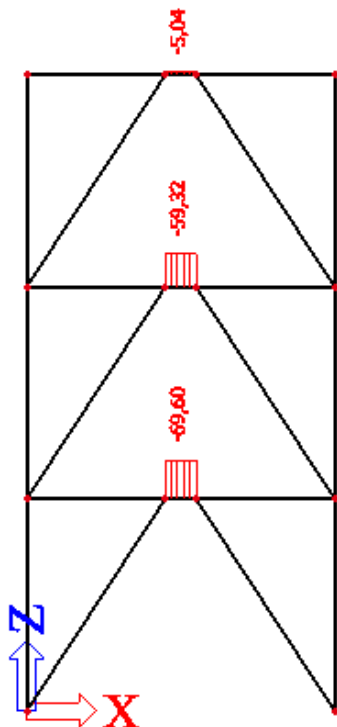
Strižni člen: OSNE SILE



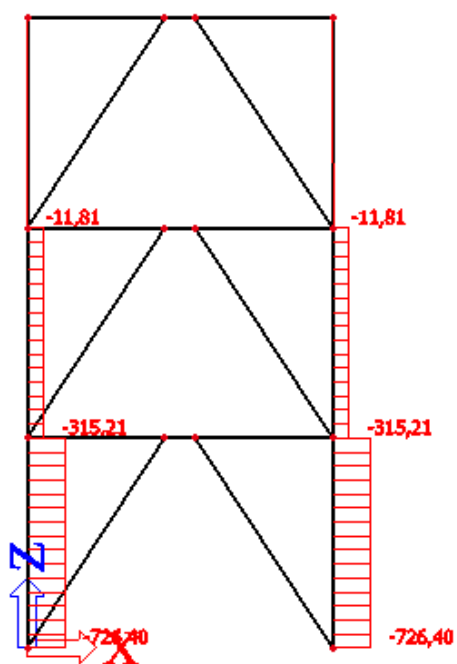
Strižni člen: PREČNE SILE



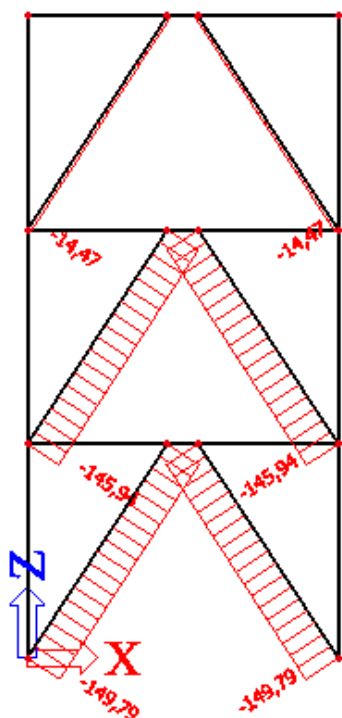
Strižni člen: UPOGIBNI MOMENTI



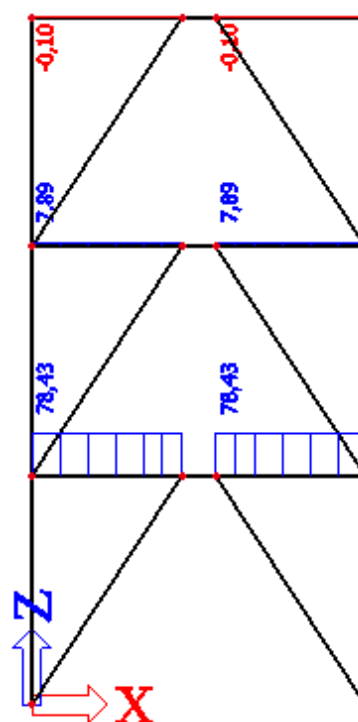
Steber: OSNE SILE



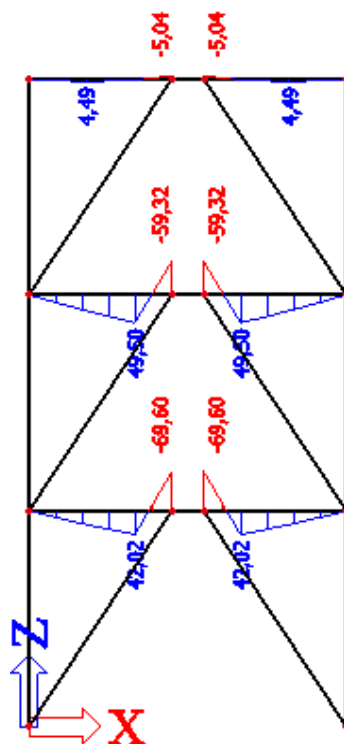
Diagonale: OSNE SILE



Preostali del prečke: OSNE SILE

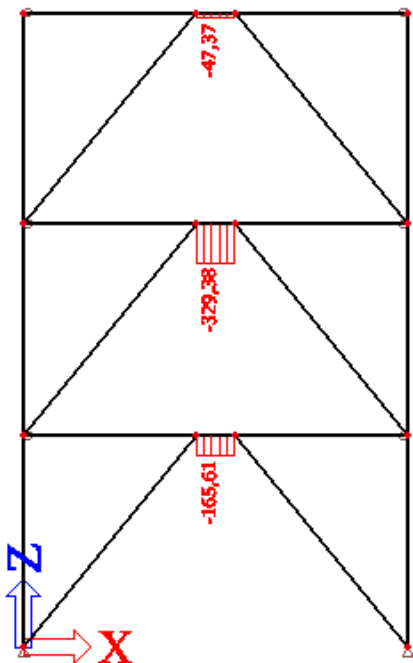


Preostali del prečke: UPOGIBNI MOMENTI

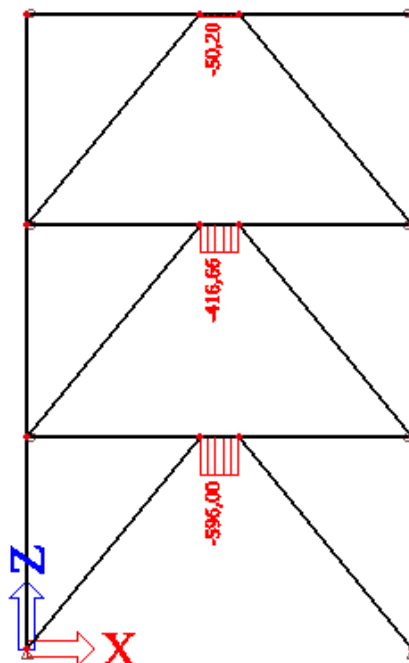


PRILOGA F: Prikaz notranjih sil pri okvirju v smeri X – Seizmični del seizmičnega projektne stanja

