

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:

Tomažič, M., 2014. Projekt poslovne stavbe s prostorskimi momentnimi okvirji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Korelc, J., somentor Može, P.): 130 str.

Datum arhiviranja: 16-10-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Tomažič, M., 2014. Projekt poslovne stavbe s prostorskimi momentnimi okvirji. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Korelc, J., co-supervisor Može, P.): 130 pp.

Archiving Date: 16-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

MIHA TOMAŽIČ

**PROJEKT POSLOVNE STAVBE S PROSTORSKIMI
MOMENTNIMI OKVIRJI**

Diplomska naloga št.: 64/OG-MK

**PROJECT COMMERCIAL BOUILDINGS OF SPATIAL
MOMENT FRAME**

Graduation thesis No.: 64/OG-MK

Mentor:

prof. dr. Jože Korelc

Predsednik komisije:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Somentor:

viš. pred. dr. Primož Može

Ljubljana, 23. 09. 2014

IZJAVE

Podpisani Miha Tomažič izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Projekt poslovne stavbe s prostorskimi momentnimi okvirji«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju.

Jelša, 17.9. 2014

Miha Tomažič

BIBLIOGRAFSKO -DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.014.2(497.4)(043.2)
Avtor:	Miha Tomažič
Mentor:	prof. dr. Jože Korelc
Somentor:	viš. pred. dr. Primož Može
Naslov:	Projekt poslovne stavbe s prostorskimi momentnimi okvirji
Tip dokumenta:	Diplomska naloga - visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	130 str., 93 sl., 18 pregl.
Ključne besede:	jeklena konstrukcija, momentni okvir, sovprežna plošča, statični izračun

Izveček

V diplomski nalogi je predstavljen postopek projektiranja poslovnega objekta. Stavba ima štiri nadstropja, ki se po etažah razlikujejo po uporabnosti. Horizontalna togost konstrukcije se v obeh pravokotnih smereh zagotavlja z momentnimi okvirji. Medetažne plošče in strešna konstrukcija so izvene s sovprežno ploščo. Skonstruirana sta tudi dva osnovna tipa spojev.

Globalna analiza konstrukcije je v celoti narejena v ravninskem modelu. V izračunih je upoštevana elastična analiza po teoriji drugega reda z upoštevanjem začetnih globalnih geometrijskih nepopolnosti, ki so zajete z nagibom konstrukcije 1,95 mm/m.

V okviru diplomske naloge so izdelani tudi osnovni načrti pozicij elementov v etažah in načrta spojev.

BIBLIOGRAPHIC- DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.014.2(497.4)(043.2)
Author: Miha Tomažič
Supervisor: Prof. Jože Korelc, Ph.D.
Co-supervisor: Sen. Lect. Primož Može, Ph.D.
Title: Project commercial buildings of spatial moment frame
Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes: 130 p., 93 fig., 18 tab.
Key words: steel structure, frame, composite plate, static calculation

Abstract

This diploma paper presents the design process of an office building. The building has four floors and they vary in usability. The horizontal stiffness is provided by moment frames in both in both main axes. The floor structure is represented by a composite slab. Two basis joint types are constructed and designed.

Global analysis of construction is entirely made in two-dimensional model. In the calculations, second-order elastic analysis with geometric imperfection is included, where the inclination of the construction is 1,95 mm/m.

In this diploma paper basic of the construction and joints are made.

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. Jožetu Korelcu in somentorju viš. pred. dr. Primožu Možetu za pomoč pri izdelavi diplomske naloge ter vsa pojasnila, razlage in odgovore na vprašanja, ki so se pojavila med izdelavo diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi družini, ki mi je omogočila študij in me podpirala pri izobraževanju. Prav tako se za spodbudo pri študiju zahvaljujem bližnjim sorodnikom. Iskreno se zahvaljujem tudi svoji dragi Neji za spodbudo in potrpežljivost, tako med študijem kot tudi pri pisanju diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE:

1	TEHNIČNO POROČILO	1
1.1	Splošno.....	1
1.2	Konstrukcija	1
1.3	Obtežbe.....	3
1.4	Materiali	3
1.5	Uporabljeni standardi	4
1.5	Izračuni	5
2	ANALIZA OBTEŽB	5
2.1	Stalna obtežba	5
2.2	Koristna obtežba	6
2.3	Obtežba snega (nenakopičen sneg)	6
2.4	Obtežba vetra	7
3	STATIČNI IZRAČUN FASADE IN FASADNE KONSTRUKCIJE.....	11
3.1	Določitev dovoljenih razponov za fasadno konstrukcijo	11
4	IZRAČUN SOVPREŽNE PLOŠČE	12
4.1	Dimenzioniranje	12
4.2	Dimenzioniranje sovprežne plošče in sovprežnega nosilca v prvi etaži (P01 in P02)	12
	Dimenzioniranje sovprežne plošče in sovprežnega nosilca v drugi in tretji etaži (P08 in P09)	19
	Dimenzioniranje sovprežne plošče in sovprežnega nosilca strešne etaže (P12 in P13).....	26
5	IZRAČUN NOSILNE KONSTRUKCIJE	32
5.1	Obtežne kombinacije	32
	Mejno stanje nosilnosti.....	32
5.3	Dimenzioniranje sekundarne nosilne konstrukcije	36
	Dimenzioniranje prečke v etaži I, pozicija P04	36
	Dimenzioniranje prečke v etaži II in III, pozicija P11	39
	Dimenzioniranje prečke v etaži IV, pozicija P15	42
5.4	Stabilnostna analiza okvirja.....	45

5.5	Dimenzioniranje momentnega OK1	46
	Kontrola prečke IPE 300 v pritličju (pozicija P07)	48
	Kontrola stebra HEB 500 v pritličju (pozicija S2)	50
5.6	Dimenzioniranje momentnega okvirja OK2	55
	Kontrola prečke IPE 400 v pritličju (pozicija P06)	56
	Kontrola stebra HEB 500 v pritličju (pozicija S4)	58
5.7	Dimenzioniranje momentnega okvirja OK3	63
	Kontrola prečke IPE 400 v pritličju (pozicija P05)	63
	Kontrola stebra HEB 500 v pritličju (pozicija S3)	64
5.8	Kontrola pomikov MSU	67
	Kontrola pomikov okvirja OK1	67
	Kontrola pomikov okvirja OK2	68
	Kontrola pomikov okvirja OK3	70
6	POTRESNI VPLIV NA KONSTRUKCIJO	71
6.1	Masa konstrukcije	71
6.2	Izračun momentnega okvirja za potresno silo v smeri X	71
	Razdelitev mas po etažah za posamezen okvir	71
	Izračun nihajnega časa	72
	Izračun potresne sile	73
	Potresna sila, ki deluje na en okvir	73
	Razdelitev sil na etaže	74
	Izračun vpliva TDR	76
6.3	Izračun momentnega okvirja za potresno silo v smeri Y	78
	Izračun nihajnega časa	79
	Izračun potresne sile	79
	Razdelitev sil na etaže	81
	Upoštevanje vpliva TDR, okvir OK2	82
	Upoštevanje vpliva TDR, okvir OK3	86
6.4	Dimenzioniranje okvirja OK1	89
	Kontrola prečke IPE 300 v drugi etaži na potresno obremenitev (P07)	89
	Dimenzioniranje stebrov HEB 500 v pritličju na potresno obremenitev (S1 in S2)	91
	Dimenzioniranje stebra S1 (steber v spodnji etaži)	95
	Dimenzioniranje stebra S2 (steber v spodnji etaži)	97
6.5	Dimenzioniranje okvirja OK2	100
	Dimenzioniranje prečke IPE 400 v pritličju na potresno obremenitev (P06)	101
	Dimenzioniranje stebra HEB 500 v pritličju na potresno obremenitev (S4)	102
6.6	Dimenzioniranje okvirja OK3	107
	Dimenzioniranje prečke IPE 400 v drugi etaži na potresno obremenitev (P05)	107
	Dimenzioniranje stebra HEB 500 v pritličju na potresno obremenitev (S3)	109

6.7	Kontrola pomikov MSU	114
	Kontrola pomikov okvirja OK1	114
	Kontrola pomikov okvirja OK2 in OK3	115
7	DIMENZIONIRANJE SPOJEV	116
7.1	Dimenzioniranje spoja steber-prečka (HEB 500-IPE 400)	116
	Izračun obremenitev	117
	Izračun zvarov	118
	Dimenzioniranje vijakov	119
7.2	Dimenzioniranje členkastega spoja prečka-prečka (IPE 400-IPE 240)	123
	Obremenitev	123
	Zasnova spoja	123
	Kontrola nosilnosti vijakov	124
	Dimenzioniranje vezne pločevine	125
	Dimenzioniranje nosilca	126
8	ZAKLJUČEK	128
	VIRI	129

KAZALO SLIK:

Slika 1: Zasnova momentnih okvirjev	1
Slika 2: Tloris konstrukcije in pozicije momentnih okvirjev.....	2
Slika 3: Zasnova momentnih okvirjev v smeri X (levo) in smeri Y (desno)	2
Slika 4: Graf koeficienta μ v odvisnosti od naklona strehe [SIST EN 1991-1-4:2005].....	6
Slika 5: Graf koeficienta C_e v odvisnosti od terena in višine objekta [SIST EN 1991-1-4:2005].....	7
Slika 6: Razdelitev sten po področjih in razpored tlakov po višini v odvisnosti od h , b , z_0 [SIST EN 1991-1-4:2005]	8
Slika 7: Razdelitev sten na področja in razpored tlakov po višini v odvisnosti od h , b , z_0 [SIST EN 1991-1-4:2005]	9
Slika 8: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam	13
Slika 9: Pomen oznak pri dimenzioniranju sovprežnega nosilca	15
Slika 10: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam	20
Slika 11: Pomen oznak pri dimenzioniranju sovprežnega nosilca	22
Slika 12: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam	27
Slika 13: Pomen oznak pri dimenzioniranju sovprežnega nosilca	29
Slika 14: Prikaz pozicije koristne obtežbe pri razporeditvi K1	33
Slika 15: Prikaz pozicije koristne obtežbe pri razporeditvi K2	33
Slika 16: Prikaz pozicije koristne obtežbe pri razporeditvi K3	33
Slika 17: Shema pozicij okvirjev	34
Slika 18: Pozicija prečke v prvi etaži	36
Slika 19: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam	37
Slika 20: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam	38
Slika 21: Pozicija prečke v drugi in tretji etaži	39
Slika 22: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam	40
Slika 23: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam	41
Slika 24: Pozicija prečke v drugi in tretji etaži	42
Slika 25: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam	43
Slika 26: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam	44
Slika 27: Momenti in prečne sile pri kombinaciji NK1	46
Slika 28: Momenti, prečne sile in osne sile pri kombinaciji NK1	46
Slika 29: Momenti in prečne sile pri kombinaciji NK6	47
Slika 30: Osne sile pri kombinaciji NK6.....	47
Slika 31: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK6.....	48
Slika 32: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK6.....	49
Slika 33: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebru pri kombinaciji NK6.....	50
Slika 34: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebru pri kombinaciji NK6.....	52
Slika 35: Momenti, prečne sile in osne sile pri kombinaciji NK3	55
Slika 36: Momenti, prečne sile in osne sile pri kombinaciji NK4	55
Slika 37: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK3.....	56

Slika 38: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK4	57
Slika 39: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebru pri kombinaciji NK3	58
Slika 40: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebru pri kombinaciji NK4	60
Slika 41: Momenti, prečne sile in osne sile pri kombinaciji NK4.....	63
Slika 42: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK4	63
Slika 43: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebru pri kombinaciji NK4	64
Slika 44: Vertikalni pomiki momentnega okvirja OK1 za kombinacijo MSU3 [mm]	67
Slika 45: Horizontalni pomiki momentnega okvirja OK1 za kombinacijo MSU2 [mm]	67
Slika 46: Vertikalni pomiki momentnega okvirja OK2 za kombinacijo MSU1 [mm]	68
Slika 47: Horizontalni pomiki momentnih okvirjev OK2 in OK3 za kombinacijo MSU1 [mm]	69
Slika 48: Vertikalni pomiki momentnega okvirja OK3 za kombinacijo MSU1 [mm]	70
Slika 49: Model konstrukcije z razdelitvijo mas po etažah.....	71
Slika 50: Deformirana oblika konstrukcije pri prvi nihajni obliki.....	72
Slika 51: Pomiki v etažah pri prvi nihajni obliki konstrukcije	73
Slika 52: Prikaz parametrov za izračun faktorja slučajne torzije pri potresu	74
Slika 53: Pomiki v etaži zaradi potresnih sil z upoštevanjem slučajne torzije	75
Slika 54: Osne sile v okvirju pri neseizmičnem delu potresne obtežbe	75
Slika 55: Razdelitev mas po etažah in potresne sile na okvir	78
Slika 56: Deformirana oblika konstrukcije pri prvi nihajni obliki.....	79
Slika 57: Deformacije po etažah pri prvi nihajni obliki konstrukcije	80
Slika 58: Parametri za izračun faktorja slučajne torzije pri potresu.....	81
Slika 59: Pomiki v etažah zaradi potresnih sil z upoštevanjem slučajne torzije.....	82
Slika 60: Osne sile v okvirju pri neseizmičnem delu potresne obtežbe	83
Slika 61: Pomiki v etažah zaradi potresnih sil z upoštevanjem slučajne torzije.....	86
Slika 62: Osne sile v okvirju pri neseizmičnem delu potresne obtežbe	86
Slika 63: Notranje sile v elementih [N], [V] in [M] zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije .	89
Slika 64: Notranje sile v elementih [N], [V] in [M] zaradi seizmičnega dela potresne kombinacije	89
Slika 65: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije.....	89
Slika 66: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi seizmičnega dela potresne kombinacije	90
Slika 67: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije	92
Slika 68: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije.....	92
Slika 69: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije	93
Slika 70: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije.....	93
Slika 71: Notranje sile [N], [V] in [M] v elementih zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije	100
Slika 72: Notranje sile [N], [V] in [M] v elementih zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije ..	100
Slika 73: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije.....	101
Slika 74: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije.....	101
Slika 75: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije	103
Slika 76: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije.....	103
Slika 77: Notranje sile [N], [V] in [M] v elementih zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije	107

Slika 78: Notranje sile [N], [V] in [M] v elementih zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije ..	107
Slika 79: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije	107
Slika 80: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije	108
Slika 81: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije.....	110
Slika 82: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije	110
Slika 83: Horizontalni pomiki momentnega okvirja OK1 za potresno kombinacijo [mm].....	114
Slika 84: Horizontalni pomiki momentnega okvirja OK2 za potresno kombinacijo [mm].....	115
Slika 85: Skica vute	116
Slika 86: Pozicija razvoja plastičnega členka v prečki	116
Slika 87: Skica pozicij vijakov	119
Slika 88: Razdalje od vrtilišča spoja do vijakov.....	120
Slika 89: Stojina stebra v strigu.....	122
Slika 90: Zasnova spoja	123
Slika 91: Prikaz možnih porušnih ravnin v vezni pločevini	126
Slika 92: Prikaz porušne ravnine strižnega izstrga v stojine nosilca	126
Slika 93: Prikaz porušne ravnine za strižno nosilnost v stojini in pasnici nosilca	127

KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1: Koeficienti in vrednosti zunanjega tlaka na stene v prečni smeri	8
Preglednica 2: Koeficienti in vrednosti zunanjega tlaka na stene v vzdolžni smeri	10
Preglednica 3: Vrednosti zunanjega tlaka na stene	10
Preglednica 4: Največji dovoljeni razpon fasadnih plošč glede na obtežbo z vetrom	11
Preglednica 5: Največji dovoljeni razpon fasadnih plošč glede na obtežbo z vetrom	11
Preglednica 6: Dopustni razponi HI-Bond pločevine v vlogi opaža – MSU in MSN	12
Preglednica 7: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSU	14
Preglednica 8: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSN	14
Preglednica 9: Dopustni razponi HI-Bond pločevine v vlogi opaža – MSN in MSU	19
Preglednica 10: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSU	21
Preglednica 11: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSN	21
Preglednica 12: Dopustni razpon HI-Bond pločevine v vlogi opaža – MSN in MSU	26
Preglednica 13: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSU	28
Preglednica 14: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSN	28
Preglednica 15: Stabilnostna analiza okvirjev OK1, OK2 in OK3 z izračunom faktorja $f(\alpha_{cr})$	45
Preglednica 16: Preglednica teže posamezne etaže in mase	71
Preglednica 17: Nihajni časi konstrukcije	72
Preglednica 18: Nihajni časi konstrukcije	79

Ta stran je namenoma prazna.

1 TEHNIČNO POROČILO

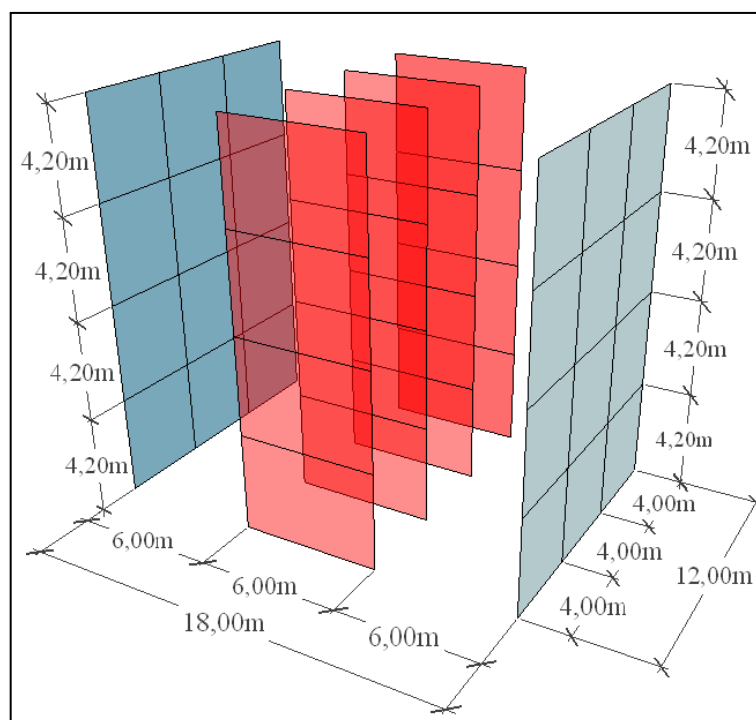
1.1 Splošno

V okviru diplomskega dela sta bila izvedena zasnova objekta in statični izračun, izračunani pa so bili tudi osnovni spoji štirietažne jeklene stavbe. Širina objekta je 12 m, dolžina 18 m, višina stavbe pa 16,8 metrov. Stavba je locirana v Ljubljani. Objekt ima pritličje in tri etaže. Po namenu uporabe je objekt razdeljen od spodaj navzgor:

- trgovine,
- skladišče,
- restavracija,
- pisarne.

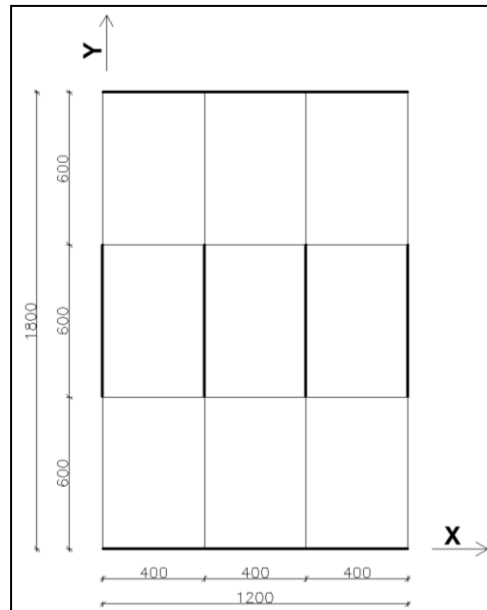
Nosilna konstrukcija je jeklena, medetažno konstrukcijo pa sestavljajo sovprežne plošče. Obtežbo vetra in potresno obtežbo prenašajo prostorski momentni okvirji. Celoten postopek projektiranja je v skladu s standardi Evrokod.

1.2 Konstrukcija



Slika 1: Zasnova momentnih okvirjev

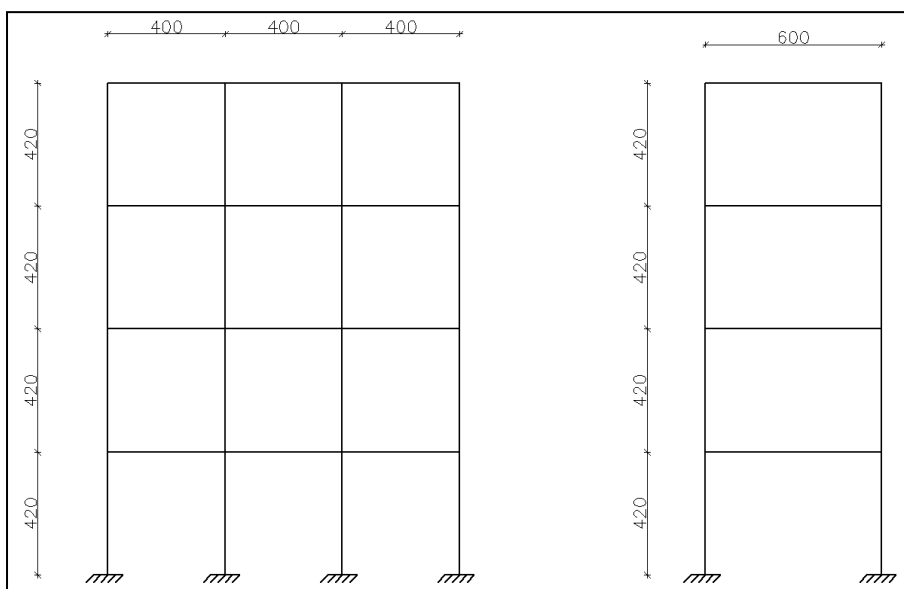
Tlorisne dimenzije celotnega objekta so 12 m x 18 m, višina objekta pa je 16,8 m. Nadmorska višina objekta v pritličju je 300,2 m, kar je tudi relativna kota objekta $\pm 0,00$ m. Svetla višina v medetažnih prostorih je 3,5 m, višina med etažami pa je 4,2 m. Kota prve etaže je +4,20 m, kota druge etaže je +8,40 m, kota tretje etaže je +12,6 m, kota strehe pa +16,8 m. Objekt je nepodkleten.



Slika 2: Floris konstrukcije in pozicije momentnih okvirjev

V smeri krajše strani objekta se horizontalne sile prenašajo preko dveh momentnih okvirjev s tremi polji. Stebri so HEB 500 in so v vseh etažah enaki. Prečke momentnega okvirja se po etažah ne spreminjajo. V momentnem okvirju OK1 so prečke IPE 300. Momentna okvirja v smeri krajše strani objekta sta skupaj dva in sta si med seboj enaka.

V smeri daljše strani objekta se horizontalne sile prenašajo preko štirih momentnih okvirjev z enim poljem. Stebri so HEB 500 in so v vseh etažah enaki. Prečke momentnega okvirja se po etažah ne spreminjajo in so IPE 400. Momentni okvirji v smeri daljše strani objekta so skupaj štirje in so med seboj enaki.



Slika 3: Zasnova momentnih okvirjev v smeri X (levo) in smeri Y (desno)

Medetažna konstrukcija je sestavljena iz sovprežne plošče. Pločevina za sovprežno ploščo, ki hkrati služi kot opaž za betoniranje, je pločevina proizvajalca Trimoterm HI-Bond 55, $t=0,8$ mm, $f_{yk}=250$ MPa. Razponi med nosilci in podpiranje med betoniranjem so določeni na podlagi tabel proizvajalca.

Debelina plošče je v vseh etažah 12 cm. Nosilci, ki podpirajo sovprežno ploščo, pa se po etažah razlikujejo, in sicer so v prvi etaži IPE 240, v drugi in tretji IPE 220 ter v strešni etaži IPE 200. Sovprežno delovanje plošče in nosilca zagotavljajo Nelson čepi $\phi 19$, položeni v vsak val pločevine. V prvi etaži se v vsak val doda tudi armaturna palica S500 premera $\phi 10$ mm.

Za fasadno konstrukcijo so izbrani fasadni paneli proizvajalca Trimoterm, model Qubiss one debeline 150 mm. Panele podpira nosilna konstrukcija stavbe, dodajo pa se tudi dodatni profili na nosilno konstrukcijo za pritrditev.

Strešna konstrukcija se izvede kot ravna streha, z izravnavo strehe s samorazlivno izravnalno maso, dodano toplotno izolacijo in izvedbo naklona strehe 2 % z naklonskimi toplotnoizolacijskimi ploščami. Na to se izvede dvojna hidroizolacija, zaščita hidroizolacije in zaščita z nasutjem iz prodra v debelini 5 cm.

1.3 Obtežbe

Vertikalno obtežbo predstavljajo stalni vplivi (lastna teža elementov nosilne konstrukcije in stalna obtežba), ki so določeni na osnovi karakteristik uporabljenih materialov konstrukcije in opreme.

Koristna obtežba je določena po standardu SIST EN 1991-1-1:2004. Kategorije uporabe od spodaj navzgor so :

- E: skladišča;
- C1: površine z mizami, npr. restavracije;
- B: pisarne.

Obtežba snega je določena po SIST EN 1991-1-3:2004. Objekt se nahaja v coni A2. Nadmorska višina objekta je 300 m.

Obtežba vetra je določena po SIST EN 1991-1-4:2004. Objekt se nahaja v I. coni vetra. Upoštevana kategorija terena je III. Referenčna hitrost vetra je 20 m/s.

Objekt se nahaja na potresnem območju. Projektni pospešek tal za to območje je $a_g=0,25$ g, s povratno dobo 475 let. Faktor obnašanja konstrukcije se za momentni okvir OK1, ki je vzporeden s krajšo stranico objekta, upošteva $q_{m4}= 6,5$, faktor obnašanja za momentni okvir OK2 in OK3, ki sta vzporedna z daljšo stranico objekta, pa je faktor obnašanja 6,0. Tip tal je B.

1.4 Materiali

Material, ki je uporabljen za celotno glavno nosilno konstrukcijo in sekundarno nosilno konstrukcijo, je S275 J0, z mejo plastičnega tečenja $f_y=275$ MPa.

Karakteristike materiala:

- $E = 210000$ MPa,
- $\gamma = 78,5$ kN/m³,
- $\alpha_T = 1,17 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Sovprežni strop je iz betona s kvaliteto C25/30, kvaliteta pripadajočih nosilcev je S275.

Karakteristike:

C25/30:

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$,
- $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$,
- $f_{vtk,0.05} = 1,8 \text{ MPa}$,
- $E_{cm} = 31000 \text{ MPa}$,
- $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- $\alpha_T = 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

S500:

- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$,
- $E_s = 210000 \text{ MPa}$,
- $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$,
- $\alpha_T = 1,17 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

1.5 Uporabljeni standardi

Pri izdelavi projektne dokumentacije so bili upoštevani vsi veljavni tehnični predpisi, ki zajemajo gradnjo objektov, varstvo pri delu, varstvo pred hrupom in varstvo pred potresom. Pri dimenzioniranju so upoštevani naslednji standardi Evrokoda:

SIST EN 1990:2004. Evrokod: Osnove projektiranja.

SIST EN 1991-1-1:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni Vplivi – Gostote, 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 1991-1-4:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Obtežba vetra.

SIST EN 1991-1-6:2005. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-6. del: Splošni vplivi – Vplivi med gradnjo.

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 1994-1-1:2005. Evrokod 4: Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1998-1:2005. Evrokod 8: Projektiranje potresno odpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe.

1.5 Izračuni

Vsi izračuni notranjih sil in pomikov v momentnih okvirjih so izvedeni s programom SCIA Engineer 2013.1. Maksimalni kritični moment (M_{cr}) pri stebrih in prečkah je izračunan s programom LTBeamN 1.0.1. Pomiki momentnih okvirjev so izračunani s pomočjo programa SCIA Engineer. Ostalo dimenzioniranje elementov je potekalo z lastnim računskim orodjem, ki sem ga pripravil s pomočjo priročnika in Evrokodov. Sovprežne plošče so dimenzionirane s pomočjo tabel, ki jih je pripravil proizvajalec, v tem primeru Trimo Trebnje. Prav tako so za fasadni sistem podane tabele za določitev maksimalnih razponov fasadne podkonstrukcije.

2 ANALIZA OBTEŽB

2.1 Stalna obtežba

Sestavljena je iz obtežbe strehe, fasade, medetažne konstrukcije in lastne teže konstrukcije.

Obtežba strehe:

kamnito nasutje (5 cm)	0,84 kN/m ²
zaščitni sloj	0,05 kN/m ²
HI (2-slojna, 1 cm)	0,13 kN/m ²
TI (16 cm, naklon 2 %)	0,10 kN/m ²
izravnalna masa (2 cm)	0,29 kN/m ²
sovprežna konstrukcija	2,41 kN/m ²
<u>inštalacije, zaključni sloj</u>	<u>0,50 kN/m²</u>
Skupaj:	4,32 kN/m ²

Obtežba medetažne konstrukcije v nadstropjih:

Skladiščni prostori, pisarne, restavracija:

zaključni sloj	0,46 kN/m ²
estrih (6 cm)	1,10 kN/m ²
kamena volna (6 cm)	0,10 kN/m ²
sovprežna konstrukcija	2,41 kN/m ²
<u>inštalacije, zaključni sloj</u>	<u>0,50 kN/m²</u>
Skupaj:	4,57 kN/m ²

Obtežba fasade:

fasadni sistem Qbiss one by Trimo	1,50 kN/m ²
-----------------------------------	------------------------

2.2 Koristna obtežba

Upošteva se dodatna koristna obtežba k ostalim koristnim obtežbam zaradi premičnih predelnih sten z lastno težo ≤ 2 kN/m dolžine stene: $q_k = 0,8$ kN/m²

1. etaža:

$$\text{skladišče:} \quad 7,5 + 0,8 = 8,3 \text{ kN/m}^2$$

2. etaža:

$$\text{restavracija:} \quad 3,0 + 0,8 = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

3. etaža:

$$\text{pisarne:} \quad 3,0 + 0,8 = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

2.3 Obtežba snega (nenakopičen sneg)

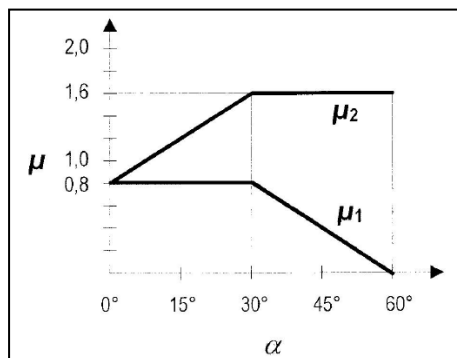
$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k$$

Objekt se nahaja v coni A2.

$$A = 300 \text{ m}$$

$$S_k = 1,239 \cdot \left[1 + \left(\frac{A^2}{728}\right)\right]$$

$$S_k = 1,239 \cdot \left[1 + \left(\frac{300^2}{728}\right)\right] = 1,51 \text{ kN/m}^2$$



Slika 4: Graf koeficienta μ v odvisnosti od naklona strehe [SIST EN 1991-1-4:2005]

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

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

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

$$S = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,51 = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

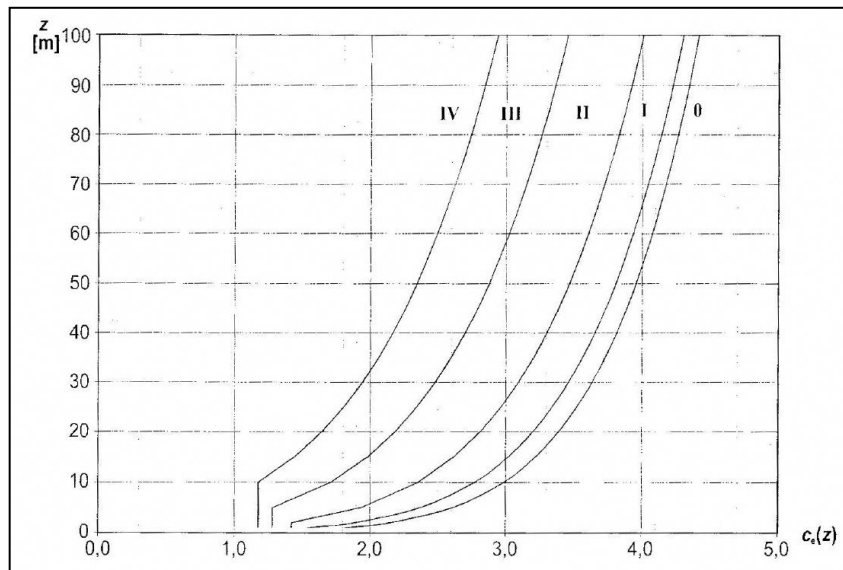
2.4 Obtežba vetra

Osnovna hitrost vetra:

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$$

Cona 1, kategorija terena III

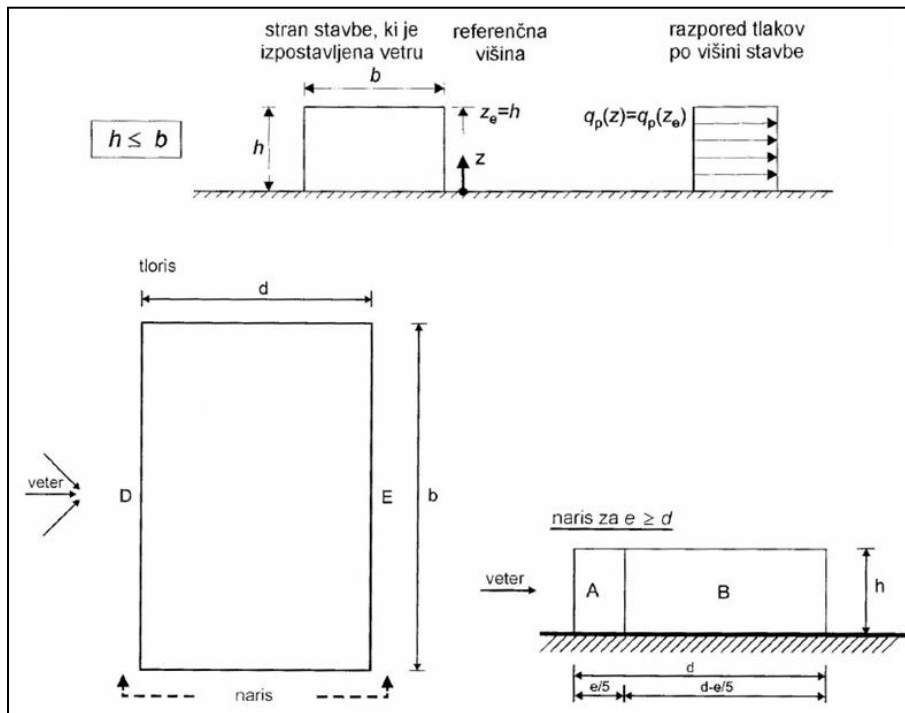
$V_{b,0} =$	20 m/s
$C_{dir} =$	1,0
$C_{season} =$	1,0
$\rho =$	1,25 kg/m ³
$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 =$	20 m/s
$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2$	
$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 250 \text{ N/m}^2 =$	0,25 kN/ m ²
$q_p(h) = c_e \cdot q_b$	
$z_{max} = 4 \cdot 3,5 + 3 \cdot 0,7 + 1,0 =$	17,1 m



Slika 5: Graf koeficienta C_e v odvisnosti od terena in višine objekta [SIST EN 1991-1-4:2005]

$c_e(z_{max}) =$	2,1
$q_p(z_{max}) = 2,1 \cdot 0,25 =$	0,53 kN/ m ²

Izračun zunanega tlaka za navpične stene: smer vetra vzporedna krajši stranici objekta



Slika 6: Razdelitev sten po področjih in razpored tlakov po višini v odvisnosti od h , b , z_0 [SIST EN 1991-1-4:2005]

$$h = 17,1 \text{ m}$$

$$b = 18,0 \text{ m}$$

$$d = 12,0 \text{ m}$$

$$e = \min \begin{cases} b = 18 \text{ m} \\ 2h = 2 \cdot 16,8 = 33,6 \text{ m} \end{cases} = 18,0 \text{ m}$$

$$e > d$$

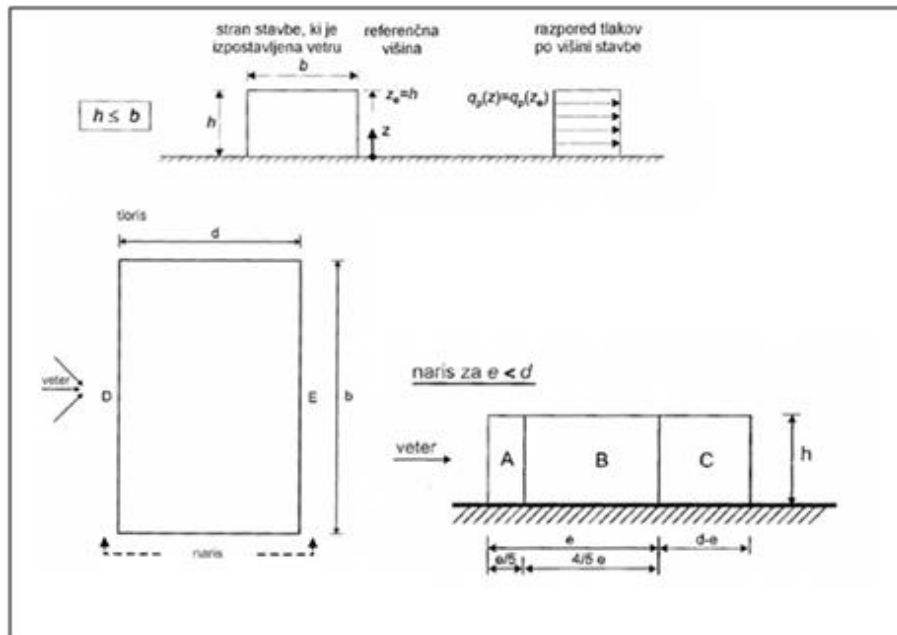
$$\frac{h}{d} = \frac{16,8}{12} = 1,4$$

$$w_e = C_{pe} \cdot q_p$$

Preglednica 1: Koeficienti in vrednosti zunanega tlaka na stene v prečni smeri

	C_{pe}	w_e
A	-1,2	-0,64
B	-0,8	-0,42
D	0,8	0,42
E	-0,52	-0,28

Izračun zunanje tlaka za navpične stene: smer vetra vzporedna daljši stranici objekta



Slika 7: Razdelitev sten na področja in razpored tlakov po višini v odvisnosti od h , b , z_0 [SIST EN 1991-1-4:2005]

$$\begin{aligned}
 h &= 17,1 \text{ m} \\
 b &= 12,0 \text{ m} \\
 d &= 18,0 \text{ m} \\
 e &= \min \left\{ \begin{array}{l} b = 12 \text{ m} \\ 2h = 2 \cdot 16,8 = 33,6 \text{ m} \end{array} \right. = 12,0 \text{ m} \\
 e &< d \\
 \frac{h}{d} &= \frac{16,8}{18} = 0,93
 \end{aligned}$$

Poenostavitev, da je pritisk vetra po celotni višini enak.

$$\begin{aligned}
 c_e(z_{\max}) &= 2,1 \\
 q_p(z_{\max}) &= 2,1 \cdot 0,25 = 0,53 \text{ kN/m}^2 \\
 w_e &= C_{pe} \cdot q_p(z_{\max})
 \end{aligned}$$

Preglednica 2: Koeficienti in vrednosti zunanje tlaka na stene v vzdolžni smeri

	C_{pe}	w_e
A	-1,2	-0,64
B	-0,8	-0,42
C	-0,5	-0,27
D	0,79	0,42
E	-0,49	-0,26

Izračun tlaka na notranje stene

$$w_i = q_p(z) \cdot C_{pi}$$

Ker za obravnavano stavbo ni mogoče določiti deleža odprtín μ , se po standardu prevzame vrednost med 0,2 in -0,3, tista, ki vpliva najmanj ugodno. Koeficient je enak za vse smeri vetra.

