

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 ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER**

Kandidat:

MILAN BORŠTNAR

**ANALIZA IN DIMENZIONIRANJE DVEH
DESETETAŽNIH STAVB V SKLADU S PBAB IN EC**

Diplomska naloga št.: 249/K

**ANALYSIS AND DESIGN OF TWO TEN STOREY
BUILDINGS ACCORDING TO PBAB AND EC**

Graduation thesis No.: 249/K

Mentor:
izr. prof. dr. Jože Lopatič

Predsednik komisije:
prof. dr. Roko Žarnić

Ljubljana, 2. 10. 2006

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MARIN VRANJEŠ** izjavljam, de sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»**ANALIZA IN DIMENZIONIRANJE DVEH DESETETAŽNIH STAVB V SKLADU S
PBAB IN EC**«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 15.09.2006

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN

UDK	006:624.07(043.2)
Avtorja	Milan Borštnar, Marin Vranješ
Naslov	Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC
Obseg in oprema	91 str., 27 pregl., 14 sl.
Ključne besede	dimenzioniranje, PBAB, EC 2, EC 8, Tower 5, armiranobetonske okvirne in stenasto-skeletne konstrukcije

Izvleček

Diplomsko delo obravnava zasnovano desetetažnega armiranobetonskega objekta v dveh konstrukcijskih sistemih. Prvi je zasnovan kot čista skeletna konstrukcija, drugi kot stenasto-skeletna konstrukcija s povezanimi stenami. Objekta sva analizirala z računalniškim programom Tower 5. Z omenjenim programom sva izdelala prostorska modela konstrukcij. Oba konstrukcijska sistema sva obremenila z obtežbami v skladu z veljavnimi predpisi in EC. V nadaljevanju primerjava izračunane potresne sile pri računu po EC in PBAB, ter razliko med izračunom potresnih sil z modalno analizo in poenostavljeno metodo. V osrednjem delu sva v obliki preglednic prikazala primerjavo izračunanih notranjih sil in dimenzioniranja z računalniškim programom v skladu z veljavnimi predpisi in EC za nekaj izbranih konstrukcijskih elementov obeh konstrukcijskih sistemov in sicer greda, steber in stena. Rezultate dimenzioniranja konstrukcijskih elementov s programom sva preverila z ročnim izračunom, kjer sva posebno pozornost posvetila strigu. V zadnjem delu sva za konstrukcijske elemente gredo, steber, notranje vozlišče, steno in povezovalno gredo med stenami izvedla kontrolo potresnih zahtev v skladu z EC 8. Nato sva primerjala potrebno armaturo v konstrukcijskih elementih pri računu po veljavnih predpisih in EC. V zaključku sledi kratko finančno ovrednotenje porabe armature v konstrukcijskih elementih.

BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION

UDC	006:624.07(043.2)
Authors	Milan Borštnar, Marin Vranješ
Title	Analysis and design of two ten storey buildings according to PBAB and EC
Notes	91 p., 27 tab., 14 fig.
Key words	dimensioning, PBAB, EC 2, EC 8, Tower 5, reinforced concrete frame construction, reinforced concrete wall-equivalent dual system