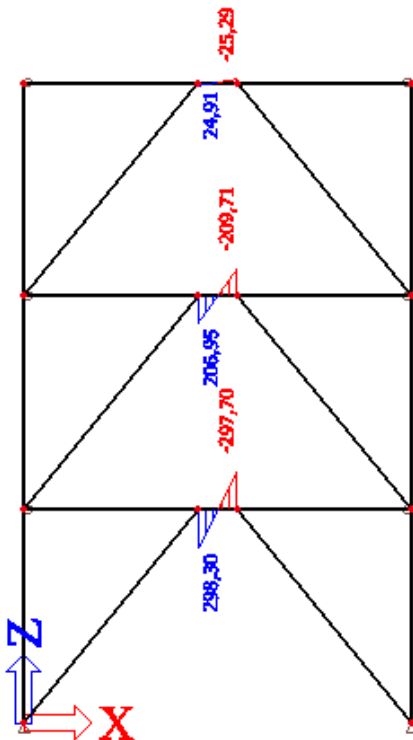
Strižni člen: OSNE SILE



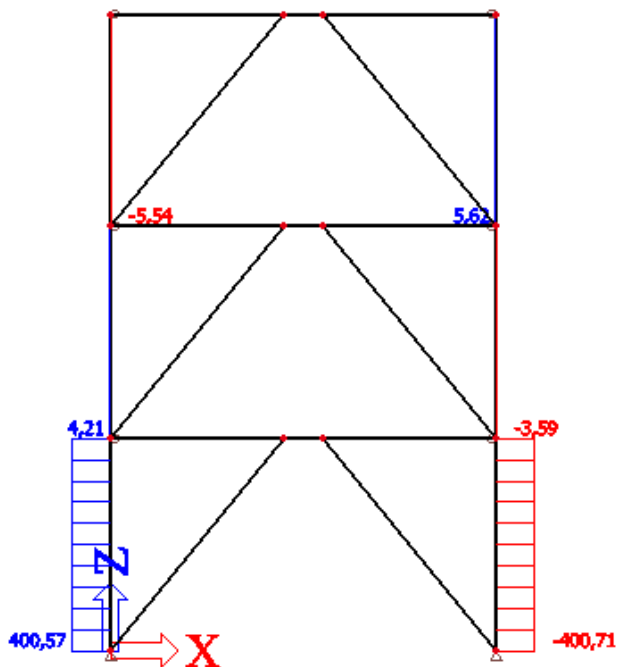
Strižni člen: PREČNE SILE



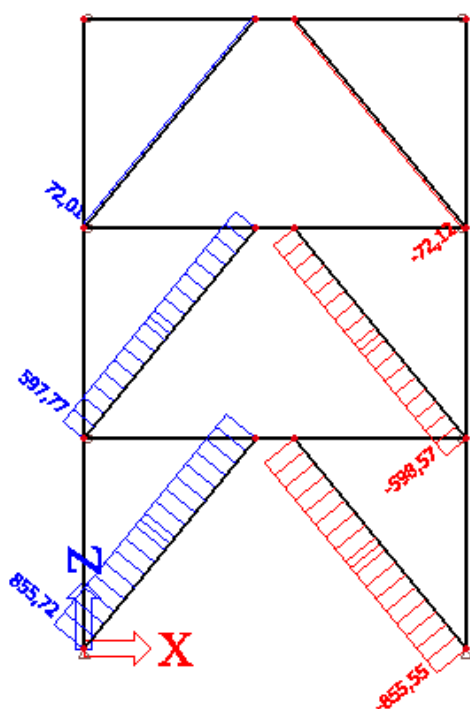
Strižni člen: UPOGIBNI MOMENTI



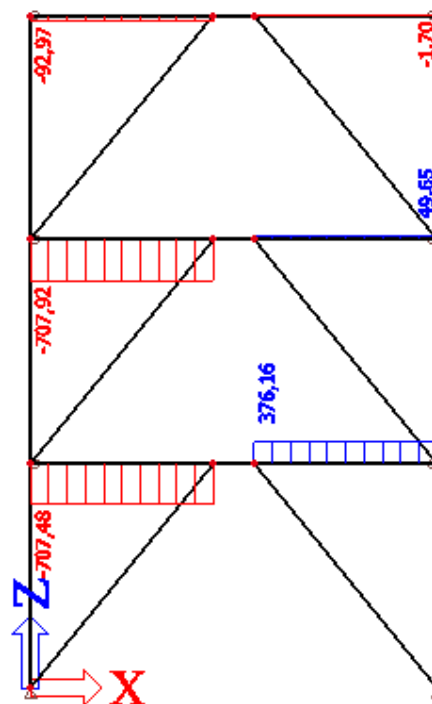
Steber: OSNE SILE



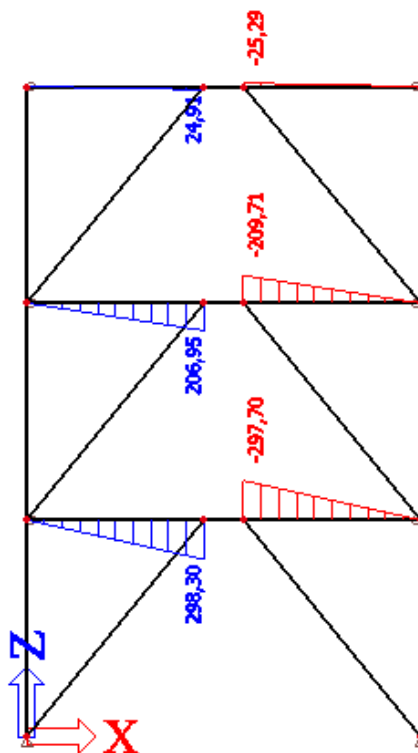