Kombinacija vpliva vetra na notranje in zunanje ploskve.

$$w = w_e - w_i$$

Preglednica 3: Vrednosti zunanje tlaka na stene

Področje	$C_{p,net}$		$W_{net} [kN/m^2]$	
A	$(-1,2) - 0,2 = -1,4$	$(-1,2) - 0,2 = -1,4$	-0,74	-0,74
B	$(-0,8) - 0,2 = -1,0$	$(-0,8) - 0,2 = -1,0$	-0,53	-0,53
C	/	$(-0,5) - 0,2 = -0,7$	/	-0,37
D	$0,8 - (-0,3) = 1,1$	$0,7 - (-0,3) = 1,0$	0,58	0,53
E	$(-0,52) - 0,2 = -0,72$	$(-0,49) - 0,2 = 0,69$	-0,38	-0,37

3 STATIČNI IZRAČUN FASADE IN FASADNE KONSTRUKCIJE

3.1 Določitev dovoljenih razponov za fasadno konstrukcijo

Fasadna konstrukcija je sistem Qbiss one podjetja Trimo. Debelina plošč je 150 mm.

Preglednica 4: Največji dovoljeni razpon fasadnih plošč glede na obtežbo z vetrom

		Wind load [kN/m ²]			
		0,25	0,5	0,75	1
Thickness [mm]	Max. allowed span [m]				
	support width b_{min} [mm]	40	40	41	54
	wind load +	6,50	6,50	6,50	6,37
	wind load -	6,50	6,50	6,50	5,87
	fixation	6,50	6,50	6,50	5,41
	screw number n_{min}	3	3	5	5

$w_{+} =$ 0,58 kN/m²
 $L_{max} =$ 6,50 m
 Pritrditev: $L =$ 6,50 m
 $n_{min} =$ 4 vijaki/m

Preglednica 5: Največji dovoljeni razpon fasadnih plošč glede na obtežbo z vetrom

		Wind load [kN/m ²]			
		0,25	0,5	0,75	1
Thickness [mm]	Max. allowed span [m]				
	support width b_{min} [mm]	40	40	41	54
	wind load +	6,50	6,50	6,50	6,37
	wind load -	6,50	6,50	6,50	5,87
	fixation	6,50	6,50	6,50	5,41
	screw number n_{min}	3	3	5	5

$w_{-} =$ -0,74 kN/m²
 $L_{max} =$ 6,50 m
 Pritrditev: $L =$ 6,50 m
 $n_{min} =$ 5 vijaki/m

Največji razpon glavne nosilne konstrukcije je 6 m. V tem primeru se plošče lahko pritrjujejo na glavno nosilno konstrukcijo brez dodatne podkonstrukcije med glavnimi stebri.

4 IZRAČUN SOVPREŽNE PLOŠČE

Prostori prve etaže v objektu so namenjeni skladišču, prostori druge etaže restavraciji, tretja etaža pa je namenjena pisarnam. Strešna plošča prenaša lastno težo, stalno obtežbo in obtežbo snega. Debelina sovprežnih plošč v vseh etažah znaša 12 cm. Obtežba s sovprežnih plošč se po vseh etažah prenaša v smeri daljše stranice objekta. Uporabi se pločevina Trimo HI-BOND 55. Beton je trdnostnega razreda C25/30.

4.1 Dimenzioniranje

$L = 4,0 \text{ m}$

Čepi z glavo: Tip NELSON $\phi 19$, $h_{sc} = 9 \text{ cm}$

Material:

- jeklo: S275,
- beton: C25/30,
- čepi: $f_u = 45 \text{ kN/cm}^2$,
- armatura: S500.

4.2 Dimenzioniranje sovprežne plošče in sovprežnega nosilca v prvi etaži (P01 in P02)

$$q_{sd,MSN} = 1,35 \cdot g_s + 1,5 \cdot q$$

$$g_s = 2,16 \text{ kN/m}^2$$

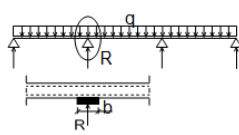
$$q_1 = 8,3 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd,MSN,1} = 1,35 \cdot g_s + 1,5 \cdot q = 1,35 \cdot 2,16 + 1,5 \cdot 8,3 = 15,4 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd,MSU,1} = g_s + q = 2,16 + 8,3 = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

Faza betoniranja:

Preglednica 6: Dopustni razponi HI-Bond pločevine v vlogi opaža – MSU in MSN

pločevina: HI-Bond 55, $t=0,8 \text{ mm}$, $f_{yk} = 250 \text{ MPa}$						
Mejna stanja uporabnosti (upogibki)						
h (cm)	$L_{dov}(\text{cm})$					
12	278					
14	261					
16	248					
18	237					
						
Mejna stanja nosilnosti						
h (cm)	upogibna nosilnost	Vnos koncentriranih sil nad vmesnimi podporami s širino				
		b = 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

$$\text{MSU: } h = 12 \text{ cm} \rightarrow L_{dov} = 2,78 \text{ m}$$

$$\text{MSN: } h = 12 \text{ cm} \rightarrow L_{dov} = 2,50 \text{ m}$$

Potrebno je podpiranje pločevine med betoniranjem. Pločevina se podpre na sredini razpona med nosilci.

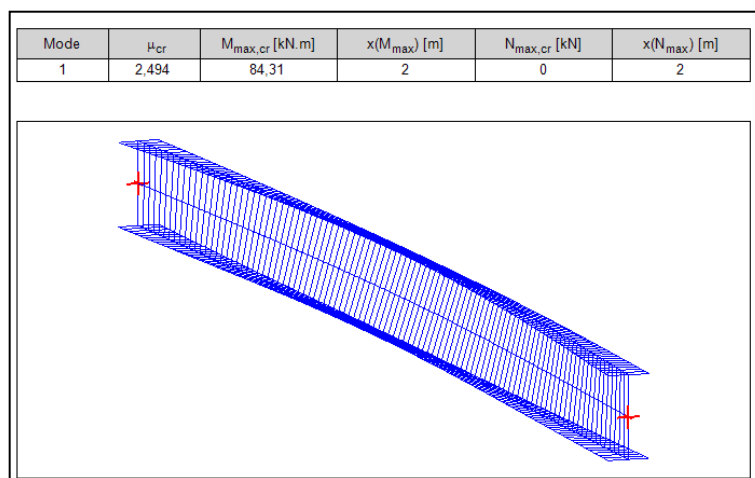
Kontrola nosilnosti prereza in bočne zvrnitve nosilca med gradnjo:

$$\begin{aligned}
 g_{nos.} &= & 0,31 \text{ kN/m} \\
 g_{pl.} &= & 2,91 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{nakop.} &= & 0,75 \text{ kN/m}^2 \\
 L &= & 4,0 \text{ m} \\
 L_s &= & 3,0 \text{ m} \\
 q &= 1,35 \cdot g_{nos.} + 1,5 \cdot (g_{pl.} \cdot L_s + q_{nakop.} \cdot L_s) \\
 q &= 1,35 \cdot 0,31 + 1,5 \cdot (2,91 \cdot 3,0 + 0,75 \cdot 3,0) = & 16,9 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Nosilnost prereza:

$$\begin{aligned}
 W_{el} &= & 324 \text{ cm}^3 \\
 M_{max} &= \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{16,9 \cdot 4^2}{8} = & 33,8 \text{ kNm} \\
 \sigma &= \frac{M}{W} = \frac{3380}{324} = 10,4 \text{ kN/cm}^2 \leq f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2 & \text{OK}
 \end{aligned}$$

Bočna zvrnitev:



Slika 8: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam

$$\begin{aligned}
 M_{max,cr.} &= & 84,3 \text{ kNm} \\
 \lambda_{LT} &= \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{324 \cdot 27,5}{8430}} = & 1,03 \\
 \chi_{LT} &= & 0,69 \\
 M_{b,Rd} &= \chi_{LT} \cdot W_{el} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,69 \cdot 324 \cdot \frac{27,5}{1,0} = & 61,5 \text{ kNm} \\
 M_{Ed,max} &= 33,8 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 61,5 \text{ kNm} & \text{OK}
 \end{aligned}$$

Nosilec med gradnjo na sredini ne potrebuje dodatne bočne podpore.

Končno stanje:

Dopustni razpon sovprežnih stropov:

Preglednica 7: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSU

pločevina: HI-Bond 55, t = 0.8 mm, $f_{yk} = 250$ MPa beton: C 20/25, C 25/30, C 30/37, C 35/45			p_{Sd} MSU (kN/m ²)											
h (cm)	g_l (kN/m ²)	vrsta betona	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
14	2,91	C 20/25	562	528	502	480	461	445	431	418	407	388	372	357
		C 25/30	566	532	505	483	464	448	434	421	410	391	375	359
		C 30/37	570	536	509	486	467	451	437	424	413	394	378	362
		C 35/45	574	540	512	490	471	454	440	427	416	396	380	364

MSU: h = 12 cm → $L_{dov} = 3,55$ m

Preglednica 8: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSN

pločevina: HI-Bond 55, t = 0,8 mm, $f_{yk} = 250$ MPa beton: C 25/30			p_{Sd} MSN (kN/m ²)												
h(cm)	g_l (kN/m ²)	metoda	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
12	2,41	B1	395	368	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	406	379	356	337	321	308	295	284
		B6	626	582	545	515	468	431	402	379	359	342	327	314	302
14	2,91	B1	401	376	354	336	308	285	267	253	240	229	220	211	204
		B2	482	451	425	404	369	342	320	302	287	274	263	253	244
		B3	497	465	438	416	380	353	330	312	296	283	271	260	251
		B4	557	521	492	467	426	395	370	349	331	316	303	291	281
		B5	613	573	541	513	469	434	407	384	364	348	333	320	309
		B6	659	617	581	552	504	467	437	412	391	373	358	344	332

MSN: Metoda B6: KS 1/1 $\phi 19$ + RA $\phi 10$ + TP $L_{dov} = 3,65$ m

Glavni nosilci IPE 240 so dolžine 4 m in so v medsebojni razdalji 3 m.

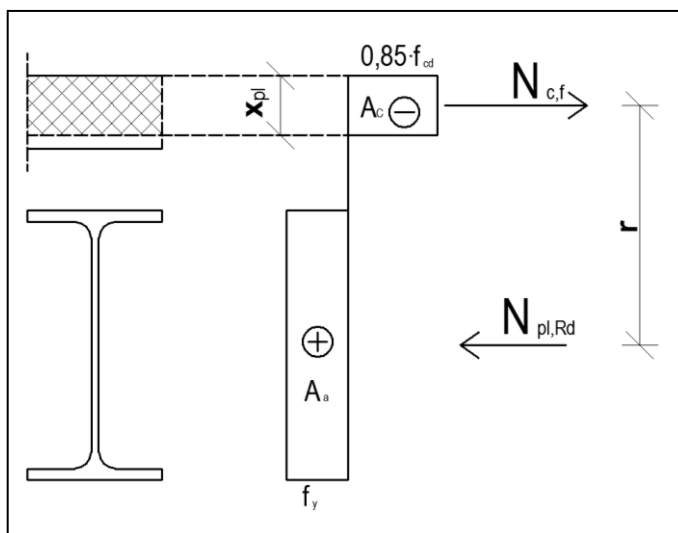
 $L_s = 3$ m $L = 4,0$ m $b_{eff} = 2 \cdot \frac{L}{8} = 2 \cdot \frac{4}{8} = 1,0$ m $b_{eff} = 1,0$ m $\leq L_s = 3,0$ m OK

Kontrola nosilnosti sovprežnega nosilca po metodi plastične analize:

IPE 240

$$A_a = 39,1 \text{ cm}^2$$

$$h_{IPE} = 24 \text{ cm}$$



Slika 9: Pomen oznak pri dimenzioniranju sovprežnega nosilca

Polno sovprežno delovanje:

$$x_c' = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{39,1 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100 \cdot 0,85 \cdot 1,67} = 7,6 \text{ cm}$$

Polno sovprežno delovanje ni možno, ker tlačna cona v betonu sega v valove pločevine. Izberem delno sovprežno delovanje:

$$r = \frac{h_{IPE}}{2} + h_{pl} - \frac{x_c'}{2} = \frac{24}{2} + 12 - \frac{7,6}{2} = 20,2 \text{ cm}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{A_a \cdot f_y \cdot r}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{39,1 \cdot 27,5 \cdot 20,2}{1,0 \cdot 100} = 217 \text{ kNm}$$

Izberem: $\eta = 0,7$

$$N_{cf} = N_a = A_a \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 39,1 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 1075 \text{ kN}$$

$$N_c = \eta \cdot N_{cf} = 0,7 \cdot 1075 = 752 \text{ kN}$$

$$M_{pl,a,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{367 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 100,9 \text{ kNm}$$

$$x_{pl} = \frac{N_c}{\eta \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{752}{0,7 \cdot 100 \cdot 0,85 \cdot 1,67} = 5,3 \text{ cm}$$

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

$$M_{Rd} = 100,9 + (217 - 100,9) \cdot 0,7 = 182 \text{ kNm}$$

$$q = (g_n + g \cdot L_s) \cdot 1,35 + 1,5 \cdot L_s \cdot q_1 =$$

$$q = (0,30 + 4,57 \cdot 3) \cdot 1,35 + 1,5 \cdot 3 \cdot 8,3 = 56,3 \text{ kN/m}$$

$$M_{y,Ed} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{56,3 \cdot 4^2}{8} = 112,5 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 112,5 \text{ kNm} \leq M_{y,Rd} = 182 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Dimenzioniranje strižnih čepov:

$$P_{Rd} = \min(P_{Rd1}; P_{Rd2})$$

Strižna nosilnost čepov:

$$P_{Rd1} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \gamma_v} = \frac{0,8 \cdot 45 \cdot 3,14 \cdot 1,9^2}{4 \cdot 1,25} = 81,6 \text{ kN}$$

Bočni pritisk na beton:

$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{9}{1,9} = 4,7 \geq 4 \rightarrow \alpha = 1,0$$

$$P_{Rd2} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} = \frac{0,29 \cdot 1,0 \cdot 1,9^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 3100}}{1,25} = 73,7 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \min(81,6; 73,7) = 73,7 \text{ kN}$$

Redukcija nosilnosti čepov v kombinaciji s profilirano pločevino:

$$n_r = 1$$

$$b_0 = 7,5 \text{ cm}$$

$$h_p = 5,5 \text{ cm}$$

$$h_{sc} = 9,0 \text{ cm}$$

$$k_t = \frac{0,7 \cdot b_0}{\sqrt{n_r \cdot h_p}} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7 \cdot 7,5}{\sqrt{1 \cdot 5,5}} \cdot \left(\frac{9}{5,5} - 1 \right) = 0,61$$

$$P_{Rd}^* = P_{Rd} \cdot k_t = 73,7 \cdot 0,61 = 44,8 \text{ kN}$$

$$V_{II} = \frac{N_c}{\frac{L}{2}} = \frac{752}{\frac{4}{2}} = 376 \text{ kN}/(2 \text{ m})$$

$$n \geq \frac{V_{II}}{n_r \cdot P_{Rd}^*} = \frac{376}{1 \cdot 44,8} = 8,4 \text{ čep}/(2 \text{ m})$$

$$e \leq \frac{L}{2} = \frac{4}{8,4} = 0,24 \text{ m}$$

Izberem: $e = 15 \text{ cm}$

Čepi so privarjeni v vsakem valu po en čep na 15 cm.

Kontrola strižne nosilnosti:

$$V_{Ed} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{56,3 \cdot 4}{2} = 112,5 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$A_v = 39,1 - 2 \cdot 12 \cdot 0,98 + (0,62 + 2 \cdot 1,5) \cdot 0,98 = 19,1 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 19,1 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 22,04 \cdot 0,62 = 16,4 \text{ cm}^2 \quad \text{OK}$$

$$V_{Pl, Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 19,1 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 303 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 112,5 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{Pl, Rd} = 151 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Strižne čepi privarimo v vsak val pločevine po 1 čep na razdalji 15 cm.

Kontrola začetnega povesa nosilca:

$$g_{pl} = 2,41 \text{ kN/m}^2$$

$$g_s = 2,16 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{IPE} = 0,301 \text{ kN/m}$$

$$q = 8,3 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 4,0 \text{ m}$$

$$L_s = 3,0 \text{ m}$$

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

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

$$h_{pl} = 12 \text{ cm}$$

$$h_c = 6,5 \text{ cm}$$

$$I_y = 3890 \text{ cm}^4$$

$$q_{začetni} = g_{IPE} + g_{pl} \cdot L_s =$$

$$q_{zač} = 0,301 + 2,41 \cdot 3,0 = 7,53 \text{ kN/m}$$

$$\delta_{zač} = \frac{5 \cdot \left(\frac{q_{zač}}{100}\right) \cdot (L \cdot 100)^4}{384 \cdot I_y \cdot E_s} = \frac{5 \cdot \left(\frac{7,53}{100}\right) \cdot (4 \cdot 100)^4}{384 \cdot 3890 \cdot 21000} = 0,31 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} = \frac{L \cdot 100}{250} = \frac{4 \cdot 100}{250} = 1,6 \text{ cm}$$

$$\delta_{zač} = 0,31 \text{ cm} < \delta_{max} = 1,6 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Kontrola končnega pomika nosilca:

$$n_0 = \frac{E_s}{E_c} = \frac{21000}{3100} = 6,77$$

$$n_{\infty} = 2 \cdot n_0 = 2 \cdot 6,77 = 13,55$$

$$A_c = b_{eff} \cdot 100 \cdot h_c = 1,0 \cdot 100 \cdot 6,5 = 650 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{h_c}{2} + (h_{pl} - h_c) + \frac{h_a}{2} = \frac{6,5}{2} + (12 - 6,5) + \frac{24}{2} = 20,75 \text{ cm}$$

$$A_{sov} = \frac{A_c}{n_\infty} + A_a = \frac{650}{13,55} + 39,1 = 87,1 \text{ cm}^2$$

$$a_c = a \cdot \left(\frac{A_a}{A_{sov}} \right) = 20,75 \cdot \left(\frac{39,1}{87,1} \right) = 9,32 \text{ cm}$$

$$a_a = \frac{a \cdot A_c}{A_{sov} \cdot n_\infty} = \frac{20,75 \cdot 650}{87,1 \cdot 13,55} = 11,43 \text{ cm}$$

$$I_c = \frac{h_c^3 \cdot b_{eff} \cdot 100}{12} = \frac{6,5^3 \cdot 1,0 \cdot 100}{12} = 2289 \text{ cm}^4$$

$$I_{sov} = I_y + A_a \cdot a_a^2 + \left(\frac{I_c + A_c \cdot a_c^2}{n_\infty} \right) =$$

$$I_{sov} = 3890 + 39,1 \cdot 11,43^2 + \left(\frac{2289 + 650 \cdot 9,32^2}{13,55} \right) = 13334 \text{ cm}^4$$

$$q_{g'+q} = (g_s + q) \cdot L_s = (2,16 + 8,3) \cdot 3,0 = 31,38 \text{ kN/m}$$

$$\delta_{g'+q} = \frac{5 \cdot \left(\frac{q_{g'+q}}{100} \right) \cdot (L \cdot 100)^4}{384 \cdot I_{sov} \cdot E_s} = \frac{5 \cdot \left(\frac{31,38}{100} \right) \cdot (4 \cdot 100)^4}{384 \cdot 13334 \cdot 21000} = 0,37 \text{ cm}$$

$$\delta_{končni} = \delta_{zac} + \delta_{g'+q} = 0,31 + 0,37 = 0,77 \text{ cm}$$

$$\delta_{končni} = 0,68 \text{ cm} < \delta_{max} = 1,6 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Negativna armatura nad podporami:

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

Izberem mrežo Q131.

Armatura za raznos obtežbe:

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

Izberem mrežo Q131.

Dimenzioniranje sovprežne plošče in sovprežnega nosilca v drugi in tretji etaži (P08 in P09)

$$q_{sd,MSN} = 1,35 \cdot g_s + 1,5 \cdot q$$

$$g_s = 2,16 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{2,3} = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd,MSN,2,3} = 1,35 \cdot g_s + 1,5 \cdot q = 1,35 \cdot 2,16 + 1,5 \cdot 3,8 = 8,62 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd,MSU,2,3} = g_s + q = 2,16 + 3,8 = 5,96 \text{ kN/m}^2$$

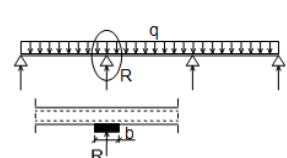
Faza betoniranja:

Preglednica 9: Dopustni razponi HI-Bond pločevine v vlogi opaža – MSN in MSU

pločevina: HI-Bond 55, t = 0,8 mm, $f_k = 250 \text{ MPa}$

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

$$\text{MSU: } h = 12 \text{ cm} \rightarrow L_{dov} = 2,78 \text{ m}$$

$$\text{MSN: } h = 12 \text{ cm} \rightarrow L_{dov} = 2,50 \text{ m}$$

Potrebno je podpiranje pločevine med betoniranjem. Pločevina se podpre na sredini razpona med nosilci.

Kontrola nosilnosti prereza in bočne zvrnitve nosilca med gradnjo:

$$g_{nos.} = 0,26 \text{ kN/m}$$

$$g_{pl.} = 2,41 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{nakop.} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 4,0 \text{ m}$$

$$L_s = 3,0 \text{ m}$$

$$q = 1,35 \cdot g_{nos.} + 1,5 \cdot (g_{pl.} \cdot L_s + q_{nakop.} \cdot L_s)$$

$$q = 1,35 \cdot 0,26 + 1,5 \cdot (2,41 \cdot 3,0 + 0,75 \cdot 3,0) = 14,6 \text{ kN/m}$$

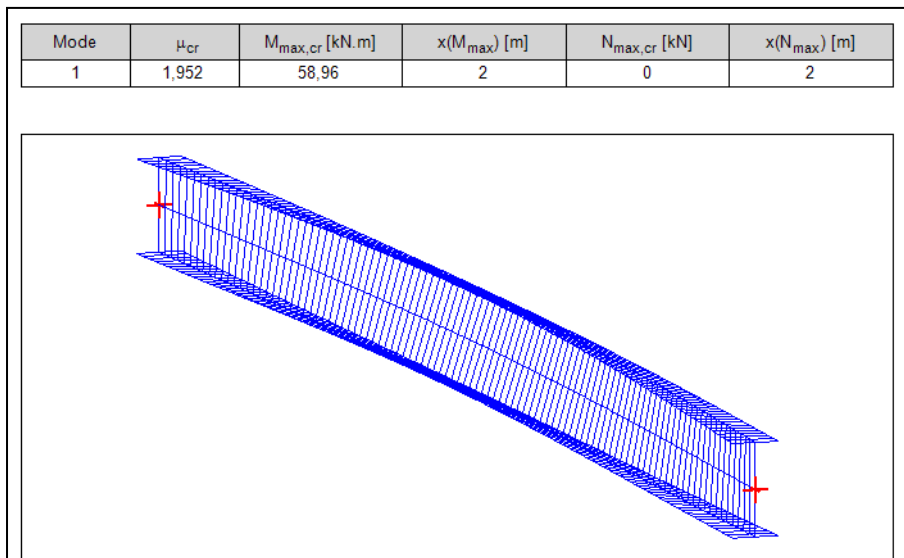
Nosilnost prereza:

$$W_{el} = 252 \text{ cm}^3$$

$$M_{\max} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{14,6 \cdot 4^2}{8} = 29,2 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{2920}{252} = 11,6 \text{ kN/cm}^2 \leq f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{OK}$$

Bočna zvrnitev:

Slika 10: Izračun kritičnega momenta $M_{\max,cr}$ s programom LTBeam

$$M_{\max,cr} = 59,0 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{252 \cdot 27,5}{5900}} = 1,08$$

$$\chi_{LT} = 0,64$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{el} \cdot \frac{f_y}{\gamma_0} = 0,64 \cdot 252 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 44,4 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,\max} = 29,2 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 44,4 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Nosilec med gradnjo na sredini ne potrebuje dodatne bočne podpore.

Končno stanje:

Dopustni razpon sovprežnih stropov:

Preglednica 10: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSU

pločevina: HI-Bond 55, t = 0.8 mm, f _{yk} = 250 MPa beton: C 20/25, C 25/30, C 30/37, C 35/45			P _{Sd} MSU (kN/m ²)											
h (cm)	g _l (kN/m ²)	vrsta betona	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
14	2,91	C 20/25	562	528	502	480	461	445	431	418	407	388	372	357
		C 25/30	566	532	505	483	464	448	434	421	410	391	375	359
		C 30/37	570	536	509	486	467	451	437	424	413	394	378	362
		C 35/45	574	540	512	490	471	454	440	427	416	396	380	364

MSU: h = 12 cm → L_{dov} = 4,10 m

Preglednica 11: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSN

pločevina: HI-Bond 55, t = 0,8 mm, f _{yk} = 250 MPa beton: C 25/30			P _{Sd} MSN (kN/m ²)												
h(cm)	g _l (kN/m ²)	metoda	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
12	2,41	B1	395	368	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	449	422	379	356	337	321	308	295	284
		B6	626	582	545	515	468	431	402	379	359	342	327	314	302
14	2,91	B1	401	376	354	336	308	285	267	253	240	229	220	211	204
		B2	482	451	425	404	369	342	320	302	287	274	263	253	244
		B3	497	465	438	416	380	353	330	312	296	283	271	260	251
		B4	557	521	492	467	426	395	370	349	331	316	303	291	281
		B5	613	573	541	513	469	434	407	384	364	348	333	320	309
		B6	659	617	581	552	504	467	437	412	391	373	358	344	332

MSN: Metoda B4: KS 1/1 φ19 + TP

L_{dov} = 3,80 m

Glavni nosilci IPE 220 so dolžine 4 m in so v medsebojni razdalji 3 m.

L_s = 3 m

L = 4,0 m

b_{eff} = 2 · $\frac{L}{8}$ = 2 · $\frac{4}{8}$ = 1,0 m

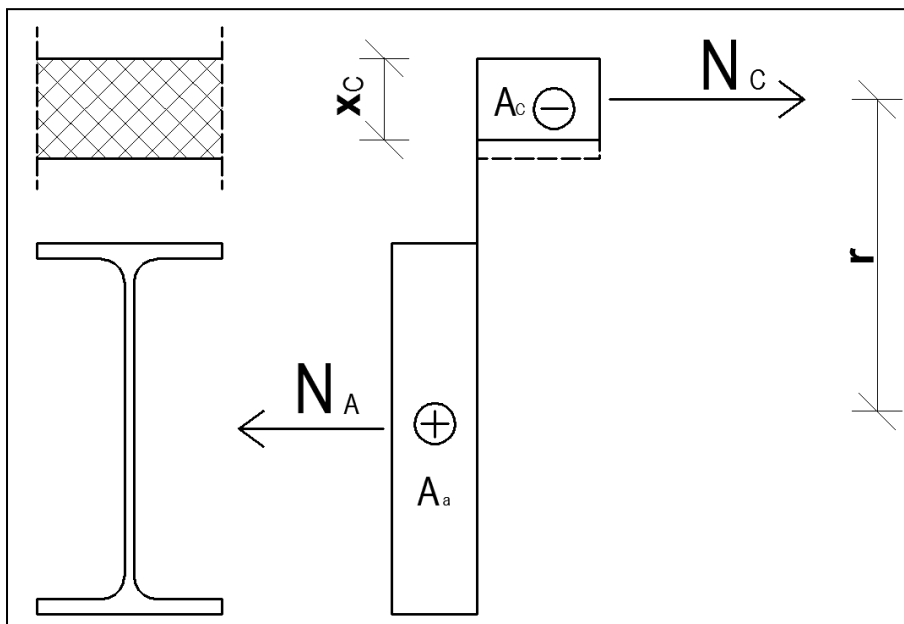
b_{eff} = 1,0 m ≤ L_s = 3,0 m OK

Kontrola nosilnosti sovprežnega nosilca po metodi plastične analize:

IPE 220

$A_a = 33,4 \text{ cm}^2$

$h_{IPE} = 22 \text{ cm}$



Slika 11: Pomen oznak pri dimenzioniranju sovprežnega nosilca

Polno sovprežno delovanje:

$$x_c = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{33,4 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100 \cdot 0,85 \cdot 1,67} = 6,47 \text{ cm}$$

$$r = \frac{h_{IPE}}{2} + h_{pl} - \frac{x_c}{2} = \frac{22}{2} + 12 - \frac{6,47}{2} = 19,76 \text{ cm}$$

$$M_{Pl,Rd} = \frac{A_a \cdot f_y \cdot r}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{33,4 \cdot 27,5 \cdot 19,76}{1,0 \cdot 100} = 181 \text{ kNm}$$

$$q = (g_n + g \cdot L_s) \cdot 1,35 + 1,5 \cdot L_s \cdot q_{2,3} =$$

$$q = (0,257 + 4,57 \cdot 3) \cdot 1,35 + 1,5 \cdot 3 \cdot 3,8 = 36,0 \text{ kN/m}$$

$$M_{y,Ed} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{36,0 \cdot 4^2}{8} = 71,9 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 71,9 \text{ kNm} \leq M_{y,Rd} = 181 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Dimenzioniranje strižnih čepov:

$$P_{Rd} = \min(P_{Rd1} ; P_{Rd2})$$

Strižna nosilnost čepov:

$$P_{Rd1} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \gamma_v} = \frac{0,8 \cdot 45 \cdot 3,14 \cdot 1,9^2}{4 \cdot 1,25} = 81,6 \text{ kN}$$

Bočni pritisk na beton:

$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{9}{1,9} = 4,7 \geq 4 \rightarrow \alpha = 1,0$$

$$P_{Rd2} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} = \frac{0,29 \cdot 1,0 \cdot 1,9^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 3100}}{1,25} = 73,7 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \min(81,6 ; 73,7) = 73,7 \text{ kN}$$

Redukcija nosilnosti čepov v kombinaciji s profilirano pločevino:

$$n_r = 1$$

$$b_0 = 7,5 \text{ cm}$$

$$h_p = 5,5 \text{ cm}$$

$$h_{sc} = 9,0 \text{ cm}$$

$$k_t = \frac{0,7 \cdot b_0}{\sqrt{n_r} \cdot h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7 \cdot 7,5}{\sqrt{1} \cdot 5,5} \cdot \left(\frac{9}{5,5} - 1 \right) = 0,61$$

$$P_{Rd}^* = P_{Rd} \cdot k_t = 73,7 \cdot 0,61 = 44,8 \text{ kN}$$

$$V_{II} = \frac{\min(b_{eff} \cdot x_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd}; N_c)}{\frac{L}{2}} = \frac{\min(100 \cdot 6,5 \cdot 0,85 \cdot 1,67; 919)}{\frac{4}{2}} = 460 \text{ kN}/(2 \text{ m})$$

$$n \geq \frac{V_{II}}{n_r \cdot P_{Rd}^*} = \frac{460}{1 \cdot 44,8} = 10,3 \text{ čep}/(2 \text{ m})$$

$$e \leq \frac{\frac{L}{2}}{n} = \frac{\frac{4}{2}}{10,3} = 0,19 \text{ m}$$

Izberem: $e = 15 \text{ cm}$

Čepi so privarjeni v vsakem valu po en čep na 15 cm.