Abstract

The following dissertation treats design of two ten storey reinforced concrete buildings in two constructional systems. First building is designed as frame construction, second as wall-equivalent dual system. Both buildings are analyzed with computer program Tower 5. With mentioned program we made space model of both constructional systems. We loaded both constructional systems with loads according to valid regulations and EC. In continuation follows comparison of calculated seismic forces according to EC and valid regulations, and difference between calculated seismic forces with modal analysis and simple method. In middle part we have shown comparison of calculated internal forces and dimensioning with computer program Tower 5, according to valid regulations and EC for some selected constructional elements of both constructional systems, which are beam, column and wall. We checked the results of dimensioning constructional elements with computer program by manual calculating, where we specially dedicated to shear resistance. In last part we made control of seismic demands for constructional elements beam, column, wall, internal joint and coupling beam between walls according to EC 8. Then we made comparison of needed reinforcement in constructional elements according to valid regulations and EC. In conclusion follows short financial evaluation of needed reinforcement according to valid regulations and EC.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Namen naloge.....	1
1.2	Zasnova naloge.....	1
1.3	Uporabljena oprema	2
2	ZASNOVA DESETETAŽNEGA OBJEKTA	3
2.1	Osnovni podatki o objektu.....	3
2.2	Zasnova skeletnega objekta.....	4
2.3	Zasnova armiranobetonskega stenasto-skeletnega objekta	5
3	OBTEŽBA.....	7
3.1	Stalna obtežba.....	7
3.2	Spremenljive obtežbe	8
4	MODELIRANJE NOSILNIH KONSTRUKCIJ S PROGRAMOM TOWER 5	10
4.1	OPIS PROGRAMA TOWER 5.....	10
4.2	VNOS KONSTRUKCIJE V 3D MODEL	12
4.2.1	Posebnosti pri modeliranju gred v ploči	13
4.3	Vnos obtežb konstrukcije	14
4.3.1	Dodatna stalna obtežba.....	15
4.3.2	Spremenljive obtežbe	15
5	POTRESNA OBTEŽBA	16
5.1	Račun lastnih nihajnih časov in določitev nihajnih oblik konstrukcije.....	16
5.1.1	Modalna analiza.....	17
5.2	Nihajni časi konstrukcij.....	17
5.2.1	Izračunani lastni nihajni časi in pripadajoče frekvence skeletnega objekta.....	18
5.2.2	Izračunani lastni nihajni časi in pripadajoče frekvence stenasto-skeletnega objekta	18

5.3	Račun potresnih sil.....	19
5.3.1	Vhodni podatki za račun potresnih sil	20
5.3.2	Potresne sile	22
5.4	Primerjava potresne sile izračunane z modalno analizo in poenostavljeno metodo	24
5.5	Primerjava izračunanih potresnih sil pri računu po EC in PBAB.....	28
6	NOTRANJE SILE IN DIMENZINIRANJE PRI RAČUNU PO EC2 IN PBAB.....	28
6.1	ROČNA KONTROLA DIMENZIONIRANJA PRI RAČUNU PO EC	42
6.1.1	Ročna kontrola dimenzioniranja grede	42
6.1.2	Ročna kontrola dimenzioniranja stebra S1	46
6.1.3	Ročna kontrola dimenzioniranja stene.....	52
7	KONTROLA POTRESNIH ZAHTEV PRI RAČUNU PO EC 8	55
7.1	Kontrola potresnih zahtev za gredo	55
7.2	Kontrola potresnih zahtev za steber.....	58
7.3	Kontrola potresnih zahtev za notranje vozlišče stebra S1 v X smeri.....	70
7.4	Kontrola potresnih zahtev za steno	72
7.5	Kontrola potresnih zahtev za povezovalno gredo med stenami.....	81
8	PRIMERJAVA VGRAJENE ARMATURE PRI RAČUNU PO EC IN PBAB	85
9	ZAKLJUČEK.....	89
10	VIRI	91
11	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Obtežba fasad z vetrom z zahoda	9
Preglednica 2: Obtežba fasad z vetrom z juga	9
Preglednica 3: Obtežba strehe z vetrom z zahoda	10
Preglednica 4: Obtežba strehe z vetrom z juga.....	10
Preglednica 5: Lastni nihajni časi pri računu po EC.....	18
Preglednica 6: Lastni nihajni časi pri računu po PBAB.....	18
Preglednica 7: Lastni nihajni časi pri računu po EC.....	18
Preglednica 8: Lastni nihajni časi pri računu po PBAB.....	19
Preglednica 9: Potresne sile, skeletni objekt, smer X	22
Preglednica 10: Potresne sile, skeletni objekt, smer Y	22
Preglednica 11: Potresne sile, stenasto-skeletni objekt, smer X.....	23
Preglednica 12: Potresne sile, stenasto-skeletni objekt, smer Y.....	24
Preglednica 13: Primerjava potresnih sil pri računu po EC8 pri poenostavljeni metodi in modalni analizi.....	27
Preglednica 14: Primerjava efektivnih potresnih sil pri računu po EC in PBAB.....	28
Preglednica 15: Notranje sile in potrebna armatura v gredi G1 pri računu po EC in PBAB skeletna konstrukcija.....	32
Preglednica 16: Notranje sile in potrebna armatura v gredi G2 pri računu po EC in PBAB stenasto-skeletna konstrukcija.....	33
Preglednica 17: Notranje sile in potrebna armatura v stebri S1 pri računu po EC in PBAB skeletna konstrukcija.....	34
Preglednica 18: Notranje sile in potrebna armatura v steni ST1 pri računu po EC in PBAB stenasto - skeletna konstrukcija.....	38
Preglednica 19: Notranje sile in potrebna armatura v steni ST2 pri računu po EC in PBAB stenasto - skeletna konstrukcija.....	40
Preglednica 20: Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja grede G1 pri računu po EC2...45	45
Preglednica 21: Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stebra S1 pri računu po EC2...47	47
Preglednica 22: Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stebra S2 pri računu po EC2...50	50