Diagonale: OSNE SILE



Prečka izven člena: OSNE SILE

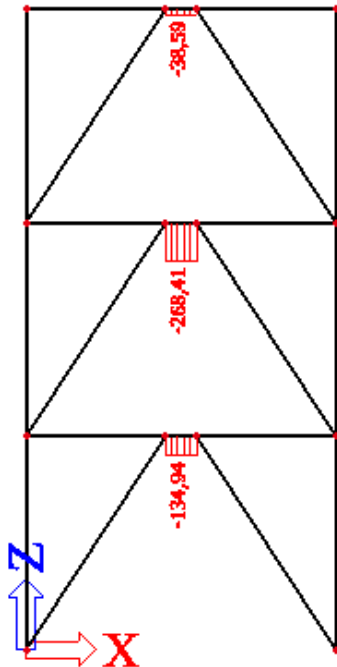


Prečka izven člena: UPOGIBNI MOMENTI

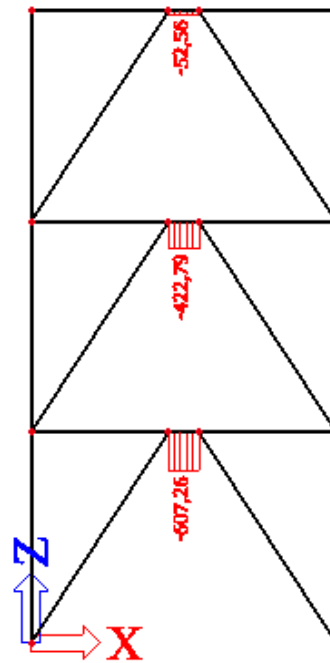


PRILOGA G: Prikaz notranjih sil pri okvirju v smeri Y – Seizmični del seizmičnega projektne stanja