Kontrola strižne nosilnosti:

$$V_{Ed} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{36,0 \cdot 4}{2} = 71,9 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$A_v = 33,4 - 2 \cdot 11 \cdot 0,92 + (0,59 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,92 = 15,9 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 15,9 \text{ cm}^2 \geq \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 20,16 \cdot 0,59 = 14,3 \text{ cm}^2 \quad \text{OK}$$

$$V_{Pl, Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 15,9 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 252,6 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 71,9 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{Pl, Rd} = 126,3 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Kontrola začetnega povesa nosilca:

$$g_{pl} = 2,41 \text{ kN/m}^2$$

$$g_s = 2,16 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{IPE} = 0,257 \text{ kN/m}$$

$$q = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 4,0 \text{ m}$$

$$L_s = 3,0 \text{ m}$$

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

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

$$h_{pl} = 12 \text{ cm}$$

$$h_c = 6,5 \text{ cm}$$

$$I_y = 2770 \text{ cm}^4$$

$$q_{začetni} = g_{IPE} + g_{pl} \cdot L_s =$$

$$q_{zač} = 0,257 + 2,41 \cdot 3,0 = 7,49 \text{ kN/m}$$

$$\delta_{zač} = \frac{5 \cdot \left(\frac{q_{zač}}{100}\right) \cdot (L \cdot 100)^4}{384 \cdot I_y \cdot E_s} = \frac{5 \cdot \left(\frac{7,49}{100}\right) \cdot (4 \cdot 100)^4}{384 \cdot 2770 \cdot 21000} = 0,43 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} = \frac{L \cdot 100}{250} = \frac{4 \cdot 100}{250} = 1,6 \text{ cm}$$

$$\delta_{zač} = 0,43 \text{ cm} < \delta_{max} = 1,6 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Kontrola končnega pomika nosilca:

$$\begin{aligned}n_0 &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{21000}{3100} = && 6,77 \\n_{\infty} &= 2 \cdot n_0 = 2 \cdot 6,77 = && 13,55 \\A_c &= b_{eff} \cdot 100 \cdot h_c = 1,0 \cdot 100 \cdot 6,5 = && 650 \text{ cm}^2 \\a &= \frac{h_c}{2} + (h_{pl} - h_c) + \frac{h_a}{2} = \frac{6,5}{2} + (12 - 6,5) + \frac{22}{2} = && 19,75 \text{ cm} \\A_{sov} &= \frac{A_c}{n_{\infty}} + A_a = \frac{650}{13,55} + 33,4 = && 81,4 \text{ cm}^2 \\a_c &= a \cdot \left(\frac{A_a}{A_{sov}}\right) = 19,75 \cdot \left(\frac{33,4}{81,4}\right) = && 8,11 \text{ cm} \\a_a &= \frac{a \cdot A_c}{A_{sov} \cdot n_{\infty}} = \frac{19,75 \cdot 650}{81,4 \cdot 13,55} = && 11,64 \text{ cm} \\I_c &= \frac{h_c^3 \cdot b_{eff} \cdot 100}{12} = \frac{6,5^3 \cdot 1,0 \cdot 100}{12} = && 2289 \text{ cm}^4 \\I_{sov} &= I_y + A_a \cdot a_a^2 + \left(\frac{I_c + A_c \cdot a_c^2}{n_{\infty}}\right) = \\I_{sov} &= 2770 + 33,4 \cdot 11,64^2 + \left(\frac{2289 + 650 \cdot 8,11^2}{13,55}\right) = && 10620 \text{ cm}^4 \\q_{g+q} &= (g_s + q) \cdot L_s = (2,16 + 3,8) \cdot 3,0 = && 17,88 \text{ kN/m} \\\delta_{g+q} &= \frac{5 \cdot \left(\frac{q_{g+q}}{100}\right) \cdot (L \cdot 100)^4}{384 \cdot I_{sov} \cdot E_s} = \frac{5 \cdot \left(\frac{17,88}{100}\right) \cdot (4 \cdot 100)^4}{384 \cdot 10620 \cdot 21000} = && 0,27 \text{ cm} \\\delta_{končni} &= \delta_{zač} + \delta_{g+q} = 0,56 + 0,27 = && 0,83 \text{ cm} \\\delta_{končni} &= 0,70 \text{ cm} < \delta_{max} = 1,6 \text{ cm} && \text{OK}\end{aligned}$$

Negativna armatura nad podporami:

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

Izberem mrežo Q131.

Dimenzioniranje sovprežne plošče in sovprežnega nosilca strešne etaže (P12 in P13)

IPE 200

$$q_{sd,MSN} = 1,35 \cdot g_s + 1,5 \cdot q$$

$$g_s = 2,70 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sneg} = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd,MSN, streha} = 1,35 \cdot g_s + 1,5 \cdot q = 1,35 \cdot 2,70 + 1,5 \cdot 1,21 = 5,46 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sd,MSU, streha} = g_s + q = 2,70 + 1,21 = 3,91 \text{ kN/m}^2$$

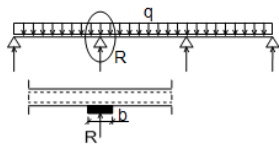
Faza betoniranja:

Preglednica 12: Dopustni razpon HI-Bond pločevine v vlogi opaža – MSN in MSU

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

Mejna stanja uporabnosti (upogibki)

h (cm)	L_{pov} (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

$$\text{MSU: } h = 12 \text{ cm} \rightarrow L_{dov} = 2,78 \text{ m}$$

$$\text{MSN: } h = 12 \text{ cm} \rightarrow L_{dov} = 2,50 \text{ m}$$

Kontrola nosilnosti prereza in bočne zvrnitve nosilca med gradnjo:

$$g_{nos.} = 0,22 \text{ kN/m}$$

$$g_{pl.} = 2,41 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{nakop.} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 4,0 \text{ m}$$

$$L_s = 3,0 \text{ m}$$

$$q = 1,35 \cdot g_{nos.} + 1,5 \cdot (g_{pl.} \cdot L_s + q_{nakop.} \cdot L_s)$$

$$q = 1,35 \cdot 0,22 + 1,5 \cdot (2,41 \cdot 3,0 + 0,75 \cdot 3,0) = 14,5 \text{ kN/m}$$

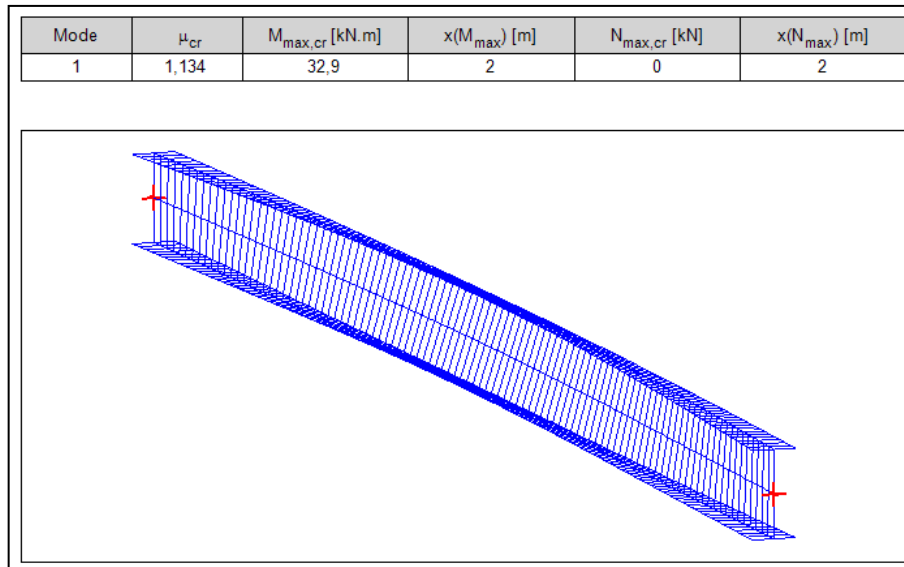
Nosilnost prereza:

$$W_{y,el} = 194 \text{ cm}^3$$

$$M_{\max} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{14,5 \cdot 4^2}{8} = 29,0 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{2903}{194} = 14,96 \text{ kN/cm}^2 \leq f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{OK}$$

Bočna zvrnitev:



Slika 12: Izračun kritičnega momenta $M_{\max,cr}$ s programom LTBeam

$$M_{\max,cr} = 32,9 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{194 \cdot 27,5}{3290}} = 1,27$$

$$\chi_{LT} = 0,34$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{el} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \left(0,34 \cdot 194 \cdot \frac{27,5}{1,0}\right) = 1814 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed,\max} = 29,0 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 18,1 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Nosilec je treba med gradnjo podpreti na sredini razpona nosilca.

Končno stanje:

Dopustni razpon sovprežnih stropov:

Preglednica 13: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSU

pločevina: HI-Bond 55, t = 0.8 mm, $f_{yk} = 250$ MPa beton: C 20/25, C 25/30, C 30/37, C 35/45			P_{sd} MSU (kN/m ²)											
h (cm)	g_i (kN/m ²)	vrsta betona	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
14	2,91	C 20/25	562	528	502	480	461	445	431	418	407	388	372	357
		C 25/30	566	532	505	483	464	448	434	421	410	391	375	359
		C 30/37	570	536	509	486	467	451	437	424	413	394	378	362
		C 35/45	574	540	512	490	471	454	440	427	416	396	380	364

MSU: h = 12 cm → $L_{dov} = 4,50$ m

Preglednica 14: Dopustni razpon HI-Bond sovprežnih stropov – MSN

pločevina: HI-Bond 55, t = 0,8 mm, $f_{yk} = 250$ MPa beton: C 25/30			P_{sd} MSN (kN/m ²)												
h (cm)	g_i (kN/m ²)	metoda	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
12	2,41	B1	395	368	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	512	488	440	406	379	356	337	321	308	295	284
		B6	626	582	545	515	468	431	402	379	359	342	327	314	302
14	2,91	B1	401	376	354	336	308	285	267	253	240	229	220	211	204
		B2	482	451	425	404	369	342	320	302	287	274	263	253	244
		B3	497	465	438	416	380	353	330	312	296	283	271	260	251
		B4	557	521	492	467	426	395	370	349	331	316	303	291	281
		B5	613	573	541	513	469	434	407	384	364	348	333	320	309
		B6	659	617	581	552	504	467	437	412	391	373	358	344	332

MSN: Metoda B4: KS 1/1 $\phi 19$ + TP $L_{dov} = 4,43$ m

Glavni nosilci IPE 200 so dolžine 4 m in so v medsebojni razdalji 3 m.

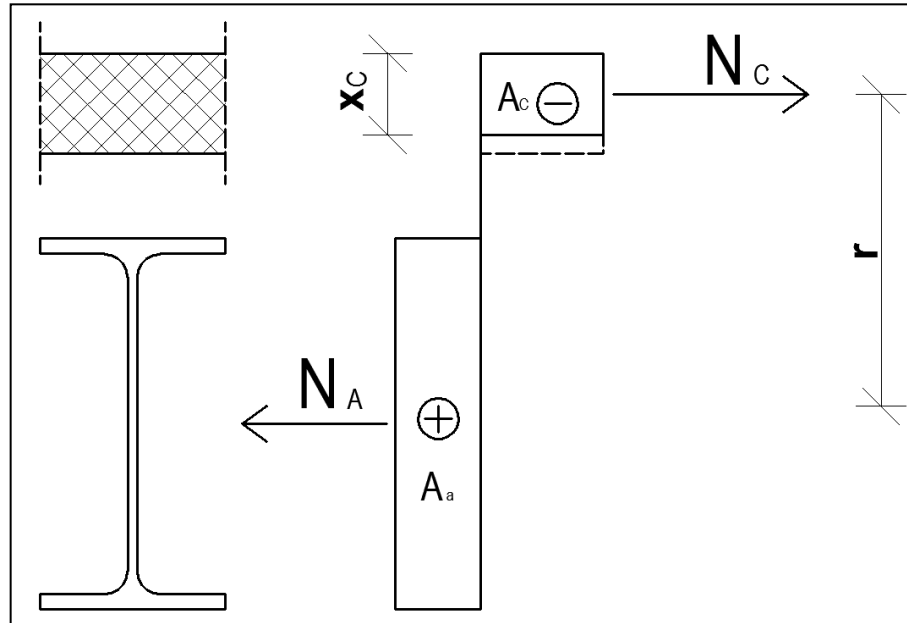
 $L_s = 3,0$ m $L = 4,0$ m $b_{eff} = 2 \cdot \frac{L}{8} = 2 \cdot \frac{4}{8} = 1,0$ m $b_{eff} = 1,0$ m $\leq L_s = 3,0$ m OK

Kontrola nosilnosti sovprežnega nosilca po metodi plastične analize:

IPE 200

$A_a =$

$28,5 \text{ cm}^2$



Slika 13: Pomen oznak pri dimenzioniranju sovprežnega nosilca

Polno sovprežno delovanje:

$$x_c = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{28,5 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100 \cdot 0,85 \cdot 1,67} = 5,5 \text{ cm}$$

$$N_c = N_a = A_a \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 28,5 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 784 \text{ kN}$$

$$r = \frac{h_{IPE}}{2} + h_{pl} - \frac{x_c}{2} = \frac{20}{2} + 12 - \frac{5,5}{2} = 19,25 \text{ cm}$$

$$M_{Rd} = N_c \cdot r = 784 \cdot 19,25 = 15090 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd} = 150,9 \text{ kNm}$$

$$q = (g_n + g \cdot L_s) \cdot 1,35 + 1,5 \cdot L_s \cdot q_{sneg} =$$

$$q = (0,22 + 4,32 \cdot 3) \cdot 1,35 + 1,5 \cdot 3 \cdot 1,21 = 23,2 \text{ kN/m}$$

$$M_{y,Ed} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{23,2 \cdot 4^2}{8} = 46,5 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 46,5 \text{ kNm} \leq M_{y,Rd} = 150,9 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Dimenzioniranje strižnih čepov:

$$P_{Rd} = \min(P_{Rd1} ; P_{Rd2})$$

Strižna nosilnost čepov:

$$P_{Rd1} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \gamma_v} = \frac{0,8 \cdot 45 \cdot 3,14 \cdot 1,9^2}{4 \cdot 1,25} = 81,6 \text{ kN}$$

Bočni pritisk na beton:

$$\frac{h_{sc}}{d} = \frac{9}{1,9} = 4,7 \geq 4 \rightarrow \alpha = 1,0$$

$$P_{Rd2} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} = \frac{0,29 \cdot 1,0 \cdot 1,9^2 \cdot \sqrt{25 \cdot 3100}}{1,25} = 73,7 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \min(81,6 ; 73,7) = 73,7 \text{ kN}$$

Redukcija nosilnosti čepov v kombinaciji s profilirano pločevino:

$$n_r = 1$$

$$b_0 = 7,5 \text{ cm}$$

$$h_p = 5,5 \text{ cm}$$

$$h_{sc} = 9,0 \text{ cm}$$

$$k_t = \frac{0,7 \cdot b_0}{\sqrt{n_r} \cdot h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = \frac{0,7 \cdot 7,5}{\sqrt{1} \cdot 5,5} \cdot \left(\frac{9}{5,5} - 1 \right) = 0,61$$

$$P_{Rd}^* = P_{Rd} \cdot k_t = 73,7 \cdot 0,61 = 44,8 \text{ kN}$$

$$V_{II} = \frac{\min(b_{eff} \cdot x_c \cdot 0,85 \cdot f_{cd} \cdot N_c)}{\frac{L}{2}} = \frac{\min(100 \cdot 6,5 \cdot 0,85 \cdot 1,67 \cdot 784)}{\frac{4}{2}} = 392 \text{ kN}/(2 \text{ m})$$

$$n \geq \frac{V_{II}}{n_r \cdot P_{Rd}^*} = \frac{392}{1 \cdot 44,8} = 8,7 \text{ čep}/(2 \text{ m})$$

$$e \leq \frac{L}{n} = \frac{4}{8,7} = 0,23 \text{ m}$$

Izberem: $e = 15 \text{ cm}$

Čepi so privarjeni v vsakem valu po en čep na 15 cm.

Kontrola začetnega povesa nosilca:

$$g_{pl} = 2,41 \text{ kN/m}^2$$

$$g_s = 1,91 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{IPE} = 0,220 \text{ kN/m}$$

$$q = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

$q_{\text{delavci}} =$	0,75 kN/m ²
$L =$	4,0 m
$L_s =$	3,0 m
$E_s =$	21000 kN/cm ²
$E_c =$	3100 kN/cm ²
$h_{pl} =$	12 cm
$h_c =$	6,5 cm
$I_y =$	1940 cm ⁴

$\delta_{\text{zač}} = 0,0 \text{ cm} \rightarrow$ Nosilec je med gradnjo podprt na sredini razpona.

Kontrola končnega pomika nosilca:

$$n_0 = \frac{E_s}{E_c} = \frac{21000}{3100} = 6,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$n_{\infty} = 2 \cdot n_0 = 2 \cdot 6,77 = 13,55$$

$$A_c = b_{\text{eff}} \cdot 100 \cdot h_c = 1,0 \cdot 100 \cdot 6,5 = 650 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{h_c}{2} + (h_{pl} - h_c) + \frac{h_a}{2} = \frac{6,5}{2} + (12 - 6,5) + \frac{20}{2} = 18,75 \text{ cm}$$

$$A_{\text{sov}} = \frac{A_c}{n_{\infty}} + A_a = \frac{650}{13,55} + 28,5 = 76,5 \text{ cm}^2$$

$$a_c = a \cdot \left(\frac{A_a}{A_{\text{sov}}} \right) = 18,75 \cdot \left(\frac{28,5}{76,5} \right) = 6,99 \text{ cm}$$

$$a_a = \frac{a \cdot A_c}{A_{\text{sov}} \cdot n_{\infty}} = \frac{18,75 \cdot 650}{76,5 \cdot 13,55} = 11,76 \text{ cm}$$

$$I_c = \frac{h_c^3 \cdot b_{\text{eff}} \cdot 100}{12} = \frac{6,5^3 \cdot 1,0 \cdot 100}{12} = 2289 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{sov}} = I_y + A_a \cdot a_a^2 + \left(\frac{I_c + A_c \cdot a_c^2}{n_{\infty}} \right) =$$

$$I_{\text{sov}} = 1940 + 28,5 \cdot 11,76^2 + \left(\frac{2289 + 650 \cdot 6,99^2}{13,55} \right) = 8395 \text{ cm}^4$$

$$q_{\text{skupaj}} = (g_s + g_{pl} + q) \cdot L_s + g_{IPE} =$$

$$q_{\text{skupaj}} = (1,91 + 2,41 + 1,21) \cdot 3,0 + 0,22 = 16,8 \text{ kN/m}$$

$$\delta_{\text{končni}} = \frac{5 \cdot \left(\frac{q_{\text{skupaj}}}{100} \right) \cdot (L \cdot 100)^4}{384 \cdot I_{\text{sov}} \cdot E_s} = \frac{5 \cdot \left(\frac{16,8}{100} \right) \cdot (4 \cdot 100)^4}{384 \cdot 8395 \cdot 21000} = 0,32 \text{ cm}$$

$$\delta_{\text{končni}} = 0,32 \text{ cm} < \delta_{\text{max}} = 1,6 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Negativna armatura nad podporami:

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

Izberem mrežo Q131.

5 IZRAČUN NOSILNE KONSTRUKCIJE

5.1 Obtežne kombinacije

Mejno stanje nosilnosti

Pri obtežnih kombinacijah mejnega stanja nosilnosti kombiniramo vplive tako, da dobimo najbolj neugodne obremenitve v posameznih elementih konstrukcije.

V kombinacijah upoštevam lastno težo, stalno obtežbo, obtežne primere vetra in snega ter obtežne primere s koristno obtežbo.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{g,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$... karakteristična lastna teža in stalna obtežba

$Q_{k,1}$... prevladujoča karakteristična spremenljiva obtežba

$Q_{k,i}$... ostale karakteristične spremenljive obtežbe

Q_{sk1} ... koristna obtežba skladišča

Q_{res} ... koristna obtežba restavracije

Q_{pis} ... koristna obtežba pisarn

S_k ... koristna obtežba snega

W_k ... koristna obtežba vetra

$Q_{sk1,K1}$... koristna obtežba skladišča, učinek šahovnice 1

$Q_{sk1,K2}$... koristna obtežba skladišča, učinek šahovnice 2

$Q_{sk1,K3}$... koristna obtežba skladišča, učinek šahovnice 3

$Q_{res,K1}$... koristna obtežba restavracije, učinek šahovnice 1

$Q_{res,K3}$... koristna obtežba restavracije, učinek šahovnice 3

$Q_{pis,K1}$... koristna obtežba pisarn, učinek šahovnice 1

$Q_{pis,K2}$... koristna obtežba pisarn, učinek šahovnice 2

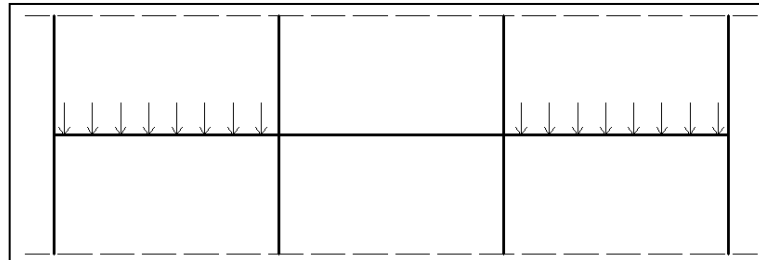
$Q_{pis,K3}$... koristna obtežba pisarn, učinek šahovnice 3

Za učinek šahovnice koristno obtežbo upoštevamo samo po določenih poljih v posamezni etaži konstrukcije. Na ta način lahko obtežba deluje bolj neugodno, kot če je po celotni etaži. Ta način je možen za okvir s pozicijo OK1.

Razdelitev koristne obtežbe po poljih v posamezni etaži konstrukcije:

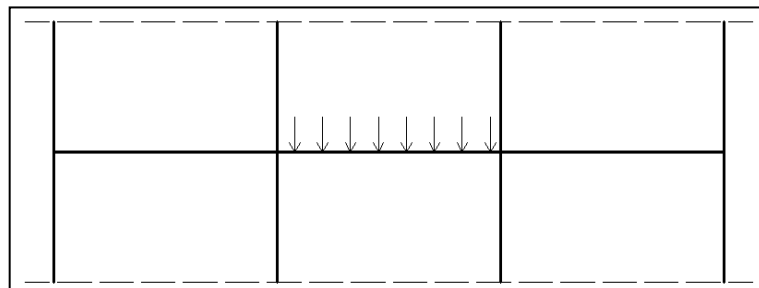


K1:



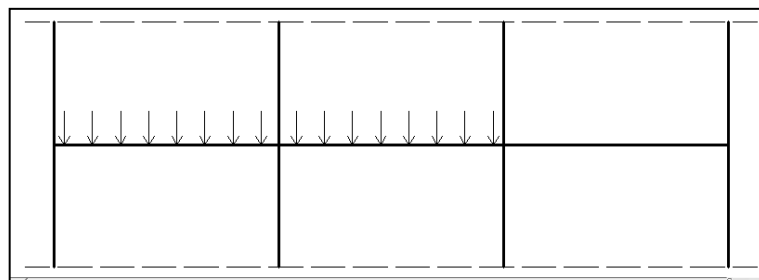
Slika 14: Prikaz pozicije koristne obtežbe pri razporeditvi K1

K2:



Slika 15: Prikaz pozicije koristne obtežbe pri razporeditvi K2

K3:



Slika 16: Prikaz pozicije koristne obtežbe pri razporeditvi K3

Merodajne obtežne kombinacije za MSN (OK1):

1. NK1: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{skl} + 1,5 \cdot Q_{res} + 1,5 \cdot Q_{pis}$
2. NK2: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{skl,K1} + 1,5 \cdot Q_{res,K2} + 1,5 \cdot Q_{pis,K1}$
3. NK3: $1,0 \cdot G \pm 1,5 \cdot w_k$
4. NK4: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{skl,K3} + 1,5 \cdot Q_{res,K3} + 1,5 \cdot Q_{pis,K3} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot s_k \pm 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_k$
5. NK5: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{skl,K2} + 1,5 \cdot Q_{res,K1} + 1,5 \cdot Q_{pis,K2} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot s_k$
6. NK6: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 1,0 \cdot Q_{skl,K3} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q_{res,K3} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q_{pis,K3} \pm 1,5 \cdot w_k$

Merodajne obtežne kombinacije za MSU (OK1):

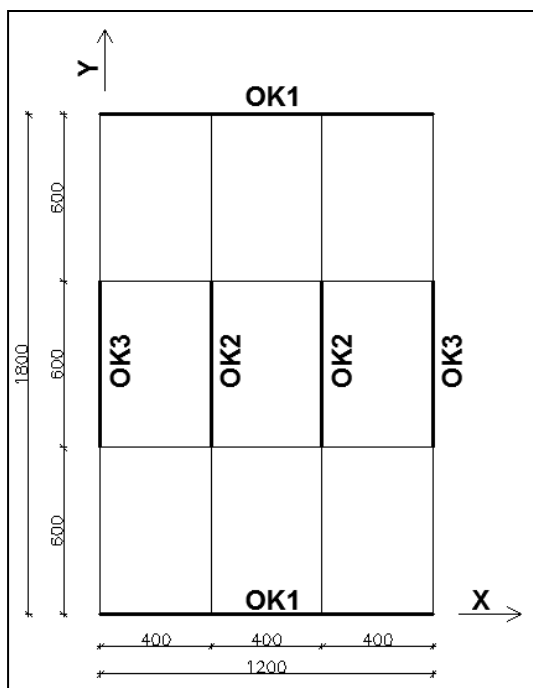
1. MSU1: $G + Q_{skl} + Q_{res} + Q_{pis} + 0,5 \cdot s_k \pm 0,6 \cdot w_k$
2. MSU2: $1,0 \cdot G \pm 1,0 \cdot w_k$
3. MSU3: $G + Q_{skl,K1} + Q_{res,K2} + Q_{pis,K1}$
4. MSU3: $G + Q_{skl,K2} + Q_{res,K1} + Q_{pis,K2}$

Merodajne obtežne kombinacije za MSN (OK2 in OK3):

1. NK1: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{skl} + 1,5 \cdot Q_{res} + 1,5 \cdot Q_{pis}$
2. NK2: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{skl} + 1,5 \cdot Q_{res} + 1,5 \cdot Q_{pis} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot s_k$
3. NK3: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{skl} + 1,5 \cdot Q_{res} + 1,5 \cdot Q_{pis} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot s_k \pm 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_k$
4. NK4: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 1,0 \cdot Q_{skl} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q_{res} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q_{pis} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot s_k \pm 1,5 \cdot w_k$
5. NK4: $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 1,0 \cdot Q_{skl} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q_{res} + 1,5 \cdot 0,7 \cdot Q_{pis} + 1,5 \cdot s_k \pm 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_k$
6. NK6: $1,0 \cdot G \pm 1,5 \cdot w_k$

Merodajne obtežne kombinacije za MSU (OK2 in OK3):

1. MSU1: $G + Q_{skl} + Q_{res} + Q_{pis} + 0,5 \cdot s_k$
2. MSU2: $1,0 \cdot G \pm 1,0 \cdot w_k$
3. MSU3: $G + Q_{skl} + Q_{res} + Q_{pis} \pm 0,6 \cdot w_k$



Slika 17: Shema pozicij okvirjev

5.2 Globalna geometrijska nepopolnost

$$\varnothing = \varnothing_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}$$

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

$$\varnothing_0 = \frac{1}{200} = 5 \text{ mm/m}$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{16,8}} = 0,488$$

$$\alpha_{mx} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{4}\right)} = 0,79$$

$$\alpha_{my} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,87$$

$$\varnothing_x = 5 \cdot 0,488 \cdot 0,79 = 1,93 \text{ mm/m}$$

$$\varnothing_y = 5 \cdot 0,488 \cdot 0,87 = 1,95 \text{ mm/m}$$

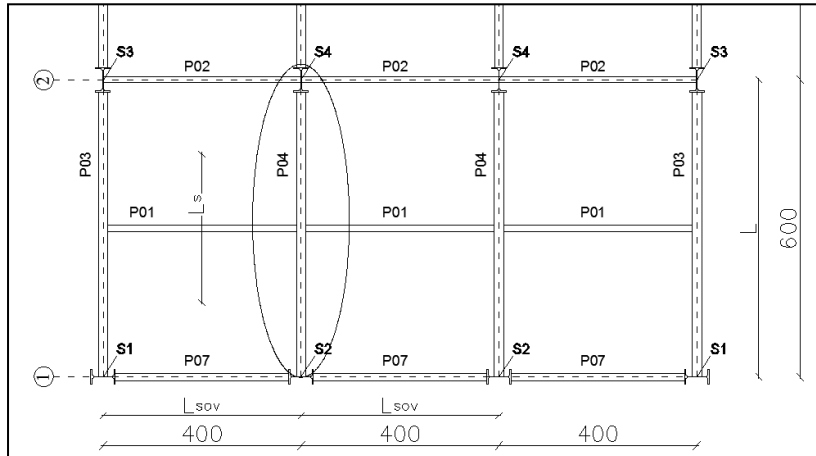
5.3 Dimenzioniranje sekundarne nosilne konstrukcije

Dimenzioniranje prečke v etaži I, pozicija P04

L_s ... sodelujoča širina sovprežnega nosilca (P01)

L_{sov} ... dolžina sovprežnega nosilca (P01)

L ... dolžina nosilca P04



Slika 18: Pozicija prečke v prvi etaži

Obežba se s sovprežnega nosilca prenese na prostoležeči nosilec.

$$g_{pl} = 4,57 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{sov} = 0,301 \text{ kN/m}$$

$$q_1 = 8,3 \text{ kN/m}^2$$

$$L_s = 3,0 \text{ m}$$

$$L_{sov} = 4,0 \text{ m}$$

$$L = 6,0 \text{ m}$$

$$F_{MSN} = L_s \cdot \frac{L_{sov}}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot q_1 + 1,35 \cdot g_{pl}) + 1,35 \cdot L_{sov} \cdot g_{sov} =$$

$$F_{MSN} = 3,0 \cdot \frac{4,0}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot 8,3 + 1,35 \cdot 4,57) + 1,35 \cdot 4,0 \cdot 0,301 = 225,1 \text{ kN}$$

$$M_{\max,ed} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{225,1 \cdot 6,0}{4} = 337,6 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{F}{2} = \frac{225,1}{2} = 112,5 \text{ kN}$$

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

$$W_{y,potr} = \frac{M_y \cdot 100 \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{337,6 \cdot 100 \cdot 1,0}{27,5} = 1227,6 \text{ cm}^3$$

Izberem profil: IPE 450

$$W_{y,el} = 1500 \text{ cm}^3$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1500 \cdot 27,5}{1,0} = 41250 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed} = 337,6 \text{ kNm} < M_{el,Rd} = 412,5 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Kompaktnost stojine na strig:

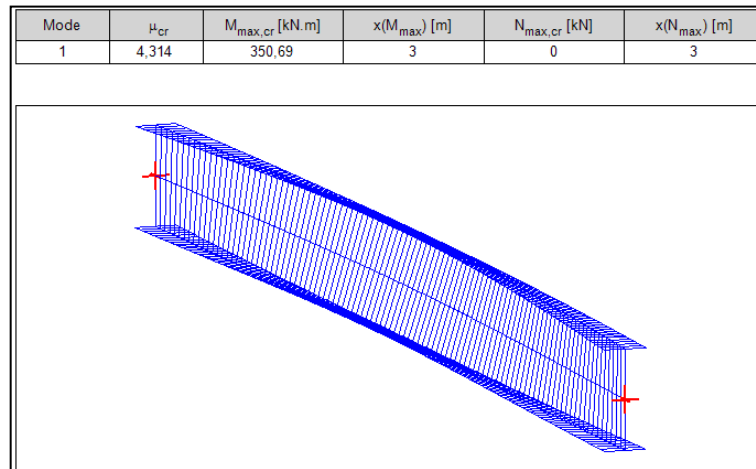
$$\begin{aligned}
 h_w &= 42,08 \text{ cm} \\
 t_w &= 0,94 \text{ cm} \\
 \varepsilon &= 0,92 \\
 \eta &= 1,2 \\
 \frac{h_w}{t_w} &= \frac{42,08}{0,94} = 44,8 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Stojina je kompaktna na strig.

$$\begin{aligned}
 V_{Rd} &= A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 42,08 \cdot 0,94 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 628,0 \text{ kN} \\
 V_{Ed} &= 112,5 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{628,0}{2} = 314,0 \text{ kN} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Bočna zvrnitev med montažnim stanjem:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{montaža}} &= L_S \cdot \frac{L_{\text{sov}}}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot q_{\text{delavci}} + 1,35 \cdot g_{\text{sov.pl.}}) + 1,35 \cdot L_{\text{sov}} \cdot g_{\text{sov}} = \\
 F_{\text{montaža}} &= 3,0 \cdot \frac{4,0}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot 0,75 + 1,35 \cdot 2,41) + 1,35 \cdot 4,0 \cdot 0,301 = 54,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Slika 19: Izračun kritičnega momenta $M_{\text{max,cr}}$ s programom LTBeam

$$\frac{h}{b} = \frac{40}{18} = 2,22 > 2 \quad \rightarrow \quad \text{Uklonska krivulja b}$$

$$M_{\text{max,cr}} = 351 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot 27,5}{35100}} = 1,08$$

$$\chi_{LT} = 0,55$$

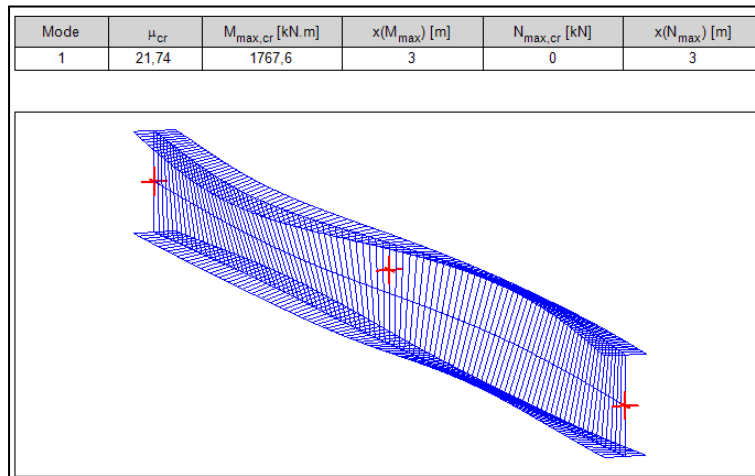
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_0} = 0,55 \cdot 1500 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 22690 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed, \text{montaža}} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{54,2 \cdot 6}{4} = 81,3 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 226,9 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Bočna zvrnitev v končnem stanju:

$F_{MSN} =$

225,1 kN

Slika 20: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam

$$\frac{h}{b} = \frac{40}{18} = 2,22 > 2 \quad \rightarrow \quad \text{Uklonska krivulja b}$$

$$M_{max,cr} = 1768 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot 27,5}{176800}} = 0,48$$

$$\chi_{LT} = 0,90$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_0 \cdot 100} = 0,90 \cdot 1500 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot 100} = 371 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,max} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{225,1 \cdot 6}{4} = 337,6 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 371 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Kontrola pomikov:

$$L = 6,0 \text{ m}$$

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

$$I_y = 23130 \text{ cm}^4$$

$$F_{MSU} = L_s \cdot \frac{L_{sov}}{2} \cdot 2 \cdot (q_1 + g_{pl}) + L_{sov} \cdot g_{sov} =$$

$$F_{MSU} = 3,0 \cdot \frac{4,0}{2} \cdot 2 \cdot (8,3 + 4,57) + 4,0 \cdot 0,301 = 157,8 \text{ kN}$$

$$w_{max} = \frac{L \cdot 1000}{250} = \frac{6,0 \cdot 1000}{250} = 24,0 \text{ mm}$$

$$w_{dej} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{157,8 \cdot (6,0 \cdot 100)^3}{48 \cdot 21000 \cdot 33740} = 10,0 \text{ mm}$$

$$w_{dej} = 10,0 \text{ mm} \leq w_{max} = 24,0 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Pomiki so v dovoljenih mejah.