VIII

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.
Dipl. nal. – VSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

Preglednica 23: Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stene ST2 pri računu po EC2..	53
Preglednica 24: Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stene ST1 pri računu po EC8 - strig.....	74
Preglednica 25: Primerjava potrebne strižne armature v steni pri računu po EC8.....	77
Preglednica 26: Primerjava armature pri računu po EC ter PBAB in PTNSO, stenasto-skeletna konstrukcija	85
Preglednica 27: Primerjava armature pri računu po EC ter PBAB in PTNSO, skeletna konstrukcija	86

KAZALO SLIK

Slika 1: 3D pogled skeletne konstrukcije.....	4
Slika 2: Tloris tipične etaže skeletne konstrukcije.....	4
Slika 3: 3D pogled armiranobetonske stenasto-skeletne konstrukcije.....	5
Slika 4: Tloris tipične etaže armiranobetonske stenasto-skeletne konstrukcije.....	6
Slika 5: Osnovno okno programa Tower 5	11
Slika 6: Pogovorno okno za določanje prečnega prereza gred in stebrov	12
Slika 7: Pogovorno okno za določanje plošč in zidov	13
Slika 8: Pogovorno okno za določanje materiala	13
Slika 9: Pogovorno okno za definiranje grede ali stebra	14
Slika 10: Primer postavitve koristne obtežbe	16
Slika 11: Dispozicija analiziranih okvirjev, gred in stebrov, skeletna konstrukcija	30
Slika 12: Okvir H3, dispozicija gred in stebrov, skeletna konstrukcija	30
Slika 13: Dispozicija analiziranih sten, stenasto-skeletna konstrukcija	31
Slika 14: Okvir H1, prerez, stenasto-skeletna konstrukcija	31

1 UVOD

1.1 Namen naloge

Slovenija je z vstopanjem v EU začela z prevzemanjem novih standardov na področju projektiranja konstrukcij. Ti standardi se imenujejo EVROKODI ZA KONSTRUKCIJE (ang. Structural Eurocodes), ali krajše EC (ang. Eurocodes). EC2 – Projektiranje betonskih konstrukcij se razlikuje od veljavnega PBAB in EC8 - Projektiranje seizmično odpornih konstrukcij od pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih po pristopu do zagotavljanja varnosti konstrukcije. Namen diplomske naloge je za izbrani zasnovi dveh deset etažnih armiranobetonskih objektov opraviti:

- zasnovo konstrukcije z grobo izbiro dimenzij nosilnih elementov,
- določitev obtežb,
- analizo notranjih sil nosilnih konstrukcij,
- dimenzioniranje posameznih značilnih konstrukcijskih elementov (stebri, stene, grede) in
- primerjavo potrebne armature v tipičnih izbranih elementih

v skladu z novimi in starimi predpisi.

1.2 Zasnova naloge

Nalogo sva razdelila na devet glavnih poglavij in le-ta na podpoglavja, ki si sledijo v ustreznem vrstnem redu. V začetku sva opisala konstrukcijsko zasnovu objekta, ki sva ga zasnovala v dveh variantah. Prva konstrukcija je čisti skelet, druga pa stenasto-skeletna konstrukcija. Oba konstrukcijska sistema sva obremenila z obtežbo po veljavnih predpisih in novimi EC.

