

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

Katedra za metalne
konstrukcije
*Jamova 2
1000 Ljubljana,
Slovenija*



Projektiranje konstrukcij v skladu s SIST EN 1998-1

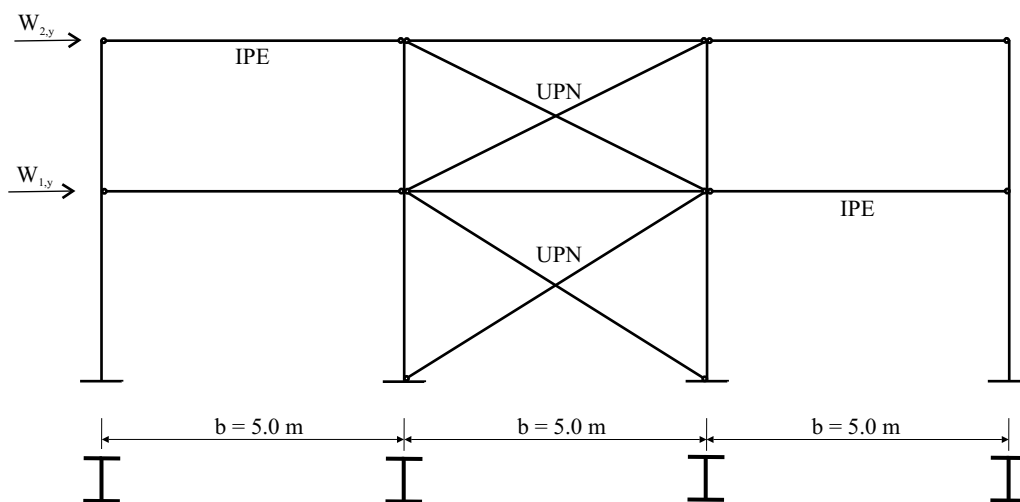
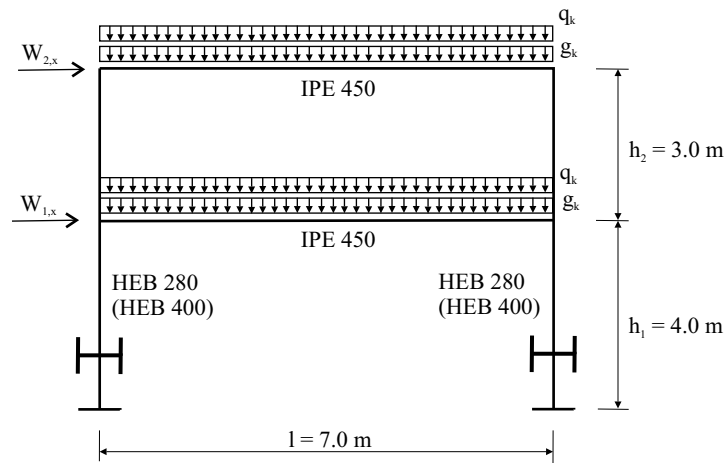
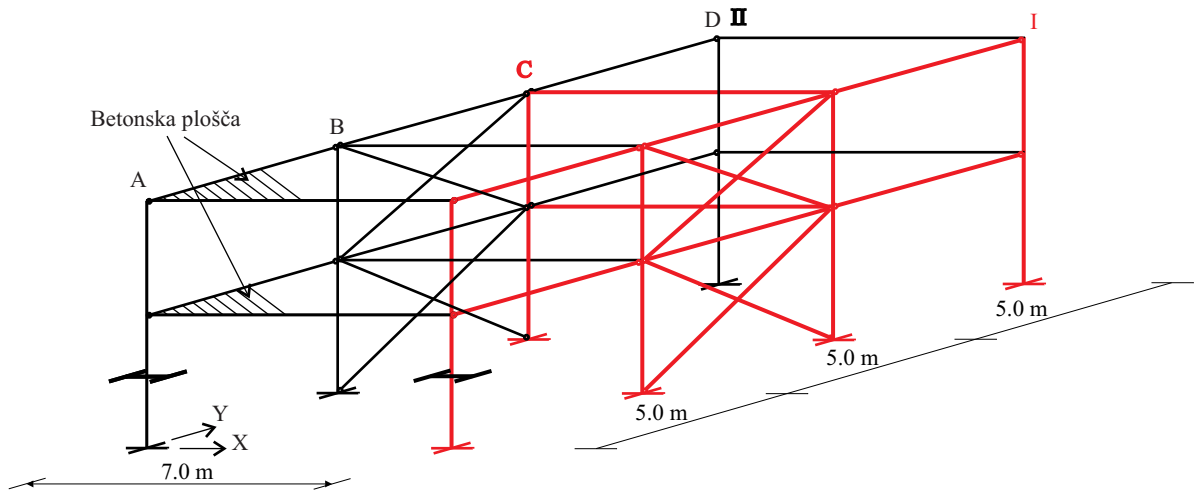
POTRESNA ANALIZA JEKLENEGA POMIČNEGA OKVIRA

Računski primer

prof. Darko Beg

s sodelavci: Blaž Čermelj, Tomaž Rugelj, Primož Može

1 Podatki



Material:

S 235, J0

Obtežba:

$$g_k = 5kN / m^2$$

$$g_{f,k} = 1kN / m^2 \quad \text{teža fasade ter fasadne podkonstrukcije}$$

$$q_k = 8kN / m^2$$

$$W_{1,x,k} = 10kN$$

$$W_{2,x,k} = 6kN$$

$$W_{1,y,k} = 20kN$$

$$W_{2,y,k} = 12kN$$

Predpostavke:

- prečke so bočno podprte;
- stebri so bočno podprti v ravnini etaž.

Podatki za potresno analizo:

Kraj: Ljubljana $\rightarrow a_g = 0.25g$

Faktor pomembnosti, izbran za pripadajočo kategorijo pomembnosti stavbe (SIST EN 1998-1: Preglednica 4.3, točka 4.2.5(5)P)

Preglednic 4.3 Kategorije pomembnosti za stavbe

Kategorija pomembnosti	Stavbe
I	Stavbe manjše pomembnosti za varnost ljudi, npr. kmetijski objekti in podobno.
II	Običajne stavbe, ki ne pripadajo ostalim kategorijam.
III	Stavbe, katerih potresna odpornost je pomembna glede na posledice porušitve, npr. šole, dvorane za srečanja, kulturne ustanove in podobno.
IV	Stavbe, katerih integriteta med potresi je življenjskega pomena za civilno zaščito, npr. bolnišnice, gasilske postaje, elektrarne in podobno.

Zasnovan objekt služi kot skladišče \rightarrow kategorija pomembnosti II

$$\rightarrow \gamma_I = 1.0$$

Koeficient φ za kombinacijo ψ_{Ei} : razred obtežbe D (skladišča), Preglednica 4.2

$$\rightarrow \varphi = 1.0$$

Preglednica 4.2: Vrednosti ϕ za račun ψ_{Ei}

Vrsta spremenljivega vpliva	Etaža	ϕ
kategorije A-C*	vrhnja etaža (streha)	1,0
	zasedba nekaterih etaž je povezana	0,8
	etaže so zasedene neodvisno	0,5
kategorije D-F* in arhivi		1,0

* Kategorije so definirane v EN 1991-1-1:2002.

Faktor kvazi stalne vrednosti spremenljive obtežbe kategorije E:

$$\rightarrow \psi_2 = 0.8$$

Objekt je temeljen na tipu tal B.

2 Obtežne kombinacije trajno projektno stanje

Za analizo mejnega stanja nosilnosti (MSN) oz. mejnega stanja uporabnosti (MSU) uporabimo sledeče obtežne kombinacije s faktorji ψ , ki veljajo za skladišča:

MSN

1. $1.35 G_k + 1.5 Q_k$
2. $1.35 G_k + 1.5 Q_k + 0.6 \cdot 1.5 W_k$
3. $1.35 G_k + 1.5 W_k + 1.0 \cdot 1.5 Q_k$

MSU (karakteristična kombinacija)

4. $1.0 G_k + 1.0 Q_k$
5. $1.0 G_k + 1.0 Q_k + 0.6 W_k$
6. $1.0 G_k + 1.0 W_k + 1.0 Q_k$

OPOMBA: G_k vključuje tudi lastno težo fasade ter fasadne podkonstrukcije. Lastna teža uporabljenih profilov za analizo MSN in MSU je v programu SCIA ESA PT upoštevana samodejno.

Pri dimenzioniranju elementov za trajno projektno stanje smo opravili le kontrolo nosilnosti kritičnih prereзов. Stabilnostne kontrole elementov ne prikazujemo.

3 Analiza konstrukcije in dimenzioniranje prerezov za trajno projektno stanje

Izračun geometrijskih nepopolnosti za analizo MSN (Okvir C)

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h(m)}} = \frac{2}{\sqrt{7.0}} = 0.756$$

$$h = h_1 + h_2 = 4.0m + 3.0m = 7.0m$$

$$\alpha_m = \sqrt{0.5(1 + \frac{1}{m})} = \sqrt{0.5(1 + \frac{1}{2})} = 0.866$$

$m = 2$ število stebrov v etaži

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

$$\phi = \alpha_n \cdot \alpha_m \cdot \phi_0 = 0.756 \cdot 0.866 \cdot \frac{1}{200} = 0.00327 \quad \text{oz.} \quad \phi = 3.27 \text{ mm/m}$$

Modeliranje problema v programu SCIA ESA PT v 5.2

- Izračun linijske obtežbe, ki odpade na prečko okvira C

$$g_k^C = g_k \cdot b = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m} = 25 \text{ kN/m}$$

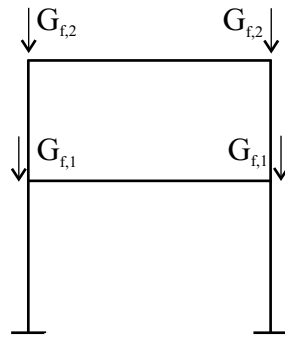
$$q_k^C = q_k \cdot b = 8 \text{ kN/m}^2 \cdot 5 \text{ m} = 40 \text{ kN/m}$$

- Lastna teža fasade ter fasadne podkonstrukcije

$$G_{f,1} = \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} \right) \cdot b \cdot g_{f,k} = \left(\frac{4.0m}{2} + \frac{3.0m}{2} \right) \cdot 5.0m \cdot 1 \text{ kN/m}^2 = 17.5 \text{ kN}$$

$$G_{f,2} = \left(\frac{h_2}{2} + h_p \right) \cdot b \cdot g_{f,k} = \left(\frac{3.0m}{2} + 0.5m \right) \cdot 5.0m \cdot 1 \text{ kN/m}^2 = 10.0 \text{ kN}$$

$h_p = 0.5m$ višina parapeta nad drugo etažo



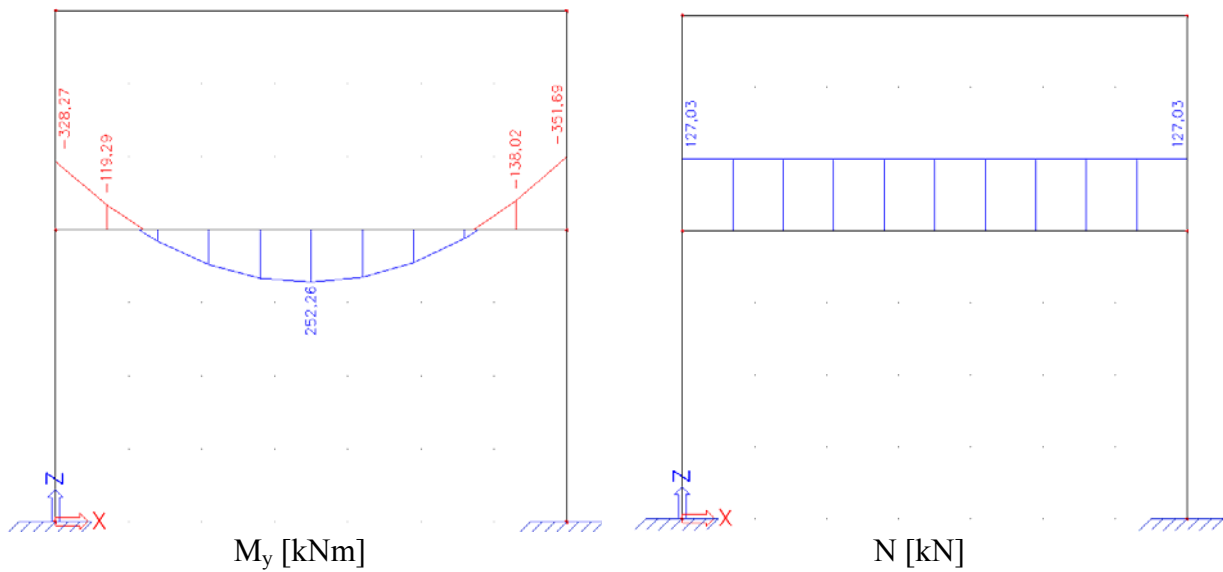
Obtežba fasade na okvir C

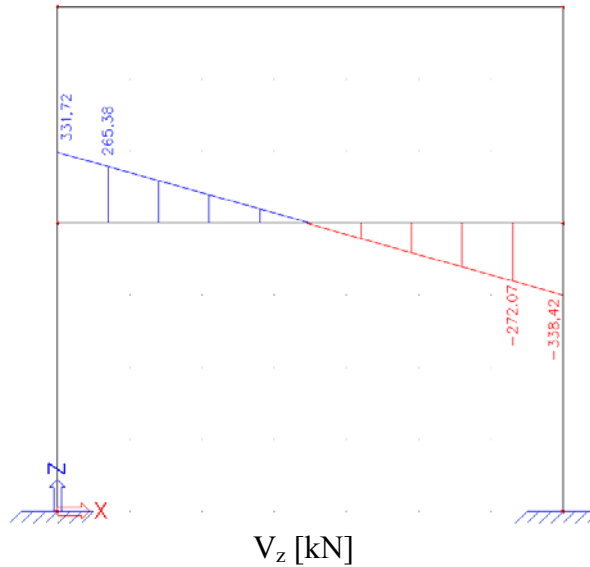
PREČKA

Izbrani profil IPE 450

- merodajna je 3. obtežna kombinacija;
- kritični prerez je v spodnji prečki ob stebru ($x = 7.0\text{m}$)

Izpisi rezultatov notranjih sil in momentov spodnje prečke





Vrednosti notranjih statičnih količin, ki so merodajne za dimenzioniranje prečke

Member B1	IPE450	S 235	NC3
-----------	--------	-------	-----

N_{Ed} [kN]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]
127.03	0.00	-338.42	-351.69	0.00

Kontrola kompaktnosti prereza

- stojina, 1. razred kompaktnosti, (SIST EN 1993-1-1, Preglednica 5.2, list 1 od 3)

Kontrolo vršim za čisti upogib (dejansko je prerez obremenjen upogibno in natezno) – varna stran

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{378mm}{9.4mm} = 40.21 < 72\varepsilon = 72 \cdot 1 = 72 \quad \checkmark$$

- pasnica, 1. razred kompaktnosti, (SIST EN 1993-1-1, Preglednica 5.3, list 2 od 3)

Predpostavim, da je zgornja pasnica v tlaku – varna stran.

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{\frac{190mm}{2} - \frac{9.4mm}{2} - 21mm}{14.6mm} = 4.7 < 9\varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \quad \checkmark$$

- odpornost stojine proti lokalnemu izbočenju v strigu

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{420.8mm}{9.4mm} = 44.8 > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1.0}{1.2} = 60.0 \quad \times \quad \Rightarrow \text{stojina je v 3. razredu}$$

kompaktnosti

Kontrola osno upogibne nosilnosti, SIST EN 1993-1-1; točka 6.2.9.1

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} \leq 1.0$$

Kontrola vpliva osne sile na zmanjšanje projektne plastične upogibne nosilnosti prereza

$$N_{Ed} = 127.0kN \leq 0.25 \cdot N_{pl,Rd} = 0.25 \cdot 2321.8kN = 580.5kN \quad \checkmark$$

$$N_{Ed} = 127.0kN \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 42.08cm \cdot 0.94cm \cdot 23.5kN/cm^2}{1.0} = 464.8kN \quad \checkmark$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 98.8cm^2 \cdot \frac{23.5kN/cm^2}{1.0} = 2321.8kN$$

Oсна silа ne vpliva na zmanjšanje projektne plastične upogibne nosilnosti prereza:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1702cm^3 \cdot 23.5kN/cm^2}{1.0} = 39997kNcm$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{351.69kNcm}{39997kNcm} = 0.88 < 1.0 \quad \checkmark$$

Kontrola strižne nosilnosti, SIST EN 1993-1-1; točka 6.2.6

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 50.82cm^2 \cdot \frac{23.5kN/cm^2}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 689.5kN$$

$$A_v = \max \begin{cases} A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 98.8cm^2 - 2 \cdot 19 \cdot 1.46 + (0.94 + 2 \cdot 2.1) \cdot 1.46cm^2 = 50.82cm^2 \\ \eta h_w t_w = 1.2 \cdot 42.08cm \cdot 0.94cm = 47.47cm^2 \end{cases}$$