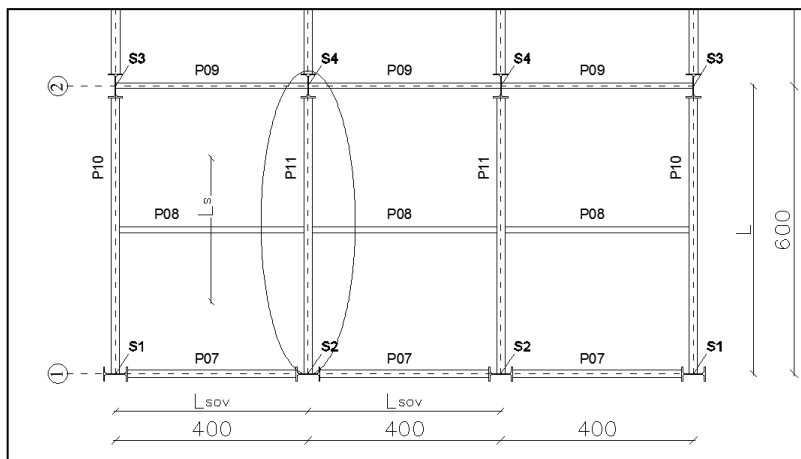
Profil IPE 450 v montažnem in končnem stanju ustreza poziciji P03 in P04.

Dimenzioniranje prečke v etaži II in III, pozicija P11

L_s ... sodelujoča širina sovprežnega nosilca (P08)

L_{sov} ... dolžina sovprežnega nosilca (P08)

L ... dolžina nosilca P11



Slika 21: Pozicija prečke v drugi in tretji etaži

Obtežba se s sovprežnega nosilca prenese na prostoležeči nosilec.

$$g_{pl} = 4,57 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{sov} = 0,257 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

$$L_s = 3,0 \text{ m}$$

$$L_{sov} = 4,0 \text{ m}$$

$$L = 6,0 \text{ m}$$

$$F_{MSN} = L_s \cdot \frac{L_{sov}}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot q_{2,3} + 1,35 \cdot g_{pl}) + 1,35 \cdot L_{sov} \cdot g_{sov} =$$

$$F_{MSN} = 3,0 \cdot \frac{4,0}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot 3,8 + 1,35 \cdot 4,57) + 1,35 \cdot 4,0 \cdot 0,257 = 143,8 \text{ kN}$$

$$M_{max,ed} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{143,8 \cdot 6,0}{4} = 215,7 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{F}{2} = \frac{143,8}{2} = 71,9 \text{ kN}$$

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

$$W_{y,potr} = \frac{M_y \cdot 100 \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{215,7 \cdot 100 \cdot 1,0}{27,5} = 784,5 \text{ cm}^3$$

Izberem profil: IPE 360

$$W_{y,pl} = 1019 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1019 \cdot 27,5}{1,0} = 28020 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed} = 215,7 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 280,2 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Kompaktnost stojine na strig:

$$h_w = 33,46 \text{ cm}$$

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

$$\varepsilon = 0,92$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{33,46}{0,80} = 41,8 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

Stojina je kompaktna na strig.

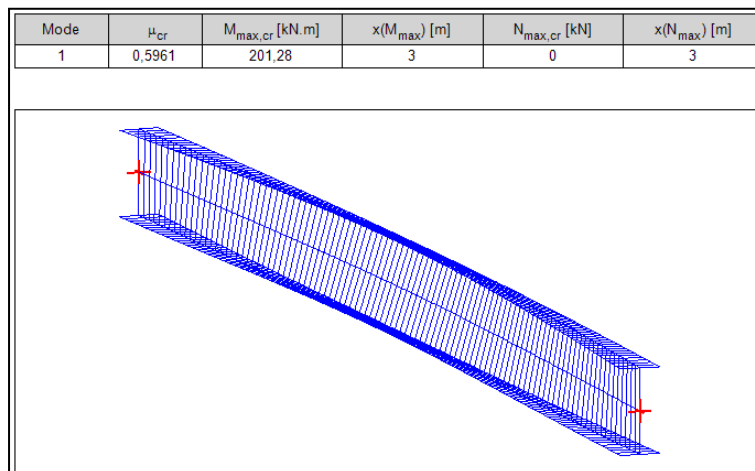
$$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 33,46 \cdot 0,80 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 425,0 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 71,9 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{425}{2} = 212,5 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Bočna zvrnitev med montažnim stanjem:

$$F_{\text{montaža}} = L_S \cdot \frac{L_{\text{sov}}}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot q_{\text{delavci}} + 1,35 \cdot g_{\text{sov.pl.}}) + 1,35 \cdot L_{\text{sov}} \cdot g_{\text{sov}} =$$

$$F_{\text{montaža}} = 3,0 \cdot \frac{4,0}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot 0,75 + 1,35 \cdot 2,41) + 1,35 \cdot 4,0 \cdot 0,257 = 53,9 \text{ kN}$$



Slika 22: Izračun kritičnega momenta $M_{\text{max,cr}}$ s programom LTBeam

$$\frac{h}{b} = \frac{36}{17} = 2,12 > 2 \quad \rightarrow \quad \text{Uklonska krivulja b}$$

$$M_{\text{max,cr}} = 201 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1019 \cdot 27,5}{20100}} = 1,18$$

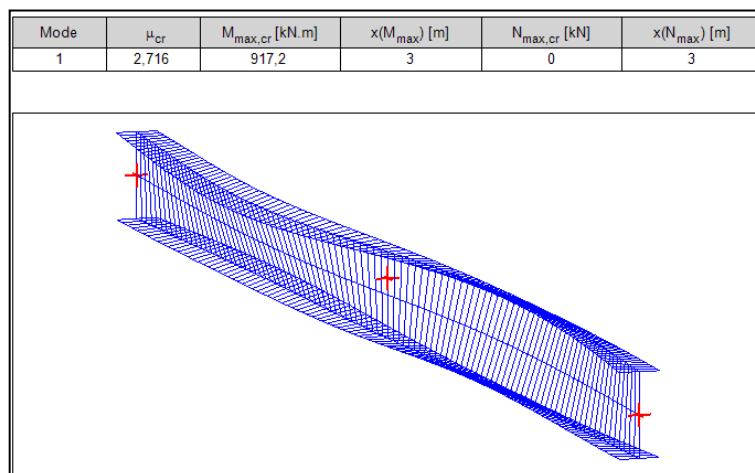
$$\chi_{LT} = 0,55$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_0} = 0,55 \cdot 1019 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 15410 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed, \text{montaža}} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{53,9 \cdot 6}{4} = 80,9 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 154,1 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Bočna zvrnitev v končnem stanju:

$$F_{MSN} = 143,8 \text{ kN}$$



Slika 23: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam

$$\frac{h}{b} = \frac{36}{17} = 2,12 > 2 \quad \rightarrow \quad \text{Uklonska krivulja b}$$

$$M_{max,cr} = 917 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1019 \cdot 27,5}{91700}} = 0,55$$

$$\chi_{LT} = 0,85$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_0} = 0,85 \cdot 1019 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 23820 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed,max} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{143,8 \cdot 6}{4} = 215,7 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 238,2 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Kontrola pomikov:

$$L = 6,0 \text{ m}$$

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

$$I_y = 23130 \text{ cm}^4$$

$$F_{MSU} = L_s \cdot \frac{L_{sov}}{2} \cdot 2 \cdot (q_{2,3} + g_{pl}) + L_{sov} \cdot g_{sov} =$$

$$F_{MSU} = 3,0 \cdot \frac{4,0}{2} \cdot 2 \cdot (3,8 + 4,57) + 4,0 \cdot 0,257 = 101,5 \text{ kN}$$

$$w_{max} = \frac{L \cdot 1000}{250} = \frac{6,0 \cdot 1000}{250} = 24,0 \text{ mm}$$

$$w_{dej} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{101,5 \cdot (6,0 \cdot 100)^3}{48 \cdot 21000 \cdot 16270} = 13,4 \text{ mm}$$

$$w_{dej} = 13,4 \text{ mm} \leq w_{max} = 24,0 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Pomiki so v dovoljenih mejah.

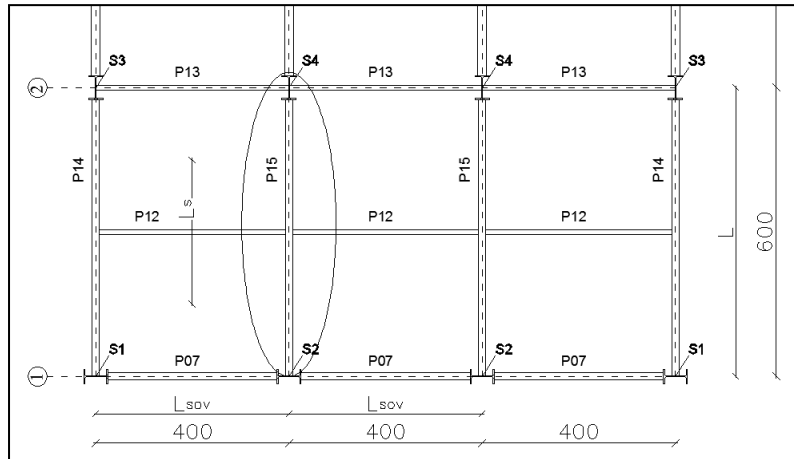
Profil IPE 360 v montažnem in končnem stanju ustreza poziciji P10 in P11.

Dimenzioniranje prečke v etaži IV, pozicija P15

L_s ... sodelujoča širina sovprežnega nosilca (P12)

L_{sov} ... dolžina sovprežnega nosilca (P12)

L ... dolžina nosilca P15



Slika 24: Pozicija prečke v drugi in tretji etaži

Obtežba se s sovprežnega nosilca prenese na prostoležeči nosilec.

$$g_{pl} = 4,32 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{sov} = 0,220 \text{ kN/m}$$

$$q_s = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

$$L_s = 3,0 \text{ m}$$

$$L_{sov} = 4,0 \text{ m}$$

$$L = 6,0 \text{ m}$$

$$F_{MSN} = L_s \cdot \frac{L_{sov}}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot s_k + 1,35 \cdot g_{pl}) + 1,35 \cdot L_{sov} \cdot g_{sov} =$$

$$F_{MSN} = 3,0 \cdot \frac{4,0}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot 1,21 + 1,35 \cdot 4,32) + 1,35 \cdot 4,0 \cdot 0,220 = 93,0 \text{ kN}$$

$$M_{\max,ed} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{93,0 \cdot 6,0}{4} = 139,4 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{F}{2} = \frac{93,0}{2} = 46,5 \text{ kN}$$

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

$$W_{y,potr} = \frac{M_y \cdot 100 \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{139,4 \cdot 100 \cdot 1,0}{27,5} = 507 \text{ cm}^3$$

Izberem profil: IPE 300

$$W_{y,pl} = 628 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{628 \cdot 27,5}{1,0} = 17270 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed} = 139,4 \text{ kNm} < M_{pl,Rd} = 172,7 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Kompaktnost stojine na strig:

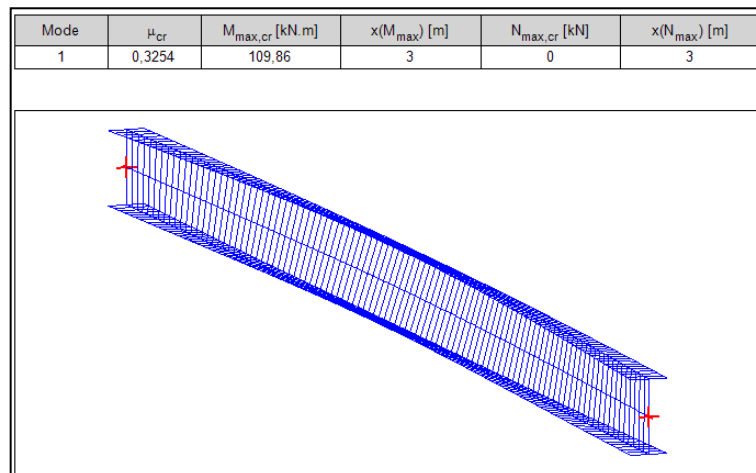
$$\begin{aligned}
 h_w &= 27,86 \text{ cm} \\
 t_w &= 0,71 \text{ cm} \\
 \varepsilon &= 0,92 \\
 \eta &= 1,2 \\
 \frac{h_w}{t_w} = \frac{27,86}{0,71} = 41,8 &\leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Stojina je kompaktna na strig.

$$\begin{aligned}
 V_{Rd} &= A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 27,9 \cdot 0,71 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 314,1 \text{ kN} \\
 V_{Ed} &= 71,9 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{314,1}{2} = 157,0 \text{ kN} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Bočna zvrnitev med montažnim stanjem:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{montaža}} &= L_s \cdot \frac{L_{\text{sov}}}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot q_{\text{delavci}} + 1,35 \cdot g_{\text{sov.pl.}}) + 1,35 \cdot L_{\text{sov}} \cdot g_{\text{sov}} = \\
 F_{\text{montaža}} &= 3,0 \cdot \frac{4,0}{2} \cdot 2 \cdot (1,5 \cdot 0,75 + 1,35 \cdot 2,41) + 1,35 \cdot 4,0 \cdot 0,220 = 53,7 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Slika 25: Izračun kritičnega momenta $M_{\text{max,cr}}$ s programom LTBeam

$$\frac{h}{b} = \frac{30}{15} = 2,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Uklonska krivulja a}$$

$$M_{\text{max,cr}} = 110 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{628 \cdot 27,5}{11000}} = 1,25$$

$$\chi_{LT} = 0,50$$

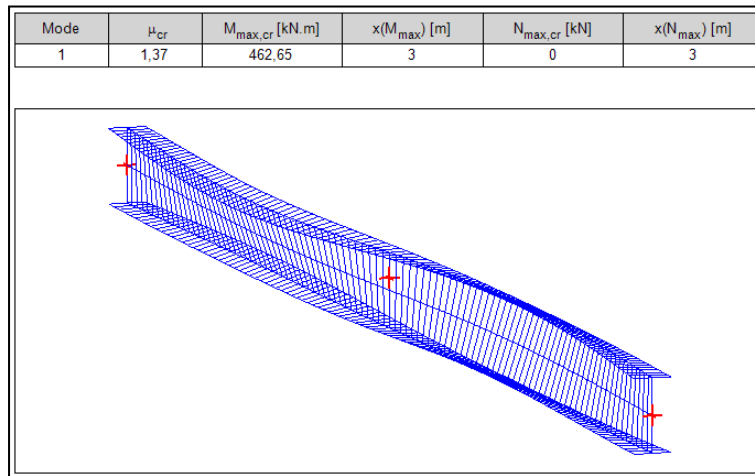
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_0} = 0,50 \cdot 628 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 8640 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed,\text{montaža}} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{53,7 \cdot 6}{4} = 80,6 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 86,4 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Bočna zvrnitev v končnem stanju:

$F_{MSN} =$

93,0 kN

Slika 26: Izračun kritičnega momenta $M_{max,cr}$ s programom LTBeam

$$\frac{h}{b} = \frac{30}{15} = 2,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Uklonska krivulja a}$$

$$M_{max,cr} = 463 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{628 \cdot 27,5}{46300}} = 0,61$$

$$\chi_{LT} = 0,88$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_0} = 0,88 \cdot 628 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 15200 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed,max} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{93 \cdot 6}{4} = 139,5 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 152,0 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

Kontrola pomikov:

$$L = 6,0 \text{ m}$$

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

$$I_y = 8360 \text{ cm}^4$$

$$F_{MSU} = L_s \cdot \frac{L_{sov}}{2} \cdot 2 \cdot (s_k + g_{pl}) + L_{sov} \cdot g_{sov} =$$

$$F_{MSU} = 3,0 \cdot \frac{4,0}{2} \cdot 2 \cdot (1,21 + 4,32) + 4,0 \cdot 0,220 = 67,2 \text{ kN}$$

$$w_{max} = \frac{L \cdot 1000}{250} = \frac{6,0 \cdot 1000}{250} = 24,0 \text{ mm}$$

$$w_{dej} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{67,2 \cdot (6,0 \cdot 100)^3}{48 \cdot 21000 \cdot 8360} = 17,2 \text{ mm}$$

$$w_{dej} = 17,2 \text{ mm} \leq w_{max} = 24,0 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Pomiki so v dovoljenih mejah.

Profil IPE 300 v montažnem in končnem stanju ustreza poziciji P14 in P15.

5.4 Stabilnostna analiza okvirja

Obtežne kombinacije za stabilnostno analizo so enake kombinacijam za preverjanje mejnega stanja uporabnosti.

Preglednica 15: Stabilnostna analiza okvirjev OK1, OK2 in OK3 z izračunom faktorja f (α_{cr})

Critical load coefficients		Critical load coefficients		Critical load coefficients	
Student version *Student version* *Student version* *Student ve		*Student version* *Student version* *Student version* *Student vers		*Student version* *Student version* *Student version* *Student vers	
N	f	N	f	N	f
Student version *Student version* *Student version* *Stu		*Student version* *Student version* *Student version* *Stude		*Student version* *Student version* *Student version* *Stude	
Stability combination : S1					
1	40,29	1	24,89	1	34,58
2	97,96	2	56,79	2	79,60
3	182,59	3	103,58	3	144,55
4	250,82	4	161,64	4	226,94
Stability combination : S2					
1	45,54	1	24,14	1	33,79
2	109,13	2	54,60	2	77,31
3	204,30	3	99,05	3	139,85
4	302,80	4	158,20	4	223,26
Stability combination : S3					
1	72,62	1	24,12	1	33,76
2	174,67	2	54,56	2	77,23
3	320,41	3	98,98	3	139,71
4	499,71	4	156,75	4	220,00
Stability combination : S4					
1	42,82	1	26,37	1	36,05
2	102,84	2	58,54	2	81,39
3	189,28	3	106,54	3	147,55
4	250,75	4	167,11	4	228,86
Stability combination : S5					
1	45,88	1	25,53	1	35,21
2	111,55	2	56,18	2	79,01
3	203,20	3	101,78	3	142,75
4	296,70	4	164,60	4	228,34
Stability combination : S6					
1	46,53	1	52,53	1	63,66
2	112,38	2	117,17	2	145,07
3	206,53	3	207,71	3	257,26
4	284,28	4	334,93	4	406,05

Pri iskanju koeficienta α_{cr} , se upošteva najmanjša vrednost izmed vseh koeficientov.

$$\alpha_{cr,min,1} = 40,3$$

$$\alpha_{cr,min,2} = 24,1$$

$$\alpha_{cr,min,3} = 33,8$$

$$\alpha_{cr,min} = \min(40,3; 24,1; 33,8)$$

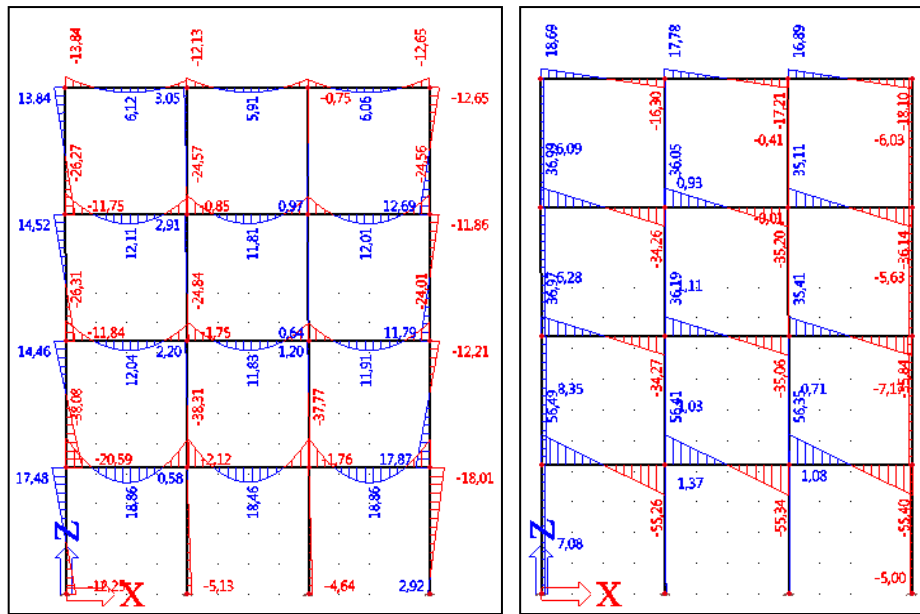
$$\alpha_{cr,min} = 24,1$$

Ker je faktor elastične kritične obtežbe $\alpha_{cr} = 24,1 > 15$, lahko za analizo okvirja uporabimo teorijo prvega reda. Pri izračunih in kontrolah elementov uporabim teorijo drugega reda.

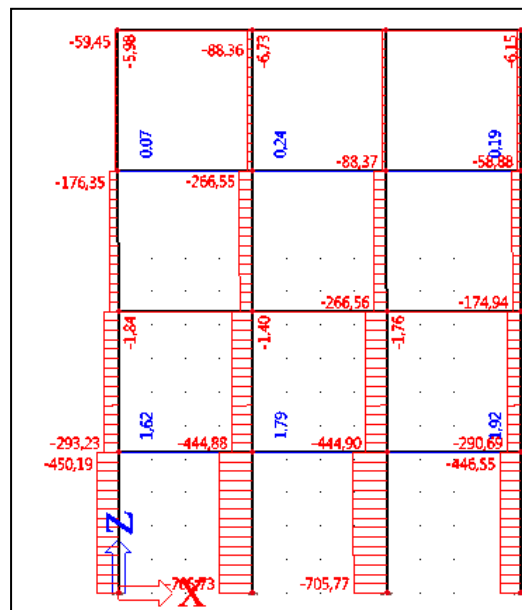
5.5 Dimenzioniranje momentnega OK1

Statična globalna analiza konstrukcije je bila izvedena z računalniškim programom SCIA Engineer 2013. Program podpira možnost izračuna po teoriji drugega reda. Maksimalni kritični moment M_{cr} je izračunan s programom LTBeamN.

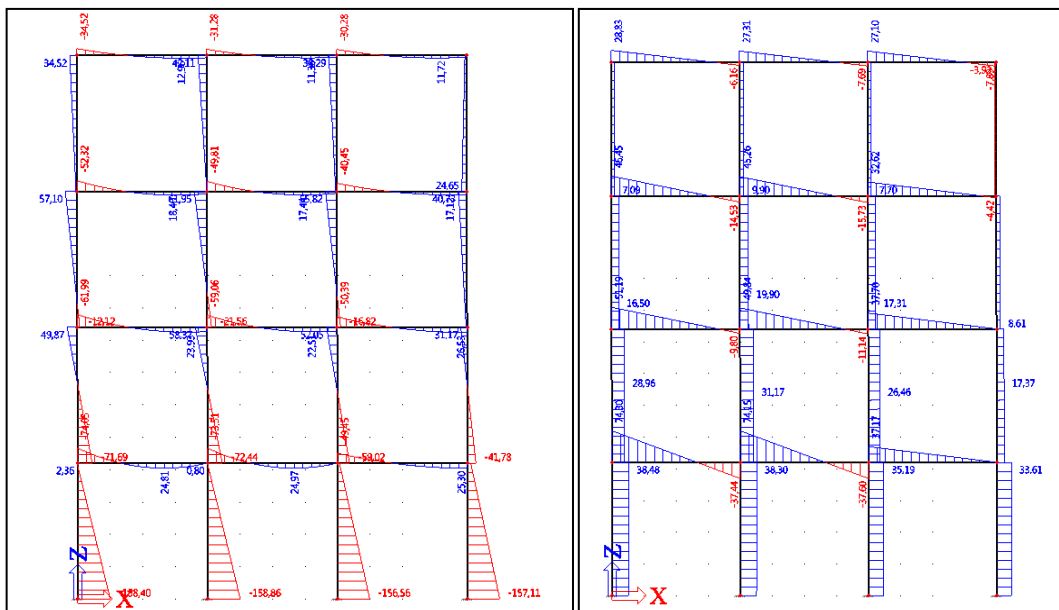
Pri prečkah uporabim profile IPE 300. Prečke se priključujejo na stebre, stebri pa potekajo kontinuirano skozi vse etaže. Za stebre uporabim profile HEB 500.



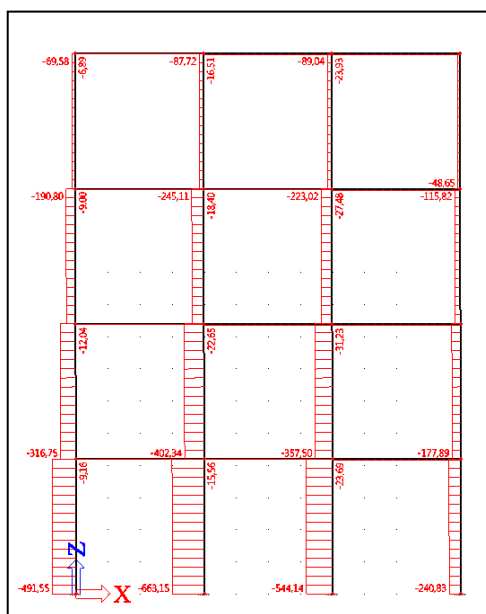
Slika 27: Momenti in prečne sile pri kombinaciji NK1



Slika 28: Momenti, prečne sile in osne sile pri kombinaciji NK1



Slika 29: Momenti in prečne sile pri kombinaciji NK6

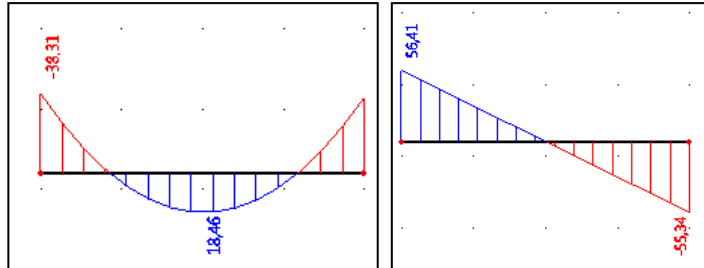


Slika 30: Osne sile pri kombinaciji NK6

Kontrola prečke IPE 300 v pritličju (pozicija P07)

Kombinacija NK1:

Prečka IPE 300 je bočno podprta s sovprežno ploščo, zato bočna zvrnitev ni možna.



Slika 31: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK1

$$M_{\max,Ed} = -38,3 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 56,4 \text{ kN}$$

$$W_{y,el} = 557 \text{ cm}^3$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{557 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 153,2 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 38,3 \text{ kNm} < M_{el,Rd} = 153,2 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

$$\text{Izkoriščenost prečke: } \frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \cdot 100 = \frac{38,3}{153,2} \cdot 100 = 25 \%$$

Zaradi merodajnosti potresne obtežbe je izkoriščenost profila pri nepotresni obtežbi majhna.

Kompaktnost stojine na strig:

$$h_w = 27,86 \text{ cm}$$

$$t_w = 0,71 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{27,86}{0,71} = 39,2 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

Stojina je kompaktna na strig.

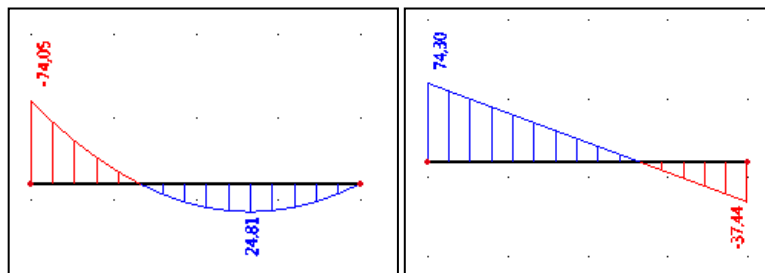
$$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 27,86 \cdot 0,71 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 314,1 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 56,4 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{314,1}{2} = 157,0 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Interakcije M-V ni.

Kombinacija NK6:

Prečka IPE 300 je bočno podprta s sovprežno ploščo, zato bočna zvrnitev ni možna.



Slika 32: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK6

$$M_{\max, Ed} = -74,1 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 74,3 \text{ kN}$$

$$W_{y, el} = 557 \text{ cm}^3$$

$$M_{el, Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{557 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 153,2 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 74,1 \text{ kNm} < M_{el, Rd} = 153,2 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

$$\text{Izkoriščenost prečke: } \frac{M_{Ed}}{M_{el, Rd}} \cdot 100 = \frac{74,1}{153,2} \cdot 100 = 48 \%$$

Zaradi merodajnosti potresne obtežbe je izkoriščenost profila pri nepotresni obtežbi majhna.

Kompaktnost stojine na strig:

$$h_w = 27,86 \text{ cm}$$

$$t_w = 0,71 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{27,86}{0,71} = 39,2 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

Stojina je kompaktna na strig.

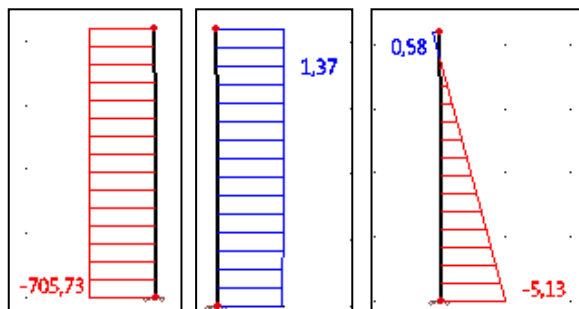
$$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 27,86 \cdot 0,71 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 314,1 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 74,3 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{314,1}{2} = 157,0 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Interakcije M-V ni.

Kontrola stebra HEB 500 v pritličju (pozicija S2)

Kombinacija NK1:



Slika 33: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebri pri kombinaciji NK1

$N_{\max} =$	-706 kN
$M_{\max} =$	-5,1 kNm
$V_{Ed} =$	-1,4 kN
$W_{y,el} =$	4290 cm ³
$A =$	239 cm ²

Kompaktnost stojine na strig:

$h_w =$	44,4 cm
$t_w =$	1,45 cm
$\varepsilon =$	0,92
$\eta =$	1,2
$\frac{h_w}{t_w} = \frac{44,4}{1,45} = 30,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2$	OK

Stojina je kompaktna na strig.

$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 44,4 \cdot 1,45 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} =$	1022,2 kN
$V_{Ed} = 1,4 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{1022,2}{2} = 511,1 \text{ kN}$	OK

Interakcije M-V ni.

Kontrola nosilnosti prereza:

$M_{el, Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{4290 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} =$	1180 kNm
$N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 239 \cdot \frac{27,5}{1,0} =$	6573 kN
$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{5,1}{1180} + \frac{706}{6573} = 0,11 \leq 1,0$	OK

Kontrola stabilnosti elementa:

$$\frac{h}{b} = \frac{50}{30} = 1,67$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

Os: - y-y krivulja: a
 - z-z krivulja: b

$$L_u = 420 \text{ cm}$$

$$i_y = 21,2 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [MPa]}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\lambda_y = \frac{L_u}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{21,2 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,23$$

$$\chi_y = 0,98$$

$$\lambda_z = \frac{L_u}{i_z \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{7,27 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,67$$

$$\chi_z = 0,79$$

$$M_{cr} = 17912 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4290 \cdot 27,5}{1791200}} = 0,27$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{0}{5,1} = 0$$

$$-1 \leq \psi = 0 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Nelinearna analiza z imperfekcijo:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6 \geq 0,4 \quad 0,6$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} \right) =$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,23 \cdot \frac{706}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 0,61$$

$$k_{yy, \max} = 0,6 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{706}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 0,64$$

$$k_{yy} = 0,61 < k_{yy, \max} = 0,64 \quad \text{OK}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,61 = 0,37$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} =$$

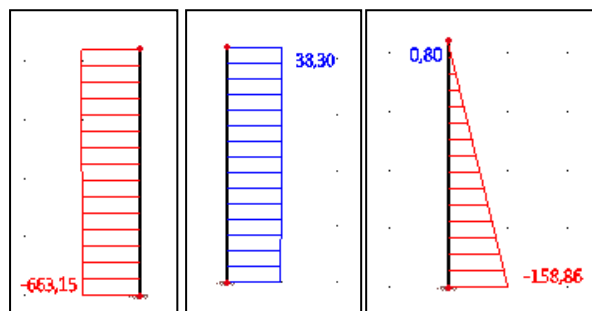
$$\frac{706}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} + 0,61 \cdot \frac{510}{1 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} = 0,11 < 1,0 \quad \text{OK}$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} =$$

$$\frac{706}{0,79 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} + 0,37 \cdot \frac{510}{1 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} = 0,14 < 1,0 \quad \text{OK}$$

Zaradi varovanja stebrov pri potresni obtežbi je pri nepotresni obtežbi izkoriščenost profilov majhna. Merodajne so potresne kombinacije.

Kombinacija NK6:



Slika 34: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebru pri kombinaciji NK6

$N_{\max} =$	-663 kN
$M_{\max} =$	-159 kNm
$V_{Ed} =$	-38 kN
$W_{y,el} =$	4290 cm ³
$A =$	239 cm ²

Kompaktnost stojine na strig:

$h_w =$	44,4 cm
$t_w =$	1,45 cm
$\varepsilon =$	0,92
$\eta =$	1,2
$\frac{h_w}{t_w} = \frac{44,4}{1,45} = 30,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2$	OK

Stojina je kompaktna na strig.

$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 44,4 \cdot 1,45 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} =$	1022,2 kN
$V_{Ed} = 38 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{1022,2}{2} = 511,1 \text{ kN}$	OK

Interakcije M-V ni.

Kontrola nosilnosti prereza:

$$M_{el, Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{4290 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 1180 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 239 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 6573 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{159}{1180} + \frac{663,2}{6573} = 0,24 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

Kontrola stabilnosti elementa:

$$\frac{h}{b} = \frac{50}{30} = 1,67$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

Os: - y-y krivulja: a

- z-z krivulja: b

$$L_u = 420 \text{ cm}$$

$$i_y = 21,2 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{MPa}]}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\lambda_y = \frac{L_u}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{21,2 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,23$$

$$\chi_y = 0,98$$

$$\lambda_z = \frac{L_u}{i_z \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{7,27 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,67$$

$$\chi_z = 0,79$$

$$M_{cr} = 20165 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4290 \cdot 27,5}{2016500}} = 0,24$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{0}{143,2} = 0$$

$$-1 \leq \psi = 0 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Nelinearna analiza z imperfekcijo:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6 \geq 0,4 \quad 0,6$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \chi_y \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} \right) =$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,23 \cdot \frac{663}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = \quad 0,61$$

$$k_{yy,max} = 0,6 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{663}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = \quad 0,64$$

$$k_{yy} = 0,61 < k_{yy,max} = 0,64 \quad \text{OK}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,61 = \quad 0,37$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} =$$

$$\frac{663}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} + 0,61 \cdot \frac{15900}{1 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} = \quad 0,19 < 1,0 \quad \text{OK}$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} =$$

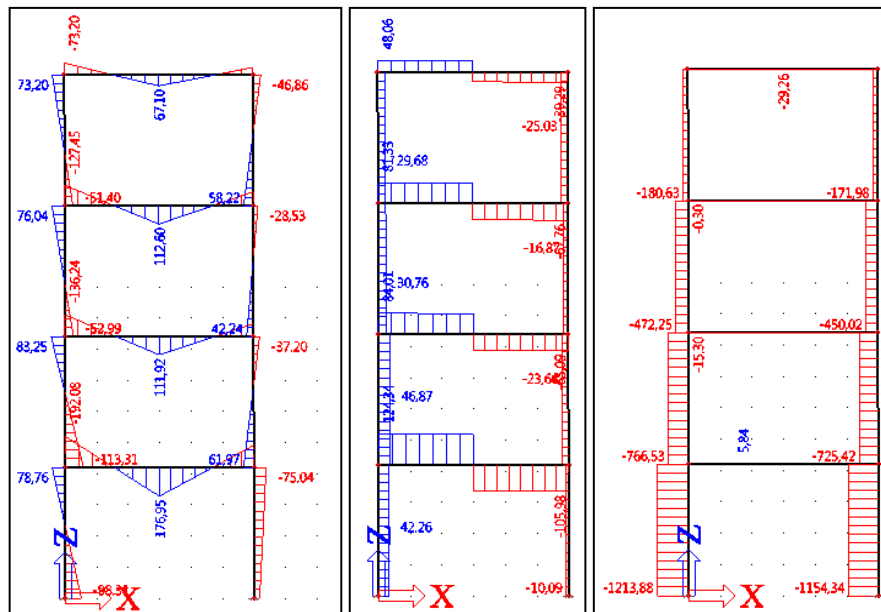
$$\frac{663}{0,79 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} + 0,37 \cdot \frac{15900}{1 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} = \quad 0,26 < 1,0 \quad \text{OK}$$

Zaradi varovanja stebrov pri potresni obtežbi je pri nepotresni obtežbi izkoriščenost profilov majhna. Merodajne so potresne kombinacije.