V nadaljevanju sva konstrukciji obdelovala kot prostorski model s programskim paketom Tower 5. Ta programski paket sva izbrala iz dveh razlogov. Prvi je, da je ta program trenutno najbolj razširjen v praktični uporabi pri dimenzioniranju AB objektov visokih gradenj v

Sloveniji, drugi razlog pa je ocena uporabnosti programa pri dimenzioniranju po novih EC. S programom sva naredila modalno analizo obeh konstrukcij in na podlagi izračunanih nihajnih časov konstrukcij določila potresne sile oz. horizontalno računsko obremenitev. Po določitvi vseh obremenitev konstrukcij, sva kombinirala obtežbe skladno z veljavnimi predpisi in novimi EC na obeh konstrukcijskih sistemih. Sledil je analiza modela in določitev notranjih sil po teoriji I. reda.

V nadaljevanju sva na podlagi izračunanih notranjih sil dimenzionirala nekaj tipičnih konstrukcijskih elementov. Elemente sva dimenzionirala z računalniškim programom, naredila pa sva tudi ročne kontrole dobljenih rezultatov nekaterih elementov. Izračunano armaturo v konstrukcijskih elementih (greda, steber, stena), ter izbrane dimenzije elementov konstrukcije, sva preverila po zahtevah EC8 (slov. projektiranje seizmično odpornih konstrukcij) in veljavnega Pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, za katerega v nadaljevanju uporabljava kratico PTNSO. V zaključku naloge sledi primerjava rezultatov količine potrebne armature po veljavnih pravilnikih in EC, s kratkim finančnim ovrednotenjem.

1.3 Uporabljena oprema

Pri izdelavi naloge sva uporabila naslednjo opremo:

- osebni računalnik in
- programski paket Tower 5.

2 ZASNOVA DESETETAŽNEGA OBJEKTA

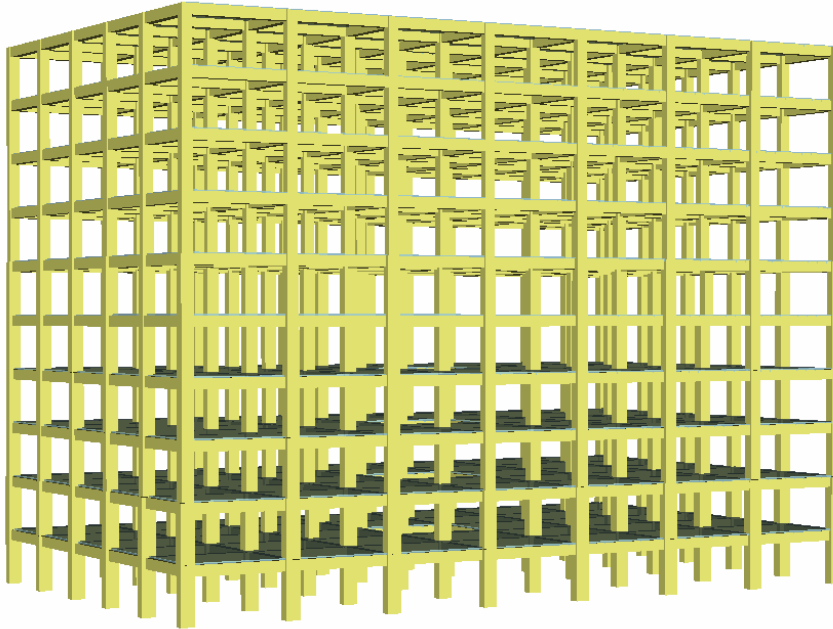
2.1 Osnovni podatki o objektu

Za lokacija objektov sva izbrala Ljubljano. Namembnost objektov je poslovna dejavnost. Objekta sta dolžine 42,0 m, ter širine 25,0 m. Konstruktivski elementi so v rastru 7 x 6,0 m v vzdolžni smeri, ter 5 x 5,0 m v prečni smeri. Višina objektov je pritličje in devet nadstropij. Etažna višina je 3,20 m, tako, da je skupna višina vsakega objekta 32,0 m. Po veljavni začasni karti maksimalnih intenzitet potresov je objekt lociran v VIII. potresni coni, pri računu po EC8 je po karti projektnega pospeška tal za povratno dobo 475 let, $\alpha = 0,25g$. Objekta sta proti vetru nezaščiteni. Fasada je steklena, na kovinski podkonstrukciji, obešena na AB konstrukcijo. Objekta sta locirana na temeljnih tleh dobre nosilnosti. Za oba objekta je uporabljen beton in armatura naslednje kvalitete:

- beton : MB 35 (pri računu po EC2 C 30/37),
- rebrasta armatura : RA 400/500 (pri računu po EC2 S 400) in
- mrežna armatura : MAR 500/560 (pri računu po EC2 S 500).