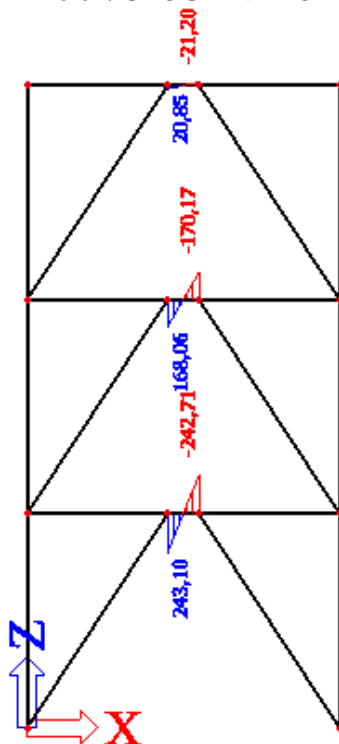
Strižni člen: OSNE SILE



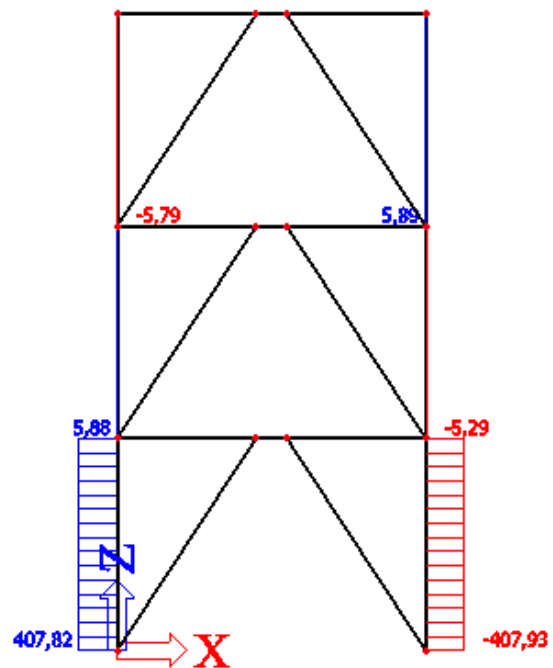
Strižni člen: PREČNE SILE



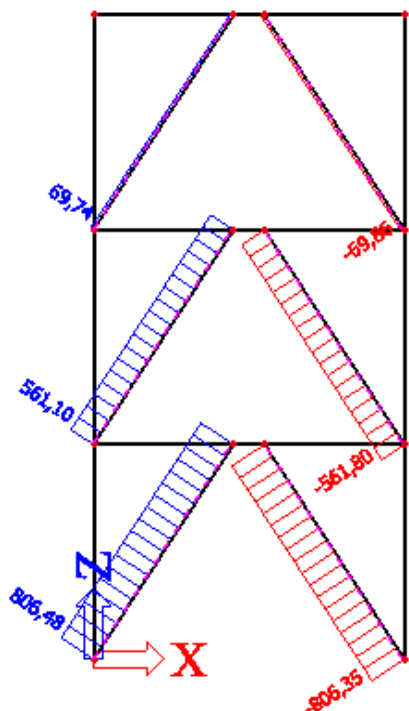
Strižni člen: UPOGIBNI MOMENTI



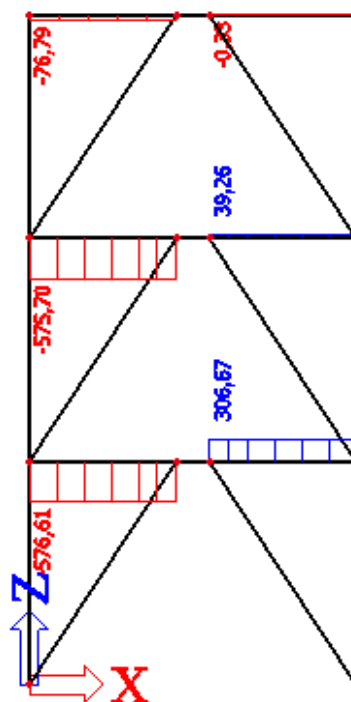
Steber: OSNE SILE



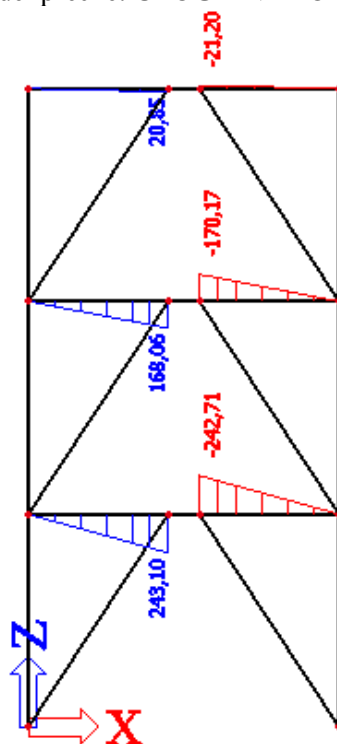
Diagonale: OSNE SILE



Preostali del prečke: OSNE SILE



Preostali del prečke: UPOGIBNI MOMENTI

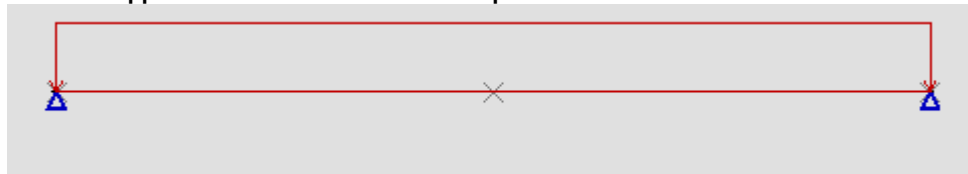


PRILOGA H: Izpis poteka izračuna bočne zvrnitve sekundarnega nosilca v programu LTBeam**CTICM
LTBeam**

04-09-2016 22:44

Version 1.0.11

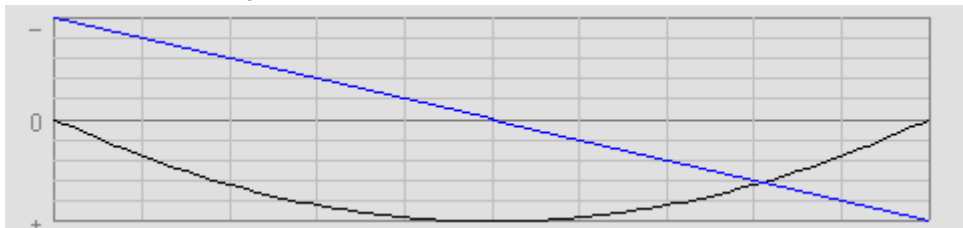
Beam				
Total length	L	=	10	m
Number of elements	N	=	100	
Steel				
Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	ν	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa
Section - In Catalogue				
Selected Profile		=	IPE 400	
Weak flexural inertia	I_z	=	1317,8	cm ⁴
Torsional constant	I_t	=	50,267	cm ⁴
Warping constant	I_w	=	492149	cm ⁶
Wagner factor	β_z	=	0	mm
Lateral Restraints				
Left End				
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	ν'	=	Free	
Warping restraint	$\theta \chi$	=	Free	
Right End				
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	ν'	=	Free	
Warping restraint	$\theta \chi$	=	Free	
Local 1				
Abscissa/L	xf	=	0,5	
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Free	
Loading				
Supports at Ends in the Plane of Bending				
Hinged at both ends				
Distributed load				
Value at the origin	q1	=	-17,99	kN/m
Value at the end	q2	=	-17,99	kN/m
Abscissa/L at the origin	xf1	=	0	
Abscissa/L at the end	xf2	=	1	
Position /S	z	=	0	mm