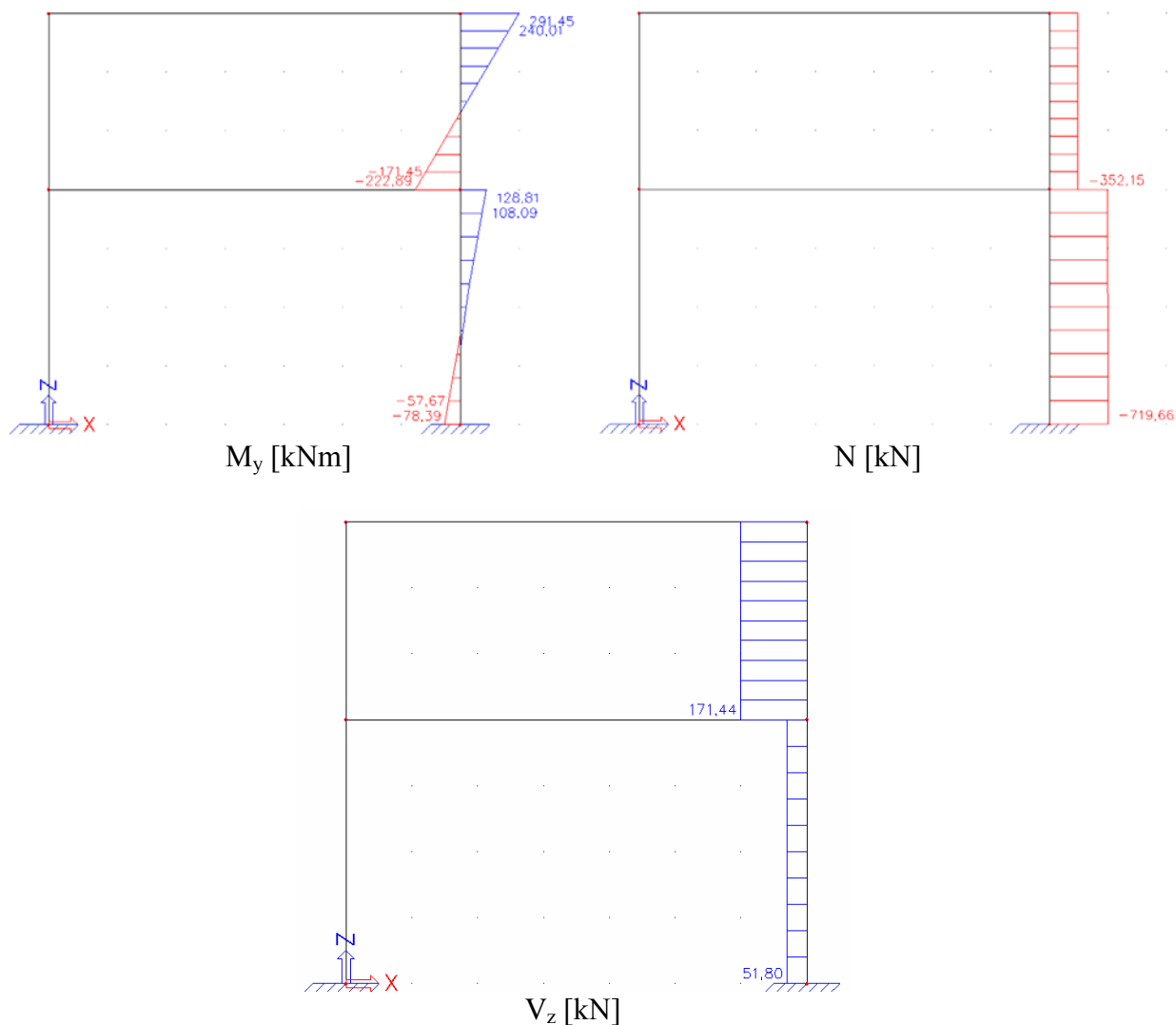
$$V_{Ed} = 338.4kN \leq 0.5V_{pl,Rd} = 0.5 \cdot 689.5kN = 344.8kN \quad \checkmark$$

STEBER

Izbrani profil HEB 280

- merodajna je 3. obtežna kombinacija;
- kritični prerez je na vrhu desnega stebra ($z = 7.0\text{m}$)

Izpisi rezultatov notranjih sil in momentov desnega stebra



Vrednosti notranjih statičnih količin, ki so merodajne za dimenzioniranje prereza stebra

Member B6 HEB280 S 235 NC1

N_{Ed} [kN]	$V_{y,Ed}$ [kN]	$V_{z,Ed}$ [kN]	$M_{y,Ed}$ [kNm]	$M_{z,Ed}$ [kNm]
-348.05	-0.00	171.44	291.45	-0.00

Kontrola kompaktnosti prereza

- stojina, 1. razred kompaktnosti, (SIST EN 1993-1-1, Preglednica 5.2, list 1 od 3)

Upogib in tlak

$$\alpha = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{N_{Ed}}{d t_w f_y} \right] = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{719.7 kN}{19.6 cm \cdot 1.05 cm \cdot 23.5 kN / cm^2} \right] = 1.24 > 0.5$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{196 mm}{10.5 mm} = 18.67 < \frac{396 \varepsilon}{13 \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 1.24 - 1} = 26.19 \quad \checkmark$$

- pasnica, 1. razred kompaktnosti, (SIST EN 1993-1-1, Preglednica 5.3, list 2 od 3)

Tlak

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{\frac{280 mm}{2} - \frac{10.5 mm}{2} - 24 mm}{18.0 mm} = 8.93 < 9 \varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \quad \checkmark$$

- odpornost stojine proti lokalnemu izbočenju v strigu

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{244 mm}{10.5 mm} = 23.24 > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1.0}{1.2} = 60.0 \quad \times \quad \Rightarrow \text{stojina je kompaktna}$$

Kontrola osno upogibne nosilnosti, SIST EN 1993-1-1; točka 6.2.9.1

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} \leq 1.0$$

Kontrola vpliva osne sile na zmanjšanje projektne plastične upogibne nosilnosti prereza

$$N_{Ed} = 348.1 kN \leq 0.25 \cdot N_{pl,Rd} = 0.25 \cdot 3078.5 kN = 769.6 kN \quad \checkmark$$

$$N_{Ed} = 348.1 kN \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 24.4 cm \cdot 1.05 cm \cdot 23.5 kN / cm^2}{1.0} = 301.0 kN \quad \times$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 131 cm^2 \cdot \frac{23.5 kN / cm^2}{1.0} = 3078.5 kN$$

Potrebno je upoštevati vpliv osne sile na zmanjšanje projektne plastične upogibne nosilnosti prereza:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1534 cm^3 \cdot 23.5 kN / cm^2}{1.0} = 36049 kNcm$$

$$M_{N,y,Rd} = \min \begin{cases} M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0.5 \cdot a} = 36049kNcm \cdot \frac{1-0.113}{1-0.5 \cdot 0.231} = 36150.9kNcm \\ M_{pl,y,Rd} = 36049kNcm \end{cases}$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 36049kNcm$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{348.1kN}{3078.5kN} = 0.113$$

$$a = \min \begin{cases} \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{131.0cm^2 - 2 \cdot 28.0cm \cdot 1.8cm}{131.0cm^2} = 0.231 \\ 0.5 \end{cases}$$

$$a = 0.231$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{29145kNcm}{36049kNcm} = 0.81 < 1.0 \quad \checkmark$$

Kontrola strižne nosilnosti, SIST EN 1993-1-1; točka 6.2.6

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 40.73cm^2 \cdot \frac{23.5kN/cm^2}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 552.6kN$$

$$A_v = \max \begin{cases} A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 131cm^2 - 2 \cdot 28 \cdot 1.8 + (1.05 + 2 \cdot 2.4) \cdot 1.8cm^2 = 40.73cm^2 \\ \eta h_w t_w = 1.2 \cdot 24.4cm \cdot 1.05cm = 30.74cm^2 \end{cases}$$

$$V_{Ed} = 171.4kN \leq 0.5V_{pl,Rd} = 0.5 \cdot 552.6kN = 276.3kN \quad \checkmark$$

4 Mejno stanje uporabnosti – kontrola pomikov

Kontrola horizontalnih pomikov

- posamezna etaža

$$6. \text{ obt. komb.: } \delta_1 = \frac{(0.16 + 0.19) \text{ cm}}{2} = 0.18 \text{ cm}$$

$$\delta_2 = \frac{(0.12 + 0.05) \text{ cm}}{2} = 0.09 \text{ cm}$$

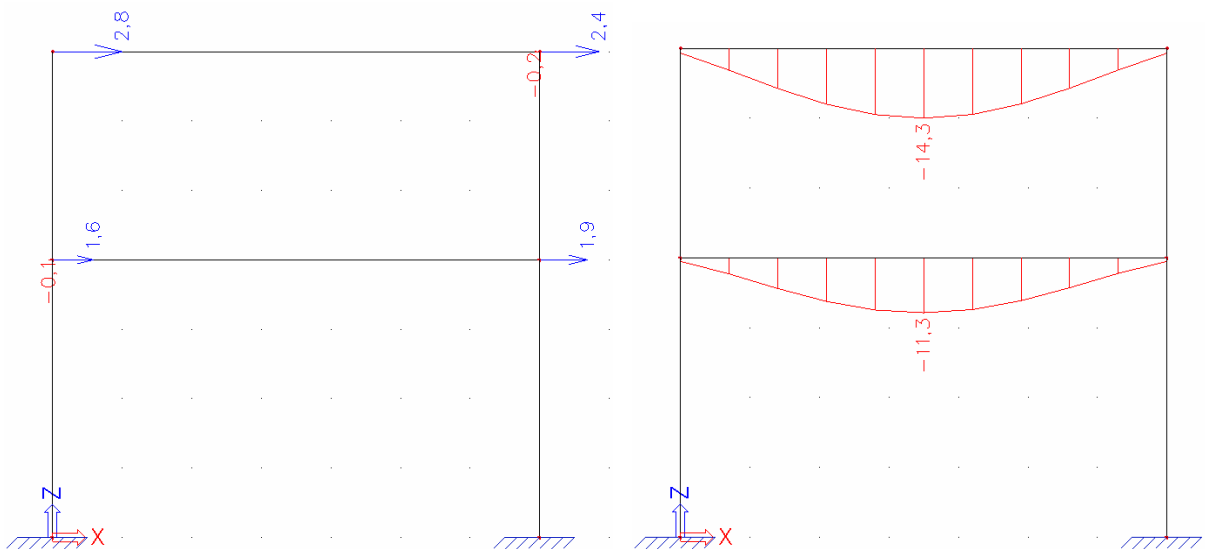
$$\max \{ \delta_1, \delta_2 \} = 0.18 \text{ cm} \leq \frac{h_1}{300} = \frac{400 \text{ cm}}{300} = 1.33 \text{ cm} \quad \checkmark$$

- celotna višina zgradbe

$$6. \text{ obt. komb.: } \delta = \frac{(0.28 + 0.24) \text{ cm}}{2} = 0.26 \text{ cm} \leq \frac{h}{500} = \frac{700 \text{ cm}}{500} = 1.4 \text{ cm} \quad \checkmark$$

Kontrola vertikalnega upogibka prečke

$$4. \text{ obt. komb.: } \delta_{MAX} = 1.43 \text{ cm} \leq \frac{l}{250} = \frac{700 \text{ cm}}{250} = 2.8 \text{ cm} \quad \checkmark$$



Horizontalni pomik za MSU [mm]

Poves prečke za MSU [mm]

5 Potresno projektno stanje

OPOMBA: Prereze vseh stebrov povečamo iz HEB 280 na HEB 400, da povečamo horizontalno togost konstrukcije.

5.1 Kombinacija vplivov

Kombinacija vplivov za potresno projektno stanje (SIST EN 1990: točka 6.4.3.4)

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

kjer je

$$\begin{aligned} \gamma_I \cdot A_{Ed} & \text{ potresni vpliv (potresne sile)} \\ G_k + \psi_2 \cdot Q_k & \text{ nepotresni vpliv (gravitacijske sile)} \end{aligned}$$

SIST EN 1998-1: točka 3.2.4 (2)P

Pri določanju projektnega potresnega vpliva je potrebno upoštevati mase, povezane z vsemi težnostnimi silami, ki so vključene v naslednji kombinaciji vplivov:

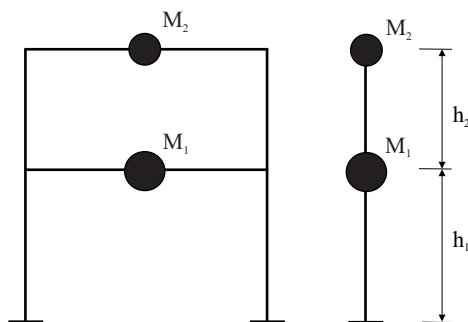
$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$$

kjer je

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

OPOMBA: V $\sum G_{k,j}$ sta zajeti tudi masa izbranih profilov ter masa fasade ter fasadne podkonstrukcije. Ker potresne sile v nalogi računamo na poenostavljen način s "peš" postopkom (metoda vodoravnih sil), je masi potrebno v računu eksplicitno upoštevati.

Izračun mas



Etažni masi okvirja C

	Prečna smer x	Vzdolžna os y
M_1	$\frac{\sum M}{4}$	$\frac{\sum M}{2}$
M_2	$\frac{\sum M}{4}$	$\frac{\sum M}{2}$

Delež etažnih mas za okvir C in okvir II

Lastna teža stebrov in prečk primarnega nosilnega sistema; za vzdolžne prečke med okvirji privzamem vrednost $g_j \approx 0.6 \text{ kN/m}$ (profil IPE):

$$\begin{aligned}
g_{l,1} &= \left[\left(h_1 \cdot g_{l,HEB400} \cdot 8 + l \cdot g_{l,IPE450} \cdot 4 + b \cdot g_j \cdot 6 \right) / (3b \cdot l) \right] \cdot 1.1 \\
&= \left[\left(4m \cdot 1.52kN/m \cdot 8 + 7m \cdot 0.76kN/m \cdot 4 + 5m \cdot 0.6kN/m \cdot 6 \right) / (15m \cdot 7m) \right] \cdot 1.1 \\
&= 0.92kN/m^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g_{l,2} &= \left[\left(h_2 \cdot g_{l,HEB400} \cdot 8 + l \cdot g_{l,IPE450} \cdot 4 + b \cdot g_j \cdot 6 \right) / (3b \cdot l) \right] \cdot 1.1 \\
&= \left[\left(3m \cdot 1.52kN/m \cdot 8 + 7m \cdot 0.76kN/m \cdot 4 + 5m \cdot 0.6kN/m \cdot 6 \right) / (15m \cdot 7m) \right] \cdot 1.1 \\
&= 0.79kN/m^2
\end{aligned}$$

Teža prve in druge etaže:

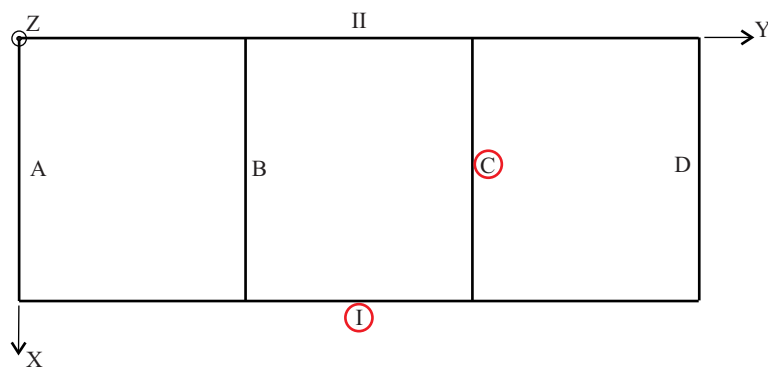
$$\begin{aligned}
F_{M1} &= l \cdot 3b \cdot \left[(g_k + g_{l,1}) + \varphi \cdot \psi_2 \cdot q_k \right] + \left[2 \cdot ((l+1m) + (3b+1m)) \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} \right) \cdot g_{f,k} \right] \\
&= 7m \cdot 3 \cdot 5m \cdot \left[(5.0 + 0.92)kN/m^2 + 1.0 \cdot 0.8 \cdot 8.0kN/m^2 \right] \\
&\quad + \left[2 \cdot ((7m+1m) + (3 \cdot 5m + 1m)) \cdot \left(\frac{4m}{2} + \frac{3m}{2} \right) \cdot 1kN/m^2 \right] \\
&= 1461.8kN
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{M2} &= l \cdot 3b \cdot \left[(g_k + g_{l,2}) + \varphi \cdot \psi_2 \cdot q_k \right] + \left[2 \cdot ((l+1m) + (3b+1m)) \cdot \left(\frac{h_1}{2} + h_p \right) \cdot g_{f,k} \right] \\
&= 7m \cdot 3 \cdot 5m \cdot \left[(5.0 + 0.79)kN/m^2 + 1.0 \cdot 0.8 \cdot 8.0kN/m^2 \right] \\
&\quad + \left[2 \cdot ((7m+1m) + (3 \cdot 5m + 1m)) \cdot \left(\frac{4m}{2} + 0.5m \right) \cdot 1kN/m^2 \right] \\
&= 1376.4kN
\end{aligned}$$

$h_p = 0.5m$ višina parapeta nad drugo etažo

OPOMBA: Pri računu lastne teže fasade sta obe tlorisni dimenziji konstrukcije povečani za 1m, s čimer upoštevamo 0.5m daljšo fasadno konstrukcijo na obeh straneh obravnavane stranice.

OPOMBA: Lastno težo profilov smo množili s faktorjem 1.1. S tem upoštevamo dodatno težo vertikalnih vzdolžnih povezij (diagonale povezja, čelne pločevine, vijaki) ki jih sicer računamo pod točko 5.4.2



Tloris konstrukcije z označenimi deli za ravninsko analizo potresa

Prečna smer

$$F_{M1}^C = \frac{F_{M1}}{4} = \frac{1461.8kN}{4} = 365.4kN$$

$$F_{M2}^C = \frac{F_{M2}}{4} = \frac{1376.4kN}{4} = 344.1kN$$

Vzdolžna smer

$$F_{M1}^I = \frac{F_{M1}}{2} = \frac{1461.8kN}{2} = 730.9kN$$

$$F_{M2}^I = \frac{F_{M2}}{2} = \frac{1376.4kN}{2} = 688.2kN$$

5.2 Globalna analiza

Merila za pravilnost konstrukcije (SIST EN 1998-1: točka 4.2.3)

Preglednica 4.1: Vpliv pravilnosti konstrukcije na analizo in projektiranje na potresnih območjih

Pravilnost		Dovoljena poenostavitve		Faktor obnašanja
Tloris	Višina	Model	Linearno-elastična analiza	(za linearno analizo)
da	da	ravninski	vodoravne sile ^a	referenčni
da	ne	ravninski	modalna	zmanjšan
ne	da	prostorski ^b	vodoravne sile ^a	referenčni
ne	ne	prostorski	modalna	zmanjšan

^a Če je izpolnjen tudi pogoj 4.3.3.2.1(2)a).