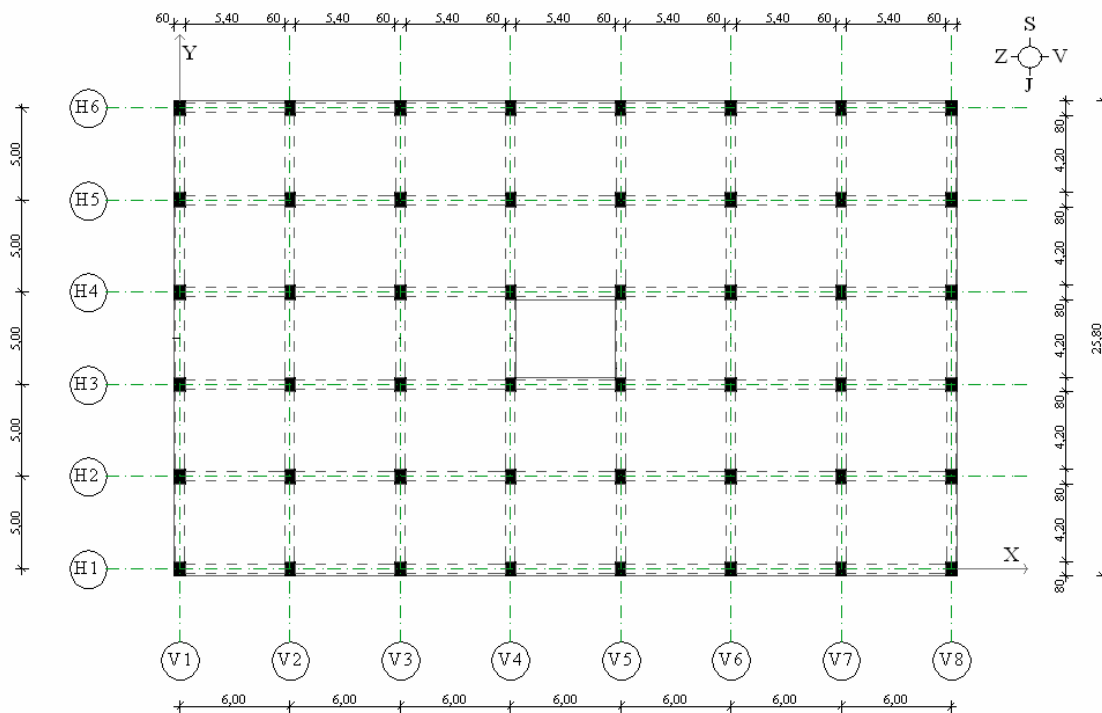
Konstruktivska zasnova prvega objekta je čisti skelet, drugi objekt pa ima mešano konstruktivsko zasnovo stenasto-skeletnega objekta. Tako imenovano armiranobetonsko jedro objekta, ki služi vertikalni komunikaciji (dvigalni jaški, stopnišča, instalacijski jaški), sva izvzela iz analize, ker sva predpostavila, da je jedro samonosno in v celoti ločeno od nosilne konstrukcije objekta. Zaradi lažje analize in primerjave vgrajene armature pri računu po obeh standardih oziroma pravilnikih, sva objekte zasnovala simetrično po višini in tlorisu.