Sketch of applied forces and lateral restraint positions

Bending and shear diagrams

3 M

3 V



Maximum moment	Mmax =	224,88	kN.m
Abscissa/L	xf =	0,500	

Critical Moment

Eigenvalue solving

Dichotomic process on determinant			
Convergence tolerance	ϵ =	0,0001	
Number of iterations performed	nit =	18	
Convergence achieved			
Eigenvalue obtained	μ =	1,7717	

Critical Moment

Critical value of maximum moment	Mcr =	398,41	kN.m
Abscissa/L	xf =	0,500	

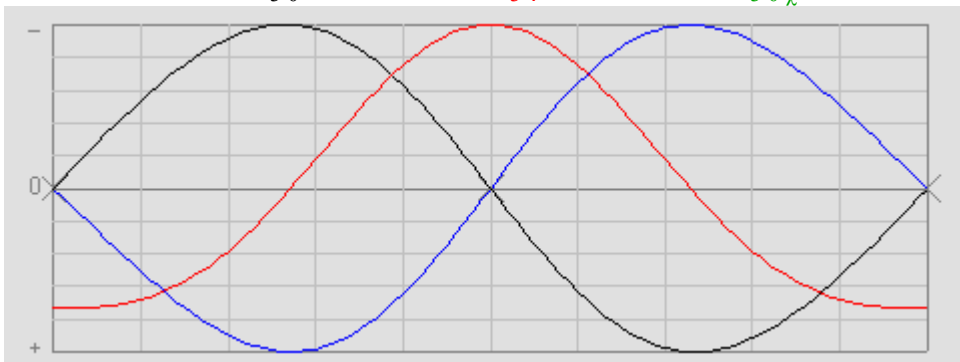
Eigenmode

3 v

3 θ

3 v'

3 $\theta \chi$



PRILOGA I: Izpis poteka izračuna bočne zvrnitve primarnega nosilca v programu LTBeam**CTICM
LTBeam**

04-09-2016 22:25

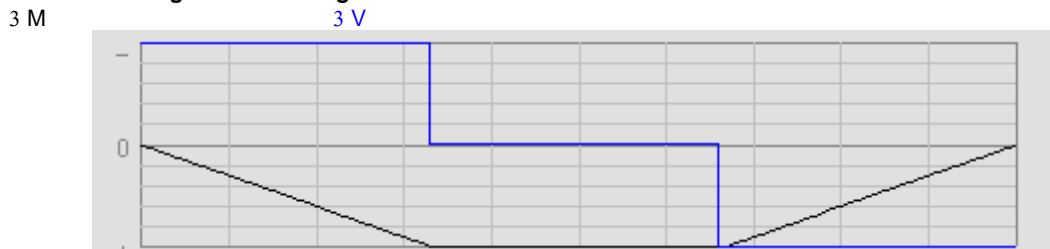
Version 1.0.11

Beam				
Total length	L	=	8	m
Number of elements	N	=	100	
Steel				
Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	ν	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa
Section - In Catalogue				
Selected Profile		=	HEA 550	
Weak flexural inertia	I_z	=	10819	cm ⁴
Torsional constant	I_t	=	357,62	cm ⁴
Warping constant	I_w	=	7,2016E=6	cm ⁶
Wagner factor	β_z	=	0	mm
Lateral Restraints				
Left End				
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	ν'	=	Free	
Warping restraint	$\theta \chi$	=	Free	
Right End				
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	ν'	=	Free	
Warping restraint	$\theta \chi$	=	Free	
Local 1				
Abscissa/L	xf	=	0,333	
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Free	
Local 2				
Abscissa/L	xf	=	0,666	
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Free	
Loading				
Supports at Ends in the Plane of Bending				
Hinged at both ends				
Point load				
Value	F	=	-379,2	kN
Abscissa/L	xf	=	0,333	
Position /S	z	=	0	mm
Point load				
Value	F	=	-379,2	kN
Abscissa/L	xf	=	0,666	
Position /S	z	=	0	mm

Sketch of applied forces and lateral restraint positions



Bending and shear diagrams



Maximum moment	Mmax =	1012,2	kN.m
Abscissa/L	xf =	0,660	

Critical Moment

Eigenvalue solving

Dichotomic process on determinant			
Convergence tolerance	ε =	0,0001	
Number of iterations performed	nit =	16	
Convergence achieved			
Eigenvalue obtained	μ =	6,5588	

Critical Moment

Critical value of maximum moment	Mcr =	6638,8	kN.m
Abscissa/L	xf =	0,660	

Eigenmode