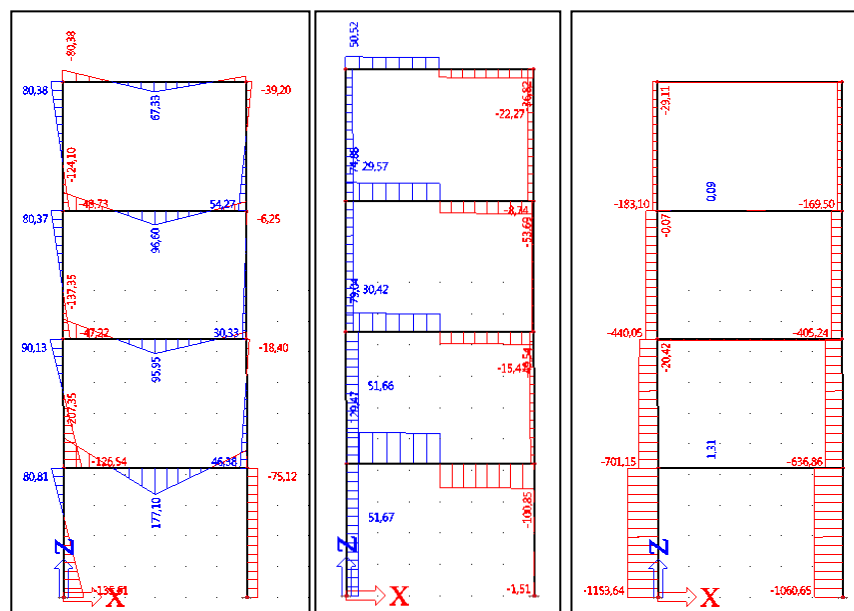
5.6 Dimenzioniranje momentnega okvirja OK2

Statična globalna analiza konstrukcije je bila izvedena z računalniškim programom SCIA Engineer 2013. Program podpira možnost izračuna po teoriji drugega reda. Predpostavljena začetna nepopolnost konstrukcije je 1,95 mm/m, predpostavimo pa jo v programu in je upoštevana v izračunih. Maksimalni kritični moment M_{cr} je izračunan s programom LTBeamN.

Pri prečkah uporabim profile IPE 400. Prečke se priključujejo na stebre, stebri pa potekajo kontinuirano skozi vse etaže. Za stebre uporabim profile HEB 500.



Slika 35: Momenti, prečne sile in osne sile pri kombinaciji NK3

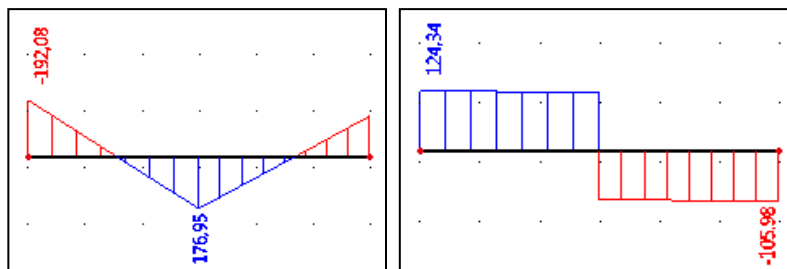


Slika 36: Momenti, prečne sile in osne sile pri kombinaciji NK4

Kontrola prečke IPE 400 v pritličju (pozicija P06)

Kombinacija NK3:

Prečka IPE 400 je bočno podprta s sovprežno ploščo, zato bočna zvrnitev ni možna.



Slika 37: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK3

$$M_{\max,Ed} = -192 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 124 \text{ kN}$$

$$W_{y,el} = 1160 \text{ cm}^3$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{1160 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 319,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 192 \text{ kNm} < M_{el,Rd} = 319,0 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

$$\text{Izkoriščenost prečke: } \frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \cdot 100 = \frac{192}{319,0} \cdot 100 = 60 \%$$

Zaradi merodajnosti potresne obtežbe je izkoriščenost profila pri nepotresni obtežbi majhna.

Kompaktnost stojine na strig:

$$h_w = 37,3 \text{ cm}$$

$$t_w = 0,86 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{37,3}{0,86} = 43,4 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

Stojina je kompaktna na strig.

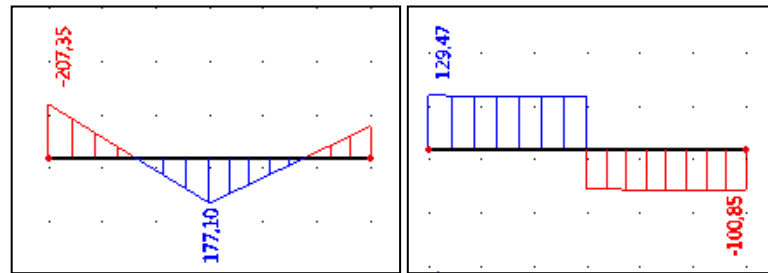
$$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 37,3 \cdot 0,86 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 509,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 124 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{509,3}{2} = 254,7 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Interakcije M-V ni.

Kombinacija NK4:

Prečka IPE 400 je bočno podprta s sovprežno ploščo, zato bočna zvrnitev ni možna.



Slika 38: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK4

$$M_{\max, Ed} = -207 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 130 \text{ kN}$$

$$W_{y, el} = 1160 \text{ cm}^3$$

$$M_{el, Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{1160 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 319,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 207 \text{ kNm} < M_{el, Rd} = 319,0 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

$$\text{Izkoriščenost prečke: } \frac{M_{Ed}}{M_{el, Rd}} \cdot 100 = \frac{207}{319,0} \cdot 100 = 65 \%$$

Zaradi merodajnosti potresne obtežbe je izkoriščenost profila pri nepotresni obtežbi majhna.

Kompaktnost stojine na strig:

$$h_w = 37,3 \text{ cm}$$

$$t_w = 0,86 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{37,3}{0,86} = 43,4 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

Stojina je kompaktna na strig.

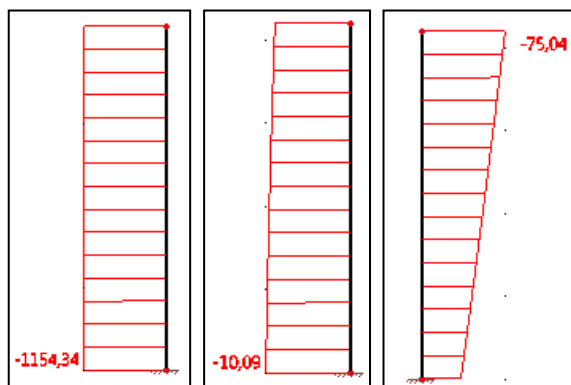
$$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 37,3 \cdot 0,86 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 509,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 130 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{509,3}{2} = 254,7 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Interakcije M-V ni.

Kontrola stebra HEB 500 v pritličju (pozicija S4)

Kombinacija NK3:



Slika 39: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebru pri kombinaciji NK3

$N_{\max} =$	-1154 kN
$M_{\max} =$	-75 kNm
$V_{Ed} =$	-10,1 kN
$W_{y,el} =$	4290 cm ³
$A =$	239 cm ²

Kompaktnost stojine na strig:

$h_w =$	44,4 cm
$t_w =$	1,45 cm
$\varepsilon =$	0,92
$\eta =$	1,2

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{44,4}{1,45} = 30,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

Stojina je kompaktna na strig.

$$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 44,4 \cdot 1,45 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1022,2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 10,1 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{1022,2}{2} = 511,1 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Interakcije M-V ni.

Kontrola nosilnosti prereza:

$$M_{el, Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{4290 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 1180 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 239 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 6573 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{75}{1180} + \frac{1154}{6573} = 0,23 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

Kontrola stabilnosti elementa:

$$\frac{h}{b} = \frac{50}{30} = 1,67$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

Os: - y-y krivulja: a
 - z-z krivulja: b

$$L_u = 420 \text{ cm}$$

$$i_y = 21,2 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{MPa}]}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\lambda_y = \frac{L_u}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{21,2 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,23$$

$$\chi_y = 0,98$$

$$\lambda_z = \frac{L_u}{i_z \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{7,27 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,67$$

$$\chi_z = 0,79$$

$$M_{cr} = 9802 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4290 \cdot 27,5}{980200}} = 0,37$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{35}{75} = 0,47$$

$$-1 \leq \psi = 0,47 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Nelinearna analiza z imperfekcijo:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,47 = 0,79 \geq 0,4 \quad 0,79$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} \right) =$$

$$k_{yy} = 0,79 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,23 \cdot \frac{1154}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 0,81$$

$$k_{yy, \max} = 0,79 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{1154}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 0,87$$

$$k_{yy} = 0,81 < k_{yy, \max} = 0,87 \quad \text{OK}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,81 = 0,48$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} =$$

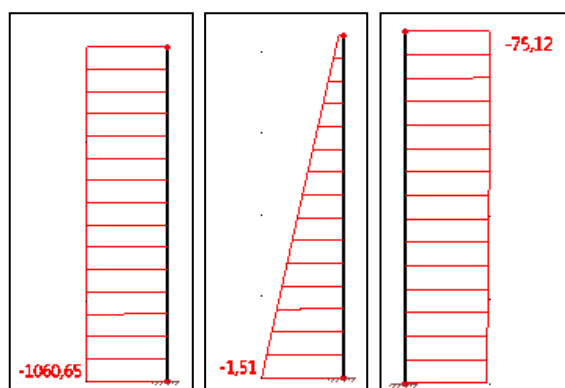
$$\frac{1154}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} + 0,81 \cdot \frac{7500}{1 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} = 0,22 < 1,0 \quad \text{OK}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} =$$

$$\frac{1154}{0,79 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} + 0,48 \cdot \frac{7500}{1 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} = 0,28 < 1,0 \quad \text{OK}$$

Zaradi varovanja stebrov pri potresni obtežbi je pri nepotresni obtežbi izkoriščenost profilov majhna. Merodajne so potresne kombinacije.

Kombinacija NK4:



Slika 40: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebru pri kombinaciji NK4

$N_{\max} =$	-1061 kN
$M_{\max} =$	75 kNm
$V_{Ed} =$	-1,5 kN
$W_{y,el} =$	4290 cm ³
$A =$	239 cm ²

Kompaktnost stojine na strig:

$h_w =$	44,4 cm
$t_w =$	1,45 cm
$\varepsilon =$	0,92
$\eta =$	1,2

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{44,4}{1,45} = 30,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

Stojina je kompaktna na strig.

$$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 44,4 \cdot 1,45 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1022,2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1,5 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{1022,2}{2} = 511,1 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Interakcije M-V ni.

Kontrola nosilnosti prereza:

$$M_{el, Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{4290 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 1180 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 239 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 6573 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{75}{1180} + \frac{1061}{6573} = 0,22 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

Kontrola stabilnosti elementa:

$$\frac{h}{b} = \frac{50}{30} = 1,67$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

Os: - y-y krivulja: a
 - z-z krivulja: b

$$L_u = 420 \text{ cm}$$

$$i_y = 21,2 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{MPa}]}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\lambda_y = \frac{L_u}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{21,2 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,23$$

$$\chi_y = 0,98$$

$$\lambda_z = \frac{L_u}{i_z \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{7,27 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,67$$

$$\chi_z = 0,79$$

$$M_{cr} = 8043 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4290 \cdot 27,5}{804300}} = 0,41$$

$$\chi_{LT} = 0,93$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{75}{75} = 1,0$$

$$-1 \leq \psi = -0,75 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Nelinearna analiza z imperfekcijo:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 1 = 1,0 \geq 0,4 \quad 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} \right) =$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,23 \cdot \frac{1061}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 1,02$$

$$k_{yy, \max} = 1,0 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{1061}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 1,10$$

$$k_{yy}=1,02 < k_{yy,max} = 1,10 \quad \text{OK}$$

$$k_{zy}=0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,02 = 0,61$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} =$$

$$\frac{1061}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} + 1,02 \cdot \frac{7500}{0,93 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} = 0,23 < 1,0 \quad \text{OK}$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} =$$

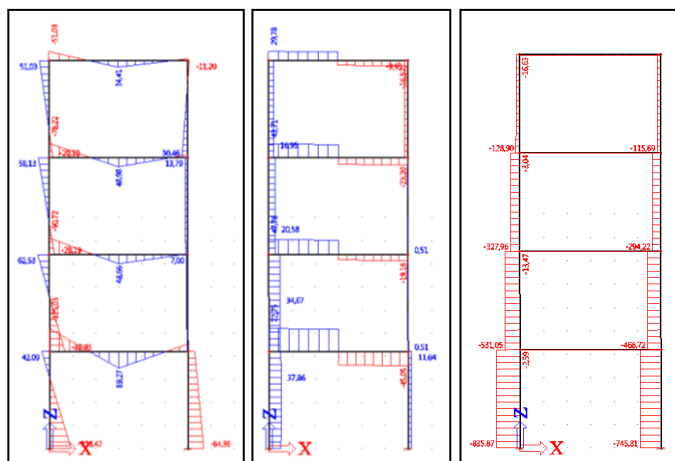
$$\frac{1061}{0,79 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} + 0,61 \cdot \frac{7500}{0,93 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} = 0,27 < 1,0 \quad \text{OK}$$

Zaradi varovanja stebrov pri potresni obtežbi je pri nepotresni obtežbi izkoriščenost profilov majhna. Merodajne so potresne kombinacije.

5.7 Dimenzioniranje momentnega okvirja OK3

Statična globalna analiza konstrukcije je bila izvedena z računalniškim programom SCIA Engineer 2013. Program podpira možnost izračuna po teoriji drugega reda. Predpostavljena začetna nepopolnost konstrukcije je 1,95 mm/m, predpostavimo pa jo v programu in je upoštevana v izračunih. Maksimalni kritični moment M_{cr} je izračunan s programom LTBeamN.

Pri prečkah uporabim profile IPE 400. Prečke se priključujejo na stebre, stebri pa potekajo kontinuirano skozi vse etaže. Za stebre uporabim profile HEB 500.

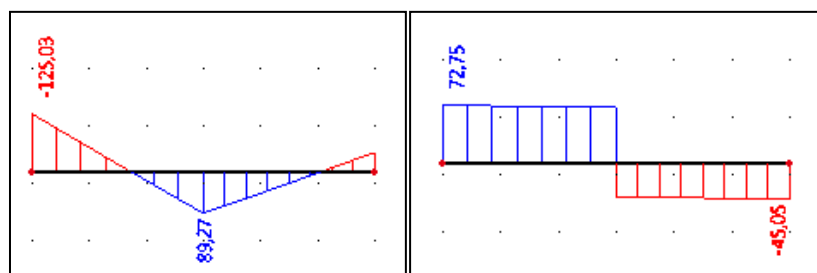


Slika 41: Momenti, prečne sile in osne sile pri kombinaciji NK4

Kontrola prečke IPE 400 v pritličju (pozicija P05)

Kombinacija NK4:

Prečka IPE 400 je bočno podprta s sovprežno ploščo, zato bočna zvrnitev ni možna.



Slika 42: Momenti in prečne sile zaradi kombinacije NK4

$$\begin{aligned}
 M_{\max,Ed} &= -125 \text{ kNm} \\
 V_{Ed} &= 73 \text{ kN} \\
 W_{y,el} &= 1160 \text{ cm}^3 \\
 M_{el,Rd} &= \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{1160 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 319,0 \text{ kNm} \\
 M_{Ed} &= 125 \text{ kNm} < M_{el,Rd} = 319,0 \text{ kNm} && \text{OK} \\
 \text{Izkoriščenost prečke: } & \frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \cdot 100 = \frac{125}{319,0} \cdot 100 = 39 \%
 \end{aligned}$$

Zaradi merodajnosti potresne obtežbe je izkoriščenost profila pri nepotresni obtežbi majhna.

Kompaktnost stojine na strig:

$$h_w = 37,3 \text{ cm}$$

$$t_w = 0,86 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{37,3}{0,86} = 43,4 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

Stojina je kompaktna na strig.

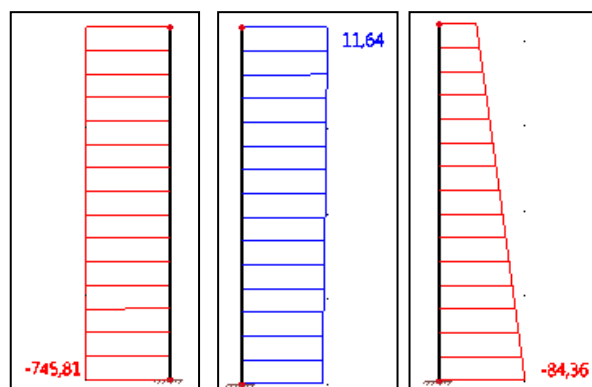
$$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 37,3 \cdot 0,86 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 509,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 73 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{509,3}{2} = 254,7 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Interakcije M-V ni.

Kontrola stebra HEB 500 v pritličju (pozicija S3)

Kombinacija NK4:



Slika 43: Osne sile, prečne sile in upogibni momenti v stebru pri kombinaciji NK4

$$N_{\max} = -746 \text{ kN}$$

$$M_{\max} = -84,4 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = -11,6 \text{ kN}$$

$$W_{y,el} = 4290 \text{ cm}^3$$

$$A = 239 \text{ cm}^2$$

Kompaktnost stojine na strig:

$$h_w = 44,4 \text{ cm}$$

$$t_w = 1,45 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{44,4}{1,45} = 30,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

Stojina je kompaktna na strig.

$$V_{Rd} = A_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 44,4 \cdot 1,45 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1022,2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 11,6 \text{ kN} < \frac{V_{Rd}}{2} = \frac{1022,2}{2} = 511,1 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Interakcije M-V ni.

Kontrola nosilnosti prereza:

$$M_{el, Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{4290 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 1180 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 239 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 6573 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{84,4}{1180} + \frac{746}{6573} = 0,18 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

Kontrola stabilnosti elementa:

$$\frac{h}{b} = \frac{50}{30} = 1,67$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

Os: - y-y krivulja: a

- z-z krivulja: b

$$L_u = 420 \text{ cm}$$

$$i_y = 21,2 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{MPa}]}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\lambda_y = \frac{L_u}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{21,2 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,23$$

$$\chi_y = 0,98$$

$$\lambda_z = \frac{L_u}{i_z \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{7,27 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,67$$

$$\chi_z = 0,79$$

$$M_{cr} = 12545 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4290 \cdot 27,5}{1254500}} = 0,32$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{36,9}{84,4} = 0,44$$

$$-1 \leq \psi = 0,44 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Nelinearna analiza z imperfekcijo:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,44 = 0,77 \geq 0,4 \quad 0,77$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \chi_y \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)}\right) =$$

$$k_{yy} = 0,77 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,23 \cdot \frac{746}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)}\right) = \quad 0,79$$

$$k_{yy,max} = 0,77 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{746}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)}\right) = \quad 0,83$$

$$k_{yy} = 0,79 < k_{yy,max} = 0,83 \quad \text{OK}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,79 = \quad 0,47$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} =$$

$$\frac{746}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} + 0,79 \cdot \frac{8440}{1 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} = \quad 0,17 < 1,0 \quad \text{OK}$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} =$$

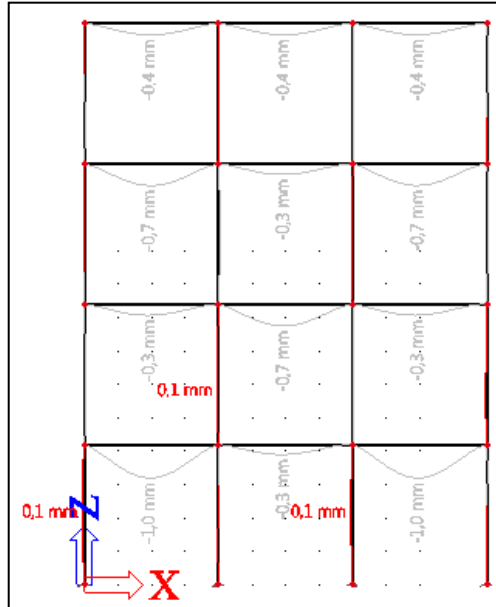
$$\frac{746}{0,79 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} + 0,47 \cdot \frac{8440}{1 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} = \quad 0,21 < 1,0 \quad \text{OK}$$

Zaradi varovanja stebrov pri potresni obtežbi je pri nepotresni obtežbi izkoriščenost profilov majhna. Merodajne so potresne kombinacije.

5.8 Kontrola pomikov MSU

Kontrola pomikov okvirja OK1

Obtežni primer MSU3:



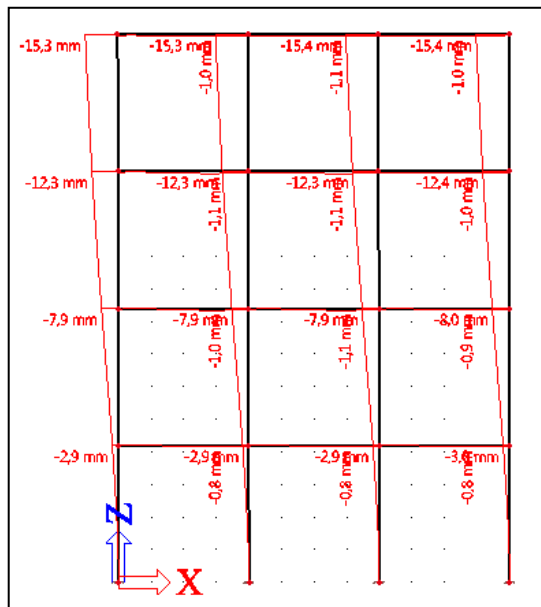
Slika 44: Vertikalni pomiki momentnega okvirja OK1 za kombinacijo MSU3 [mm]

Kontrola vertikalnih pomikov:

$$u_{\max} = 1,0 \text{ mm} \leq \frac{l}{250} = \frac{4000}{250} = 16 \text{ mm}$$

Kontrola horizontalnih pomikov posameznih etaž:

Obtežni primer MSU2:



Slika 45: Horizontalni pomiki momentnega okvirja OK1 za kombinacijo MSU2 [mm]

$$u_i \leq \frac{h_i}{300}$$

$$u_1 = 2,9 \text{ mm} \leq 14 \text{ mm}$$

$$u_2 = 5,0 \text{ mm} \leq 14 \text{ mm}$$

$$u_3 = 4,4 \text{ mm} \leq 14 \text{ mm}$$

$$u_4 = 3,0 \text{ mm} \leq 14 \text{ mm}$$

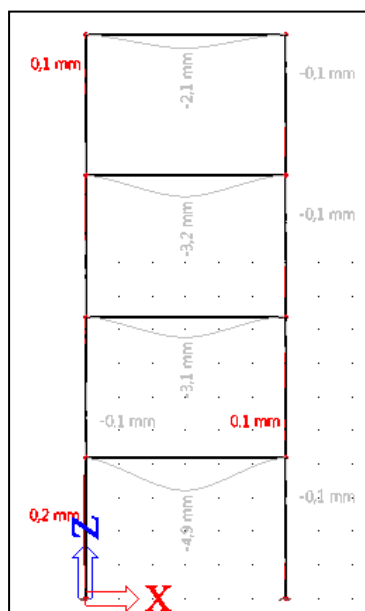
Kontrola horizontalnih pomikov celotne konstrukcije:

$$u = 15,3 \text{ mm} \leq \frac{h}{500} = \frac{16800}{500} = 33,6 \text{ mm}$$

Pomiki okvirja OK1 ustrezajo MSU.

Kontrola pomikov okvirja OK2

Obtežni primer MSU1:



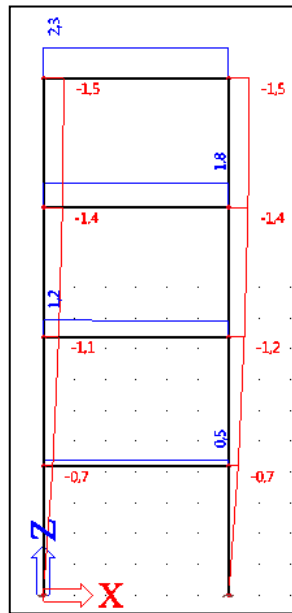
Slika 46: Vertikalni pomiki momentnega okvirja OK2 za kombinacijo MSU1 [mm]

Kontrola vertikalnih pomikov:

$$u_{\max} = 4,9 \text{ mm} \leq \frac{l}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

Kontrola horizontalnih pomikov posameznih etaž:

Obtežni primer MSU1:



Slika 47: Horizontalni pomiki momentnih okvirjev OK2 in OK3 za kombinacijo MSU1 [mm]

$$u_i \leq \frac{h_i}{300} = \frac{4200}{300} = 14 \text{ mm}$$

$$u_1 = 0,7 \text{ mm} \leq 14 \text{ mm}$$

$$u_2 = 0,5 \text{ mm} \leq 14 \text{ mm}$$

$$u_3 = 0,2 \text{ mm} \leq 14 \text{ mm}$$

$$u_4 = 0,1 \text{ mm} \leq 14 \text{ mm}$$

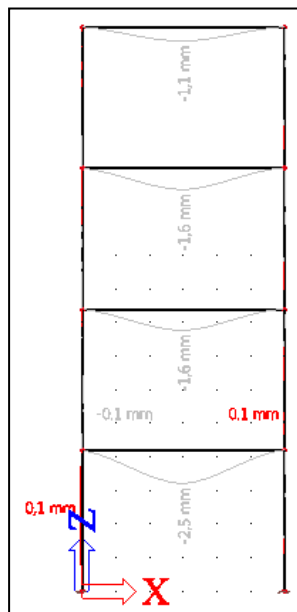
Kontrola horizontalnih pomikov celotne konstrukcije:

$$u = 1,5 \text{ mm} \leq \frac{h}{500} = \frac{16800}{500} = 33,6 \text{ mm}$$

Horizontalni pomiki okvirja OK2 ustrezajo MSU. Pomiki okvirja OK3 so zaradi plošč, ki v svoji ravnini delujejo kot toge šipe, enaki pomikom OK2.

Kontrola pomikov okvirja OK3

Obtežni primer MSU1:



Slika 48: Vertikalni pomiki momentnega okvirja OK3 za kombinacijo MSU1 [mm]

Kontrola vertikalnih pomikov:

$$u_{\max} = 2,5 \text{ mm} \leq \frac{l}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

Pomiki okvirja OK3 ustrezajo MSU.

6 POTRESNI VPLIV NA KONSTRUKCIJO

Konstrukcija ustreza merilom za tlorisno pravilnost in tudi za pravilnost po višini. Ker sta oba pogoja izpolnjena, lahko potresni vpliv na konstrukcijo izvedem po metodi z vodoravnimi silami, ki je poenostavljena metoda modalne analize. Merodajna je prva nihajna oblika konstrukcije.

Potresni vpliv na konstrukcijo dimenzioniram po teoriji prvega reda. Pri tem upoštevam vpliv horizontalnih sil z dodatnim faktorjem k_{δ} .

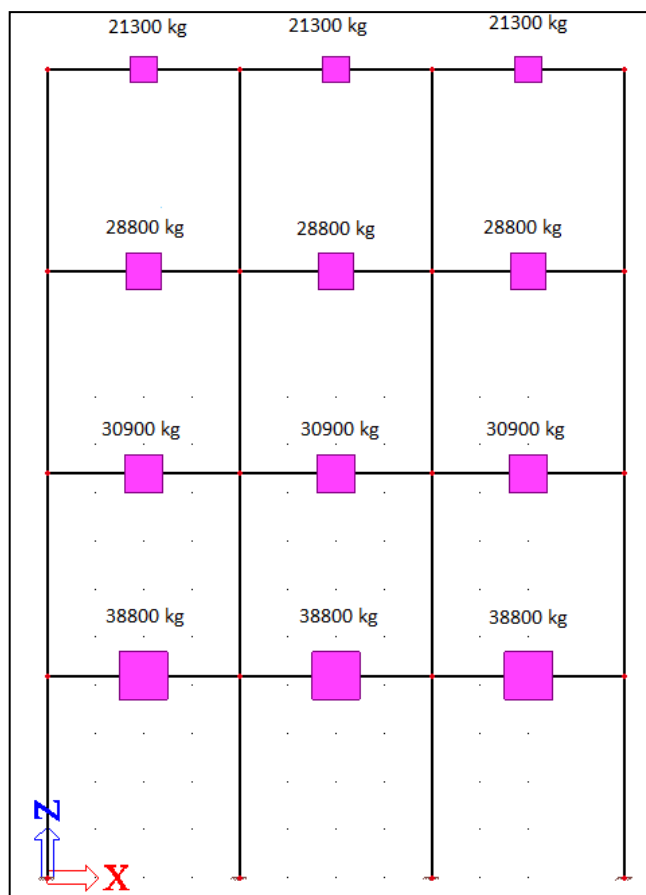
6.1 Masa konstrukcije

Preglednica 16: Preglednica teže posamezne etaže in mase

	Stalna teža [kN]	Koristna obtežba[kN]	φ	ψ_2	m [t]
Teža I. etaže:	1563	1793	0,5	0,8	232,5
Teža II. etaže:	1570	821	0,5	0,6	185,2
Teža III. etaže:	1570	821	0,5	0,3	172,6
Teža IV. etaže:	1252	/	1	/	127,7
Skupaj:					718,0

6.2 Izračun momentnega okvirja za potresno silo v smeri X

Razdelitev mas po etažah za posamezen okvir



Slika 49: Model konstrukcije z razdelitvijo mas po etažah

Masa po etažah, ki pripada enemu okvirju:

$$n_{\text{okvir}} = 2$$

$$m_{\text{I}}^{\text{okvir}} = \frac{m_{\text{I}}}{n_{\text{okvir}}} = \frac{232,5}{2} = 116,3 \text{ t}$$

$$m_{\text{II}}^{\text{okvir}} = \frac{m_{\text{II}}}{n_{\text{okvir}}} = \frac{185,2}{2} = 92,6 \text{ t}$$

$$m_{\text{III}}^{\text{okvir}} = \frac{m_{\text{III}}}{n_{\text{okvir}}} = \frac{172,6}{2} = 86,3 \text{ t}$$

$$m_{\text{IV}}^{\text{okvir}} = \frac{m_{\text{IV}}}{n_{\text{okvir}}} = \frac{127,7}{2} = 63,9 \text{ t}$$

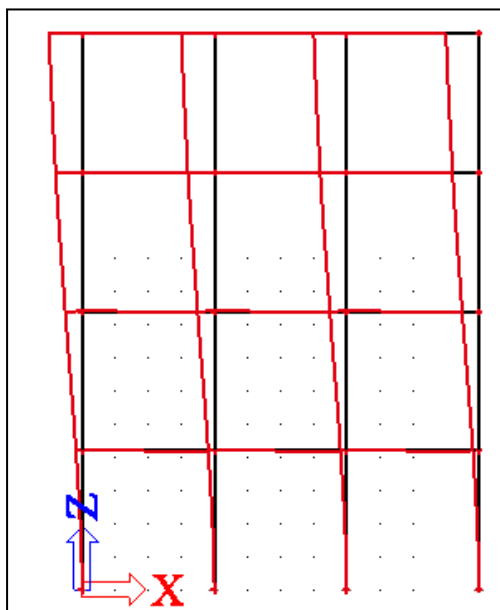
Izračun nihajnega časa

Preglednica 17: Nihajni časi konstrukcije

N	f [Hz]	omega [1/s]	omega ² [1/s ²]	T [s]
<i>*Student version*</i>				
Mass combination : CM1				
1	0,77	4,86	23,63	1,29
2	2,78	17,45	304,50	0,36
3	4,98	31,29	979,14	0,20
4	5,04	31,68	1003,78	0,20

$$T_x = 1,29 \text{ s}$$

Oblika deformacije konstrukcije pri prvi nihajni obliki:



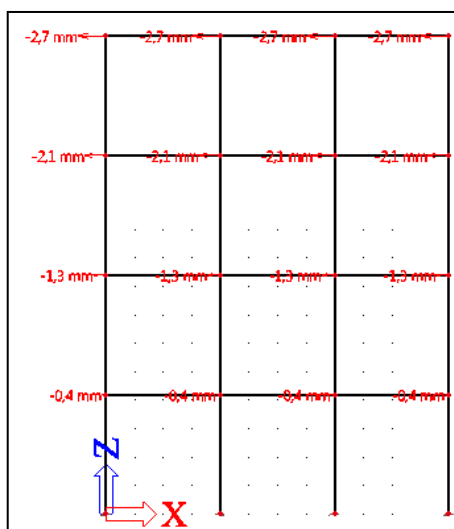
Slika 50: Deformirana oblika konstrukcije pri prvi nihajni obliki

Izračun potresne sile

$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} =$	1,3
DCH: $q = 1,3 \cdot 5 =$	6,5
$a_g =$	$0,25 \cdot g$
$\xi =$	5,0 %
$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} = \sqrt{\frac{10}{5+5}} =$	1,0
Tip tal:	B
S=	1,2
$T_c =$	0,5 s
$S_d(T_x) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5 \cdot T_c}{q \cdot T} = 0,25 \cdot 9,81 \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,5}{6,5 \cdot 1,29} =$	0,439
$F_{bx} = S_d(T_x) \cdot m \cdot \eta = 0,439 \cdot 718 \cdot 1,0 =$	315 kN

Potresna sila, ki deluje na en okvir:

$$F_b^I = \frac{F_{bx}}{n_{okvir}} = \frac{315}{2} = 157,5 \text{ kN}$$



Slika 51: Pomiki v etažah pri prvi nihajni obliki konstrukcije

$u_I =$	0,4 mm
$u_{II} =$	1,3 mm
$u_{III} =$	2,1 mm
$u_{IV} =$	2,7 mm

Razdelitev sil na etaže:

$$F_i = F_b \cdot \frac{u_i \cdot m_i}{\sum_j u_j \cdot m_j}$$

$$\sum u_j \cdot m_j = 0,4 \cdot 116,3 + 1,3 \cdot 92,6 + 2,1 \cdot 86,3 + 2,7 \cdot 63,9 = 520,5$$

$$F_1 = F_b \cdot \frac{u_I \cdot m_I}{\sum_j u_j \cdot m_j} = 157,5 \cdot \frac{0,4 \cdot 116,3}{520,5} = 14,1 \text{ kN}$$

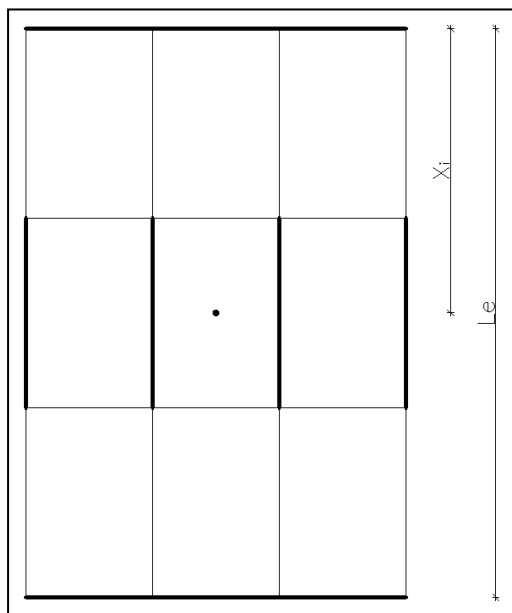
$$F_2 = F_b \cdot \frac{u_{II} \cdot m_{II}}{\sum_j u_j \cdot m_j} = 157,5 \cdot \frac{1,3 \cdot 92,6}{520,5} = 36,4 \text{ kN}$$

$$F_3 = F_b \cdot \frac{u_{III} \cdot m_{III}}{\sum_j u_j \cdot m_j} = 157,5 \cdot \frac{2,1 \cdot 86,3}{520,5} = 54,8 \text{ kN}$$

$$F_4 = F_b \cdot \frac{u_{IV} \cdot m_{IV}}{\sum_j u_j \cdot m_j} = 157,5 \cdot \frac{2,7 \cdot 63,9}{520,5} = 52,2 \text{ kN}$$

Upoštevanje vpliva slučajne ekscentričnosti:

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



Slika 52: Prikaz parametrov za izračun faktorja slučajne torzije pri potresu

$$L = 6,0 \text{ m}$$

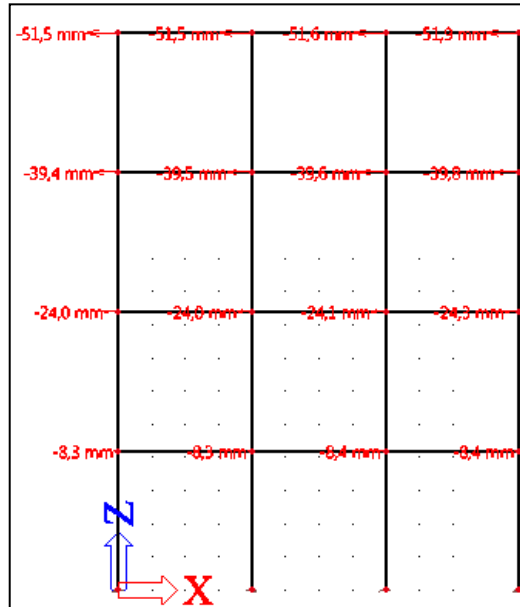
$$x = 3 \cdot \frac{L}{2} = 3 \cdot \frac{6}{2} = 9,0 \text{ m}$$

$$L_e = 3 \cdot L = 3 \cdot 6 = 18 \text{ m}$$

$$\delta = 1 + 1,2 \cdot \frac{9}{18} = 1,6$$

Upoštevanje vpliva TDR:

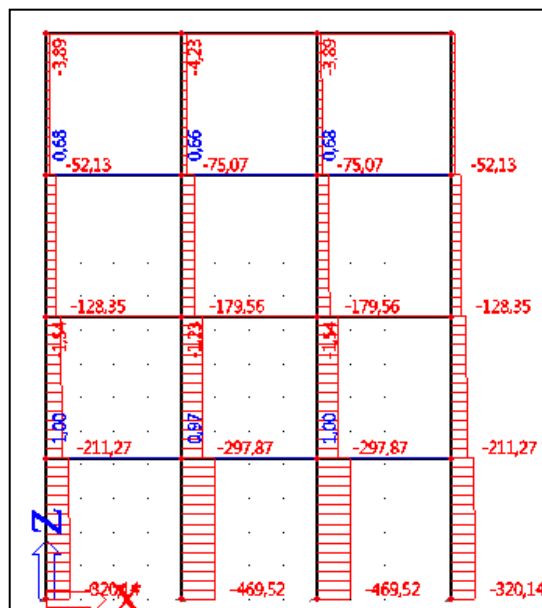
Pomiki v etažah zaradi potresnih sil:



Slika 53: Pomiki v etaži zaradi potresnih sil z upoštevanjem slučajne torzije

$d_1 =$	8,3 mm
$d_2 = d_2 - d_1 = 24 - 8,3 =$	15,7 mm
$d_3 = d_3 - d_2 = 39,4 - 24 =$	15,4 mm
$d_4 = d_4 - d_3 = 51,5 - 39,4 =$	12,1 mm

Izračun totalnih gravitacijskih in potresnih sil za vpliv TDR:



Slika 54: Osne sile v okvirju pri neseizmičnem delu potresne obtežbe

$$P_{\text{tot,I}} = 2 \cdot 469,5 + 2 \cdot 320,1 = 1579,2 \text{ kN}$$

$$P_{\text{tot,II}} = 2 \cdot 297,9 + 2 \cdot 211,3 = 1018,4 \text{ kN}$$

$$P_{\text{tot,III}} = 2 \cdot 179,6 + 2 \cdot 128,4 = 616,0 \text{ kN}$$

$$P_{\text{tot,IV}} = 2 \cdot 75,1 + 2 \cdot 52,1 = 254,4 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,I}} = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) \cdot \delta = (14,1 + 36,4 + 54,8 + 52,2) \cdot 1,6 = 237,8 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,II}} = (F_2 + F_3 + F_4) \cdot \delta = (36,4 + 54,8 + 52,2) \cdot 1,6 = 211,8 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,III}} = (F_3 + F_4) \cdot \delta = (54,8 + 52,2) \cdot 1,6 = 158,0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,IV}} = F_4 \cdot \delta = 52,2 \cdot 1,6 = 77,1 \text{ kN}$$

Izračun vpliva TDR:

I. etaža:

$$P_{\text{tot,I}} = 1579,2 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,I}} = 252 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0083 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,054 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{1579,2 \cdot 0,054}{252 \cdot 4,2} = 0,08$$

$$\theta = 0,08 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,08} = 1,09$$

II. etaža:

$$P_{\text{tot,II}} = 1018,4 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,II}} = 229,5 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0157 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,1021 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{1018,4 \cdot 0,1021}{229,5 \cdot 4,2} = 0,11$$

$$\theta = 0,11 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,11} = 1,12$$

III. etaža:

$$\begin{aligned}P_{\text{tot,III}} &= 616 \text{ kN} \\V_{\text{tot,III}} &= 171,2 \text{ kN} \\h_0 &= 4,2 \text{ m} \\d_A &= 0,0154 \text{ m} \\d_C = d_A \cdot q &= 0,1001 \text{ m} \\\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{616 \cdot 0,1001}{171,2 \cdot 4,2} &= 0,09 \\\theta = 0,09 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,09} &= 1,10\end{aligned}$$

IV. etaža:

$$\begin{aligned}P_{\text{tot,IV}} &= 254,4 \text{ kN} \\V_{\text{tot,IV}} &= 83,5 \text{ kN} \\h_0 &= 4,2 \text{ m} \\d_A &= 0,0121 \text{ m} \\d_C = d_A \cdot q &= 0,0787 \text{ m} \\\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{254,4 \cdot 0,0787}{83,5 \cdot 4,2} &= 0,06 \\\theta = 0,06 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,06} &= 1,06\end{aligned}$$

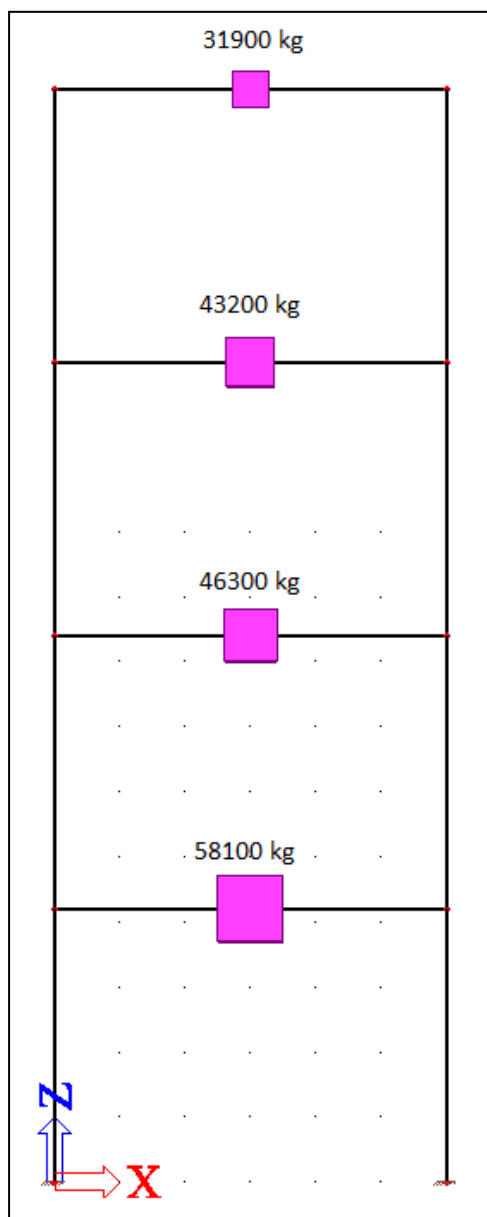
$$0,1 < \theta_{\text{max}} = 0,11 \leq 0,20 \quad \rightarrow k_{\delta,\text{max}} = 1,12$$

Pri potresnih silah upoštevam faktor k_δ .

Izračun potresnih sil po etažah, pomnoženih s faktorji za vpliv torzije, in vpliv TDR:

$$\begin{aligned}F_1^* &= F_1 \cdot \delta \cdot k_\delta = 14,1 \cdot 1,6 \cdot 1,12 = 25,3 \text{ kN} \\F_2^* &= F_2 \cdot \delta \cdot k_\delta = 36,4 \cdot 1,6 \cdot 1,12 = 65,3 \text{ kN} \\F_3^* &= F_3 \cdot \delta \cdot k_\delta = 54,8 \cdot 1,6 \cdot 1,12 = 98,2 \text{ kN} \\F_4^* &= F_4 \cdot \delta \cdot k_\delta = 52,2 \cdot 1,6 \cdot 1,12 = 93,5 \text{ kN}\end{aligned}$$

6.3 Izračun momentnega okvirja za potresno silo v smeri Y



Slika 55: Razdelitev mas po etažah in potresne sile na okvir

Masa po etažah, ki pripada enemu okvirju:

$$\begin{aligned}
 n_{\text{okvir}} &= && 4 \\
 m_{\text{I okvir}} &= \frac{m_{\text{I}}}{n_{\text{okvir}}} = \frac{232,5}{4} = && 58,1 \text{ t} \\
 m_{\text{II okvir}} &= \frac{m_{\text{II}}}{n_{\text{okvir}}} = \frac{185,2}{4} = && 46,3 \text{ t} \\
 m_{\text{III okvir}} &= \frac{m_{\text{III}}}{n_{\text{okvir}}} = \frac{172,6}{4} = && 43,2 \text{ t} \\
 m_{\text{IV okvir}} &= \frac{m_{\text{IV}}}{n_{\text{okvir}}} = \frac{127,7}{4} = && 31,9 \text{ t}
 \end{aligned}$$

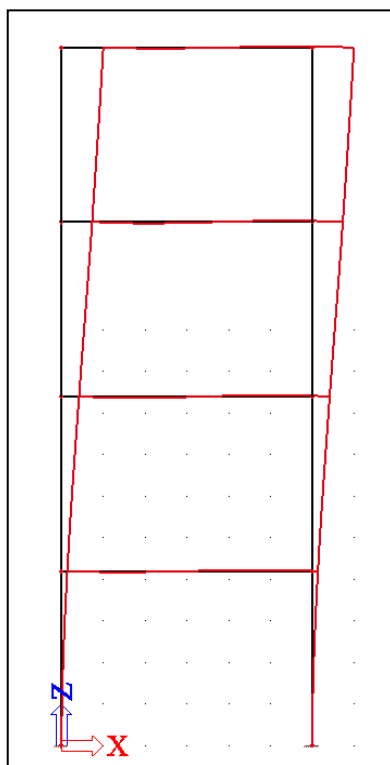
Izračun nihajnega časa

Preglednica 18: Nihajni časi konstrukcije

N	f [Hz]	omega [1/s]	omega^2 [1/s^2]	T [s]
<i>*Student version*</i>				
Mass combination : CM1				
1	0,83	5,20	27,04	1,21
2	2,89	18,18	330,65	0,35
3	3,69	23,18	537,33	0,27
4	4,09	25,70	660,53	0,24

$T_y =$

1,21 s



Slika 56: Deformirana oblika konstrukcije pri prvi nihajni obliki

Izračun potresne sile

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} =$$

1,2

$$\text{DCH: } q = 1,2 \cdot 5 =$$

6,0

$$a_g =$$

0,25 · g

$$\xi =$$

5,0 %

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} = \sqrt{\frac{10}{5+5}} =$$

1,0

Tip tal:

B

S=

1,2

 $T_c=$

0,5 s

$$S_d(T_y) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5 \cdot T_c}{q \cdot T} = 0,25 \cdot 9,81 \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,5}{6,0 \cdot 1,21} =$$

0,507

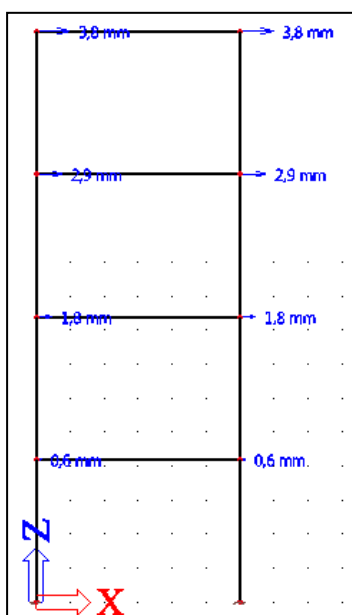
$$F_{by} = S_d(T_y) \cdot m \cdot \eta = 0,507 \cdot 718 \cdot 1,0 =$$

363,8 kN

Potresna sila, ki deluje na en okvir:

$$F_b^1 = \frac{F_{by}}{n_{okvir}} = \frac{363,8}{4} =$$

91,0 kN



Slika 57: Deformacije po etažah pri prvi nihajni obliki konstrukcije

 $u_1=$

0,6 mm

 $u_2=$

1,8 mm

 $u_3=$

2,9 mm

 $u_4=$

3,8 mm

Razdelitev sil na etaže:

$$F_i = F_b \cdot \frac{u_i \cdot m_i}{\sum_j u_j \cdot m_j}$$

$$\sum u_j \cdot m_j = 0,6 \cdot 58,1 + 1,8 \cdot 46,3 + 2,9 \cdot 43,2 + 3,8 \cdot 31,9 = 364,7$$

$$F_1 = F_b \cdot \frac{u_I \cdot m_I}{\sum_j u_j \cdot m_j} = 91 \cdot \frac{0,6 \cdot 58,1}{364,7} = 8,7 \text{ kN}$$

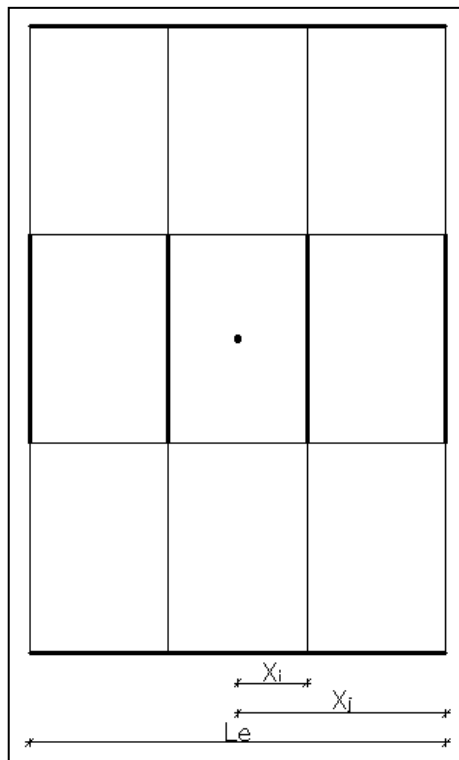
$$F_2 = F_b \cdot \frac{u_{II} \cdot m_{II}}{\sum_j u_j \cdot m_j} = 91 \cdot \frac{1,8 \cdot 46,3}{364,7} = 20,8 \text{ kN}$$

$$F_3 = F_b \cdot \frac{u_{III} \cdot m_{III}}{\sum_j u_j \cdot m_j} = 91 \cdot \frac{2,9 \cdot 43,2}{364,7} = 31,2 \text{ kN}$$

$$F_4 = F_b \cdot \frac{u_{IV} \cdot m_{IV}}{\sum_j u_j \cdot m_j} = 91 \cdot \frac{3,8 \cdot 31,9}{364,7} = 30,3 \text{ kN}$$

Upoštevanje vpliva slučajne torzije:

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



Slika 58: Parametri za izračun faktorja slučajne torzije pri potresu

Okvir pozicija OK2:

$$L = 6,0 \text{ m}$$

$$x_i = \frac{L}{2} = \frac{6}{2} = 3,0 \text{ m}$$

$$L_e = 3 \cdot L = 3 \cdot 6 = 18 \text{ m}$$

$$\delta = 1 + 1,2 \cdot \frac{3}{18} = 1,2$$

Okvir pozicija OK3:

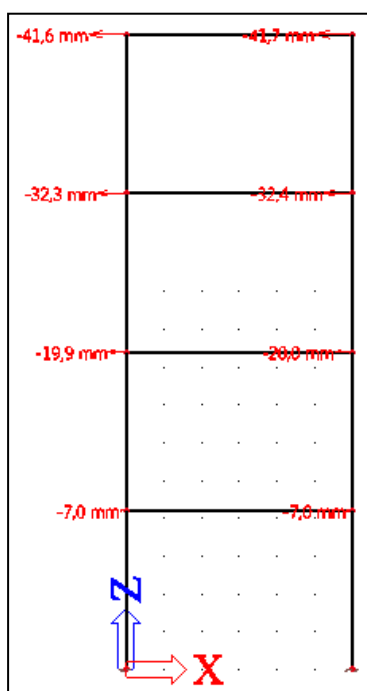
$$L = 6,0 \text{ m}$$

$$x_j = \frac{3 \cdot L}{2} = \frac{3 \cdot 6}{2} = 9,0 \text{ m}$$

$$L_e = 3 \cdot L = 3 \cdot 6 = 18 \text{ m}$$

$$\delta = 1 + 1,2 \cdot \frac{9}{18} = 1,6$$

Upoštevanje vpliva TDR, okvir OK2:



Slika 59: Pomiki v etažah zaradi potresnih sil z upoštevanjem slučajne torzije

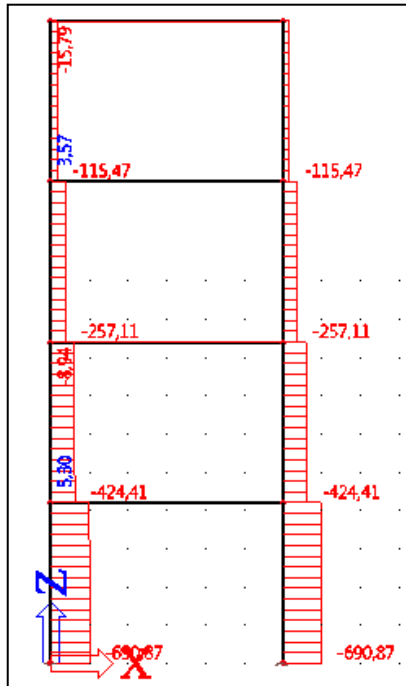
$$d_1 = 7,0 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_2 - d_1 = 19,9 - 7 = 12,9 \text{ mm}$$

$$d_3 = d_3 - d_2 = 32,3 - 19,9 = 12,4 \text{ mm}$$

$$d_4 = d_4 - d_3 = 41,6 - 32,3 = 9,3 \text{ mm}$$

Izračun totalnih gravitacijskih in potresnih sil za vpliv TDR:



Slika 60: Osne sile v okvirju pri neseizmičnem delu potresne obtežbe

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tot,I}} &= 2 \cdot 690,9 = && 1381,8 \text{ kN} \\
 P_{\text{tot,II}} &= 2 \cdot 424,4 = && 848,8 \text{ kN} \\
 P_{\text{tot,III}} &= 2 \cdot 257,1 = && 514,2 \text{ kN} \\
 P_{\text{tot,IV}} &= 2 \cdot 115,5 = && 231,0 \text{ kN} \\
 \\
 V_{\text{tot,I}} &= (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) \cdot \delta = (8,7+20,8+32,1+30,3) \cdot 1,2 = && 109,1 \text{ kN} \\
 V_{\text{tot,II}} &= (F_2 + F_3 + F_4) \cdot \delta = (20,8+32,1+30,3) \cdot 1,2 = && 98,7 \text{ kN} \\
 V_{\text{tot,III}} &= (F_3 + F_4) \cdot \delta = (32,1+30,3) \cdot 1,2 = && 73,8 \text{ kN} \\
 V_{\text{tot,IV}} &= F_4 \cdot \delta = 30,3 \cdot 1,2 = && 36,3 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Izračun vpliva TDR:

I. etaža:

$$P_{\text{tot,I}} = 1381,8 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,I}} = 109,1 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0070 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,042 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{1381,8 \cdot 0,042}{109,1 \cdot 4,2} = 0,13$$

$$\theta = 0,13 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,13} = 1,15$$

II. etaža:

$$P_{\text{tot,II}} = 848,8 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,II}} = 98,7 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0129 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,0774 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{848,8 \cdot 0,0774}{98,7 \cdot 4,2} = 0,16$$

$$\theta = 0,16 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,16} = 1,19$$

III. etaža:

$$P_{\text{tot,III}} = 514,2 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,III}} = 73,8 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0124 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,0744 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{514,2 \cdot 0,0744}{73,8 \cdot 4,2} = 0,12$$

$$\theta = 0,12 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,12} = 1,14$$

IV. etaža:

$$P_{\text{tot,IV}} = 231,0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,IV}} = 36,3 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0093 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,0558 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{2310,0558}{36,3 \cdot 4,2} = 0,08$$

$$\theta = 0,08 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,08} = 1,09$$

$$0,10 < \theta_{\text{max}} = 0,16 \leq 0,20 \rightarrow k_{\delta,\text{max}} = 1,19$$

Pri potresnih silah upoštevam faktor k_δ .

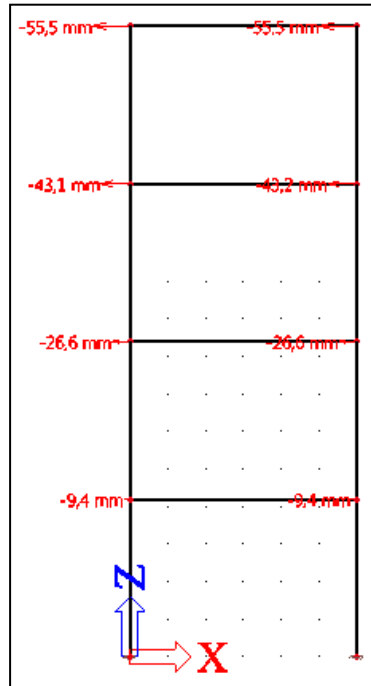
Izračun potresnih sil po etažah, pomnoženih s faktorji za vpliv torzije, in vpliv TDR:

$$F_1^* = F_1 \cdot \delta \cdot k_\delta = 8,7 \cdot 1,2 \cdot 1,19 = 12,4 \text{ kN}$$

$$F_2^* = F_2 \cdot \delta \cdot k_\delta = 20,8 \cdot 1,2 \cdot 1,19 = 29,7 \text{ kN}$$

$$F_3^* = F_3 \cdot \delta \cdot k_\delta = 31,2 \cdot 1,2 \cdot 1,19 = 44,6 \text{ kN}$$

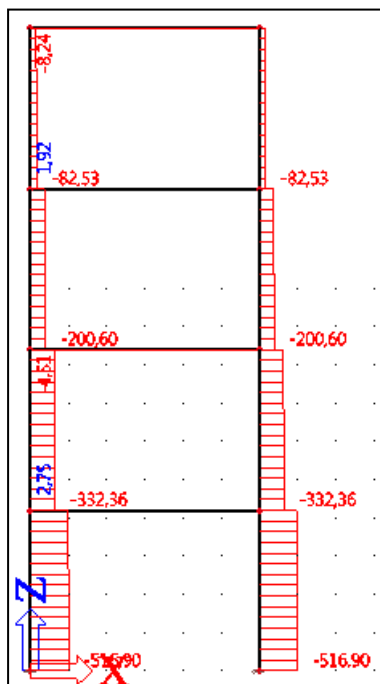
$$F_4^* = F_4 \cdot \delta \cdot k_\delta = 30,3 \cdot 1,2 \cdot 1,19 = 43,3 \text{ kN}$$

Upoštevanje vpliva TDR, okvir OK3:

Slika 61: Pomiki v etažah zaradi potresnih sil z upoštevanjem slučajne torzije

$d_1 =$	9,4 mm
$d_2 = d_2 - d_1 = 26,6 - 9,4 =$	17,2 mm
$d_3 = d_3 - d_2 = 43,1 - 26,6 =$	16,5 mm
$d_4 = d_4 - d_3 = 55,5 - 43,1 =$	12,4 mm

Izračun totalnih gravitacijskih in potresnih sil za vpliv TDR:



Slika 62: Osne sile v okvirju pri neseizmičnem delu potresne obtežbe

$$P_{\text{tot,I}} = 2 \cdot 516,9 = 1033,8 \text{ kN}$$

$$P_{\text{tot,II}} = 2 \cdot 332,4 = 664,8 \text{ kN}$$

$$P_{\text{tot,III}} = 2 \cdot 200,6 = 401,2 \text{ kN}$$

$$P_{\text{tot,IV}} = 2 \cdot 82,5 = 165,0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,I}} = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) \cdot \delta = (8,7+20,8+32,1+30,3) \cdot 1,6 = 145,5 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,II}} = (F_2 + F_3 + F_4) \cdot \delta = (20,8+32,1+30,3) \cdot 1,6 = 131,6 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,III}} = (F_3 + F_4) \cdot \delta = (32,1+30,3) \cdot 1,6 = 98,4 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,IV}} = F_4 \cdot \delta = 30,3 \cdot 1,6 = 48,4 \text{ kN}$$

Izračun vpliva TDR:

I. etaža:

$$P_{\text{tot,I}} = 1033,8 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,I}} = 145,5 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0094 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,0564 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{1033,8 \cdot 0,0564}{145,5 \cdot 4,2} = 0,10$$

$$\theta = 0,10 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,10} = 1,11$$

II. etaža:

$$P_{\text{tot,II}} = 664,8 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,II}} = 131,6 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0172 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,1032 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{664,8 \cdot 0,1032}{131,6 \cdot 4,2} = 0,12$$

$$\theta = 0,12 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,12} = 1,14$$

III. etaža:

$$P_{\text{tot,III}} = 401,2 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,III}} = 98,4 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0165 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,099 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{401,2 \cdot 0,099}{98,4 \cdot 4,2} = 0,10$$

$$\theta = 0,10 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,10} = 1,11$$

IV. etaža:

$$P_{\text{tot,IV}} = 165,0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{tot,IV}} = 48,4 \text{ kN}$$

$$h_0 = 4,2 \text{ m}$$

$$d_A = 0,0124 \text{ m}$$

$$d_C = d_A \cdot q = 0,0744 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_C}{V_{\text{tot}} \cdot h} = \frac{165 \cdot 0,0744}{48,4 \cdot 4,2} = 0,06$$

$$\theta = 0,06 \rightarrow k_\delta = \frac{1}{1-\theta} = \frac{1}{1-0,06} = 1,06$$

$$0,10 < \theta_{\text{max}} = 0,12 \leq 0,20 \rightarrow k_{\delta, \text{max}} = 1,14$$

Pri potresnih silah upoštevam faktor k_δ .

Izračun potresnih sil po etažah, pomnoženih s faktorji za vpliv torzije, in vpliv TDR:

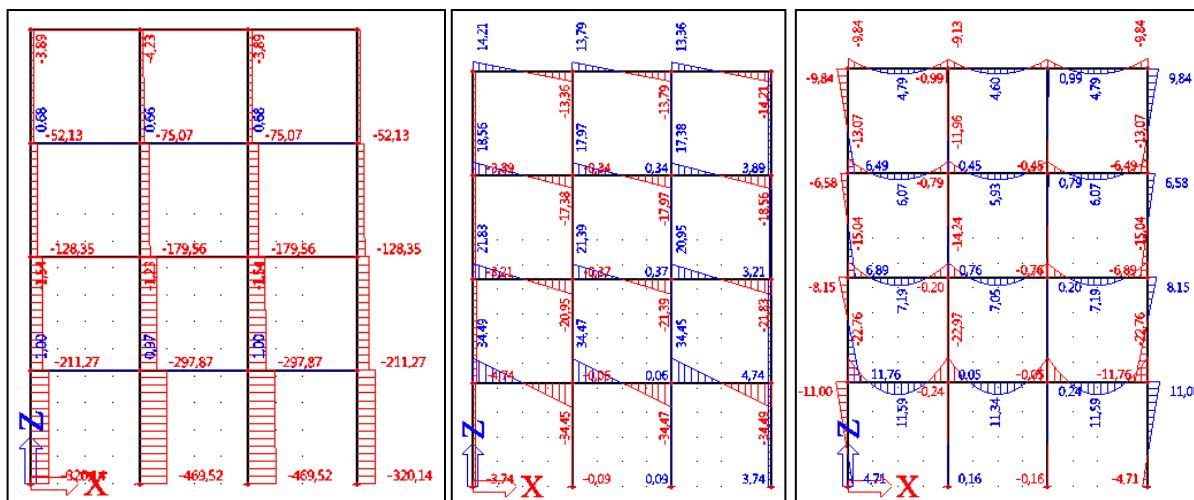
$$F_1^* = F_1 \cdot \delta \cdot k_\delta = 8,7 \cdot 1,6 \cdot 1,14 = 15,9 \text{ kN}$$

$$F_2^* = F_2 \cdot \delta \cdot k_\delta = 20,8 \cdot 1,6 \cdot 1,14 = 37,9 \text{ kN}$$

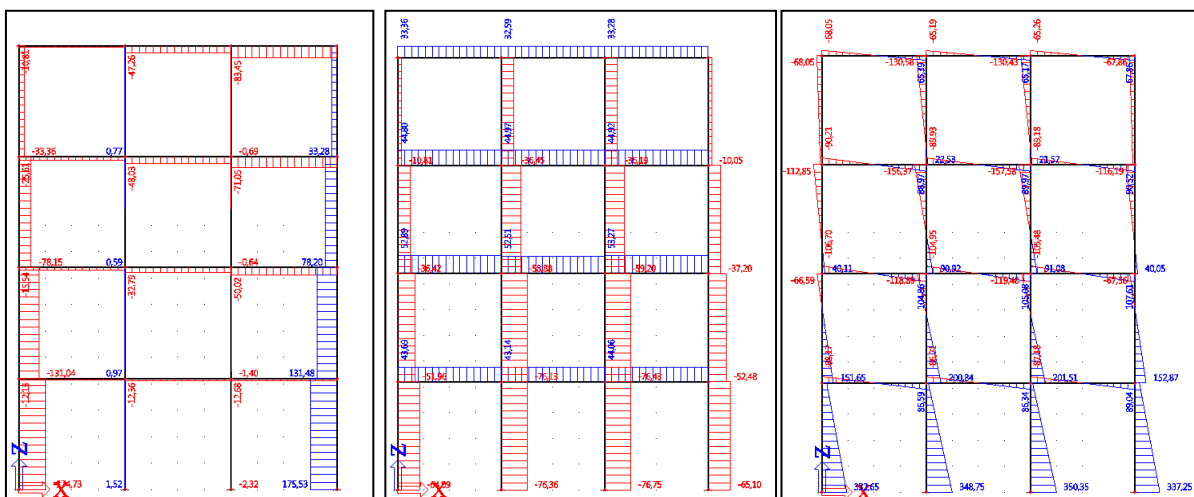
$$F_3^* = F_3 \cdot \delta \cdot k_\delta = 31,2 \cdot 1,6 \cdot 1,14 = 56,9 \text{ kN}$$

$$F_4^* = F_4 \cdot \delta \cdot k_\delta = 30,3 \cdot 1,6 \cdot 1,14 = 55,3 \text{ kN}$$

6.4 Dimenzioniranje okvirja OK1



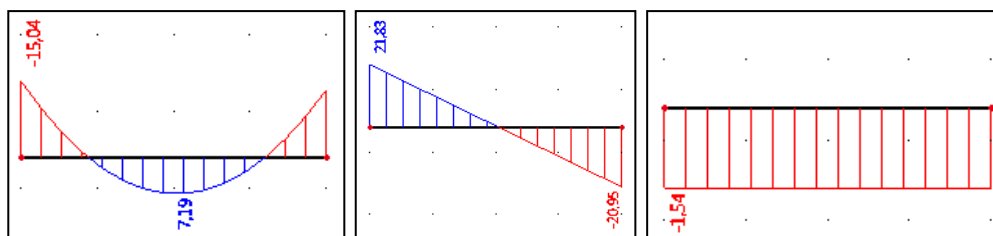
Slika 63: Notranje sile v elementih [N], [V] in [M] zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije



Slika 64: Notranje sile v elementih [N], [V] in [M] zaradi seizmičnega dela potresne kombinacije

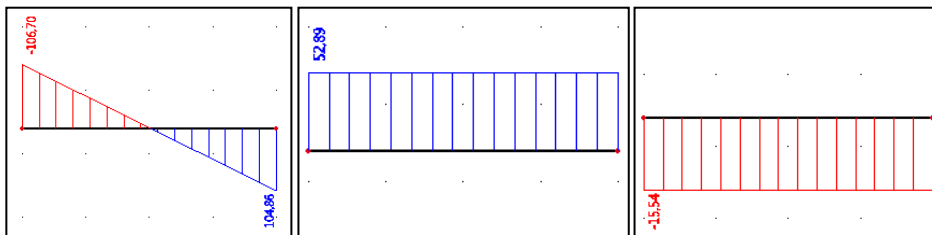
Kontrola prečke IPE 300 v drugi etaži na potresno obremenitev (P07)

Notranje sile v prečki zaradi neseizmičnega vpliva:



Slika 65: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije

Notranje sile v prečki zaradi seizmičnega vpliva:



Slika 66: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi seizmičnega dela potresne kombinacije

$$M_{Ed,G} = -15,0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,G} = -1,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,G} = 21,8 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,E} = -107 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,E} = -15,5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + M_{Ed,E} = -15,0 - 107 = -122,0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + N_{Ed,E} = -1,5 - 15,5 = -17,0 \text{ kN}$$

Zahteve v prečkah za zagotovitev tvorjenja plastičnega členka, da osne sile in prečne sile ne povzročijo zmanjšanja polnoplastične upogibne nosilnosti in rotacijske kapacitete:

$$M_{Pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{628 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 172,7 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Pl,Rd}} = \frac{122,0}{172,7} = 0,71 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

$$N_{el,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 53,8 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 1480 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{el,Rd}} = \frac{17}{1480} = 0,01 \leq 0,15 \quad \text{OK}$$

$$V_{Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{Pl,Rd}}{L} = \frac{2 \cdot 628 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 400} = 86,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M} = 21,8 + 86,4 = 108,2 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$A_v = 53,8 - 2 \cdot 15 \cdot 1,07 + (0,71 + 2 \cdot 1,5) \cdot 1,07 = 25,7 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 25,7 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 407,6 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 108,2 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{Pl,Rd} = 0,5 \cdot 407,6 \text{ kN} = 203,8 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Dimenzioniranje stebrov HEB 500 v pritličju na potresno obremenitev (S1 in S2)

Izračun faktorja Ω za obremenitev v stebru:

$$\Omega = \min \left\{ \frac{M_{Pl,Rd}}{M_{Ed,max}} \right. \quad \dots \text{ za najbolj obremenjeno prečko v območju sipanja}$$

$M_{Pl,Rd}$... plastična upogibna nosilnost prečke

$M_{Ed,max}$... največja upogibna obremenitev prečke (vsota $M_{Ed,G}$ in $M_{Ed,E}$)

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

$$\gamma_{M,0} = 1,0$$

$$W_{y,pl} = 628 \text{ cm}^3$$

$$M_{Pl,Rd} = W_{y,pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,0} \cdot 100} = 628 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot 100} = 172,7 \text{ kNm}$$

Največja obremenitev je v prečki v drugi etaži:

$$M_{Ed,max} = -122,0 \text{ kNm}$$

$$\Omega_{min} = \frac{M_{Pl,Rd}}{M_{Ed,E,max}} = \frac{172,7}{122,0} = 1,42$$

Prečke v vrvi, tretji in četrti etaži niso merodajne.