^b Pod posebnimi pogoji, opisanimi v 4.3.3.1(8), se lahko v vsaki vodoravni smeri uporablja poseben ravninski model v skladu z 4.3.3.1(8).

Konstrukcija je pravilna v tlorisu in po višini (Preglednica 4.1) \Rightarrow

- Dovoljena poenostavitve:
 - ravninski model. Omogočena obravnava potresa za vsako smer posebej;
 - metoda vodoravnih sil – linearno elastična analiza ("Base Shear").
- Faktor obnašanja:
 - $q = q_{ref}$ (ni redukcije q faktorja zaradi neregularnosti konstrukcije).

Izpolnjen je tudi pogoj iz točke 4.3.3.2.1 (2) a):

omejitev osnovnih nihajnih časov v obeh glavnih smereh x in y:

$$T_1 \leq \begin{cases} 4T_c \\ 2.0s \end{cases} \quad \checkmark \quad \text{glej račun nihajnih časov pod točko 5.2.2}$$

5.2.1 Faktor obnašanja

- Prečna smer x:
 - momentni okvir;
 - disipacija energije v prečkah momentnega okvira in na dnu stebrov;
 - prečni prerezi so v 1. RK
 - razred visoke duktilnosti (DCH): $q > 4$ (Preglednica 6.3)

Preglednica 6.3: Zahteve za razrede kompaktnosti prečnih prerezov elementov, sposobnih sipati energijo, v odvisnosti od stopnje duktilnosti in referenčnih vrednosti faktorja obnašanja

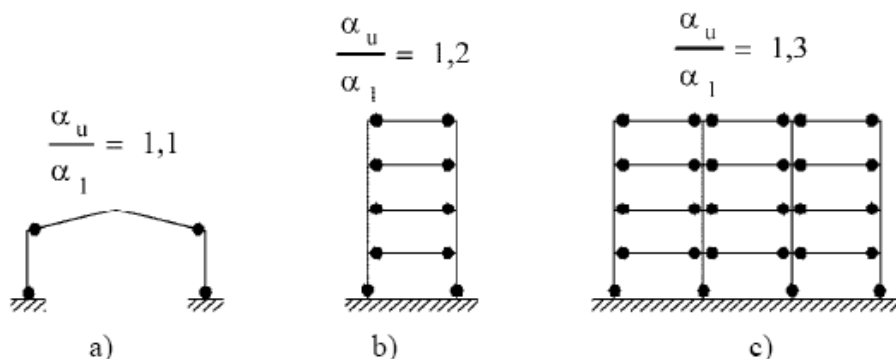
Stopnja duktilnosti	Referenčne vrednosti faktorja obnašanja q	Zahtevan razred kompaktnosti prečnih prerezov
DCM	$1,5 < q \leq 2$	1., 2. ali 3. razred
	$2 < q \leq 4$	1. ali 2. razred
DCH	$q > 4$	1. razred

$$q_x = 5 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 5 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 5 \cdot 1.2 = 6.0$$

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.2 \quad \text{glej Preglednica 6.2 ter Slika 6.1 b)}$$

Preglednica 6.2: Referenčne vrednosti faktorjev obnašanja za konstrukcije, pravilne po višini

VRSTA KONSTRUKCIJE	Stopnje duktilnosti	
	DCM	DCH
a) Pomični okviri	4	$5\alpha_u/\alpha_1$
b) Okvir s centričnimi povezji	4	4
Diagonalna povezja		
V povezja		
c) Okvir z ekscentričnimi povezji	4	$5\alpha_u/\alpha_1$
d) Obrnjeno nihalo	2	$2\alpha_u/\alpha_1$
e) Konstrukcije z betonskimi jedri ali betonskimi stenami	Glej poglavje 5	
f) Pomični okvir s koncentričnimi povezji	4	$4\alpha_u/\alpha_1$
g) Pomični okvir s polnili	2	2
Betonsko ali zidano polnilo, ki ni spojeno z okvirom, vendar v stiku z okvirom		
Armiranobetonsko polnilo, spojeno z okvirom	Glej poglavje 7	
Polnila, izolirana od okvira (glej pomične okvire)	4	$5\alpha_u/\alpha_1$



Slika 6.1: Pomični okviri (območja sipanja v nosilcih in na dnu stebrov). Standardne vrednosti za α_u/α_1 (glej 6.3.2(3) in preglednico 6.2).

- Vzdolžna smer y:
 - okvir s centričnimi povezji;
 - disipacija energije v nateznih diagonalah, tlačne se izklonijo;
 - razred visoke oz. srednje duktilnosti (DCH, DCM): $q = 4.0$ (Preglednica 6.3)

5.2.2 Nihajni časi

Izračun približne vrednosti T_1 [s]

SIST EN 4.3.3.2.2 (3)

$$C_t = \begin{cases} 0.085 & \text{jekleni momentni okviri} \\ 0.075 & \text{betonski momentni okviri} \\ 0.050 & \text{za vse druge konstrukcije} \end{cases}$$

$$T_{1,x} = C_{t,x} \cdot h^{3/4} = 0.085 \cdot 7^{3/4} = 0.366s \quad (\text{SCIA ESA: } 0.53s)$$

$$T_{1,y} = C_{t,y} \cdot h^{3/4} = 0.050 \cdot 7^{3/4} = 0.215s \quad (\text{SCIA ESA: } 0.24s)$$

$$h = h_1 + h_2 = 4m + 3m = 7m$$

5.2.3 Spekter pospeškov

$$a_g = 0.25g$$

Tla B: $S = 1.20$

$$T_B = 0.15s$$

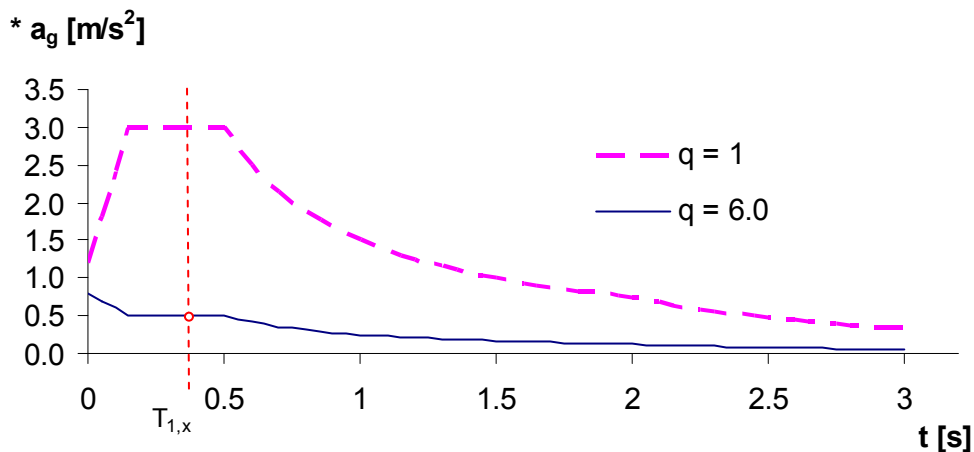
$$T_C = 0.5s$$

$$T_D = 2.0s$$

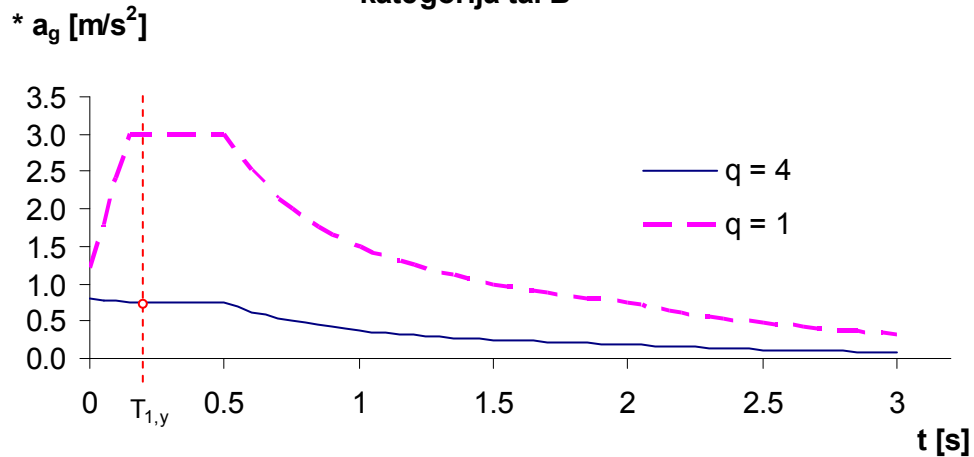
$$T_B \leq T_{1,x}, T_{2,x} \leq T_C$$

Oba nihajna časa sta v območju platoja spektra pospeškov – glej diagrama spektrov.

Projektni ter elastični spekter za prečno smer x,
kategorija tal B



**Projektni ter elastični spekter za vzdolžno smer y,
kategorija tal B**



Projektni pospešek

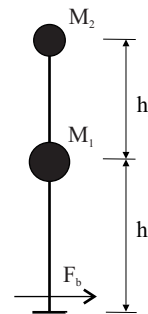
$$\text{smer x: } S_{d,x} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q_x} = 0.25 g \cdot 1.2 \cdot \frac{2.5}{6.0} = 0.125 \cdot g = p_x \cdot g$$

$$\text{smer y: } S_{d,y} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q_y} = 0.25 g \cdot 1.2 \cdot \frac{2.5}{4.0} = 0.188 \cdot g = p_y \cdot g$$

5.2.4 Celotna prečna sila ("Base Shear") posameznega okvira

SIST 1998-1: Točka 4.3.3.2.2

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$



$$F_{b,i} = S_{d,i}(T_{1,i}) \cdot m_i \cdot \lambda = p_i \cdot g \cdot m_i \cdot \lambda = p_i \cdot F_{M_i} \cdot \lambda$$

λ korekcijski faktor, ki upošteva vpliv višine zgradbe

$$\lambda = \begin{cases} 0.85; & \text{če } T_1 < 2T_c \text{ in ima stavba več kot dve etaži} \\ 1.0; & \text{sicer} \end{cases}$$

Prečni okvir C:

$$F_{b,x} = p_x \cdot \sum F_{M,i}^C = p_x \cdot (F_{M1}^C + F_{M2}^C) = 0.125 \cdot (365.4 + 344.1) \text{ kN} = 88.7 \text{ kN}$$

Vzdolžni okvir II:

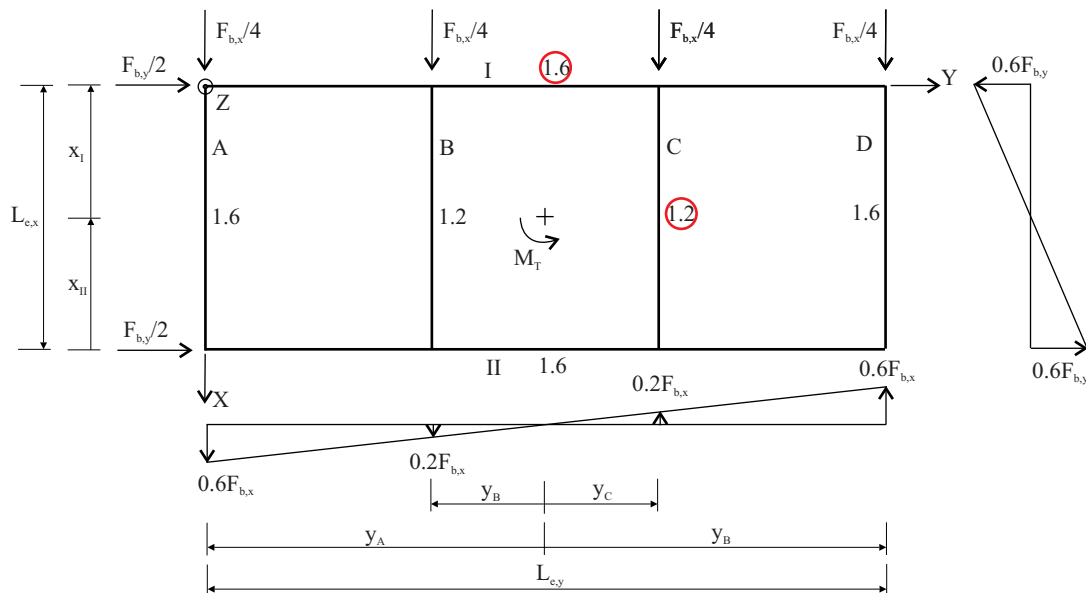
$$F_{b,y} = p_y \cdot \sum F_{M,i}^I = p_y \cdot (F_{M1}^I + F_{M2}^I) = 0.188 \cdot (730.9 + 688.2) \text{ kN} = 266.1 \text{ kN}$$

5.2.5 Torzijski vpliv

SIST EN 1998-1: Točka 4.3.3.2.4 (2)

Analiza z dvema ravninskima modeloma, po eden za vsako glavno vodoravno smer x in y.

$$\delta = 1 + 1.2 \cdot \frac{x_i}{L_{e,i}} = \left(1 + 1.2 \cdot \frac{y_i}{L_{e,i}} \right)$$



Smer x

- okvir B, C: $y_B = y_C = L_{ey} / 6$

$$\delta_{B,C} = 1 + 1.2 \cdot \frac{L_{ey} / 6}{L_{ey}} = 1.2$$

- okvir A, D: $y_A = y_D = L_{ey} / 2$

$$\delta_{A,D} = 1 + 1.2 \cdot \frac{L_{ey} / 2}{L_{ey}} = 1.6$$

Smer y

- okvir I, II: $x_I = x_{II} = L_{ex} / 2$

$$\delta_{I,II} = 1 + 1.2 \cdot \frac{L_{ex} / 2}{L_{ex}} = 1.6$$

5.2.6 Razdelitev sil po višini

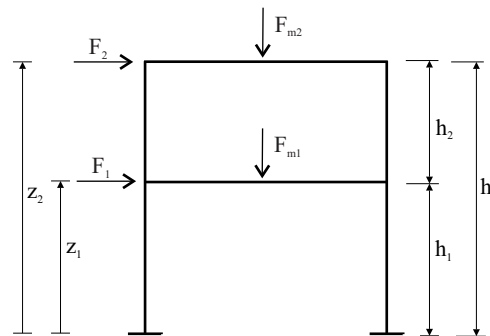
SIST EN 1998-1: Točka 4.3.3.2.3 (3)

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

$$z_1 = h_1$$

$$z_2 = h$$

$$h = h_1 + h_2$$



Sile za okvir C

$$F_1^C = F_{b,x} \cdot \frac{F_{M1}^C \cdot h_1}{F_{M1}^C \cdot h_1 + F_{M2}^C \cdot h} = 88.2kN \cdot \frac{365.4kN \cdot 4m}{365.4kN \cdot 4m + 344.1kN \cdot 7m} = 33.5kN$$

$$F_2^C = F_{b,x} \cdot \frac{F_{M2}^C \cdot h}{F_{M1}^C \cdot h_1 + F_{M2}^C \cdot h} = 88.2kN \cdot \frac{344.1kN \cdot 7m}{365.4kN \cdot 4m + 344.1kN \cdot 7m} = 55.2kN$$

Sile za diagonalno povezje I

$$F_1^I = F_{b,y} \cdot \frac{F_{M1}^I \cdot h_1}{F_{M1}^I \cdot h_1 + F_{M2}^I \cdot h} = 264.72kN \cdot \frac{730.9kN \cdot 4m}{730.9kN \cdot 4m + 688.2kN \cdot 7m} = 100.5kN$$

$$F_2^I = F_{b,y} \cdot \frac{F_{M2}^I \cdot h}{F_{M1}^I \cdot h_1 + F_{M2}^I \cdot h} = 264.72kN \cdot \frac{688.2kN \cdot 7m}{730.9kN \cdot 4m + 688.2kN \cdot 7m} = 165.6kN$$

5.3 Kontrola nosilnosti v prečni smeri – okvir C

Pomični okvir je modeliran s pomočjo komercialnega programa SCIA ESA PT

5.3.1 Obtežni kombinaciji

- Gravitacijske sile (TPR, brez geometrijske nepopolnosti)

$G + 0.8Q$

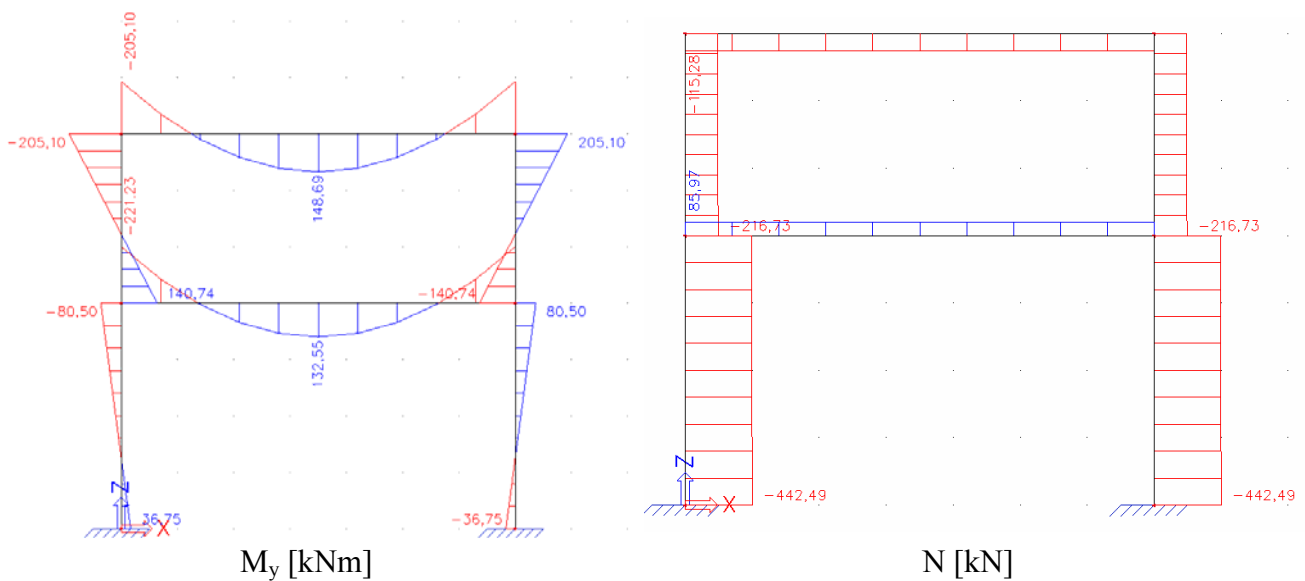
- Potresne sile - seizmični del obtežbe

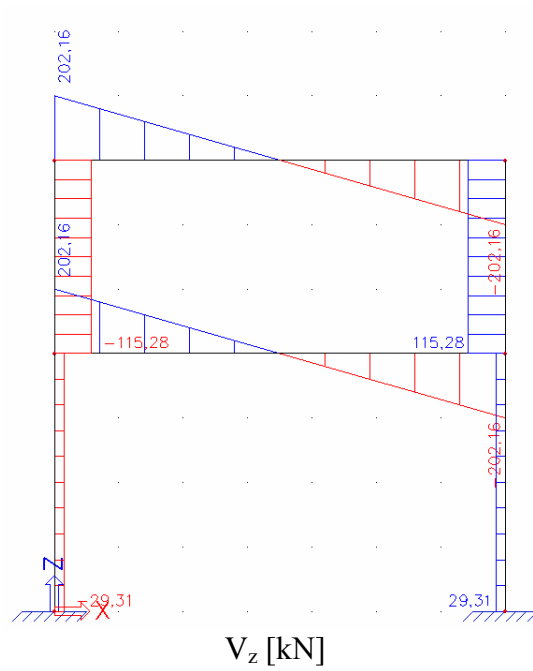
$$F_1^C = \gamma_I \cdot F_1^C \cdot \delta_{B,C} = 1.0 \cdot 33.5 \text{ kN} \cdot 1.2 = 40.2 \text{ kN}$$

$$F_2^C = \gamma_I \cdot F_2^C \cdot \delta_{B,C} = 1.0 \cdot 55.2 \text{ kN} \cdot 1.2 = 66.2 \text{ kN}$$