2.2 Zasnova skeletnega objekta



Slika 1: 3D pogled skeletne konstrukcije

Fig. 1: 3D view of frame construction



Slika 2: Tloris tipične etaže skeletne konstrukcije

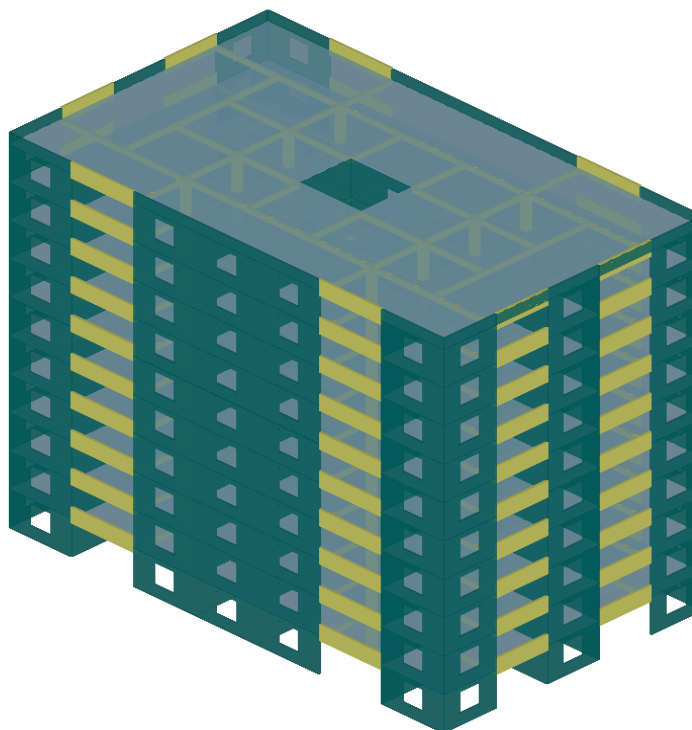
Fig. 2: Ground plan of typical storey frame construction

Skeletno konstrukcijo tvorijo armiranobetonski okvirji, v vzdolžni smeri je osem okvirjev, na medsebojni osni razdalji 6,0 m. V prečni smeri je šest okvirjev, na medsebojni osni razdalji 5,0 m. Objekt ima deset etaž, etažna višina je 3,2 m. Okvirji so sestavljeni iz stebrov in gred sledečih dimenzij (op. avtorja tu opomniva, da sva do izbranih dimenzij konstrukcije prišla z iteracijo, z upoštevanjem osnovnih konstrukcijskih principov, kot je omejitev tlačne osne sile v stebri in stenah, maksimalni procent armiranja glede na izbrano stopnjo duktilnosti itd.) :

- stebri (1. in 2. etaža) : dim. 60/80 cm,
- stebri (3. do 6. etaža) : dim. 55/70 cm,
- stebri (7. do 10. etaža) : dim. 50/60 cm,
- grede (v modelu pri računu po PBAB87) : dim. 50/50 cm in
- grede (v modelu pri računu po EC) : dim. 50/60 cm.

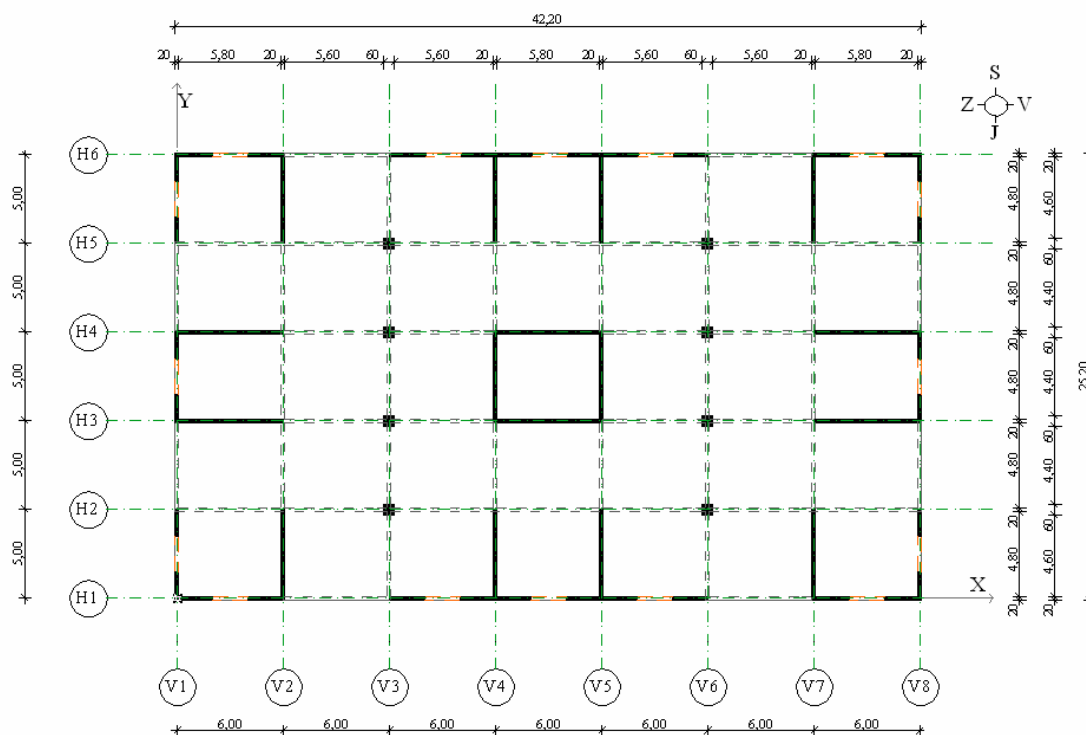
Stropne konstrukcije so monolitne armiranobetonske plošče debeline 16 cm. Stebri so togo vpeti v točkovne temelje.