Notranje sile v stebrih zaradi neseizmičnega vpliva:

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

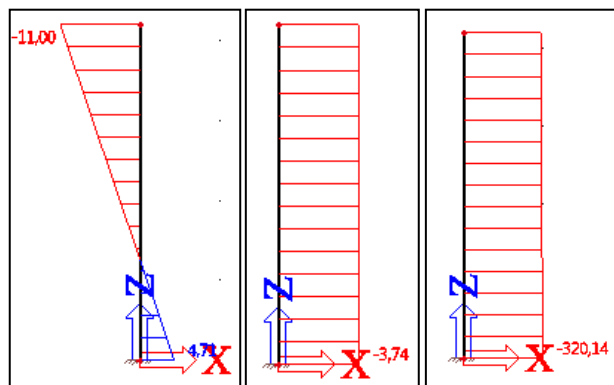
$$\Omega = 1,42$$

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

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

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

Steber S1:



Slika 67: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije

Spodaj:

$$M_{Ed,G} = 4,7 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,G} = -320,1 \text{ kN}$$

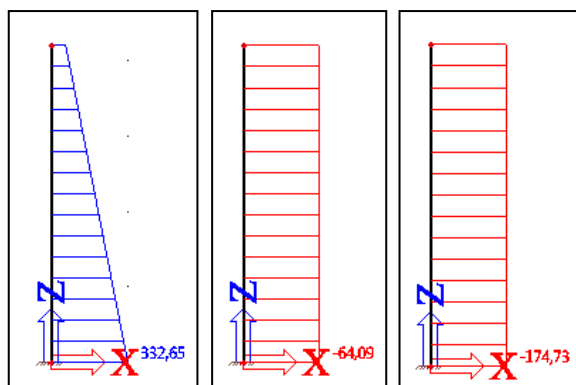
$$V_{Ed,G} = -3,7 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$$M_{Ed,G} = -11,0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,G} = -312,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,G} = -3,7 \text{ kN}$$



Slika 68: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije

Spodaj:

$$M_{Ed,E} = 332,7 \text{ kNm}$$

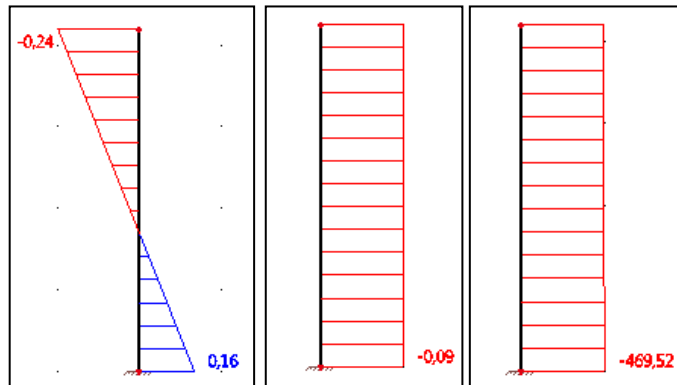
$$N_{Ed,E} = -174,7 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,E} = -64,1 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$M_{Ed,E} =$	63,5 kNm
$N_{Ed,E} =$	-174,7 kN
$V_{Ed,E} =$	-64,1 kN

Steber S2:



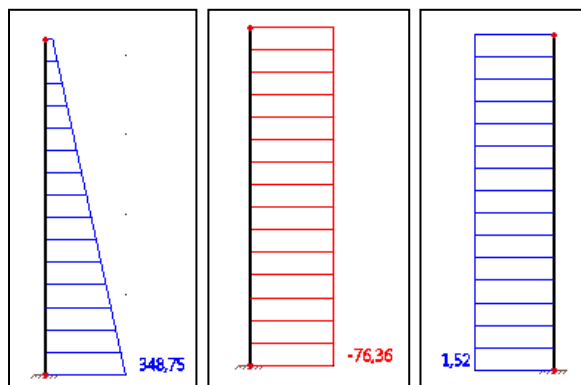
Slika 69: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije

Spodaj:

$M_{Ed,G} =$	0 kNm
$N_{Ed,G} =$	-469,5 kN
$V_{Ed,G} =$	0 kN

Zgoraj:

$M_{Ed,G} =$	0 kNm
$N_{Ed,G} =$	-461,8 kN
$V_{Ed,G} =$	0 kN



Slika 70: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebru zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije

Spodaj:

$$M_{Ed,E} = 348,8 \text{ kNm}$$

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

$$V_{Ed,E} = -76,4 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$$M_{Ed,E} = 28,0 \text{ kNm}$$

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

$$V_{Ed,E} = -76,4 \text{ kN}$$

Kombinacija notranjih sil:

Steber S1 spodaj:

$$M_{Ed} = 4,7 + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 332,7 = 654,3 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -320,1 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 174,7 = -661,2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -3,7 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 64,1 = -128,9 \text{ kN}$$

Steber S1 zgoraj:

$$M_{Ed} = -11 + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 63,5 = 113 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -312,4 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 174,7 = -653,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -3,7 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 64,1 = -128,9 \text{ kN}$$

Steber S2 spodaj:

$$M_{Ed} = 0,0 + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 348,8 = 681,0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -469,5 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 0 = -469,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 0,0 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 76,4 = -149,2 \text{ kN}$$

Steber S2 zgoraj:

$$M_{Ed} = 0,0 + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 28 = 54,7 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -462 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 0 = -462 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 0,0 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,42 \cdot 76,4 = -149 \text{ kN}$$

Dimenzioniranje stebra S1 (steber v spodnji etaži):

Spodaj:

$$M_{Ed} = 654,3 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -661,2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -128,9 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$$M_{Ed} = 113 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -653,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -128,9 \text{ kN}$$

$$W_{y,el} = 4290 \text{ cm}^3$$

$$A = 239 \text{ cm}^2$$

Kontrola lokalne duktilnosti:

Stojina, upogib in tlak, 1. razred

$$d = c = 444 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 14,5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$N_{Ed} = -661,2 \text{ kN}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t \cdot f_y} = \frac{661,2}{2 \cdot 14,5 \cdot 27,5} = 8,3 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a \right) = \frac{1}{44,4} \cdot \left(\frac{44,4}{2} + 8,3 \right) = 0,69$$

$$\alpha > 0,5$$

$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{444}{14,5} = 30,6 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,69 - 1} = 46,2 \quad \text{OK}$$

Pasnica, tlak, 1. razred

$$c = 116 \text{ mm}$$

$$t = 28 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{116}{28} = 4,1 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,92 = 8,3 \quad \text{OK}$$

Strižna odpornost stojine

$$h_w = 444 \text{ mm}$$

$$t_w = 145 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{444}{145} = 30,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$A_v = 239 - 2 \cdot 30 \cdot 2,8 + (1,45 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,8 = 90,2 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 90,2 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1432 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 129 \text{ kN} < \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{1432}{2} = 716 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Kontrola nosilnosti prereza:

$$M_{el, Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{4290 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 1180 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 239 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 6573 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{654,3}{1180} + \frac{661,2}{6573} = 0,66 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

Kontrola stabilnosti elementa:

$$\frac{h}{b} = \frac{50}{30} = 1,67$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

Os: - y-y krivulja: a

- z-z krivulja: b

$$L_u = 420 \text{ cm}$$

$$i_y = 21,2 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{MPa}]}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\lambda_y = \frac{L_u}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{21,2 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,23$$

$$\chi_y = 0,98$$

$$\lambda_z = \frac{L_u}{i_z \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{7,27 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,67$$

$$\chi_z = 0,79$$

$$M_{cr} = 16503 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4290 \cdot 27,5}{1650300}} = 0,27$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\Psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{113}{654,3} = 0,17$$

$$-1 \leq \psi = 0,17 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Nelinearna analiza z imperfekcijo:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,17 = 0,67 \geq 0,4 \quad 0,67$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} \right) =$$

$$k_{yy} = 0,67 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,23 \cdot \frac{661,2}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = \quad 0,68$$

$$k_{yy,max} = 0,67 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{661,2}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = \quad 0,71$$

$$k_{yy} = 0,68 < k_{yy,max} = 0,71 \quad \text{OK}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,68 = \quad 0,41$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} =$$

$$\frac{661,2}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} + 0,68 \cdot \frac{65430}{1,0 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} = \quad 0,51 < 1,0 \quad \text{OK}$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} =$$

$$\frac{661,2}{0,79 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} + 0,41 \cdot \frac{65430}{1 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} = \quad 0,35 < 1,0 \quad \text{OK}$$

Dimenzioniranje stebra S2 (steber v spodnji etaži):

Spodaj:

$$M_{Ed} = \quad 681,0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = \quad -469,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \quad -149,2 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$$M_{Ed} = \quad 54,7 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = \quad -462 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \quad -149 \text{ kN}$$

$$W_{y,el} = \quad 4290 \text{ cm}^3$$

$$A = \quad 239 \text{ cm}^2$$

Kontrola lokalne duktilnosti:

Stojina, upogib in tlak, 1. razred

$$\begin{aligned}
 d = c &= 444 \text{ mm} \\
 t = t_w &= 14,5 \text{ mm} \\
 \varepsilon &= 0,92 \\
 N_{Ed} &= -469,5 \text{ kN} \\
 a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t \cdot f_y} = \frac{469,5}{2 \cdot 1,45 \cdot 27,5} &= 5,9 \text{ cm} \\
 \alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a \right) = \frac{1}{44,4} \cdot \left(\frac{44,4}{2} + 5,9 \right) &= 0,63 \\
 \alpha > 0,5 & \\
 \frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{444}{145} = 30,6 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,63 - 1} = 50,7 & \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Pasnica, tlak, 1. razred

$$\begin{aligned}
 c &= 116 \text{ mm} \\
 t &= 28 \text{ mm} \\
 \frac{c}{t} = \frac{116}{28} = 4,1 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,92 = 8,3 & \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Strižna odpornost stojine

$$\begin{aligned}
 h_w &= 444 \text{ mm} \\
 t_w &= 145 \text{ mm} \\
 \eta &= 1,2 \\
 \frac{h_w}{t_w} = \frac{444}{145} = 30,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 & \text{ OK} \\
 A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f & \\
 A_v = 239 - 2 \cdot 30 \cdot 2,8 + (1,45 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,8 = & 90,2 \text{ cm}^2 \\
 V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 90,2 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = & 1432 \text{ kN} \\
 V_{Ed} = 149,2 \text{ kN} < \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{1432}{2} = 716 \text{ kN} & \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Kontrola nosilnosti prereza:

$$\begin{aligned}
 M_{el, Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{4290 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} &= 1180 \text{ kNm} \\
 N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 239 \cdot \frac{27,5}{1,0} &= 6573 \text{ kN} \\
 \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{681}{1180} + \frac{469,5}{6573} = 0,65 \leq 1,0 & \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Kontrola stabilnosti elementa:

$$\frac{h}{b} = \frac{50}{30} = 1,67$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

Os: - y-y krivulja: a
 - z-z krivulja: b

$$L_u = 420 \text{ cm}$$

$$i_y = 21,2 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [MPa]}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\lambda_y = \frac{L_u}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{21,2 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,23$$

$$\chi_y = 0,98$$

$$\lambda_z = \frac{L_u}{i_z \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{7,27 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,67$$

$$\chi_z = 0,79$$

$$M_{cr} = 18351 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4290 \cdot 27,5}{1835100}} = 0,25$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{55}{681} = 0,08$$

$$-1 \leq \psi = 0,08 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Nelinearna analiza z imperfekcijo:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,08 = 0,63 \geq 0,4 \quad 0,63$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} \right) =$$

$$k_{yy} = 0,63 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,23 \cdot \frac{469,5}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 0,64$$

$$k_{yy, \max} = 0,63 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{469,5}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 0,66$$

$$k_{yy} = 0,64 < k_{yy, \max} = 0,66 \quad \text{OK}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,64 = 0,38$$

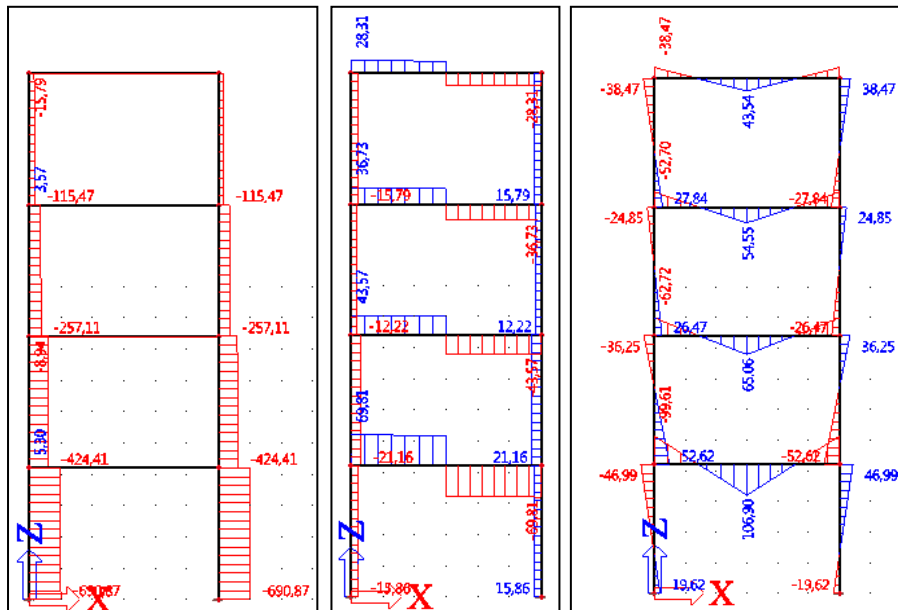
$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} =$$

$$\frac{469,5}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} + 0,64 \cdot \frac{68100}{1,0 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} = 0,44 < 1,0 \quad \text{OK}$$

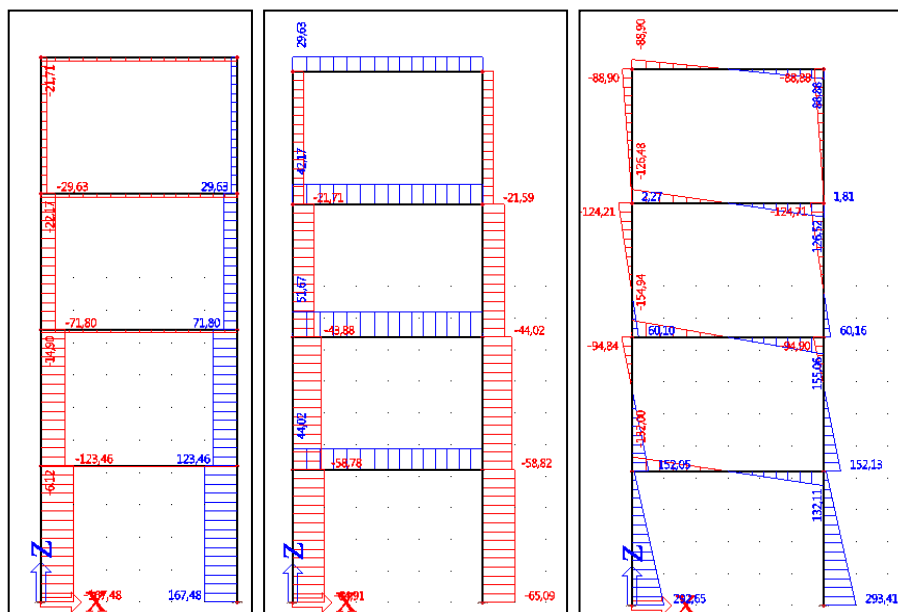
$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} =$$

$$\frac{469,5}{0,79 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} + 0,38 \cdot \frac{68100}{1,0 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} = 0,31 < 1,0 \quad \text{OK}$$

6.5 Dimenzioniranje okvirja OK2



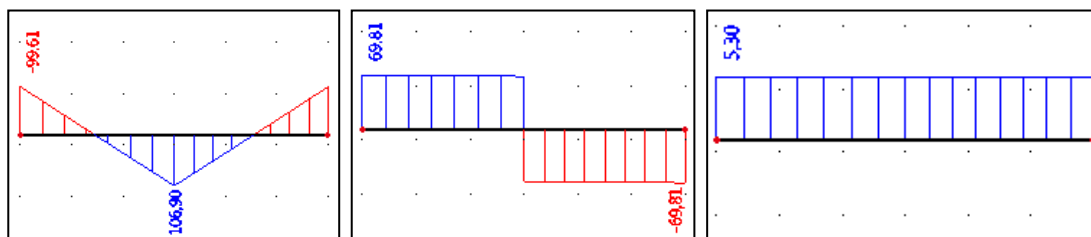
Slika 71: Notranje sile [N], [V] in [M] v elementih zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije



Slika 72: Notranje sile [N], [V] in [M] v elementih zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije

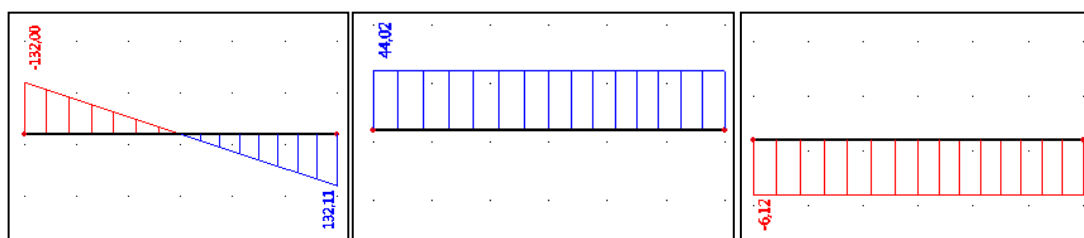
Dimenzioniranje prečke IPE 400 v pritličju na potresno obremenitev (P06)

Notranje sile v prečki zaradi neseizmičnega vpliva:



Slika 73: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije

Notranje sile v prečki zaradi seizmičnega vpliva:



Slika 74: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije

$$M_{Ed,G} = -99,6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,G} = 5,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,G} = 69,8 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,E} = -132,0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,E} = -6,1 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + M_{Ed,E} = -99,6 - 132,0 = -231,6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + N_{Ed,E} = 6,1 - 5,3 = 0,8 \text{ kN}$$

Zahteve v prečkah za zagotovitev tvorjenja plastičnega členka, da osne sile in prečne sile ne povzročijo zmanjšanja polnoplastične upogibne nosilnosti in rotacijske kapacitete:

$$M_{Pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{1307 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 359,4 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Pl,Rd}} = \frac{231,6}{359,4} = 0,64 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

$$N_{el,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 84,5 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 2324 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{el,Rd}} = \frac{0,8}{2324} = 0,00 \leq 0,15 \quad \text{OK}$$

$$V_{Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{Pl,Rd}}{L} = \frac{2 \cdot 1307 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 600} = 119,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M} = 69,8 + 119,8 = 189,6 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$A_v = 84,5 - 2 \cdot 18 \cdot 1,35 + (0,86 + 2 \cdot 2,1) \cdot 1,35 = 42,7 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 42,7 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 678,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 189,6 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{Pl,Rd} = 0,5 \cdot 678,4 \text{ kN} = 339,2 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Dimenzioniranje stebra HEB 500 v pritličju na potresno obremenitev (S4)

Izračun faktorja Ω za obremenitev v stebri:

$$\Omega = \min \left\{ \frac{M_{Pl,Rd}}{M_{Ed,max}} \quad \dots \text{ za najbolj obremenjeno prečko v območju sipanja} \right.$$

$M_{Pl,Rd}$... plastična upogibna nosilnost prečke

$M_{Ed,max}$... največja upogibna obremenitev prečke (vsota $M_{Ed,G}$ in $M_{Ed,E}$)

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

$$W_{y,pl} = 1307 \text{ cm}^3$$

$$M_{Pl,Rd} = W_{y,pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = 1307 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot 100} = 359,4 \text{ kNm}$$

Merodajna je prečka v pritličju:

$$M_{Ed,E} = -231,6 \text{ kNm}$$

$$\Omega_{\min} = \frac{M_{Pl,Rd}}{M_{Ed,E}} = \frac{359,4}{231,6} = 1,55$$

Notranje sile v stebri:

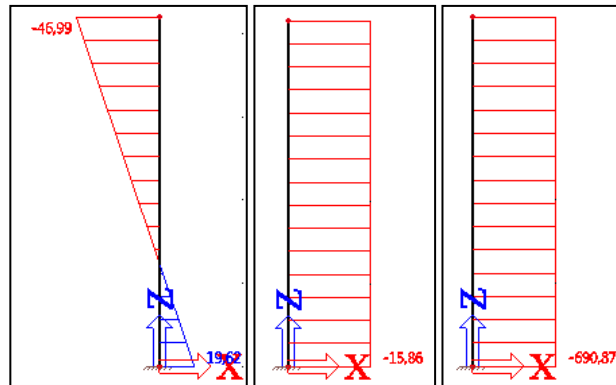
$$\gamma_{OV} = 1,25$$

$$\Omega = 1,55$$

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

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

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



Slika 75: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebri zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije

Spodaj:

$$M_{Ed,G} = 19,6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,G} = -690,9 \text{ kN}$$

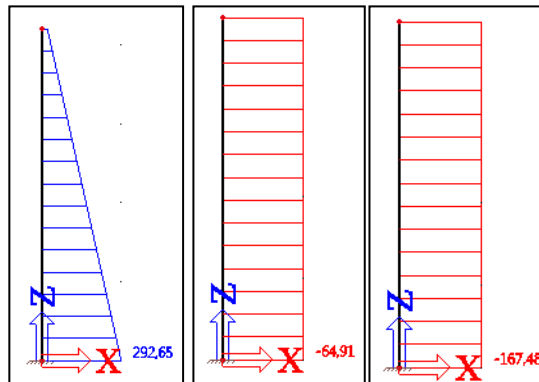
$$V_{Ed,G} = -15,9 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$$M_{Ed,G} = 47 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,G} = -690,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,G} = -15,9 \text{ kN}$$



Slika 76: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebri zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije

Spodaj:

$$M_{Ed,E} = 292,7 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,E} = -167,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,E} = -64,9 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$M_{Ed,E} =$	21 kNm
$N_{Ed,E} =$	-167,5 kN
$V_{Ed,E} =$	-64,9 kN

Kombinacija notranjih sil:

Spodaj:

$M_{Ed} = 19,6 + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,55 \cdot 292,7 =$	643,3 kNm
$N_{Ed} = -690,9 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,55 \cdot 167,5 =$	-1048 kN
$V_{Ed} = -15,9 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,55 \cdot 64,9 =$	-154 kN

Zgoraj:

$M_{Ed} = 47 + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,55 \cdot 21 =$	92 kNm
$N_{Ed} = -690,9 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,55 \cdot 167,5 =$	-1048 kN
$V_{Ed} = -15,9 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,55 \cdot 64,9 =$	-154 kN

Dimenzioniranje:

Spodaj:

$M_{Ed} =$	643,3 kNm
$N_{Ed} =$	-1048 kN
$V_{Ed} =$	-154 kN

Zgoraj:

$M_{Ed} =$	92 kNm
$N_{Ed} =$	-1048 kN
$V_{Ed} =$	-154 kN

$W_{y,el} =$	4290 cm ³
$A =$	239 cm ²

Kontrola lokalne duktilnosti:

Stojina, upogib in tlak, 1. razred

$d = c =$	444 mm
$t = t_w =$	14,5 mm
$\varepsilon =$	0,92
$N_{Ed} =$	-1048 kN

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t \cdot f_y} = \frac{1048}{2 \cdot 1,45 \cdot 27,5} = 13,1 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a \right) = \frac{1}{44,4} \cdot \left(\frac{44,4}{2} + 13,1 \right) = 0,80$$

$$\alpha > 0,5$$

$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{444}{145} = 30,6 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,80 - 1} = 39,2 \quad \text{OK}$$

Pasnica, tlak, 1. razred

$$c = 116 \text{ mm}$$

$$t = 28 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{116}{28} = 4,1 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,92 = 8,3 \quad \text{OK}$$

Strižna odpornost stojine

$$h_w = 444 \text{ mm}$$

$$t_w = 145 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{444}{145} = 30,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$A_v = 239 - 2 \cdot 30 \cdot 2,8 + (1,45 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,8 = 90,2 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 90,2 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1432 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 154 \text{ kN} < \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{1432}{2} = 716 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Kontrola nosilnosti prereza:

$$M_{el,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{4290 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 1180 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 239 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 6573 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{1048}{1180} + \frac{643,3}{6573} = 0,71 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

Kontrola stabilnosti elementa:

$$\frac{h}{b} = \frac{50}{30} = 1,67$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

Os: - y-y krivulja: a

- z-z krivulja: b

$$L_u = 420 \text{ cm}$$

$$i_y = 21,2 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y[\text{MPa}]}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\lambda_y = \frac{L_u}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{21,2 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,23$$

$$\chi_y = 0,98$$

$$\lambda_z = \frac{L_u}{i_z \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{7,27 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,67$$

$$\chi_z = 0,79$$

$$M_{cr} = 17069 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4290 \cdot 27,5}{1706900}} = 0,26$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{92}{643,3} = 0,14$$

$$-1 \leq \psi = 0,14 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Nelinearna analiza z imperfekcijo:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,14 = 0,66 \geq 0,4 \quad 0,66$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}}\right)}\right) =$$

$$k_{yy} = 0,66 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,23 \cdot \frac{1048}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)}\right) = 0,67$$

$$k_{yy, \max} = 0,66 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{1048}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)}\right) = 0,72$$

$$k_{yy} = 0,67 < k_{yy, \max} = 0,72 \quad \text{OK}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,67 = 0,40$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}}\right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}}\right)} =$$

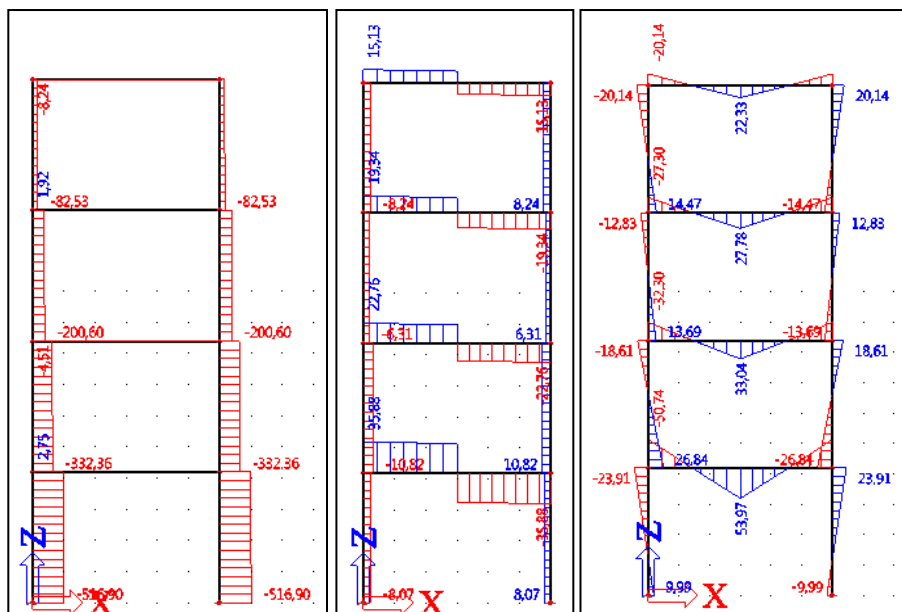
$$\frac{1048}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} + 0,67 \cdot \frac{64330}{1,0 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} = 0,53 < 1,0 \quad \text{OK}$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}}\right)} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}}\right)} =$$

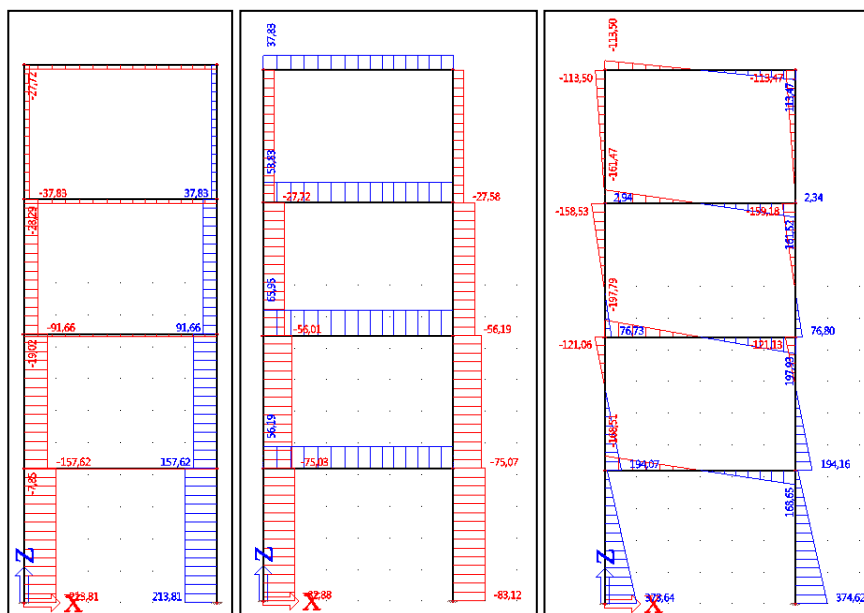
$$\frac{1048}{0,79 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} + 0,40 \cdot \frac{64330}{1,0 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0}\right)} = 0,42 < 1,0 \quad \text{OK}$$

Profil HEB 500 ustreza vsem zahtevam.

6.6 Dimenzioniranje okvirja OK3



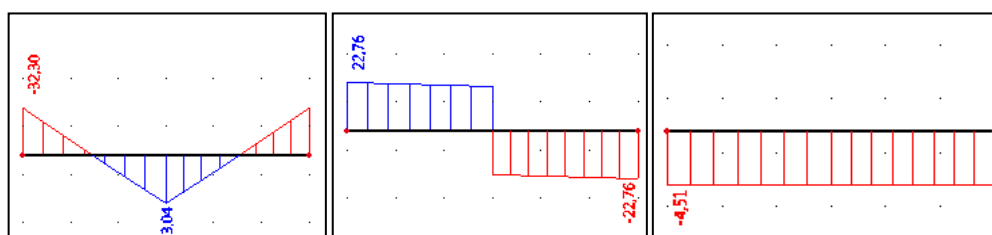
Slika 77: Notranje sile [N], [V] in [M] v elementih zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije



Slika 78: Notranje sile [N], [V] in [M] v elementih zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije

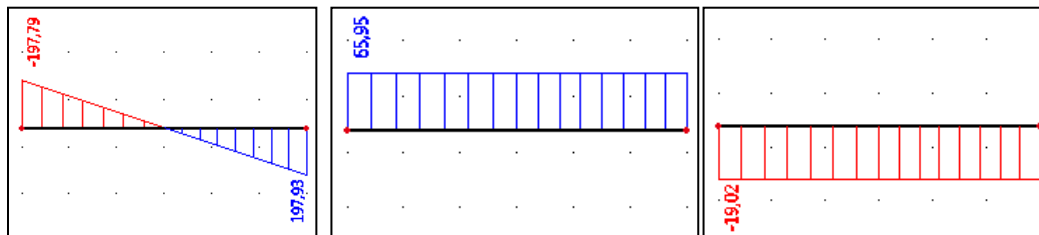
Dimenzioniranje prečke IPE 400 v drugi etaži na potresno obremenitev (P05)

Notranje sile v prečki zaradi neseizmičnega vpliva:



Slika 79: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije

Notranje sile v prečki zaradi seizmičnega vpliva:



Slika 80: Notranje sile [M], [V] in [N] v prečki zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije

$$M_{Ed,G} = -32,3 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,G} = -4,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,G} = 22,8 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,E} = -198,0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,E} = -19,0 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + M_{Ed,E} = -32,3 - 198 = -230,3 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + N_{Ed,E} = -4,5 - 19,0 = -23,5 \text{ kN}$$

Zahteve v prečkah za zagotovitev tvorjenja plastičnega členka, da osne sile in prečne sile ne povzročijo zmanjšanja polnoplastične upogibne nosilnosti in rotacijske kapacitete:

$$M_{Pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{1307 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 359,4 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Pl,Rd}} = \frac{230,3}{359,4} = 0,64 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

$$N_{el,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 84,5 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 2324 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{el,Rd}} = \frac{23,4}{2324} = 0,01 \leq 0,15 \quad \text{OK}$$

$$V_{Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{Pl,Rd}}{L} = \frac{2 \cdot 1307 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 600} = 119,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M} = 22,8 + 119,8 = 142,6 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$A_v = 84,5 - 2 \cdot 18 \cdot 1,35 + (0,86 + 2 \cdot 2,1) \cdot 1,35 = 42,7 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 42,7 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 678,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 142,6 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot V_{Pl,Rd} = 0,5 \cdot 678,4 \text{ kN} = 339,2 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Dimenzioniranje stebra HEB 500 v pritličju na potresno obremenitev (S3)

Izračun faktorja Ω za obremenitev v stebru:

$$\Omega = \min \left\{ \frac{M_{Pl,Rd}}{M_{Ed,max}} \right. \quad \dots \text{ za najbolj obremenjeno prečko v območju sipanja}$$

$M_{Pl,Rd}$... plastična upogibna nosilnost prečke

$M_{Ed,max}$... največja upogibna obremenitev prečke (vsota $M_{Ed,G}$ in $M_{Ed,E}$)

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

$$W_{y,pl} = 1307 \text{ cm}^3$$

$$M_{Pl, Rd} = W_{y,pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = 1307 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot 100} = 359,4 \text{ kNm}$$

Prečka v drugi etaži:

$$M_{Ed,E} = -198 \text{ kNm}$$

$$\Omega_{min} = \frac{M_{Pl,Rd}}{M_{Ed,max}} = \frac{359,4}{230,3} = 1,56$$

Prečke v prvi, tretji in četrti etaži niso merodajne.