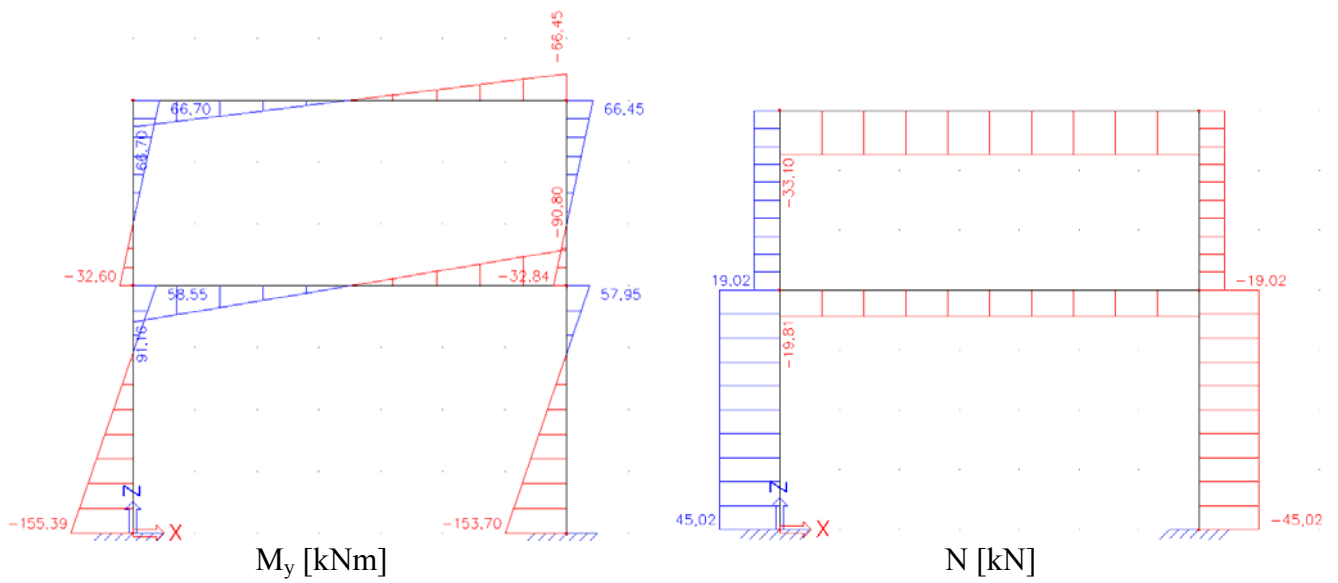
Izpis notranjih statičnih količin

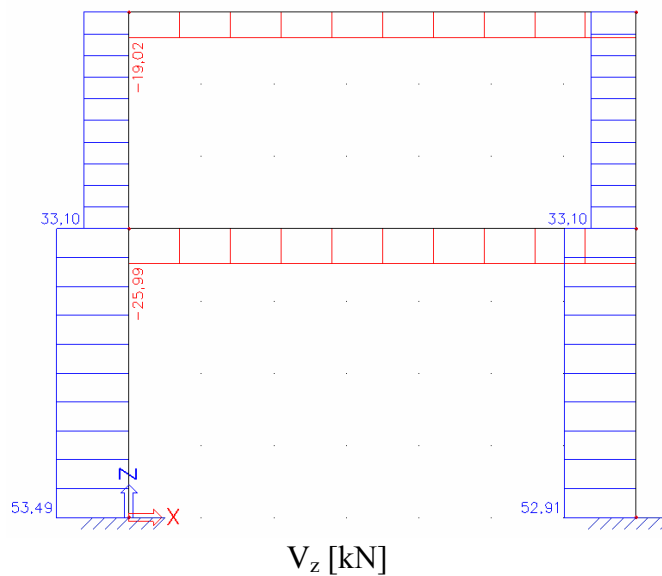
- Notranje sile in momenti za gravitacijski del obtežbe seizmičnega projektne stanja



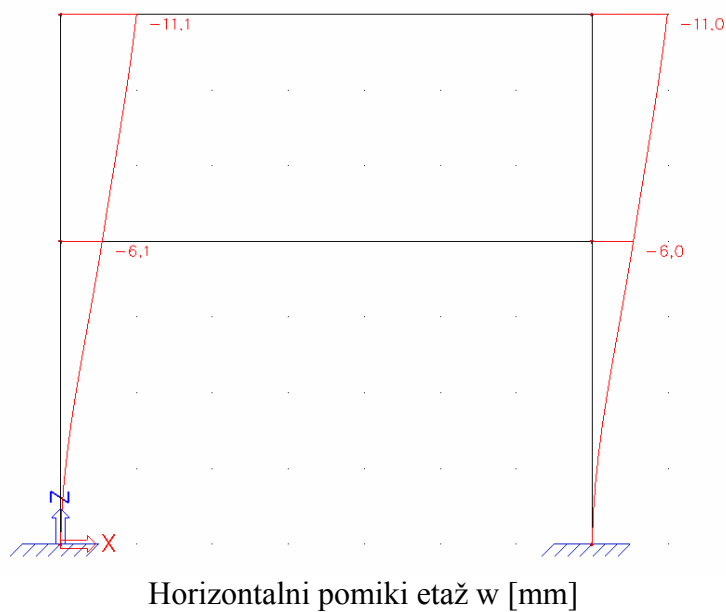


- Notranje sile in momenti za potresni del obtežbe seizmičnega projektne stanja





- Horizontalni pomiki etaž w za potresni del obtežbe seizmičnega projektnega stanja



5.3.2 Material

S 235 J0

$$f_{y,act} = 27.0 \text{ kN} / \text{cm}^2 > 23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

izbrana vrednost $f_{y,act}$ je večja od nominalne vrednosti $f_y = 23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2$

$$\gamma_{ov} = \frac{f_{y,act}}{f_y} = \frac{27.0 \text{ kN} / \text{cm}^2}{23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2} = 1.149$$

Maksimalna dovoljena vrednost napetosti tečenja $f_{y,max}$

$$f_{y,max} = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot f_y = 1.1 \cdot 1.149 \cdot 23.5 = 29.7 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Definiramo tudi maksimalno vrednost vgrajene $f_{y,vgrajen,max}$ kot 10% odstopanje od $f_{y,max}$

$$f_{y,vgrajen,max} = 1.1 \cdot f_{y,max} = 1.1 \cdot 29.7 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 32.7 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

OPOMBA: Na načrtih je potrebno vse elemente v conah dispiranja (prečke okvirja) označiti z maksimalno dovoljeno vrednostjo napetosti tečenja $f_{y,max}$, potrebno je zagotoviti kontrolo pri sami izdelavi materiala.

5.3.3 Kontrola kompaktnosti prerezov

PREČKA IPE 450 I. R.K. + bočno podpiranje

Zagotavljanje lokalne duktilnosti. S tem je omogočen razvoj plastičnih členkov v prečkah.

STEBER HEB 400 I. R.K.

5.3.4 Globalna duktilnost

Pogoj duktilnosti za večetažne okvirne konstrukcije

$$\sum M_{R,C} \geq 1.3 \sum M_{R,C}$$

kjer sta

$$M_{R,c} = M_{pl,Rd,c} \quad (\text{I. R.K.}) \quad \text{za steber ("column")}$$

$$M_{R,b} = M_{pl,Rd,b} \quad (\text{I. R.K.}) \quad \text{za prečko ("beam")}$$

Zgoraj zapisani pogoj duktilnosti preverimo za posamezna vozlišča momentnega okvirja:

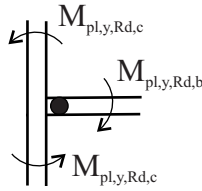
- vozlišče prečka–steber v prvi etaži

$$M_{pl,y,Rd,c} = W_{pl,y,c} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 3232 \text{ cm}^3 \cdot \frac{23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2}{1.0} = 75952 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,y,Rd,b} = W_{pl,y,b} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1702 \text{ cm}^3 \cdot \frac{23.5 \text{ kN} / \text{cm}^2}{1.0} = 39997.0 \text{ kNcm}$$

$$2 \cdot M_{pl,y,Rd,c} = 2 \cdot 75952 \text{ kNcm} = 151904 \text{ kNcm} \geq 1.3 \cdot M_{pl,y,Rd,b} = 1.3 \cdot 39997 \text{ kNcm} = 51996 \text{ kNcm}$$

Pogoju je zadoščeno ✓

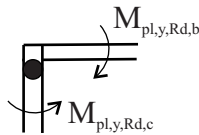


- vozlišče prečka–stebler v drugi etaži

$$M_{pl,y,Rd,c} = 75952 \text{ kNcm} \geq 1.3 \cdot M_{pl,y,Rb,b} = 51996 \text{ kNcm}$$

Pogoju je zadoščeno ✓

KOMENTAR: Pogoj $M_{pl,y,Rd,c} \geq 1.3 \cdot M_{pl,y,Rb,b}$ je izpolnjen, plastični členek se razvije v steburu okvirja. Ta pogoj sicer ni potreben za vozlišče zadnje etaže, pač pa za vsa vozlišča medetaž.

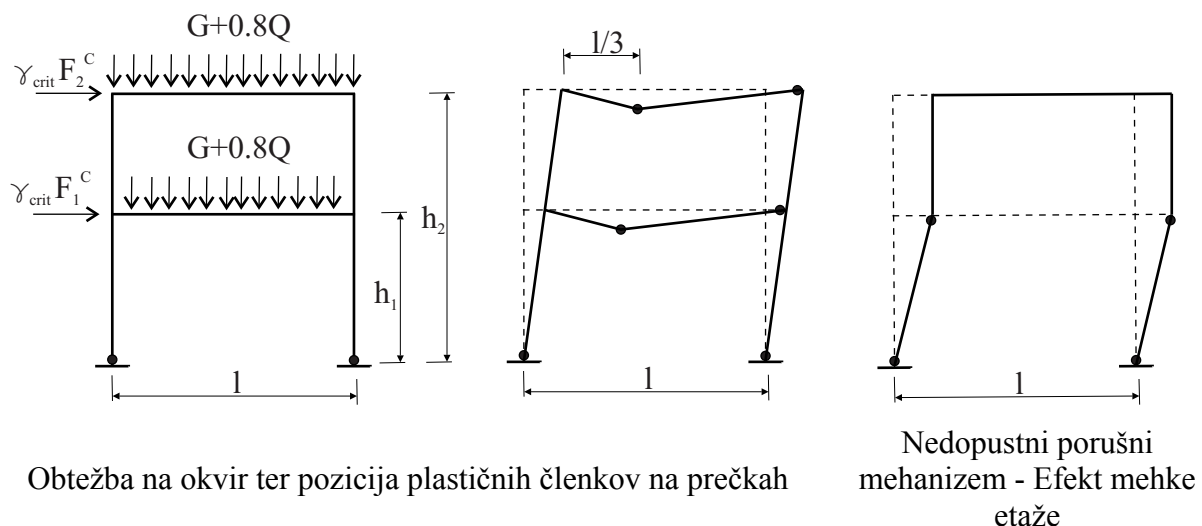


Izbrani profil stebra (HEB 400) torej ni polno izkoriščen. Za opravljeno kontrolo globalne duktilnosti bi zadostoval manjši profil stebra (HEB 320). Vendar pa se v nadaljevanju izkaže, tako pri kontroli porušnih mehanizmov, ki jo sicer standard ne zahteva, kot pri kontroli etažnih pomikov, da je izbira profila HEB 400 upravičena.

Kontrola porušnih mehanizmov

KOMENTAR: Po SIST EN 1998-1 kontrola porušnih mehanizmov ni obvezna. Tukaj je podana v ilustracijo zagotavljanja globalne duktilnosti.

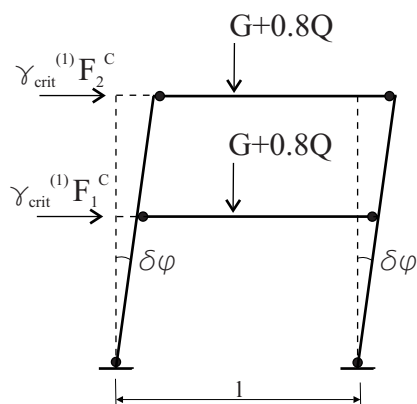
Določitev merodajnega faktorja α_u



KOMENTAR: Porušni mehanizem z učinkom mehke etaže ni dopusten, saj se v tem primeru pojavijo plastični členki na dnu in vrhu stebra prve etaže, kar rezultira v nenadno porušitev

celotne konstrukcije. Ukrep proti takemu obnašanju je povečanje profila stebrov (večja vrednost $M_{pl,y,Rd,c}$).

1. Rušni mehanizem



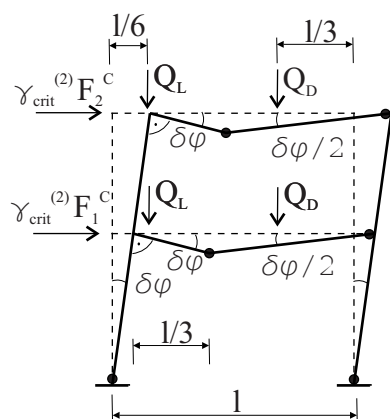
$$\delta W_z = \gamma^{(1)} \cdot (F_1^C \cdot h_1 + F_2^C \cdot h) \cdot \delta\varphi$$

$$\delta W_n = (2 \cdot M_{pl,y,Rd,c} + 4 \cdot M_{pl,y,Rd,b}) \cdot \delta\varphi$$

$$\gamma_{crit}^{(1)} \leq \frac{2 \cdot M_{pl,y,Rd,c} + 4 \cdot M_{pl,y,Rd,b}}{F_1^C \cdot h_1 + F_2^C \cdot h} = \frac{2 \cdot 75952 \text{ kNcm} + 4 \cdot 39997 \text{ kNcm}}{40.2 \text{ kN} \cdot 400 \text{ cm} + 66.2 \text{ kN} \cdot 700 \text{ cm}}$$

$$\gamma_{crit}^{(1)} \leq 4.99$$

2. Rušni mehanizem

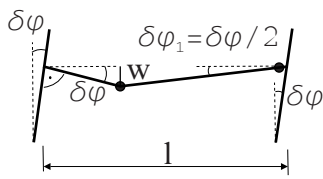


$$\delta W_z = \gamma^{(2)} \cdot (F_1^C \cdot h_1 + F_2^C \cdot h) \cdot \delta\varphi + 2 \cdot \left(\frac{l}{6} \cdot Q_L + \frac{2 \cdot l}{2 \cdot 6} \cdot Q_D \right) \cdot \delta\varphi$$

$$\begin{aligned} \delta W_n &= \left(2 \cdot M_{pl,y,Rd,c} + 2 \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{3}{2} \right) \cdot M_{pl,y,Rd,b} \right) \cdot \delta\varphi \\ &= (2 \cdot M_{pl,y,Rd,c} + 6 \cdot M_{pl,y,Rd,b}) \cdot \delta\varphi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma^{(2)} &\leq \frac{(2 \cdot M_{pl,y,Rd,c} + 6 \cdot M_{pl,y,Rd,b}) - \frac{2l}{6} (Q_L + Q_D)}{F_1^C \cdot h_1 + F_2^C \cdot h} = \\ &= \frac{(2 \cdot 75952 \text{ kNcm} + 6 \cdot 39997 \text{ kNcm}) - \frac{2 \cdot 700 \text{ cm}}{6} (133 \text{ kN} + 266 \text{ kN})}{40.2 \text{ kN} \cdot 400 \text{ cm} + 66.2 \text{ kN} \cdot 700 \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$\gamma^{(2)} \leq 4.78$$



$$w = \delta\varphi \cdot \frac{l}{3} = \delta\varphi_1 \frac{2 \cdot l}{3}$$

$$\delta\varphi_1 = \frac{\delta\varphi \cdot l \cdot 3}{3 \cdot 2 \cdot l} = \frac{\delta\varphi}{2}$$