2.3 Zasnova armiranobetonskega stenasto-skeletnega objekta



Slika 3: 3D pogled armiranobetonske stenasto-skeletne konstrukcije

Fig.3: 3D view of reinforced concrete wall-equivalent dual system



Slika 4: Tloris tipične etaže armiranobetonske stenasto-skeletne konstrukcije

Fig. 4: Ground plan of typical storey reinforced concrete wall-equivalent dual system

Armiranobetonsko stenasto-skeletno konstrukcijo tvorijo armiranobetonske stene in okvirji. V vzdolžni smeri so stene razporejene med osem osi, na medsebojni osni razdalji 6,0 m. V prečni smeri so stene razporejene med šest osi, na medsebojni osni razdalji 5,0 m. Površino nosilnih sten sva določila po zahtevi iz Pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, ki določa, da mora biti površina nosilnih sten večja od 1,5% bruto tlorisne površine v obeh ortogonalnih smereh (člen 67.). Točen raspored sten je razviden iz tlorisa tipične etaže (slika 4). Rasporeditev in presek sten se po etažah ne spreminja (slika 3). Vse armiranobetonske stene so debeline 20 cm. Vse stene so med seboj povezane z gredami. Objekt ima deset etaž, etažna višina je 3,2 m. V oseh, kjer ni sten so okvirji sestavljeni iz stebrov in gred. Dimenzije konstrukcijskih elementov so:

- stene debeline $d = 20$ cm,
- povezovalne grede po obodu konstrukcije : dim. 20/140 cm,
- stebri : dim. 60/60 cm in
- notranje povezovalne grede : dim. 20/50 cm

Stropne konstrukcije so monolitne armiranobetonske plošče debeline 16 cm. Stene so temeljene na pasovnih temeljih. Stebri so togo vpeti v točkovne temelje.

3 OBTEŽBA

3.1 Stalna obtežba

Program Tower 5 avtomatično upošteva lastno težo konstrukcijskih elementov. Stalno obtežbo zaradi tlakov in težo fasadnih elementov sva izračunala ročno in jo podala kot površinsko obtežbo na konstrukcijo. Obtežbo fasade in parapetov sva na konstrukcijo podala kot linijsko obtežbo gred.

Izračun stalnih obtežb za oba objekta:

- ravna streha:

Prodec	0,08 m	·	17 kN/m ³	=	1,36 kN/m ²
File	0,002 m	·	1 kN/m ³	=	0,002 kN/m ²
toplotna izolacija	0,15 m	·	0,35 kN/m ³	=	0,052 kN/m ²
hidroizolacija	0,01 m	·	11 kN/m ³	=	0,11 kN/m ²
naklonski beton	0,05 m	·	22 kN/m ³	=	1,10 kN/m ²
AB plošča	d _{pl} = 16 cm, upoštevana				
omet	0,02 m	·	19 kN/m ²	=	0,38 kN/m ²
Skupaj Δg strehe				=	3,01 kN/m ²

- stropovi:

keramika + lepilo	0,018 m	·	23 kN/m ³	=	0,414 kN/m ²
estrih	0,06 m	·	22 kN/m ³	=	1,32 kN/m ²
PE folija	0,0017 m	·	13 kN/m ³	=	0,022 kN/m ²
toplotna izolacija	0,04 m	·	0,35 kN/m ³	=	0,014 kN/m ²
AB plošča	d _{pl} = 16 cm, upoštevana				
omet	0,02 m	·	19 kN/m ³	=	0,38 kN/m ²
Skupaj Δg etaže				=	2,15 kN/m ²