Notranje sile v stebru:

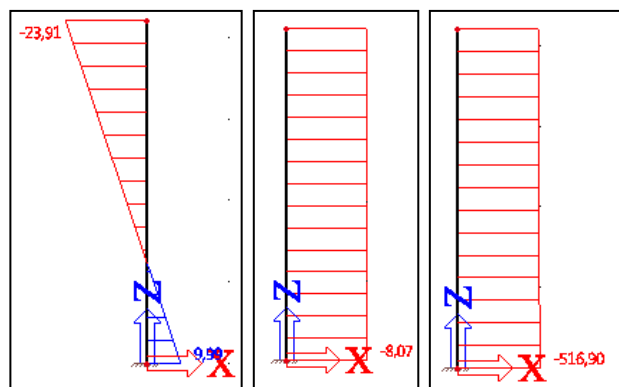
$$\gamma_{OV} = 1,25$$

$$\Omega = 1,56$$

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

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

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



Slika 81: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebri zaradi gravitacijskega dela potresne kombinacije

Spodaj:

$$M_{Ed,G} = 10,0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,G} = -516,9 \text{ kN}$$

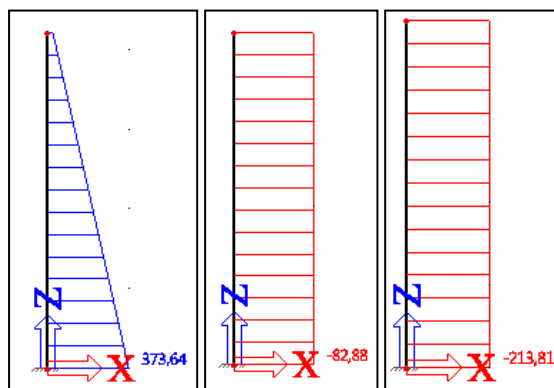
$$V_{Ed,G} = -8,1 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$$M_{Ed,G} = -24 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,G} = -516,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,G} = -8,1 \text{ kN}$$



Slika 82: Notranje sile [M], [V] in [N] v stebri zaradi seizmičnega vpliva potresne kombinacije

Spodaj:

$$M_{Ed,E} = 373,6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,E} = -213,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,E} = -82,9 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$$M_{Ed,E} = 25,6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,E} = -213,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,E} = -82,9 \text{ kN}$$

Kombinacija notranjih sil:

Spodaj:

$$M_{Ed} = 10 + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,56 \cdot 373,6 = 811 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -516,9 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,56 \cdot 213,8 = -976 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -8,1 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,56 \cdot 82,9 = -186 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$$M_{Ed} = -24 + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,56 \cdot 25,6 = 30,9 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -516,9 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,56 \cdot 213,8 = -975,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -8,1 - 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,56 \cdot 82,9 = -186 \text{ kN}$$

Dimenzioniranje:

Spodaj:

$$M_{Ed} = 811 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -976 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -186 \text{ kN}$$

Zgoraj:

$$M_{Ed} = 30,9 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -976 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -186 \text{ kN}$$

$$W_{y,el} = 4290 \text{ cm}^3$$

$$A = 239 \text{ cm}^2$$

Kontrola lokalne duktilnosti:

Stojina, upogib in tlak, 1. razred

$$d = c = 444 \text{ mm}$$

$$t = t_w = 14,5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$N_{Ed} = -976 \text{ kN}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t \cdot f_y} = \frac{976}{2 \cdot 14,5 \cdot 27,5} = 12,2 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a \right) = \frac{1}{44,4} \cdot \left(\frac{44,4}{2} + 12,2 \right) = 0,78$$

$$\alpha > 0,5$$

$$\frac{c}{t} = \frac{d}{t_w} = \frac{444}{14,5} = 30,6 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,78 - 1} = 40,3 \quad \text{OK}$$

Pasnica, tlak, 1. razred

$$c = 116 \text{ mm}$$

$$t = 28 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{116}{28} = 4,1 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,92 = 8,3 \quad \text{OK}$$

Strižna odpornost stojine

$$h_w = 444 \text{ mm}$$

$$t_w = 145 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,2$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{444}{145} = 30,6 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0,92}{1,2} = 55,2 \quad \text{OK}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$A_v = 239 - 2 \cdot 30 \cdot 2,8 + (1,45 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,8 = 90,2 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 90,2 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1432 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 186 \text{ kN} < \frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{1432}{2} = 716 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Kontrola nosilnosti prereza:

$$M_{el,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} = \frac{4290 \cdot 27,5}{1,0 \cdot 100} = 1180 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 239 \cdot \frac{27,5}{1,0} = 6573 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} + \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{976}{1180} + \frac{811}{6573} = 0,84 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

Kontrola stabilnosti elementa:

$$\frac{h}{b} = \frac{50}{30} = 1,67$$

$$t_f = 2,8 \text{ cm}$$

Os: - y-y krivulja: a
 - z-z krivulja: b

$$L_u = 420 \text{ cm}$$

$$i_y = 21,2 \text{ cm}$$

$$i_z = 7,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [MPa]}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\lambda_y = \frac{L_u}{i_y \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{21,2 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,23$$

$$\chi_y = 0,98$$

$$\lambda_z = \frac{L_u}{i_z \cdot 93,9 \cdot \varepsilon} = \frac{420}{7,27 \cdot 93,9 \cdot 0,92} = 0,67$$

$$\chi_z = 0,79$$

$$M_{cr} = 19282 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4290 \cdot 27,5}{1928200}} = 0,25$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{31}{811} = 0,04$$

$$-1 \leq \psi = 0,04 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Nelinearna analiza z imperfekcijo:

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,04 = 0,62 \geq 0,4 \quad 0,62$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \lambda_y \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right)} \right) =$$

$$k_{yy} = 0,62 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,23 \cdot \frac{976}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 0,63$$

$$k_{yy, \max} = 0,62 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{976}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} \right) = 0,67$$

$$k_{yy} = 0,63 < k_{yy, \max} = 0,67 \quad \text{OK}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,63 = 0,38$$

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right)} =$$

$$\frac{976}{0,98 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} + 0,63 \cdot \frac{81100}{1,0 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} = 0,58 < 1,0 \quad \text{OK}$$

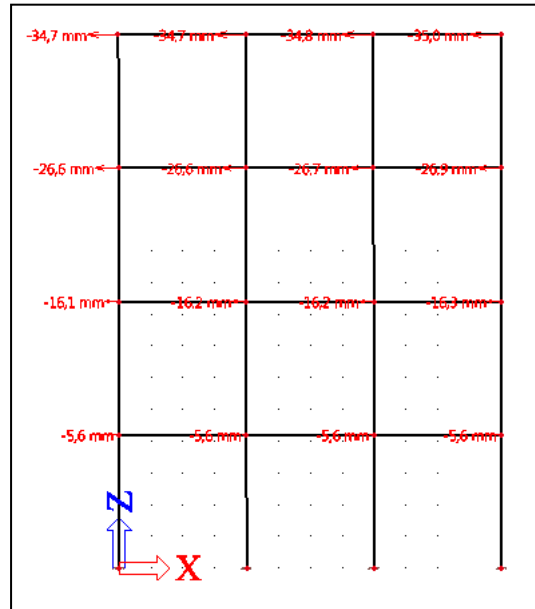
$$\frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right)} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{lt} \cdot W_y \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)} =$$

$$\frac{976}{0,79 \cdot 239 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} + 0,38 \cdot \frac{81100}{1,0 \cdot 4290 \cdot \left(\frac{27,5}{1,0} \right)} = 0,45 < 1,0 \quad \text{OK}$$

6.7 Kontrola pomikov MSU

Kontrola pomikov okvirja OK1

Kontrola horizontalnih pomikov posameznih etaž pri potresni obtežbi:



Slika 83: Horizontalni pomiki momentnega okvirja OK1 za potresno kombinacijo [mm]

$$d_r \cdot v \leq 0,01 \cdot h = 0,005 \cdot 420 = 2,1 \text{ cm}$$

$$d_r = d_e \cdot v$$

$$v = 0,4$$

Prva etaža:

$$d_e = 5,6 \text{ mm}$$

$$d_r = 0,4 \cdot 0,56 = 0,22 \text{ cm} \leq 2,1 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Druga etaža:

$$d_e = 10,5 \text{ mm}$$

$$d_r = 0,4 \cdot 1,05 = 0,42 \text{ cm} \leq 4,2 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Tretja etaža:

$$d_e = 10,5 \text{ mm}$$

$$d_r = 0,4 \cdot 1,05 = 0,42 \text{ cm} \leq 4,2 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Četrta etaža:

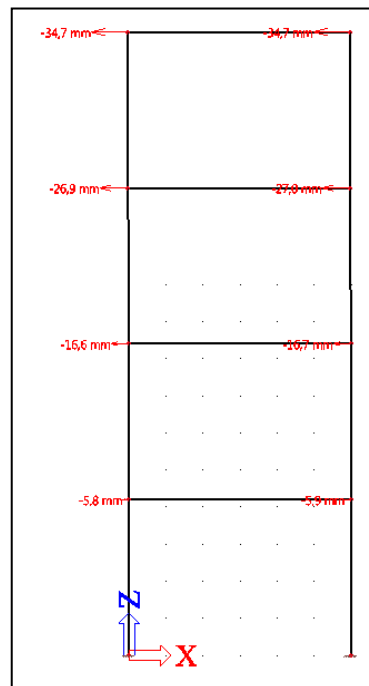
$$d_e = 8,1 \text{ mm}$$

$$d_r = 0,4 \cdot 0,81 = 0,32 \text{ cm} \leq 4,2 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Pomiki so v dovoljenih mejah!

Kontrola pomikov okvirja OK2 in OK3

Kontrola horizontalnih pomikov posameznih etaž pri potresni obtežbi:



Slika 84: Horizontalni pomiki momentnega okvirja OK2 za potresno kombinacijo [mm]

$$d_r \cdot v \leq 0,01 \cdot h = 0,005 \cdot 420 = 2,1 \text{ cm}$$

$$d_r = d_e \cdot v$$

$$v = 0,4$$

Prva etaža:

$$d_e = 5,8 \text{ mm}$$

$$d_r = 0,4 \cdot 0,58 = 0,23 \text{ cm} \leq 2,1 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Druga etaža:

$$d_e = 10,8 \text{ mm}$$

$$d_r = 0,4 \cdot 1,08 = 0,43 \text{ cm} \leq 4,2 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Tretja etaža:

$$d_e = 10,3 \text{ mm}$$

$$d_r = 0,4 \cdot 1,03 = 0,41 \text{ cm} \leq 4,2 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Četrta etaža:

$$d_e = 7,8 \text{ mm}$$

$$d_r = 0,4 \cdot 0,78 = 0,31 \text{ cm} \leq 4,2 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Pomiki so v dovoljenih mejah!

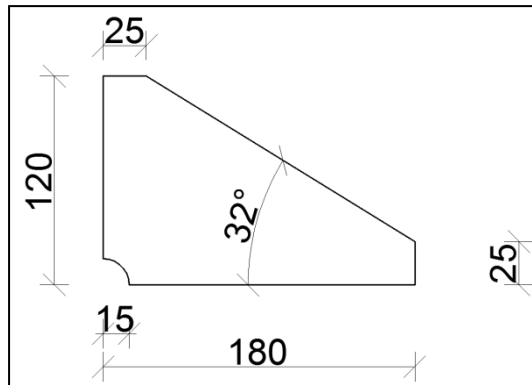
7 DIMENZIONIRANJE SPOJEV

7.1 Dimenzioniranje spoja steber-prečka (HEB 500-IPE 400)

Steber: HEB 500

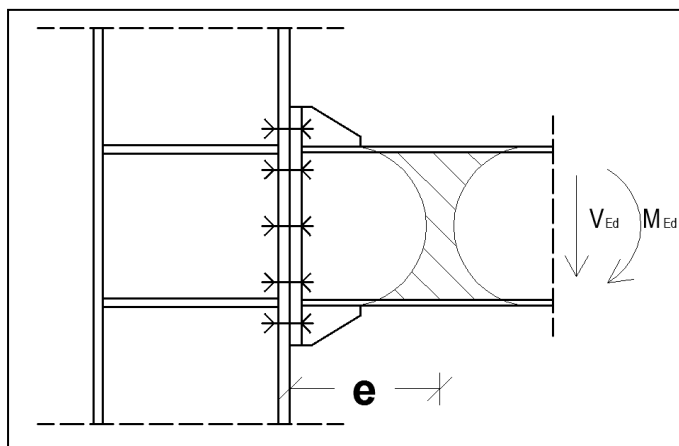
Prečka: IPE 400

Predpostavim dimenzije vute:



Slika 85: Skica vute

$t_{vuta} =$	16 mm
$l_{vuta} =$	180 mm
$h_{vuta} =$	120 mm
$d_{izrez} =$	15 mm



Slika 86: Pozicija razvoja plastičnega členka v prečki

Izračun obremenitev:

$$\begin{aligned}f_y &= 27,5 \text{ kN/cm}^2 \\ \gamma_{ov} &= 1,25 \\ \text{Predpostavim: } t_{cp}^* &= 32 \text{ mm} \\ e = t_{cp}^* + l_{vuta} + \frac{h_{IPE}}{2} &= 3,2 + 18 + \frac{40}{2} = 41,2 \text{ cm} \\ W_{pl,y} &= 1307 \text{ cm}^3 \\ M_{pl,Ed} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot 100} &= 1307 \cdot \frac{27,5}{1,0 \cdot 100} = 359,4 \text{ kNm} \\ V_{Ed,G} &= 20,8 \text{ kN} \\ V_{Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd}}{L} = \frac{2 \cdot 1307 \cdot 27,5}{6,0 \cdot 100} &= 119,8 \text{ kN} \\ V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M} &= 20,8 + 119,8 = 140,6 \text{ kN} \\ V_{Rd} \geq 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot V_{Ed} &= 1,1 \cdot 1,25 \cdot 140,6 = 193,3 \text{ kN} \\ M_{Rd}^* \geq 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot M_{pl,Ed} &= 1,1 \cdot 1,25 \cdot 359,4 = 494,2 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Zaradi pozicije plastičnega členka se razvije dodaten moment:

$$M_{Rd} = M_{Rd}^* + V_{Rd} \cdot e = 494,2 + 193,3 \cdot 41,2 = 573,9 \text{ kNm}$$

Obremenitve, ki jih mora prenesti spoj:

$$\begin{aligned}M_{Rd} \geq M_{Ed} &= 573,9 \text{ kNm} \\ V_{Rd} \geq V_{Ed} &= 193,3 \text{ kN}\end{aligned}$$

Predpostavim vijake: 2x5 M 30 10.9

$$\begin{aligned}f_{ub} &= 100 \text{ kN/cm}^2 \\ d &= 30 \text{ mm} \\ d_0 &= 33 \text{ mm}\end{aligned}$$

Robna oddaljenost vijakov:

$$\begin{aligned}e_1 = e_2 \geq 2,0 \cdot d_0 &= 2,0 \cdot 33 = 66 \text{ mm} \\ e_1 = e_2 &= 70 \text{ mm} \\ p_1 &= 137 \text{ mm}\end{aligned}$$

Izberem dimenzije čelne pločevine:

$$t_{\check{c}p} \geq d = 30 \text{ mm}$$

$$t_{\check{c}p} = 32 \text{ mm}$$

$$h_{\check{c}p} = h_{IPE} + 2 \cdot h_{vuta} = 400 + 2 \cdot 100 = 600 \text{ mm}$$

$$b_{\check{c}p} = b_{IPE} + 2 \cdot 45 \text{ mm} = 180 + 2 \cdot 45 = 270 \text{ mm}$$

Izračun zvarov:

Zvari med čelno pločevino, IPE 400 in vuto:

Uporabljajo se kotni, obojestranski zvari.

$$n = 2$$

$$\beta_w = 0,85$$

$$f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\frac{a_{max}}{t} = 0,48$$

Pasnica:

$$a = 0,48 \cdot t_f = 0,48 \cdot 13,5 = 6,5 \text{ mm}$$

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

Stojina:

$$a = 0,48 \cdot t_w = 0,48 \cdot 8,6 = 4,1 \text{ mm}$$

Izberem: $a_w = 5 \text{ mm}$

Zvar med vuto in pasnico:

$$a = 0,48 \cdot t_{vuta} = 0,48 \cdot 16 = 7,7 \text{ mm}$$

Izberem: $a_{vuta,l} = 8 \text{ mm}$

$$l_{zv} = 2 \times 165 \text{ mm}$$

Zvar med vuto in čelno pločevino:

$$a = 0,48 \cdot t_{vuta} = 0,48 \cdot 1,6 = 7,7 \text{ mm}$$

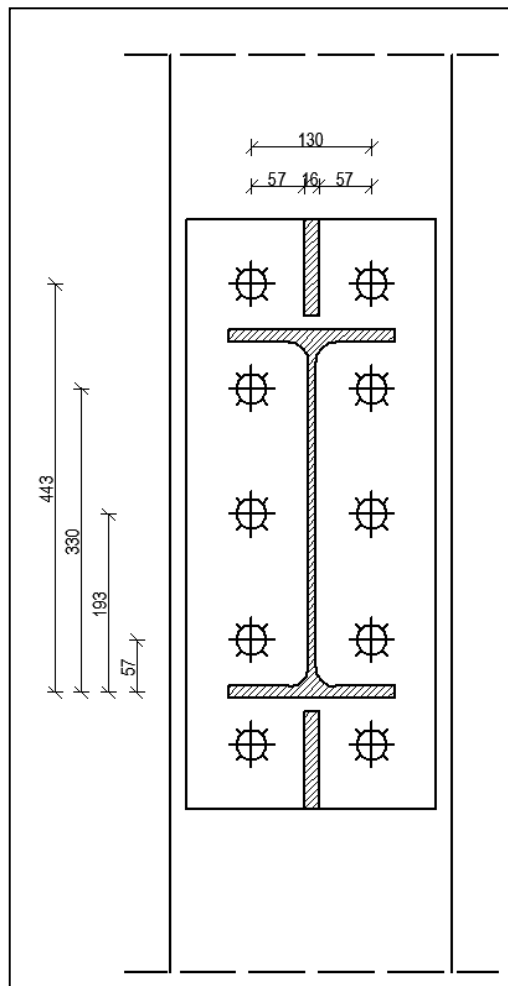
Izberem: $a_{vuta,h} = 8 \text{ mm}$

$$l_{zv,h} = 2 \times 105 \text{ mm}$$

Dimenzioniranje vijakov:

Predpostavim, da je čelna pločevina dovolj toga in deformacije v pločevini ne nastanejo.

Predpostavim, da je nevtralna os v težišču spodnje pasnice.



Slika 87: Skica pozicij vijakov

Število vijakov v eni vrsti:

$n =$

2

Razdalje od vrtilišča do težišča vijakov:

$r_1 =$

56,8 mm

$r_2 =$

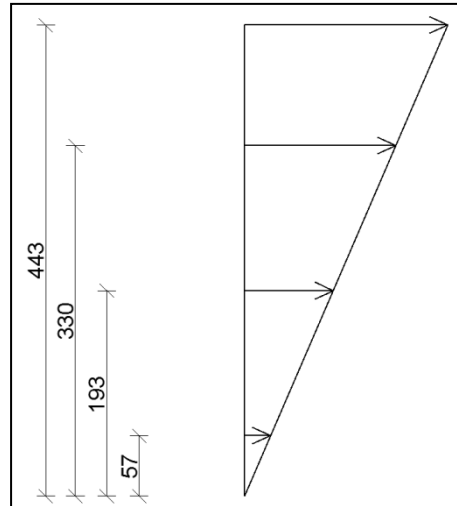
193,3 mm

$r_3 =$

329,8 mm

$r_4 =$

443,3 mm



Slika 88: Razdalje od vrtilišča spoja do vijakov

$$F_{\max} = F_4 = \frac{M_{Rd} \cdot r_4}{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2} = \frac{100 \cdot 573,9 \cdot 44,33}{5,68^2 + 19,33^2 + 32,98^2 + 44,33^2} = 735,6 \text{ kN}$$

$$F_3 = \frac{M_{Rd} \cdot r_3}{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2} = \frac{100 \cdot 573,9 \cdot 32,98}{5,68^2 + 19,33^2 + 32,98^2 + 44,33^2} = 547,3 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{M_{Rd} \cdot r_2}{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2} = \frac{100 \cdot 573,9 \cdot 19,33}{5,68^2 + 19,33^2 + 32,98^2 + 44,33^2} = 320,7 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{M_{Rd} \cdot r_1}{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2} = \frac{100 \cdot 573,9 \cdot 5,68}{5,68^2 + 19,33^2 + 32,98^2 + 44,33^2} = 94,2 \text{ kN}$$

Kontrola natezne nosilnosti vijaka:

$$F_{t,Rd} = 403,9 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{F_{\max}}{n} = \frac{735,6}{2} = 367,8 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 403,9 \text{ kN} \geq F_{t,Ed} = 367,8 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Kontrola strižne nosilnosti vijaka:

Predpostavim, da strižno silo prenašata spodnja vijaka, ki nista natezno obremenjena.

$$n = 2$$

$$F_{v,Rd} = 224,4 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{193,3}{2} = 96,7 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 224,4 \text{ kN} \geq F_{v,Ed} = 96,7 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Kontrola preboja pločevine: NI MERODAJNO.

Kontrola bočnih pritiskov: NI MERODAJNO.

Pasnica stebra v območju velike natezne obremenitve:

Pogoj za zadostno togost pasnice:

$$t_f \geq 0,5 \cdot t_{\text{cp}}$$

$$t_f = 40 \text{ mm}$$

$$t_{\text{cp}} = 24 \text{ mm}$$

$$24 \text{ mm} \geq 0,5 \cdot 32 \text{ mm} = 16 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

V zgornjih vrstah vijakov ni treba dodajati posebnih podložk.

Kontrola vnosa velike koncentrirane sile v steber:

$$b_{\text{eff}} = b_{\text{IPE}} + 2 \cdot t_{\text{cp}} + 2 \cdot t_{f,\text{HEB}} = 180 + 2 \cdot 32 + 2 \cdot 24 = 192 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} = 192 \text{ mm} \leq b_{\text{HEB}} = 300 \text{ mm}$$

$$F_{c,\text{Ed}} = \Sigma F_i = 94,2 + 320,7 + 547,3 + 735,6 = 1697,8 \text{ kN}$$

$$F_{c,\text{Ed}} \leq b_{\text{eff}} \cdot t_{\text{po}} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{\text{po}} \geq \frac{F_{c,\text{Ed}} \cdot \gamma_{M0}}{b_{\text{eff}} \cdot f_y} = \frac{1697,8 \cdot 1,0}{29,2 \cdot 27,5} = 2,11 \text{ cm}$$

Izberem: $t_{\text{po}} = 22 \text{ mm}$

Kompaktnost prečne ojačitve:

$$\frac{b_{\text{po}}}{t_{\text{po}}} \leq 38 \cdot \varepsilon$$

$$b_{\text{po}} = \frac{b_{\text{HEB}} - t_w}{2} = \frac{300 - 14,5}{2} = 143 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = 0,92$$

$$\frac{143}{22} = 6,5 \leq 38 \cdot 0,92 = 35,1 \quad \text{OK}$$

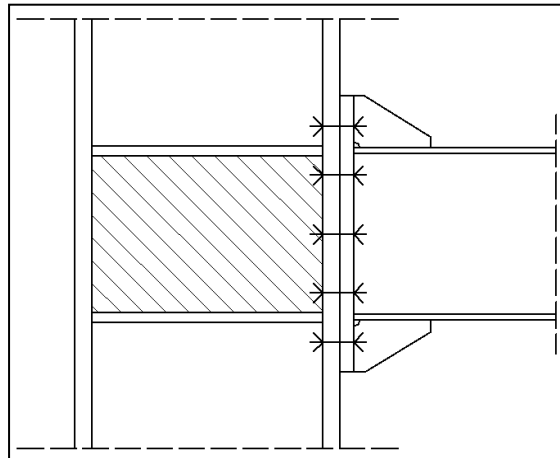
Zvar prečne ojačitve:

$$a = 0,48 \cdot 22 = 10,6 \text{ mm}$$

Izberem:

$$a_{\text{po}} = 11 \text{ mm}$$

Strig v stojini stebra:



Slika 89: Stojina stebra v strigu

$$V_{Ed} = F_c \leq V_{Pl,Rd}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f =$$

$$A_v = 239 - 2 \cdot 30 \cdot 2,8 + (1,45 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,8 = 90,2 \text{ cm}^2$$

$$V_{Pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 90,2 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1432 \text{ kN}$$

$$F_c = 1697,8 \text{ kN} \geq V_{Pl,Rd} = 1432 \text{ kN}$$

Stojino je treba ojačati.

Ojačitev stojine:

$$\Delta V_{Ed} = F_c - V_{pl,Rd} = 1698 - 1432 = 266,0 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{Ed} \leq t_{oj} \cdot b_{oj} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Izberem: $b_{oj} = 350 \text{ mm}$

$$t_{oj} \geq \frac{\Delta V_{Ed} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{b_{oj} \cdot f_y} = \frac{266 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,0}{35 \cdot 27,5} = 0,47 \text{ cm}$$

Izberem: $t_{oj} = 16 \text{ mm}$

$$l_{oj} \geq h_{IPE} + 2 \cdot 3 \cdot d_0 = 40 + 2 \cdot 3 \cdot 2,2 = 53,2 \text{ cm}$$

Izberem: $l_{oj} = 550 \text{ mm}$

Dimenzija pločevine za ojačitev stojine: $l_{oj} / b_{oj} / t_{oj} = 550 \text{ mm} / 350 \text{ mm} / 16 \text{ mm}$

Zvar ojačitve stojine:

Kotni zvar: $a = 0,7 \cdot 16 = 11,2 \text{ mm}$

Izberem: $a_{oj} = 11 \text{ mm}$

7.2 Dimenzioniranje členkastega spoja prečka-prečka (IPE 400-IPE 240)

Primarna prečka: IPE 400

Sekundarna prečka: IPE 240

Obremenitev:

$$g = 4,57 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 8,3 \text{ kN/m}^2$$

$$B = 3,0 \text{ m}$$

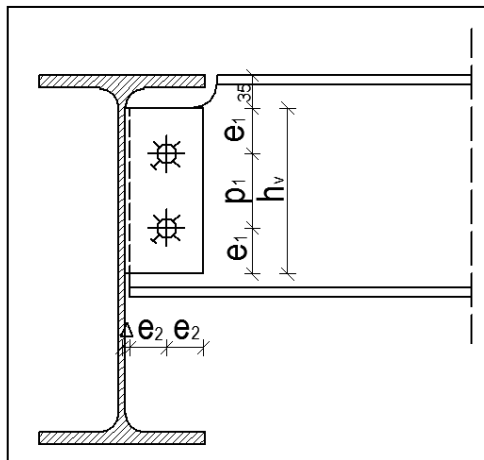
$$L = 2,0 \text{ m}$$

$$g_{IPE} = 0,301 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed} = (1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q) \cdot B \cdot L + g_{IPE} \cdot L =$$

$$V_{Ed} = (1,35 \cdot 4,57 + 1,5 \cdot 8,3) \cdot 3,0 \cdot 2,0 + 0,3 \cdot 2,0 = 112,3 \text{ kN}$$

Zasnova spoja:



Slika 90: Zasnova spoja

$$\Delta = 5 + \frac{t_w}{2} = 5 + \frac{6,2}{2} = 8,1 \text{ mm}$$

$$h_v \leq h_{IPE240} - 35 - t_f - r = 240 - 35 - 9,8 - 15 = 180,2 \text{ mm}$$

Izberem: $h_v = 180 \text{ mm}$

Izberem vijake: 2 x M16 10.9

$$n = 2$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$e_1 \geq 2 \cdot d_0 = 2 \cdot 18 = 36 \text{ mm}$$

Izberem: $e_1 = 55 \text{ mm}$

$$e_2 \geq 1,5 \cdot d_0 = 1,5 \cdot 18 = 27 \text{ mm}$$

$$\text{Izberem: } e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$b_v = 2 \cdot e_2 + 5 = 2 \cdot 45 + 5 = 95 \text{ mm}$$

$$\text{Izberem: } t_v = 8,0 \text{ mm}$$

$$p_1 = h_v - 2 \cdot e_1 = 180 - 2 \cdot 55 = 70 \text{ mm}$$

$$\text{Dimenzija vezne pločevine: } b_v/h_v/t_v = 95 \text{ mm} / 180 \text{ mm} / 8 \text{ mm}$$

Kontrola nosilnosti vijakov:

Moment zaradi ekscentričnosti:

$$e = \Delta + e_2 = 8,1 + 40 = 48,1 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 112,3 = 112,3 \cdot \frac{48,1}{10} = 540 \text{ kNcm}$$

Kontrola strižne nosilnosti vijakov:

$$F_{Ed,M} = \frac{M_{Ed}}{p_1} = \frac{540}{7} = 77,1 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,V} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{112,3}{2} = 56,2 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{Ed,M}^2 + F_{Ed,V}^2} = \sqrt{77,1^2 + 56,2^2} = 87,8 \text{ kN}$$

Strižno ravnino v vijaku predpostavim skozi steblo vijaka brez navojev.

$$F_{Ed} = 95,4 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 96,5 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Kontrola bočnega pritiska:

Strižna sila v vijaku se pojavi zaradi prečne sile in zaradi momenta. Pri preverjanju bočnih pritiskov vsako smer obravnavam posebej.

Vijak, obremenjen s $F_{Ed,M}$:

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$e_2 = 55 \text{ mm}$$

$$p_2 = 80 \text{ mm}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \cdot \frac{55}{18} - 1,7 = 6,9; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) =$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18} = 0,74; \frac{80}{43} = 1,9; 1,0\right) = 0,74$$

$$t = \min(t_v; t_w) = \min(8,0; 6,2) = 6,2 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 43 \cdot 1,6 \cdot 0,62}{1,25} = 63,1 \text{ kN}$$

$$F_{Ed,M} = 63,1 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 63,1 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Vijak, obremenjen s $F_{Ed,V}$:

$$\begin{aligned}e_1 &= 55 \text{ mm} \\e_2 &= 40 \text{ mm} \\p_1 &= 80 \text{ mm} \\k_1 &= \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{40}{18} - 1,7 = 4,5; 2,5 \right) = 2,5 \\ \alpha_b &= \min \left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right) = \\ \alpha_b &= \min \left(\frac{55}{3 \cdot 18} = 1,01; \frac{80}{43} = 1,9; 1,0 \right) = 1,0 \\ t &= \min (t_v; t_w) = \min (8,0; 6,2) = 6,2 \text{ mm} \\ F_{b,Rd} &= \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 43 \cdot 1,6 \cdot 0,62}{1,25} = 85,3 \text{ kN} \\ F_{Ed,V} &= 56,2 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 85,3 \text{ kN} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Zagotovitev duktilnosti :

$$F_{b,Rd} = 85,3 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 96,5 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Spoj je duktilen.

Dimenzioniranje vezne pločevine:

Zvar med stojino IPE 400 in vezno pločevino:

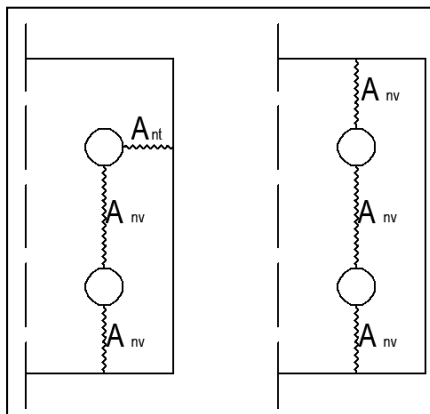
Izberem obojestranski, polno nosilni kotni zvar.

$$\begin{aligned}a &\geq 0,48 \cdot t_p = 0,48 \cdot 8 = 3,8 \text{ mm} \\ \text{Izberem:} \quad a &= 3 \text{ mm} \\ \beta_w &= 0,85 \\ l_{zv} = h_v &= 180 \text{ mm} \\ n &= 2 \\ W &= \frac{2 \cdot a \cdot l_{zv}^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 18^2}{6} = 32,4 \text{ cm}^3 \\ M_{Ed} &= 540 \text{ kNcm} \\ n &= \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{540}{32,4} = 16,7 \text{ kN/cm}^2 \\ v_{\parallel} &= \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l_{zv}} = \frac{112,3}{2 \cdot 0,3 \cdot 18} = 10,4 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

$$\sqrt{n^2 + v_{\parallel}^2} \leq f_{vwd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{16,7^2 + 10,4^2} = 19,8 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{vwd} = \frac{43}{\sqrt{3} \cdot 0,85 \cdot 1,25} = 23,4 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{OK}$$

Strižni izstrg vijakov in strižna nosilnost:



Slika 91: Prikaz možnih porušnih ravnin v vezni pločevini

Strižni izstrg vijakov:

NI MERODAJEN. Debelina vezne pločevine je večja od debeline stojine nosilca.

Strižna nosilnost neto prereza:

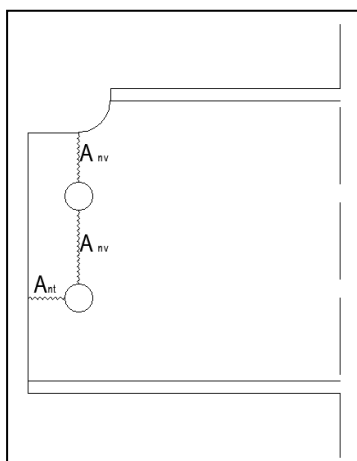
$$A_{nv} = (h_v - 2 \cdot d_0) \cdot t_v = (18 - 2 \cdot 1,8) \cdot 0,8 = 11,5 \text{ cm}^2$$

$$V_{\text{eff,Rd},2} = A_{nv} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 11,5 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 182,6 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed}} = 112,3 \text{ kN} \leq V_{\text{eff,Rd},2} = 182,6 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Dimenzioniranje nosilca:

Strižni izstrg:



Slika 92: Prikaz porušne ravnine strižnega izstrga v stojine nosilca

$$A_{nt} = (e_2 - \frac{d_0}{2}) \cdot t_w = (4 - \frac{1,8}{2}) \cdot 0,62 = 1,92 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = (e_1 + p_1 - 1,5 \cdot d_0) \cdot t_w = (5,5 + 7 - 1,5 \cdot 1,8) \cdot 0,62 = 6,08 \text{ cm}^2$$

$$V_{\text{eff,Rd},1} = 0,5 \cdot A_{nt} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

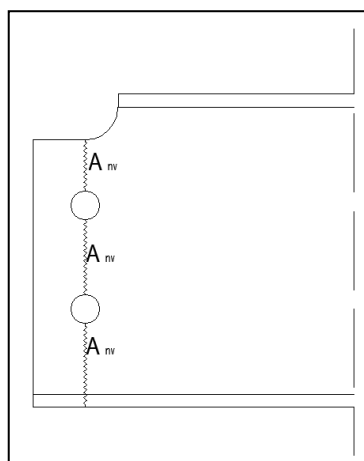
$$V_{\text{eff,Rd},1} = 0,5 \cdot 1,92 \cdot \frac{43}{1,25} + 6,08 \cdot \frac{27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} =$$

129,6 kN

$$V_{\text{Ed}} = 112,3 \text{ kN} \leq V_{\text{eff,Rd},1} = 129,6 \text{ kN}$$

OK

Strižna nosilnost:



Slika 93: Prikaz porušne ravnine za strižno nosilnost v stojini in pasnici nosilca

Ta pogoj ni merodajen, ker je v tej strižni ravnini upoševana tudi pasnica in je površina strižne ravnine večja od strižne ravnine pri vezni pločevini. Poleg tega je tudi debelina stojine večja od debeline vezne pločevine.

8 ZAKLJUČEK

V okviru diplomske naloge sem izdelal zasnovo in statično analizo štirietažne poslovne stavbe. Medetaža konstrukcija je v sovprežni izvedbi, glavna nosilna konstrukcija pa v jekleni izvedbi. Analiza konstrukcije je izvedena v skladu s pravili Evrokod.

Med izdelavo diplomske naloge sem se naučil kritičnega presojanja dobljenih rezultatov z računalniškimi orodji in dobil občutek za oceno dimenzij elementov za prevzem obremenitev. Za dimenzioniranje elementov sem si v programu izdelal enačbe, s katerimi sem po standardu Evrokod izračunal potrebne dimenzije profilov glede na dolžino elementov in obremenitve, vključno z vsemi varnostnimi faktorji. Za izračun momenta M_{cr} sem uporabil program LTBeam, ki je enostaven za uporabo. Projektiranje momentnih okvirjev sem izvedel z uporabo študentske verzije programa SCIA Engineer 2013.1, ki je vrhunsko projektantsko orodje. Program je zelo obširen, saj ima zelo veliko različnih funkcij. Posledično je za uporabo in natančno projektiranje konstrukcij potrebnega veliko znanja, saj je veliko različnih parametrov, ki vplivajo na rezultate.

Z izdelavo diplomske naloge sem spoznal projektiranje z bolj praktičnega vidika in se pri tem naučil, na kakšen način pristopiti k projektiranju jeklene stavbe, pa tudi, da je zasnova konstrukcije pomembna za nadaljnje projektiranje.

VIRI:

SIST EN 1990:2004. Evrokod 0: Osnove projektiranja konstrukcij.

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

SIST EN 1991-1-1:2004. Evrokod 1: Nacionalni dodatek 2004/A101: Vplivi na konstrukcije – 1-1: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

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

SIST EN 1991-1-3:2004. Evrokod 1: Nacionalni dodatek 2008/A101: Vplivi na konstrukcije – 1-3: Splošni vplivi – Obtežbe snega.

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

SIST EN 1991-1-4:2005. Evrokod 1: Nacionalni dodatek 2007/A101: Vplivi na konstrukcije – 1-4: Splošni vplivi – Obtežbe vetra.

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

SIST EN 1993-1-1:2005. Evrokod 3: Nacionalni dodatek 2006/A101: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1994-1-1:2005. Evrokod 4: Projektiranje sovprežnih konstrukcij – 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1994-1-1:2005. Evrokod 4: Nacionalni dodatek 2006/A101: Projektiranje sovprežnih konstrukcij – 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1998-1:2005. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe.

SIST EN 1998-1:2005. Evrokod 8: Nacionalni dodatek, 2006/A101: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe.

Ta stan je namenoma prazna.

PRILOGE:

PRILOGA A1: Tloris pritličja (M 1:100)

PRILOGA A2: Tloris I. etaže (M 1:100)

PRILOGA A3: Tloris II. etaže (M 1:100)

PRILOGA A4: Tloris III. etaže (M 1:100)

PRILOGA A5: Tloris IV. etaže (M 1:100)

PRILOGA A6: Vzdolžni prerez A-A (M 1:100)

PRILOGA A7: Prečni prerez B-B (M 1:100)

PRILOGA S1: Momentni spoj stebra HEB 500 in prečke IPE 400 (M 1:5)

PRILOGA S1: Členkast spoj prečke IPE 400 in prečke IPE 240 (M 1:5)

Ta stan je namenoma prazna.