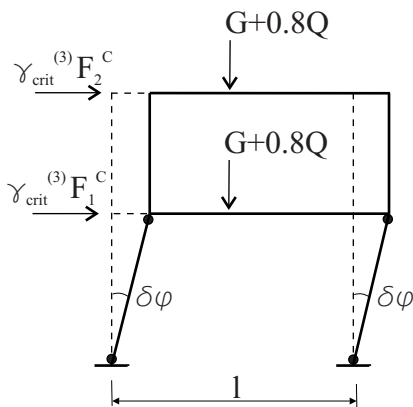
Celoten zasuk prečke v desnem vozlišču (ob upoštevanju zasuka stebra):

$$\delta\varphi_{tot} = \delta\varphi_L - \delta\varphi_D = \frac{1}{2} \delta\varphi - (-\delta\varphi) = \frac{3}{2} \delta\varphi$$

$$Q_L = \frac{l}{3} \cdot (g_k^C + 0.8 \cdot q_k^C) = \frac{7m}{3} \cdot \left(25 \frac{kN}{m} + 0.8 \cdot 40 \frac{kN}{m}\right) = 133.0kN$$

$$Q_D = \frac{2}{3} \cdot l \cdot (g_k^C + 0.8 \cdot q_k^C) = \frac{2}{3} \cdot 7m \cdot \left(25 \frac{kN}{m} + 0.8 \cdot 40 \frac{kN}{m}\right) = 266.0kN$$

3. Rušni mehanizem



$$\delta W_z = \gamma^{(3)} \cdot (F_1^C \cdot h_1 + F_2^C \cdot h) \cdot \delta\varphi$$

$$\delta W_n = 4 \cdot M_{pl,y,Rd,c} \cdot \delta\varphi$$

$$\gamma^{(3)} \leq \frac{4 \cdot M_{pl,y,Rd,c}}{F_1^C \cdot h_1 + F_2^C \cdot h} = \frac{4 \cdot 75952kNcm}{40.2kN \cdot 400cm + 66.2kN \cdot 700cm}$$

$$\gamma^{(3)} \leq 4.87$$

$$\gamma^{(3)} = 4.87 > \min\{\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}\} = 4.78 \quad \checkmark$$

S tem smo pokazali, da je merodajen porušni mehanizem tak, pri katerem nastane kinematična veriga po tvorbi plastičnih členkov v prečkah. Mehanizem torej ustreza ideji potresno odpornega projektiranja ("Capacity Design") v smislu močni stebri, šibke prečke.

$$\gamma = \gamma_{MIN} = \gamma^{(2)} = 4.78$$

$$\alpha_u = \gamma = 4.78$$

$$\alpha = \frac{\alpha_u}{\alpha_1},$$

kjer je

$$\alpha_1 = \frac{M_{pl,y,Rd,b} - M_{G,b}}{k_\delta \cdot M_{E,b}}$$

množitelj vodoravnih projektnih potresnih vplivov, ki ustreza stanju, v katerem se v najbolj obremenjenem prečnem prerezu razvije plastični členek;

α_u množitelj vodoravnih projektnih potresnih vplivov, ki ustreza stanju, v katerem zadostno število prečnih prerezov doseže plastično nosilnost in se razvije globalni porušni mehanizem.

Zgornja prečka

$$\alpha_1^{zg} = \frac{399.97kNm - 205.10kNm}{66.70} = 2.92$$

Spodnja prečka

$$\alpha_1^{sp} = \frac{399.97kNm - 221.23kNm}{91.16} = 1.96$$

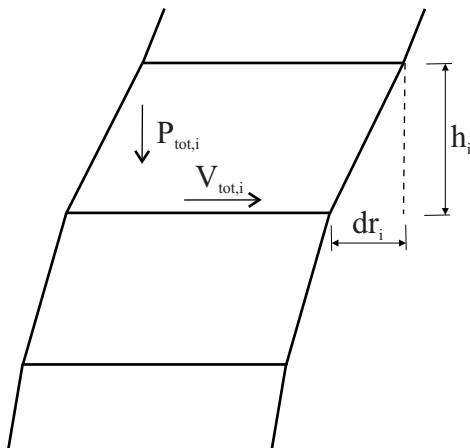
$$\alpha_1 = \min \{ \alpha_1^{zg}; \alpha_1^{sp} \} = \min \{ 2.92; 1.96 \} = 1.96$$

$$\alpha = \frac{\alpha_u}{\alpha_1} = \frac{4.78}{1.96} = 2.44 > 1.6$$

KOMENTAR: Maksimalna vrednost, ki jo lahko vzamemo za razmerje $\frac{\alpha_u}{\alpha_1}$ je 1.6 (SIST EN 1998-1; točka 6.3.2 (6)). Za naš primer smo upoštevali:

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.2 < 1.6 \quad \checkmark$$

5.3.5 Kontrola vpliva TDR



$$g_i = \frac{1}{\gamma_{cr,i}} = \frac{P_{tot,i}}{V_{tot,i}} \cdot d\varphi = \frac{P_{tot,i}}{V_{tot,i}} \cdot \frac{dr_i}{h_i}$$

$$dr_i = de_i \cdot q$$

de_i relativni elastični pomik etaže

1. etaža

$$P_{tot,1} = 2 \cdot 442.49kN = 885.0kN$$

$$V_{tot,1} = 53.49kN + 52.91kN = 106.4kN$$

$$de_1 = w_1 = 0.0061m \quad (\text{glej izpis pomikov w pod točko 5.3.1})$$

$$dr_1 = w_1 \cdot q_x = 0.0061m \cdot 6.0 = 0.037m$$

$$g^{(1)} = \frac{P_{tot,1}}{V_{tot,1}} \cdot \frac{dr_1}{h_1} = \frac{885.0kN}{106.4kN} \cdot \frac{0.037m}{4m} = 0.076$$

2. etaža

$$P_{tot,2} = 2 \cdot 216.73kN = 433.5kN$$

$$V_{tot,2} = 2 \cdot 33.10kN = 66.2kN$$

$$de_2 = w_2 - w_1 = 0.0111 - 0.0061m = 0.005m \quad (\text{glej izpis pomikov w pod točko 5.3.1})$$

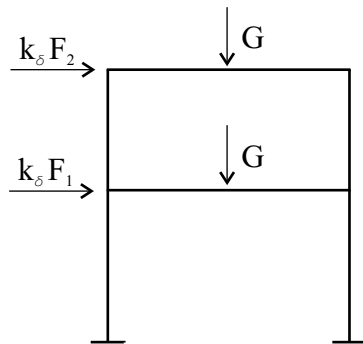
$$dr = de_2 \cdot q_x = 0.005m \cdot 6.0 = 0.030m$$

$$g^{(2)} = \frac{P_{tot,2}}{V_{tot,2}} \cdot \frac{dr_2}{h_2} = \frac{433.5kN}{66.2kN} \cdot \frac{0.030m}{3m} = 0.065$$

$$g = \max \{ g^{(1)}; g^{(2)} \} = \max \{ 0.076; 0.065 \} = 0.076 < 0.1$$

Vpliva TDR ni potrebno upoštevati.

KOMENTAR: V primeru da je $\mathcal{G} > 0.1$, je potrebno vpliv TDR upoštevati s faktorjem k_δ :



$$k_\delta = \frac{1}{1 - \mathcal{G}}$$

S faktorjem k_δ pomnožimo horizontalni vpliv (seizmični del) potresnega projektne stanja.

V nadaljevanju zaradi preglednosti računskega primera podajamo splošne izraze za določanje obremenitev posameznih elementov pomičnega okvirja glede na to, ali je $\mathcal{G} > 0.1$ ali $\mathcal{G} < 0.1$. V našem primeru se seveda poslužujemo izrazov za primer $\mathcal{G} < 0.1$ (vpliva TDR ni potrebno upoštevati).

5.3.6 Dimenzioniranje prečke

Obremenitev

$\mathcal{G} > 0.1$	$\mathcal{G} < 0.1$
$M_{Ed} = M_{Ed,G} + k_\delta \cdot M_{Ed,E}$	$M_{Ed} = M_{Ed,G} + M_{Ed,E}$
$N_{Ed} = N_{Ed,G} + k_\delta \cdot N_{Ed,E}$	$N_{Ed} = N_{Ed,G} + N_{Ed,E}$
$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M}$	$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M}$

1. Etaža

$$M_{Ed}^{(1)} = 221.23kNm + 91.16kNm = 312.4kNm$$

$$N_{Ed}^{(1)} = -85.97kN + 19.81kN = -66.2kN \quad \text{nateg}$$

$$V_{Ed,G}^{(1)} = 202.2kN$$

2. Etaža

$$M_{Ed}^{(2)} = 205.10kNm + 66.70kNm = 271.8kNm$$

$$N_{Ed}^{(2)} = 115.28kN + 33.10kN = 148.4kN \quad \text{tlak}$$

$$V_{Ed,G}^{(2)} = 202.2kN$$

Kontrola pravil potresno odpornega projektiranja za nosilce pomičnih okvirov, SIST EN 1998-1; točka 6.6

Kontrola upogibne nosilnosti

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1.0$$

$$M_{pl,y,Rd} = 39997 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed,max} = M_{Ed}^{(1)} = 31239 \text{ kNcm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = \frac{31239 \text{ kNcm}}{39997 \text{ kNcm}} = 0.78 < 1.0 \quad \checkmark$$

Kontrola osne sile

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0.15$$

$$N_{Ed,max} = N_{Ed}^{(2)} = 148.4 \text{ kN} \quad \text{tlačna osna sila}$$

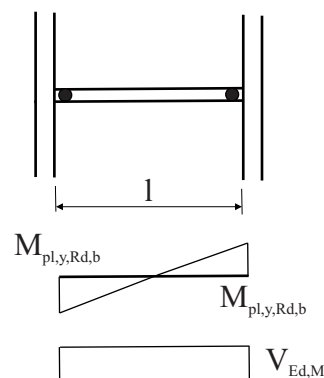
$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{148.4 \text{ kN}}{2321.8 \text{ kN}} = 0.06 \leq 0.15 \quad \checkmark$$

Kontrola prečne sile

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

$$V_{Ed,M} = \frac{2 \cdot M_{pl,y,Rd,b}}{L} = \frac{2 \cdot 39997 \text{ kNcm}}{700 \text{ cm}} = 114.3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,G,max} = 202.2 \text{ kN} \quad (1. \text{ in } 2. \text{ etaža})$$



Za obe etaži velja:

$$V_{Ed} = 202.2 \text{ kN} + 114.3 \text{ kN} = 316.4 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 689.5 \text{ kN} \quad \text{glej točko 3}$$

$$V_{Ed} = 316.4kN \leq 0.5V_{pl,Rd} = 0.5 \cdot 689.5kN = 344.8kN \quad \checkmark$$

Kontrola kompaktnosti

- stojina, 1. razred kompaktnosti, (SIST EN 1993-1-1, Preglednica 5.2, list 1 od 3)

Upogib in tlak

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot d \cdot t_w} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \frac{148.4kN}{23.5kN/cm^2 \cdot 37.8cm \cdot 0.94cm} \right] = 0.59$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{378mm}{9.4mm} = 40.21 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{(13 \cdot \alpha - 1)} = \frac{396 \cdot 1.0}{(13 \cdot 0.59 - 1)} = 59.37 \quad \checkmark$$

- pasnica, 1. razred kompaktnosti, (SIST EN 1993-1-1, Preglednica 5.3, list 2 od 3)

Tlak

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{\frac{190mm}{2} - \frac{9.4mm}{2} - 21mm}{14.6mm} = 4.7 < 9\varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \quad \checkmark$$

- odpornost stojine proti lokalnemu izbočenju v strigu

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{420.8mm}{9.4mm} = 44.8 > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1.0}{1.2} = 60.0 \quad \times \quad \Rightarrow \text{stojina je kompaktna}$$

5.3.7 Dimenzioniranje stebrov

Obremenitev

$\mathcal{G} > 0.1$	$\mathcal{G} < 0.1$
$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot k_{\delta} \cdot M_{Ed,E}$	$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}$
$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot k_{\delta} \cdot N_{Ed,E}$	$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$
$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot k_{\delta} \cdot V_{Ed,E}$	$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}$

$$\Omega_i = \frac{M_{pl,y,Rd}(f_y)}{M(M_G + k_{\delta} \cdot M_E)} \quad \text{navezuje se na momente v območju disipacije (prečke okvirja)}$$

Za prečko prve in druge etaže velja:

$$\Omega_1 = \frac{M_{pl,y,Rd}}{M_{Ed}^{(1)}} = \frac{39997kNcm}{31239kNcm} = 1.280$$

$$\Omega_2 = \frac{M_{pl,y,Rd}}{M_{Ed}^{(2)}} = \frac{39997kNcm}{27180kNcm} = 1.472$$

$$\Omega = \min\{\Omega_1; \Omega_2\} = \min\{1.280; 1.472\} = 1.280$$

$$\gamma_{ov} = 1.149 \quad \text{glej točko 5.3.2}$$

Odtod določimo merodajno obremenitev stebra (desni steber v pritličju):

Prerez stebra ob vpetju

$$M_{Ed}^{1-1} = M_{Ed,G}^{1-1} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}^{1-1} = 36.75kNm + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 153.70kNm = 285.5kNm$$

$$N_{Ed}^{1-1} = N_{Ed,G}^{1-1} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}^{1-1} = 442.49kN + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 45.02kN = 515.3kN$$

$$V_{Ed}^{1-1} = V_{Ed,G}^{1-1} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}^{1-1} = 29.31kN + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 52.91kN = 114.9kN$$

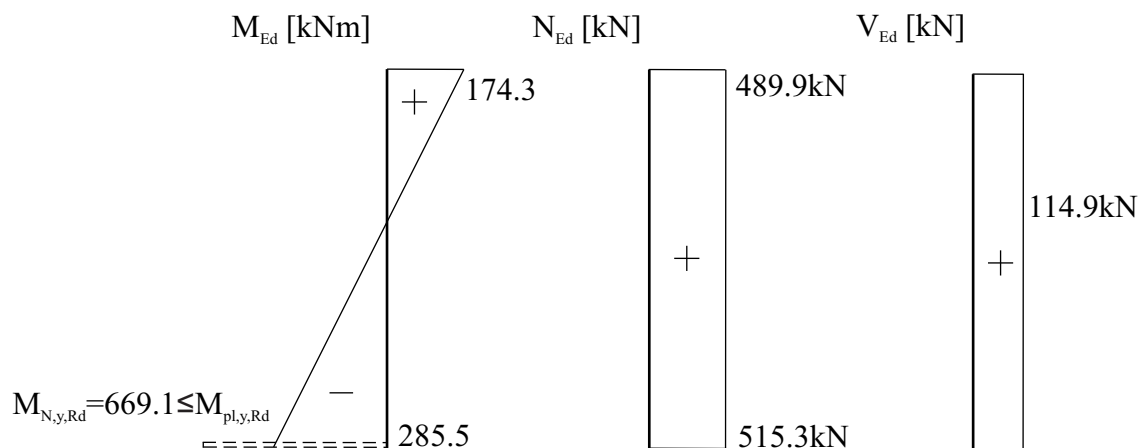
Prerez stebra pod prvo etažo

$$M_{Ed}^{2-2} = M_{Ed,G}^{2-2} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}^{2-2} = 80.50kNm + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 57.95kNm = 174.3kNm$$

$$N_{Ed}^{2-2} = N_{Ed,G}^{2-2} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}^{2-2} = 416.73kN + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 45.02kN = 489.6kN$$

$$V_{Ed}^{2-2} = V_{Ed,G}^{2-2} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E}^{2-2} = 29.31kN + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 52.91kN = 114.9kN$$

Na diagramu momenta je za prerez ob vpetju (prerez 1-1) dodatno vrisana vrednost momenta (polnoplastični moment reduciran zaradi tlačne osne sile $M_{N,y,Rd}$, glej točko 5.4.5), ki upošteva tvorbo plastičnega členka ob dnu stebrov med potresom.



Kontrola osno upogibne nosilnosti

Glej točko 5.4.5, kjer upoštevam kombinacijo obremenitve iz obeh vodoravnih smeri x in y. Steber je namreč element, na katerega sočasno vplivata obe smeri vzbujanja med potresom.

Kontrola strižne nosilnosti

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 70.2 \text{ cm}^2 \cdot \frac{23.5 \text{ kN / cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 952.5 \text{ kN}$$

$$A_v = \max \begin{cases} A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 198 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 30 \cdot 2.4 + (1.35 + 2 \cdot 2.7) \cdot 2.4 \text{ cm}^2 = 70.2 \text{ cm}^2 \\ \eta h_w t_w = 1.2 \cdot 35.2 \text{ cm} \cdot 1.35 \text{ cm} = 57.0 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$A_v = 70.2 \text{ cm}^2$$

$$V_{Ed} = 114.9 \text{ kN} \leq 0.5 V_{pl,Rd} = 0.5 \cdot 952.5 \text{ kN} = 476.2 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Kontrola kompaktnosti glej točko 5.4.4

Panel stojine stebra, SIST EN 1998-1; točka 6.6.3 (6)

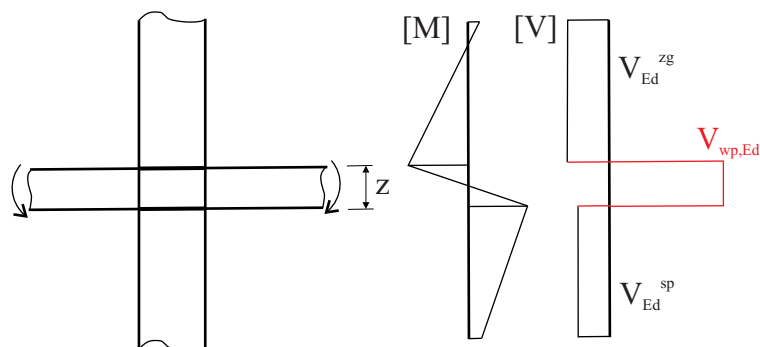
Strižn nosilnost panela stojine stebra v območju spoja prečka-steber (glej spodnjo sliko) mora zadoščati pogoju:

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} \leq 1.0$$

kjer sta:

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

$V_{wp,Rd}$ strižna odpornost panela stojine. Vpliva osnih sil in upogibnih momentov na plastično strižno nosilnost panela stojine ni treba upoštevati.



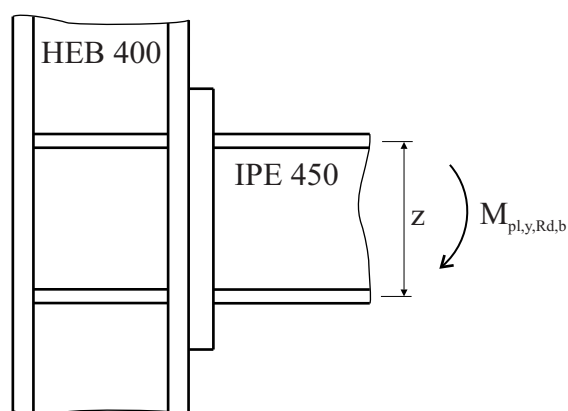
Razlika med prečno silo v stebru in panelu

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{pl,y,Rd,b}}{z} = \frac{39997 \text{ kNcm}}{43.54 \text{ cm}} = 918.6 \text{ kN}$$

$$z = h - t_f = 45.0 \text{ cm} - 1.46 \text{ cm} = 43.54 \text{ cm}$$

$$V_{wp,Rd} = V_{pl,Rd,c} = 952.5 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Ed} = 918.6 \text{ kN} < V_{wp,Rd} \quad \checkmark$$



Strižn nosilnost panela stojine stebra v območju spoja prečka-steber zadošča kontroli strižne nosilnosti.

5.3.8 Spoji

SPOJ PREČKA-STEBER

SIST EN 1998-1; točka 6.5.5 (3), dimenzioniramo polnonosilni spoj:

$$R_d \geq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot R_{fy}$$

kjer je:

R_{fy} plastična nosilnost priključene prečke, ki disipira energijo med potresom

$$R_d \geq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot M_{pl,y,Rd,b} = 1.1 \cdot 1.149 \cdot 39997 \text{ kNcm} = 50552 \text{ kNcm}$$

PRIKLJUČEK STEBER-TEMELJ

Dimenzioniramo polonosilni spoj; veljajo enaka določila kot pri spoju prečka-steber:

$$R_d \geq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot R_{fy}$$

kjer je:

R_{fy} plastična nosilnost priključenega stebra

$$R_d \geq 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot M_{N,Rd,c} = 1.1 \cdot 1.149 \cdot 66936 \text{ kNcm} = 84600 \text{ kNcm}$$

Za vrednost $M_{N,Rd}$ glej točko 5.4.4

5.3.9 Kontrola poškodb (kontrola relativnih pomikov etaž)

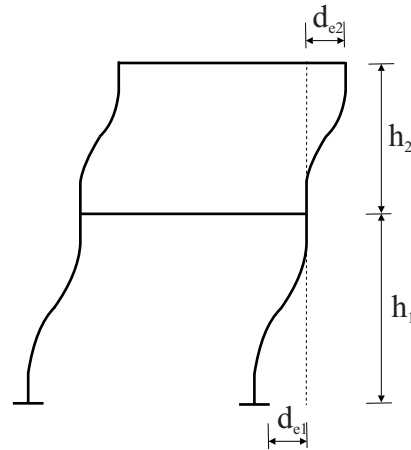
$$d_{e,1} = \frac{(0.60 + 0.62) \text{ cm}}{2} = 0.61 \text{ cm}$$

$$d_{e,2} = \frac{(1.13 + 1.08) \text{ cm}}{2} - 0.61 \text{ cm} = 0.50 \text{ cm}$$

$$d_{r,i} = d_{e,i} \cdot q_x$$

$$d_{r,1} = d_{e,1} \cdot q_x = 0.61 \text{ cm} \cdot 6 = 3.66 \text{ cm}$$

$$d_{r,2} = d_{e,2} \cdot q_x = 0.50 \text{ cm} \cdot 6 = 3.0 \text{ cm}$$



$$v(\gamma_I = 1.0) = 0.5$$

SIST EN 1998-1; točka 4.4.3.2 (1) b) Za stavbe z duktilnimi nekonstrukcijskimi elementi moramo zadostiti sledečemu pogoju:

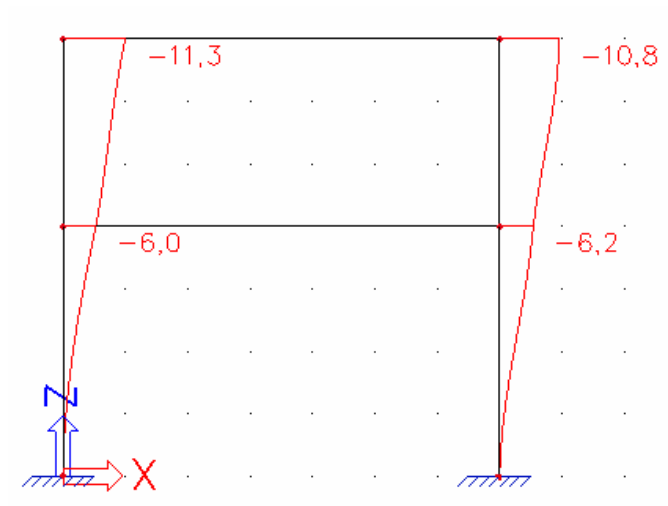
$$d_{r,i} \cdot v \leq 0.0075 \cdot h_i$$

1. etaža

$$d_{r,1} \cdot v = 3.66 \text{ cm} \cdot 0.5 = 1.83 \text{ cm} \leq 0.0075 \cdot h_1 = 0.0075 \cdot 400 \text{ cm} = 3.0 \text{ cm} \quad \checkmark$$

2. etaža

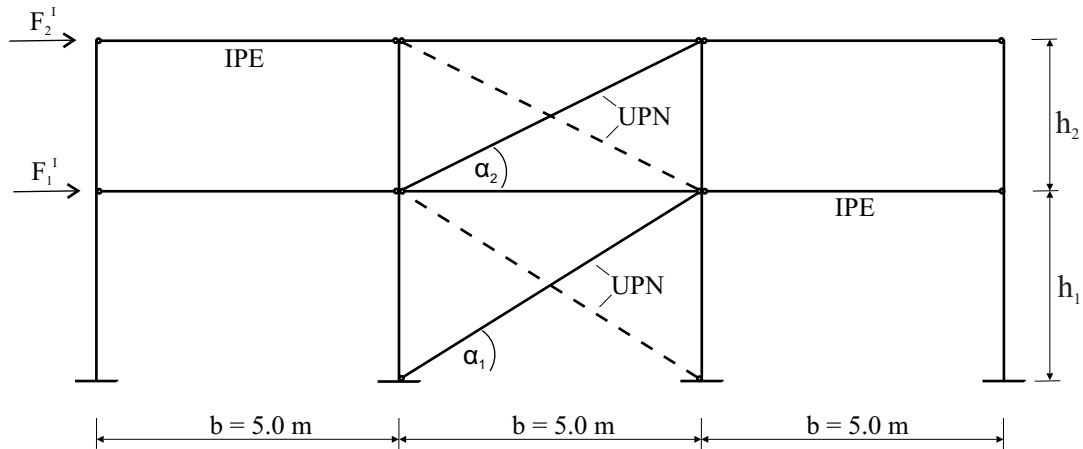
$$d_{r,2} \cdot v = 3.0 \text{ cm} \cdot 0.5 = 1.50 \text{ cm} \leq 0.0075 \cdot h_2 = 0.0075 \cdot 300 \text{ cm} = 2.25 \text{ cm} \quad \checkmark$$



Horizontalni pomik etaž za potresno projektno stanje [mm]

5.4 Kontrola nosilnosti v vzdolžni smeri (centrično povezje I)

Ravninsko paličje brez tlačnih diagonal



SIST EN 1998-1; točka 6.7 Pravila projektiranja za okvir s centričnimi povezji

Točka 6.7.1 (3) Za diagonali v obeh etažah mora biti izpolnjen sledeč pogoj:

$$\frac{A^+ - A^-}{A^+ + A^-} \leq 0.05 \quad \checkmark$$

Točka 6.7.4 (1) Faktor dodatne nosilnosti za nosilce in stebre, ki so obremenjeni z osno silo:

$$\Omega = \min \frac{N_{pl,Rd,i}}{N_{Ed,i}}$$

$N_{pl,Rd,i}$ projektna nosilnost diagonale i pri nominalni trdnosti $f_{y,nom}$

$N_{Ed,i}$ projektna vrednost osne sile v isti diagonali i pri potresnem projektnem stanju

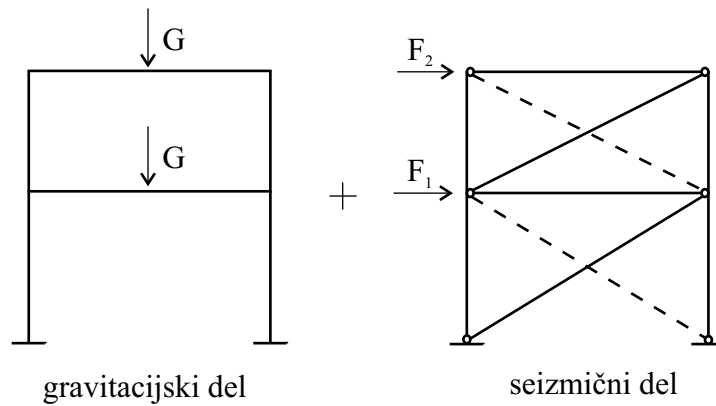
Točka 6.7.3 (8) Enakomerno sipanje v diagonalah se zagotovi z omejitvijo razlike velikosti največjega in najmanjšega faktorja dodatne nosilnosti Ω_i :

$$\frac{\Omega_{MAX}}{\Omega_{Min}} \leq 1.25$$

5.4.1 Obtežba in obremenitev elementov povezja

- Gravitacijski (neseizmični) del potresnega projektnega stanja

Na diagonale nima vpliva, vpliv na stebre je zajet že v analizi prečne smeri x konstrukcije. Vpliva samo na prečki v povezju.



Preračun površinske obtežbe vplivnega območja prečke na linijsko obtežbo g prečke:

$$\begin{aligned} G &= \frac{1}{2} \cdot b \cdot 2.5m \cdot (g_k + 0.8 \cdot q_k) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 5m \cdot 2.5m \cdot (5kN/m^2 + 0.8 \cdot 8kN/m^2) \\ &= 71.3kN \\ g &= \frac{G}{b} + g_j = \frac{71.25kN}{5m} + 0.60kN/m = 14.9kN/m \end{aligned}$$

Obremenitev prečke

$$\begin{aligned} V_{Ed,G} &= \frac{1}{2} \cdot g \cdot b = \frac{1}{2} \cdot 14.85kN/m \cdot 5m = 37.1kN \\ M_{Ed,G} &= \frac{1}{8} \cdot g \cdot b^2 = \frac{1}{8} \cdot 14.85kN/m \cdot 5^2m^2 = 46.6kNm \\ N_{Ed,G} &= 0 \end{aligned}$$

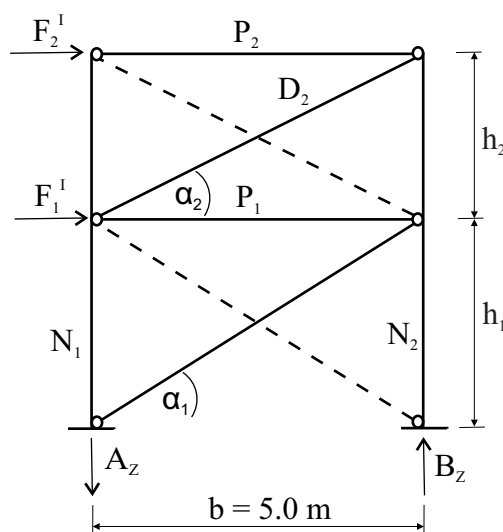
- **Potresni (seizmični) del potresnega projektnega stanja**

V povezju tlačnih diagonal ne upoštevamo (glej sliko).

Sile na povezje z upoštevanjem ekscentričnosti povezja (torzijski vpliv)

$$F_1^I = \gamma_I \cdot F_1^I \cdot \delta_I = 1.0 \cdot 100.5 \text{ kN} \cdot 1.6 = 160.8 \text{ kN}$$

$$F_2^I = \gamma_I \cdot F_2^I \cdot \delta_I = 1.0 \cdot 165.6 \text{ kN} \cdot 1.6 = 264.9 \text{ kN}$$



Obremenitev elementov povezja

Račun osnih sil v diagonalah

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{h_1}{b}\right) = \arctg\left(\frac{4\text{ m}}{5\text{ m}}\right) = 38.66^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctg\left(\frac{h_2}{b}\right) = \arctg\left(\frac{3\text{ m}}{5\text{ m}}\right) = 30.96^\circ$$

$$d_1 = \sqrt{b^2 + h_1^2} = \sqrt{5^2 + 4^2} \text{ m} = 6.403 \text{ m}$$

$$d_2 = \sqrt{b^2 + h_2^2} = \sqrt{5^2 + 3^2} \text{ m} = 5.831 \text{ m}$$

$$D_1 = \frac{F_1^I + F_2^I}{\cos \alpha_1} = \frac{160.8 \text{ kN} + 264.9 \text{ kN}}{\cos 38.66^\circ} = 545.2 \text{ kN}$$

$$D_2 = \frac{F_2^I}{\cos \alpha_2} = \frac{264.9 \text{ kN}}{\cos 30.96^\circ} = 309.0 \text{ kN}$$

Račun osnih sil v prečkah

$$P_1 = F_1^I + D_2 \cdot \cos \alpha_2 = 160.8 \text{ kN} + 309.0 \text{ kN} \cdot \cos 30.96^\circ = 425.7 \text{ kN} \quad \text{tlak}$$

$$P_2 = F_2^I = 264.9 \text{ kN} \quad \text{tlak}$$

Račun osnih sil v stebrih prve etaže

$$h = h_1 + h_2 = 4m + 3m = 7m$$

$$B_z = \frac{F_1' \cdot h_1 + F_2' \cdot h}{b} = \frac{160.8kN \cdot 4m + 264.9kN \cdot 7m}{5m} = 499.5kN$$

$$A_z = B_z$$

$$N_1 = D_1 \cdot \sin \alpha_1 - A_z = 545.2kN \cdot \sin 38.66^\circ - 499.5kN = -159.0kN \text{ nateg}$$

$$N_2 = B_z = 499.5kN \text{ tlak}$$

5.4.2 Dimenzioniranje diagonal

Dimenzioniranje prereza diagonal

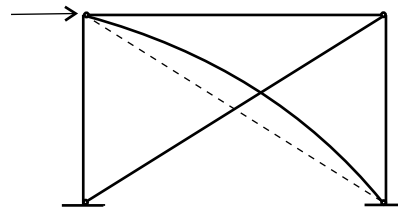
$$A_1 \geq \frac{D_1}{f_y / \gamma_{M0}} = \frac{545.2kN \cdot 1.0}{23.5kN / cm^2} = 23.20cm^2 \rightarrow \text{izberem prerez: U 160; } A_{1,dej} = 24.0cm^2$$

$$A_2 \geq \frac{D_2}{f_y / \gamma_{M0}} = \frac{309.0kN \cdot 1.0}{23.5kN / cm^2} = 13.15cm^2 \rightarrow \text{izberem prerez: U 100; } A_{2,dej} = 13.5cm^2$$

Točka 6.7.3 (1) Omejitev relativne vitkosti $\bar{\lambda}$ diagonal

$$1.3 \leq \bar{\lambda} \leq 2.0$$

S tem pogojem je omogočen uklon tlačne diagonale (glej sliko).

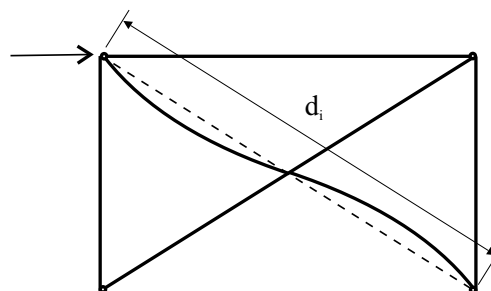


OPOMBA: Točka 6.7.3 (4)

V konstrukcijah z enim ali dvema nadstropjema ni omejitev za $\bar{\lambda}$.

Kontrola relativne uklonske vitkosti diagonal okoli šibke osi

$$l_{u,i} = \frac{d_i}{2}$$



$$\bar{\lambda}_1 = \frac{\lambda^{(1)}}{\lambda_1} = \frac{l_{u,1}}{i_{z,1} \cdot \lambda_1} = \frac{640\text{cm}/2}{1.89\text{cm} \cdot 93.9} = 1.80 > 1.3 \quad \checkmark$$

$$\bar{\lambda}_2 = \frac{\lambda^{(2)}}{\lambda_1} = \frac{l_{u,2}}{i_{z,2} \cdot \lambda_1} = \frac{583\text{cm}/2}{1.47\text{cm} \cdot 93.9} = 2.11 > 1.3 \quad \checkmark$$

KOMENTAR: V konstrukcijah z eno ali dvema etažama omejitve vitkosti ni potrebno upoštevati, vendar je vsaj spodnjo mejo $\bar{\lambda} > 1.3$ priporočljivo upoštevati.

Izračun faktorjev dodatne nosilnosti

$$\Omega_1 = \frac{N_{pl,Rd,1}(f_{y,nom})}{N_{Ed,1}} = \frac{564.0\text{kN}}{545.2\text{kN}} = 1.035$$

$$\Omega_2 = \frac{N_{pl,Rd,2}(f_{y,nom})}{N_{Ed,2}} = \frac{317.3\text{kN}}{309.0\text{kN}} = 1.027$$

$$N_{Ed,1} = D_1$$

$$N_{Ed,2} = D_2$$

$$N_{pl,Rd,1}(f_{y,nom}) = A_1 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 24.0\text{cm}^2 \cdot \frac{23.5\text{kN/cm}^2}{1.0} = 564.0\text{kN}$$

$$N_{pl,Rd,2}(f_{y,nom}) = A_2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 13.5\text{cm}^2 \cdot \frac{23.5\text{kN/cm}^2}{1.0} = 317.3\text{kN}$$

$$\Omega = \Omega_{MIN} = \min\{\Omega_1; \Omega_2\} = \min\{1.035; 1.027\} = 1.027$$

$$\frac{\Omega_{MAX}}{\Omega_{Min}} = \frac{\Omega_1}{\Omega_2} = \frac{1.035}{1.027} = 1.007 \leq 1.25 \quad \checkmark$$

Dimenzioniranje spoja diagonale

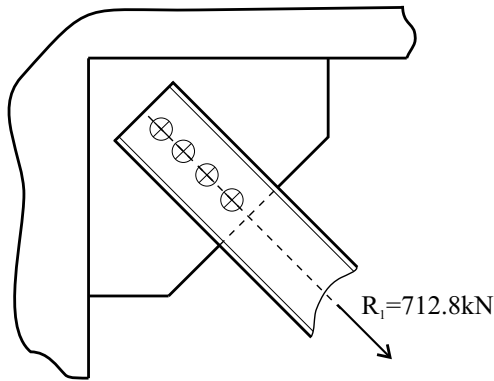
Obremenitev

$$R_1 = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot N_{pl,Rd,1} = 1.1 \cdot 1.149 \cdot 564.0\text{kN} = 712.8\text{kN}$$

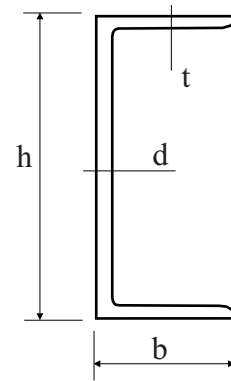
$$R_2 = 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot N_{pl,Rd,2} = 1.1 \cdot 1.149 \cdot 317.3\text{kN} = 401.0\text{kN}$$

$$\gamma_{ov} = 1.149 \quad \text{faktor je enak kot za prečke}$$

Dimenzioniranje vijachenega spoja spodnje diagonale s prednapetimi vijaki



Zasnova vijachenega spoja U-profila na vezno pločevino



Geometrijske karakteristike profila diagonale UPN 160

UPN-profil diagonale:

$$h = 160\text{mm}$$

$$b = 65\text{mm}$$

$$d = 7.5\text{mm}$$

$$t = r = 10.5\text{mm}$$

Izberemo:

Kategorija spoja C (strižno obremenjen spoj, torna nosilnost za MSN)

$$\mu = 0.5$$

$$k_s = 1.0 \quad \text{normalna velikost luknje}$$

$$\gamma_{MS} = 1.1 \quad \text{spoj kategorije C}$$

Vijaki: M30 10.9

Torna nosilnost

$$F_{V,Ed} = R_1 = 712.8\text{kN} \leq m \cdot F_{s,Rd}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{MS}} \cdot F_{p,Cd} = \frac{1.0 \cdot 1 \cdot 0.5}{1.1} \cdot 392.7\text{kN} = 178.5\text{kN}$$

$$F_{p,Cd} = 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_S = 0.7 \cdot 100\text{kN/cm}^2 \cdot 5.61\text{cm}^2 = 392.7\text{kN}$$

$$m \geq \frac{R_1}{F_{s,Rd}} = \frac{712.8\text{kN}}{178.5\text{kN}} = 4.0$$

Izberem potrebno število vijakov: $m = 4$

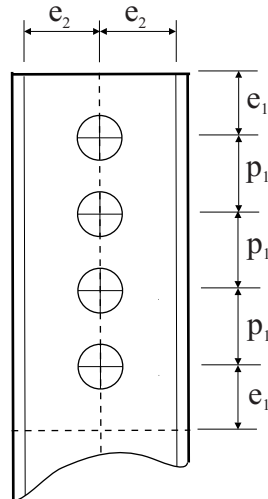
Razporeditev vijakov:

$$d_0 = d + 3mm = 30mm + 3mm = 33mm$$

$$e_1 = 2 \cdot d_0 = 2 \cdot 33mm = 66mm \quad \rightarrow \quad \text{izberem: } e_1 = 60mm$$

$$p_1 = 3 \cdot d_0 = 3 \cdot 33mm = 99mm \quad \rightarrow \quad \text{izberem: } p_1 = 90mm$$

$$e_2 = 53mm$$



Kontrola neto prereza

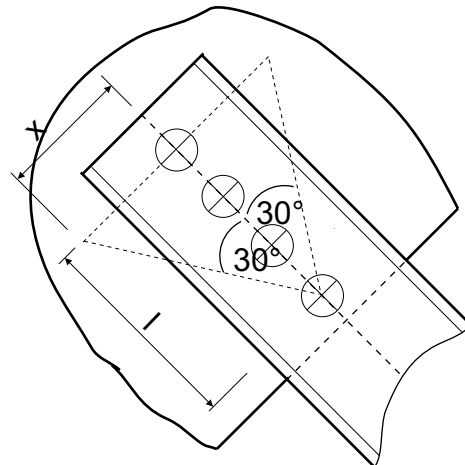
- vezna pločevina

Debelina vezne pločevina t_{vp}

$$l = 3 \cdot p_1 = 3 \cdot 9.0cm = 27.0cm$$

$$x = tg \gamma \cdot l = tg 30^\circ \cdot 27.0cm = 15.59cm$$

$$b = 2 \cdot x = 2 \cdot 15.59cm = 31.18cm$$



Kontrola neto prereza za spoj kategorije C:

$$t_{vp,poir} \geq \frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y \cdot (b - d_0)} = \frac{712.8kN \cdot 1.0}{23.5kN/cm^2 \cdot (31.18 - 3.3)cm} = 1.09cm$$

Izberemo: $t_{vp} = 14mm$

- UPN-profil diagonale

$$R_1 \leq \frac{A_{1,net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21.53cm^2 \cdot 23.5kN/cm^2}{1.0} = 505.8kN \quad \times$$

$$A_{1,net} = A - d_0 \cdot d = 24.0cm^2 - 3.3cm \cdot 0.75cm = 21.53cm^2$$

Ukrep: na osnovni UPN-profil privarimo podložno pločevino

$$R_1' = R_1 - 505.8kN = 712.8kN - 505.8kN = 207.0kN$$

$$t_{p,potr} \geq \frac{R_1'}{f_y \cdot (h - d_0 - 2 \cdot (t + r))} = \frac{207.0kN}{23.5kN/cm^2 \cdot (16 - 3.3 - 2 \cdot (1.05 + 1.05))cm} = 1.04cm$$

$$b_p = 2 \cdot e_2 = 2 \cdot 5.3cm = 10.6cm$$

$$l_p = 3 \cdot p_1 + 2 \cdot e_1 = 3 \cdot 9.0cm + 2 \cdot 6.0cm = 39.0cm$$

Izberemo: $b_p / t_p / l_p = 106 / 12 / 390mm$

Nosilnost na bočni pritisk

$$F_{V,Ed} = R_1 = 712.8kN \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{b,Rd} = m \cdot \frac{2.5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} = 4 \cdot \frac{2.5 \cdot 0.67 \cdot 36.0kN/cm^2 \cdot 3.0cm \cdot 1.4cm}{1.25} = 810.4kN$$

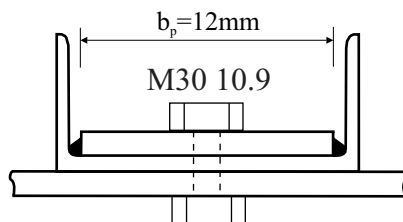
$$\begin{aligned} \alpha &= \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1.0 \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{60mm}{3 \cdot 30mm}; \frac{90mm}{3 \cdot 30mm} - \frac{1}{4}; \frac{100kN/cm^2}{36kN/cm^2}; 1.0 \right\} \\ &= \min \{0.67; 0.75; 2.78; 1.0\} = 0.67 \end{aligned}$$

$$t = \min \{t_U; t_{vp}\} = \min \{2.0; 1.4\} cm = 1.4cm$$

Skupna debelina stojine U-profila ter dodane pločevine:

$$t_U = d + t_p = 0.75cm + 1.2cm = 2.0cm$$

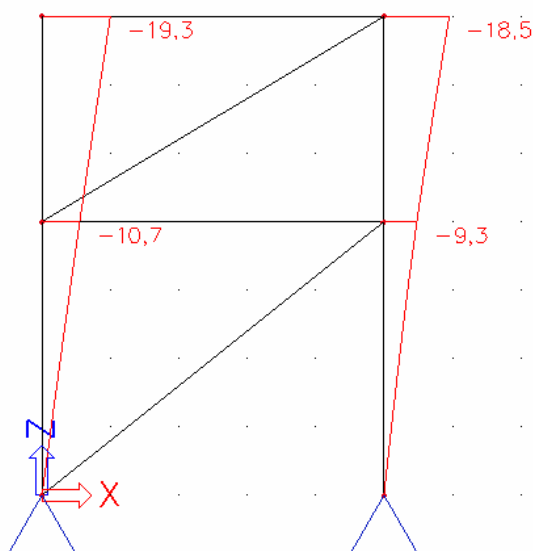
$$F_{V,Ed} = R_1 = 712.8kN \leq F_{b,Rd} = 810.4kN \quad \checkmark$$



Prečni prerez vijačenega spoja

5.4.3 Kontrola vpliva TDR

Celotno silo težnosti $P_{tot,i}$ v obravnavani etaži in nad njo, ki je upoštevana pri potresnem projektnejem stanju smo že določili v poglavju za prečno smer (točka 5.3.1).



Etažni pomiki etaž w [mm] za seizmični del

1. etaža

$$P_{tot,1} = 2 \cdot 442.49 \text{ kN} = 885.0 \text{ kN}$$

$$V_{tot,1} = F_1^I + F_2^I = 160.8 \text{ kN} + 264.9 \text{ kN} = 425.7 \text{ kN}$$

$$de_1 = w_1 = \frac{(0.0107 + 0.0093) \text{ m}}{2} = 0.010 \text{ m}$$

$$dr_1 = w_1 \cdot q_y = 0.010 \text{ m} \cdot 4.0 = 0.040 \text{ m}$$

$$g^{(1)} = \frac{P_{tot,1}}{V_{tot,1}} \cdot \frac{dr_1}{h_1} = \frac{885.0 \text{ kN}}{425.7 \text{ kN}} \cdot \frac{0.040 \text{ m}}{4 \text{ m}} = 0.02$$

2. etaža

$$P_{tot,2} = 2 \cdot 216.73kN = 433.5kN$$

$$V_{tot,2} = F_2^I = 264.9kN$$

$$de_2 = w_2 - w_1 = \frac{(0.0193 + 0.0185)m}{2} - 0.010m = 0.009m$$

$$dr = de_2 \cdot q_x = 0.009m \cdot 4.0 = 0.036m$$

$$g^{(2)} = \frac{P_{tot,2}}{V_{tot,2}} \cdot \frac{dr_2}{h_2} = \frac{433.5kN}{264.9kN} \cdot \frac{0.036m}{3m} = 0.02$$

$$g = \max \{g^{(1)}; g^{(2)}\} = \max \{0.02; 0.02\} = 0.02 < 0.1$$

Vpliva TDR ni potrebno upoštevati.

5.4.4 Dimenzioniranje prečke v povezju

Obremenitev

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E} = 46.6kN + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.027 \cdot 0 = 46.6kN$$

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E} = 0 + 1.1 \cdot 1.15 \cdot 1.027 \cdot 425.7kN = 552.6kN$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot V_{Ed,E} = 37.1kN + 1.1 \cdot 1.15 \cdot 1.027 \cdot 0 = 37.1kN$$

$$\gamma_{ov} = 1.149$$

Ω faktor dodatne nosilnosti se navezuje na diagonale povezja

Dimenzioniranja prečke ne prikazujemo.

5.4.5 Dimenzioniranje stebra v povezju (HEB 400)

Obremenitev

KOMENTAR: Steber je element na katerega vpliva potres v obeh vodoravnih pravokotnih smereh x in y.

Skladno z določili standarda SIST EN 1998-1, točka 4.3.3.5.1 učinek potresnega vpliva zaradi kombinacije vodoravnih komponent potresnega vpliva upoštevamo na sledeč način:

$$a) E_{Edx} + 0.30E_{Edy}$$

$$b) 0.30E_{Edx} + E_{Edy}$$

Določitev kombinacije vplivov za najneugodnejšo obremenitev stebra v povezju

a)

Prerez stebra ob vpetju

$$\begin{aligned} M_{Ed}^{1-1} &= M_{Ed,G} + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot M_{Ed,Ex}) + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot M_{Ed,Ey}) \\ &= 36.75kNm + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 153.70kNm + 0.3 \cdot 0 \\ &= 36.75kNm + 248.65kNm = 285.5kNm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed}^{1-1} &= N_{Ed,G} + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot N_{Ed,Ex}) + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot N_{Ed,Ey}) \\ &= 442.49kN + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 45.02kN + 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.027 \cdot 499.54kN \\ &= 442.49kN + 72.83kN + 194.52kN = 709.8kN \end{aligned}$$

$$N_{Ed,Ey} = N_2 = 499.5kN$$

$$\begin{aligned} V_{Ed}^{1-1} &= V_{Ed,G} + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot V_{Ed,Ex}) + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot V_{Ed,Ey}) \\ &= 29.31kN + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 52.91kN + 0.3 \cdot 0kN \\ &= 29.31kN + 85.60kN = 114.9kN \end{aligned}$$

Prerez stebra pod prvo etažo

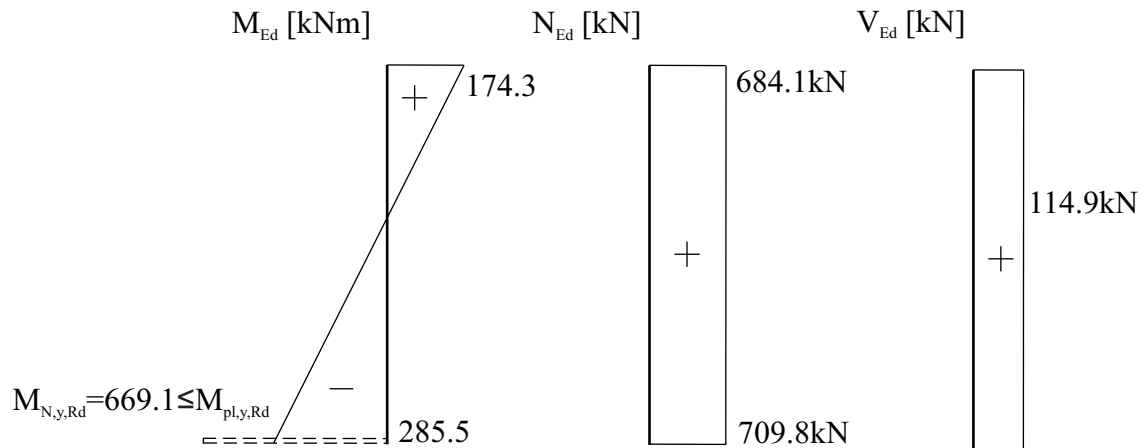
$$\begin{aligned} M_{Ed}^{2-2} &= M_{Ed,G} + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot M_{Ed,Ex}) + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot M_{Ed,Ey}) \\ &= 80.50kNm + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 57.95kNm + 0.3 \cdot 0 \\ &= 80.50kNm + 93.95kNm = 174.3kNm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed}^{2-2} &= N_{Ed,G} + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot N_{Ed,Ex}) + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot N_{Ed,Ey}) \\ &= 416.73kN + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 45.02kN + 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.027 \cdot 499.54kN \\ &= 416.73kN + 72.83kN + 194.52kN = 684.1kN \end{aligned}$$

$$N_{Ed,Ey} = N_2 = 499.5kN$$

$$\begin{aligned} V_{Ed}^{2-2} &= V_{Ed,G} + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot V_{Ed,Ex}) + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot V_{Ed,Ey}) \\ &= 29.31kN + 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 52.91kN + 0.3 \cdot 0kN \\ &= 29.31kN + 85.60kN = 114.9kN \end{aligned}$$

Diagrami momentov in notranjih sil za desni steber povezja



b)

Prerez stebra ob vpetju

$$\begin{aligned} M_{Ed}^{1-1} &= M_{Ed,G} + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot M_{Ed,Ex}) + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot M_{Ed,Ey}) \\ &= 36.75kNm + 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 153.70kNm + 1.0 \cdot 0 \\ &= 36.75kNm + 74.60kNm = 111.3kNm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed}^{1-1} &= N_{Ed,G} + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot N_{Ed,Ex}) + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot N_{Ed,Ey}) \\ &= 442.49kN + 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 45.02kN + 1.0 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.027 \cdot 499.54kN \\ &= 442.49kN + 21.85kN + 648.42kN = 1112.8kN \end{aligned}$$

$$N_{Ed,Ey} = N_2 = 499.5kN$$

$$\begin{aligned} V_{Ed}^{1-1} &= V_{Ed,G} + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot V_{Ed,Ex}) + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot V_{Ed,Ey}) \\ &= 29.31kN + 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 52.91kN + 1.0 \cdot 0kN \\ &= 29.31kN + 25.68kN = 55.0kN \end{aligned}$$

Prerez stebra pod prvo etažo

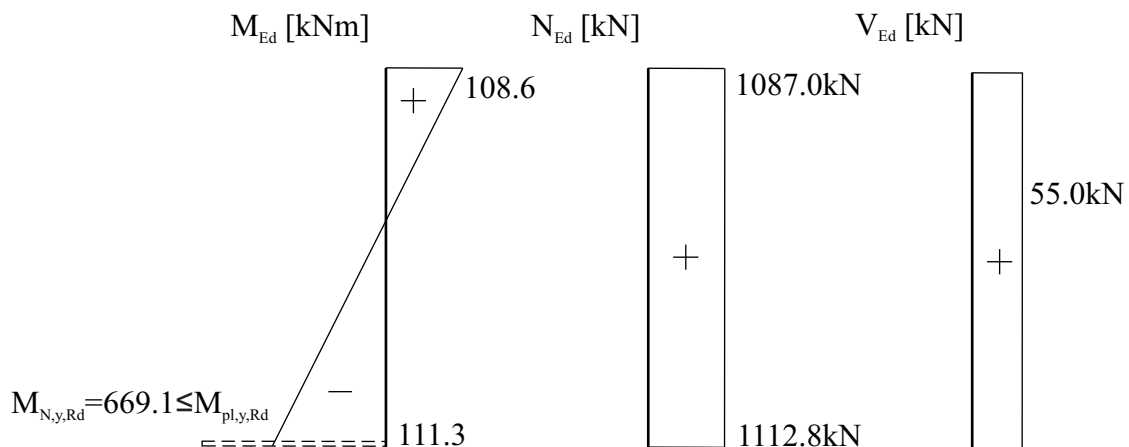
$$\begin{aligned}
 M_{Ed}^{2-2} &= M_{Ed,G} + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot M_{Ed,Ex}) + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot M_{Ed,Ey}) \\
 &= 80.50kNm + 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 57.95kNm + 1.0 \cdot 0 \\
 &= 80.50kNm + 28.13kNm = 108.6kNm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{Ed}^{2-2} &= N_{Ed,G} + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot N_{Ed,Ex}) + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot N_{Ed,Ey}) \\
 &= 416.73kN + 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 45.02kN + 1.0 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.027 \cdot 499.54kN \\
 &= 416.73kN + 21.85kN + 648.42kN = 1087.0kN
 \end{aligned}$$

$$N_{Ed,Ey} = N_2 = 499.5kN$$

$$\begin{aligned}
 V_{Ed}^{2-2} &= V_{Ed,G} + 0.3 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{precka} \cdot V_{Ed,Ex}) + 1.0 \cdot (1.1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega^{diagonala} \cdot V_{Ed,Ey}) \\
 &= 29.31kN + 0.3 \cdot 1.1 \cdot 1.149 \cdot 1.280 \cdot 52.91kN + 1.0 \cdot 0kN \\
 &= 29.31kN + 25.68kN = 55.0kN
 \end{aligned}$$

Diagrami momentov in notranjih sil za desni stebel povezja



KOMENTAR: Ob upoštevanju razvoja polnoplastičnega momenta zmanjšanega zaradi vpliva tlačne osne sile $M_{N,y,Rd}$ stebrov ob vpetju, je merodajna b) kombinacija obeh smeri.

Kontrola kompaktnosti prereza

- stojina, 1. razred kompaktnosti, (SIST EN 1993-1-1, Preglednica 5.2, list 1 od 3)

Upogib in tlak

$$\alpha = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{N_{Ed}}{d t_w f_y} \right] = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{1112.8kN}{29.8cm \cdot 1.35cm \cdot 23.5kN/cm^2} \right] = 1.09 > 0.5$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{298\text{mm}}{13.5\text{mm}} = 22.07 < \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 1.09 - 1} = 30.07 \quad \checkmark$$

- pasnica, 1. razred kompaktnosti, (SIST EN 1993-1-1, Preglednica 5.3, list 2 od 3)

Tlak

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{\frac{300\text{mm}}{2} - \frac{13.5\text{mm}}{2} - 27\text{mm}}{24.0\text{mm}} = 4.84 < 9\varepsilon = 9 \cdot 1 = 9 \quad \checkmark$$

- odpornost stojine proti lokalnemu izbočenju v strigu

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{352\text{mm}}{13.5\text{mm}} = 26.07 > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1.0}{1.2} = 60.0 \quad \times \quad \Rightarrow \text{stojina je kompaktna}$$

Kontrola nosilnosti prereza

Kontrola osno upogibne nosilnosti

Kontrola vpliva osne sile na zmanjšanje projektne plastične upogibne nosilnosti prereza

$$N_{Ed} = 1112.8\text{kN} \leq 0.25 \cdot N_{pl,Rd} = 0.25 \cdot 4653.0\text{kN} = 1163.3\text{kN} \quad \checkmark$$

$$N_{Ed} = 1112.8\text{kN} \leq \frac{0.5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0.5 \cdot 35.2\text{cm} \cdot 1.35\text{cm} \cdot 23.5\text{kN/cm}^2}{1.0} = 558.4\text{kN} \quad \times$$

Potrebno je upoštevati vpliv osne sile na zmanjšanje projektne plastične upogibne nosilnosti prereza:

$$M_{N,y,Rd} = \min \begin{cases} M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0.5 \cdot a} = 75952\text{kNcm} \cdot \frac{1-0.239}{1-0.5 \cdot 0.273} = 66913\text{kNcm} \\ M_{pl,y,Rd} = 75952\text{kNcm} \end{cases}$$

$$M_{N,y,Rd} = 66936\text{kNcm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1112.8\text{kN}}{4653.0\text{kN}} = 0.239$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 198\text{cm}^2 \cdot \frac{23.5\text{kN/cm}^2}{1.0} = 4653.0\text{kN}$$

$$a = \min \begin{cases} \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{198.0\text{cm}^2 - 2 \cdot 30.0\text{cm} \cdot 2.4\text{cm}}{198.0\text{cm}^2} = 0.273 \\ 0.5 \end{cases}$$

$$a = 0.273$$

Kontrola strižne nosilnosti prereza

$$V_{pl,Rd} = 952.5kN \quad \text{glej točko 5.3.7}$$

$$V_{Ed} = 55.0kN \leq 0.5V_{pl,Rd} = 0.5 \cdot 952.5kN = 476.3kN \quad \checkmark$$

Kontrola tlačno in upogibno obremenjenega elementa (SIST EN 1993-1-1)

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd} / \gamma_{M1}} \leq 1.0$$

Faktor nadomestnega upogibnega momenta C_{my} :

Koeficient določimo ob upoštevanju, da je element podprt v obeh vozliščih. Povečanje momenta v vozliščih zaradi vpliva TDR je že upoštevano v globalni nalizi.

$$\psi = -\frac{108.6kNm}{66913kNm} = -0.162$$

$$C_{my} = 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.6 - 0.4 \cdot 0.162 = 0.535$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{l_{wy}}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{h_1}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{400cm}{17.1cm \cdot 93.9} = 0.249$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Oblika prečnega prereza: vroče valjani} \\ \frac{h}{b} = \frac{40.0cm}{30.0cm} = 1.33 > 1.2 \\ t_f \leq 40mm \\ \text{uklon okoli y osi} \end{array} \right\} \rightarrow \text{krivulja a} \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0.5 \left[1 + 0.21(0.249 - 0.2) + 0.249^2 \right] = 0.536$$

$$\chi_y = \min \left\{ \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0.536 + \sqrt{0.536^2 - 0.249^2}} = 0.989, 1.0 \right.$$

$$\chi_y = 0.989$$

χ_{LT} ; uklonske krivukje za standardne vroče valjane prereze

$$\begin{aligned}
M_{cr} &= C_1 \frac{\pi}{kh_1} \sqrt{EI_z GI_t + \frac{\pi^2 EI_w EI_z}{(k_w h_1)^2}} = \\
&= 1.666 \cdot \frac{\pi}{(1 \cdot 400 \text{ cm})} \sqrt{21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 10820 \text{ cm}^4 \cdot 8100 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 356 \text{ cm}^4 + \frac{\pi^2 \cdot 21000^2 \frac{\text{kN}^2}{\text{cm}^4} \cdot 3817000 \text{ cm}^6 \cdot 10820}{(1 \cdot 400 \text{ cm})^2}} \\
&= 552001 \text{ kNcm}
\end{aligned}$$

$$C_1 = 1.88 - 1.4 \cdot \psi + 0.52 \cdot \psi^2 = 1.88 + 1.4 \cdot 0.162 + 0.52 \cdot 0.162^2 = 1.666$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{N,y,Rd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{66913 \text{ kNcm}}{552001 \text{ kNcm}}} = 0.348$$

→ ne obstaja nevarnost bočne zvrnitve $\chi_{LT} = 1.0$ → interakcijske faktorje določimo v skladu z določili preglednice B.1:

$$k_{yy} \leq \min \begin{cases} C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{pl,Rd} / \gamma_{M1}} \right) = 0.5 \left(1 + (0.249 - 0.2) \cdot \frac{1112.8 \text{ kN}}{0.249 \cdot 4653.0 \text{ kN} / 1.0} \right) = 0.541 \\ C_{my} \left(1 + 0.8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{pl,Rd} / \gamma_{M1}} \right) = 0.5 \left(1 + 0.8 \cdot \frac{1112.8 \text{ kN}}{0.249 \cdot 4653.0 \text{ kN} / 1.0} \right) = 0.557 \end{cases}$$

$$k_y = 0.541$$

$$\frac{1112.8 \text{ kN}}{0.989 \cdot 4653.0 \text{ kN} / 1.0} + 0.541 \cdot \frac{66913 \text{ kNcm}}{1.0 \cdot 75952 \text{ kNcm} / 1.0} = 0.72 \leq 1.0 \quad \checkmark$$

Izbrani profil stebra HEB 400 ustreza vsem kontrolam stabilnosti.

5.4.6 Kontrola poškodb (kontrola relativnih pomikov etaž)

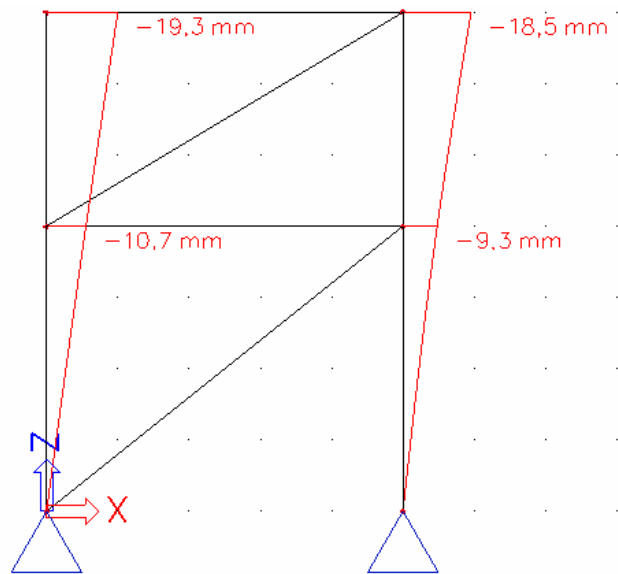
$$d_{e,1} = \frac{(1.07 + 0.93) \text{ cm}}{2} = 1.0 \text{ cm}$$

$$d_{e,2} = \frac{(1.93 + 1.85) \text{ cm}}{2} - 1.0 \text{ cm} = 0.9 \text{ cm}$$

$$d_{r,i} = d_{e,i} \cdot q_y$$

$$d_{r,1} = d_{e,1} \cdot q_y = 1.0 \text{ cm} \cdot 4 = 4.0 \text{ cm}$$

$$d_{r,2} = d_{e,2} \cdot q_y = 0.9 \text{ cm} \cdot 4 = 3.6 \text{ cm}$$



$$v(\gamma_I = 1.0) = 0.5$$

SIST EN 1998-1; točka 4.4.3.2 (1) b) Za stavbe z duktilnimi nekonstrukcijskimi elementi moramo zadostiti sledečemu pogoju:

$$d_{r,i} \cdot v \leq 0.0075 \cdot h_i$$

1. etaža

$$d_{r,1} \cdot v = 4.0 \text{ cm} \cdot 0.5 = 2.0 \text{ cm} \leq 0.0075 \cdot h_1 = 0.0075 \cdot 400 \text{ cm} = 3.0 \text{ cm} \quad \checkmark$$

2. etaža

$$d_{r,2} \cdot v = 3.6 \text{ cm} \cdot 0.5 = 1.8 \text{ cm} \leq 0.0075 \cdot h_2 = 0.0075 \cdot 300 \text{ cm} = 2.25 \text{ cm} \quad \checkmark$$

5.5 Temeljenje

SIST EN 1998-1; točka 4.4.2.6 (4)

Tako kot za stebre je potrebno kombinirati vpliv potresa v dveh medseboj pravokotnih vodoravnih smereh tudi za temelje.

Obremenitev

- prečna smer x

$$M_{Fd} = M_{Fd,G} + \gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot M_{Fd,Ex}$$

$$N_{Fd} = N_{Fd,G} + \gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot N_{Fd,Ex}$$

$$V_{Fd} = V_{Fd,G} + \gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot V_{Fd,Ex}$$

$$\gamma_{Rd} = \begin{cases} 1.0 & \text{za } q \leq 3 \\ 1.2 & \text{sicer} \end{cases}$$

V našem primeru je faktor obnašanja za prečno smer

$$q_x = 6.0 \rightarrow \gamma_{Rd} = 1.2$$

Za temelje stebrov v pomičnih okvirih je Ω manjša od vrednosti razmerja M_{Rd} / M_{Ed} v dveh pravokotnih glavnih smereh v najnižjem prerezu, kjer se v navpičnem elementu lahko tvori plastični členek pri potresnem projektnejem stanju.

$$\Omega_{x,i} = \frac{R_{di}}{E_{di}} = \frac{M_{pl,y,Rd,c}(f_{y,nom})}{M_{Fd}(M_G + M_E)}$$

Za oba stebra momentnega okvira velja:

$$\Omega_x = \frac{M_{pl,y,Rd,c}(f_{y,nom})}{M_{Fd}(M_G + M_E)} = \frac{75952kNcm}{19045kNcm} = 3.988$$

$$M_{Fd}(M_G + M_E) = 36.75kNm + 153.70kNm = 190.5kNm$$

- vzdolžna smer y

Prisotna je samo osna sila

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + \gamma_{Rd} \cdot \Omega_y \cdot N_{Ed,Ey}$$

$$\gamma_{Rd} = \begin{cases} 1.0 & \text{za } q \leq 3 \\ 1.2 & \text{sicer} \end{cases}$$

V našem primeru je faktor obnašanja za vzdolžno smer

$$q_y = 4.0 \rightarrow \gamma_{Rd} = 1.2$$

Za temelje stebrov v okvirih s centričnimi povezji je Ω najmanjša od vrednosti razmerja $N_{pl,Rd} / N_{Ed}$ v vseh tegljenih diagonalah okvira s povezji.

$$\Omega_{y,i} = \frac{R_{di}}{E_{di}} = \frac{N_{pl,Rd}(f_{y,nom})}{N_{Ed}}$$

$$\Omega_y = 1.027 \quad \text{glej točko 5.4.2}$$

Kombinaciji potresnega vpliva za obe vodoravni smeri:

a) $E_{Edx} + 0.30E_{Edy}$

b) $0.30E_{Edx} + E_{Edy}$

Določitev kombinacije vplivov za najneugodnejšo obremenitev temelja

a)

$$\begin{aligned} M_{Fd} &= M_{Fd,G} + 1.0 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot M_{Fd,Ex}) + 0.3 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_y \cdot M_{Fd,Ey}) \\ &= 36.75kNm + 1.2 \cdot 3.988 \cdot 153.70kNm + 0.3 \cdot 0 \\ &= 36.75kNm + 735.55kNm = 772.3kNm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Fd} &= N_{Fd,G} + 1.0 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot N_{Fd,Ex}) + 0.3 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_y \cdot N_{Fd,Ey}) \\ &= 442.49kN + 1.2 \cdot 3.988 \cdot 45.02kN + 0.3 \cdot 1.2 \cdot 1.027 \cdot 499.54kN \\ &= 442.49kN + 215.45kN + 184.69kN = 842.6kN \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Fd} &= V_{Fd,G} + 1.0 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot V_{Fd,Ex}) + 0.3 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_y \cdot V_{Fd,Ey}) \\ &= 29.31kN + 1.2 \cdot 3.988 \cdot 52.91kN + 0.3 \cdot 0 \\ &= 29.31kN + 253.21kN = 282.5kN \end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned} M_{Fd} &= M_{Fd,G} + 0.3 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot M_{Fd,Ex}) + 1.0 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_y \cdot M_{Fd,Ey}) \\ &= 36.75kNm + 0.3 \cdot 1.2 \cdot 3.988 \cdot 153.70kNm + 1.0 \cdot 0 \\ &= 36.75kNm + 220.66kNm = 257.4kNm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N_{Fd} &= N_{Fd,G} + 0.3 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot N_{Fd,Ex}) + 1.0 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_y \cdot N_{Fd,Ey}) \\
&= 442.49kN + 0.3 \cdot 1.2 \cdot 3.988 \cdot 45.02kN + 1.2 \cdot 1.027 \cdot 499.54kN \\
&= 442.49kN + 64.63kN + 615.63kN = 1122.8kN
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{Fd} &= V_{Fd,G} + 0.3 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot V_{Fd,Ex}) + 1.0 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_y \cdot V_{Fd,Ey}) \\
&= 29.31kN + 0.3 \cdot 1.2 \cdot 3.988 \cdot 52.91kN + 1.0 \cdot 0 \\
&= 29.31kN + 76.15kN = 105.5kN
\end{aligned}$$

Merodajna za dimenzioniranje temeljev je kombinacija a).

OPOMBA: Posebej je potrebno preveriti kombinacijo smeri potresne obtežbe, pri kateri lahko pride do morebitnih dvigov temeljev. V primeru dvižne sile je potrebno temelje ustrezno sidrati v temeljna tla.

Določitev najneugodnejše kombinacije vplivov iz obeh smeri

a)

$$\begin{aligned}
N_{Ed} &= N_{Ed,G} + 1.0 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot N_{Ed,Ex}) + 0.3 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_y \cdot N_{Ed,Ey}) \\
&= 442.49kN - 1.2 \cdot 3.899 \cdot 45.02kN - 0.3 \cdot 1.2 \cdot 1.027 \cdot 499.54kN \\
&= 442.49kN - 210.64kN - 184.69kN = -47.2kN
\end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned}
N_{Ed} &= N_{Ed,G} + 0.3 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_x \cdot N_{Ed,Ex}) + 1.0 \cdot (\gamma_{Rd} \cdot \Omega_y \cdot N_{Ed,Ey}) \\
&= 442.49kN - 0.3 \cdot 1.2 \cdot 3.899 \cdot 45.02kN - 1.2 \cdot 1.027 \cdot 499.54kN \\
&= 442.49kN - 63.19kN - 615.63kN = -236.3kN
\end{aligned}$$

Merodajna za dimenzioniranje temelja pod stebri povezja na dvižno silo je kombinacija b).

Dimenzioniranja temeljev ne prikazujemo.