- fasada:

$$\text{steklena fasada} \quad 3,20 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ kN/m}^2 = 4,80 \text{ kN/m}^1$$

- parapetni zidovi (zidani parapeti – skeletni objekt) :

$$\text{parapet} \quad 0,3 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 5,40 \text{ kN/m}^1$$

3.2 Spremenljive obtežbe

- Koristna obtežba stropov:

(uporabila sva enako koristno obtežbo pri računu po obeh predpisih)

$$\text{koristna obtežba za poslovne prostore} \quad 3,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{predelne stene v lahki izvedbi (mavčne stene)} \quad 1,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Skupaj koristna } p_p = 4,25 \text{ kN/m}^2$$

- Obtežba s snegom pri računu po veljavnih predpisih:

$$\text{obtežba s snegom} \quad 1,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Skupaj koristna } p_s = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

- Obtežba s snegom pri računu po EC:

$$s_k = 1,90 \text{ kN/m}^2 \text{ (cona C, n.m. = 300 m)}$$

$$s = \mu_t \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,9 \text{ kN/m}^2 = 1,52 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Skupaj koristna } p_s = 1,52 \text{ kN/m}^2$$

- Obtežba z vetrom pri računu po veljavnih predpisih:

(cona zmernih vetrov, objekt izpostavljen vetru)

$$\text{od višine 0,0 m do 10,0 m} \quad 0,45 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{od višine 10,0 m do 30,0 m} \quad 0,60 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{od višine 30,0 m do 32,0 m} \quad 0,70 \text{ kN/m}^2$$

- Obtežba z vetrom pri računu po EC:

$$V_{b,0} = 25 \text{ m/s (cona A)}$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}$$

$$q_b = \rho / 2 \cdot v_b^2 = 1,25 \text{ kg/m}^3 / 2 \cdot (25 \text{ m/s})^2 = 390 \text{ N/m}^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \text{ (gostota zraka)}$$

$$c_e (z_e) = 2,5 \text{ (odčitano iz grafa)}$$

$$w_e = q_b \cdot c_e (z_e) \cdot c_{pe} = 2,5 \cdot 0,39 \text{ kN/m}^2 \cdot c_{pe} = 0,98 \text{ kN/m}^2 \cdot c_{pe}$$

c_{pe} – vrednosti sva odčitala iz preglednice

Pri računu obtežbe z vetrom sva upoštevala veter z zahoda in juga. Zaradi dvojne simetričnosti konstrukcije upoštevanje vetra iz ostalih dveh smeri ni potrebno. V spodnjih preglednicah podajava končne obtežbe vetra na konstrukciji objektov, ki so izračunane s kombinacijo zunanjega vpliva vetra in notranjega tlaka ali srka.

Preglednica 1: Obtežba fasad z vetrom z zahoda (kN/m²)

Table 1: Wind loads on facades – wind from west (kN/m²)

	Orientacija fasade	Vplivna dolžina (m)	Notranji tlak	Notranji srk
Veter z zahoda	Zahodna fasada	0,0 - 25,0	0,49	1,18
	Vzhodna fasada	0,0 - 25,0	-0,79	-0,10
	Južna in severna fasada	0,0 - 5,0	-1,47	-0,79
		5,0 - 25,0	-1,08	-0,39
		25,0 – 42,0	-0,19	-0,88

Preglednica 2: Obtežba fasad z vetrom z juga (kN/m²)

Table 2: Wind loads on facades – wind from south (kN/m²)

	Orientacija fasade	Vplivna dolžina (m)	Notranji tlak	Notranji srk
Veter z juga	Južna fasada	0,0 - 42,0	0,49	1,18
	Severna fasada	0,0 - 42,0	-0,79	-0,10
	Vzhodna in zahodna fasada	0,0 - 8,4	-1,47	-0,79
		8,4 - 25,0	-1,08	-0,39

Preglednica 3: Obtežba strehe z vetrom z zahoda (kN/m²)

Table 3: Wind loads on roof – wind from west (kN/m²)

Smer Y (m)	Notranji tlak			Notranji srk		
0,00 - 6,25	-1,87	-0,98	+0,49	-1,18	-0,3	+0,59
6,25 - 18,75	-1,37			-0,69		
18,75 - 25,0	-1,87			-1,18		
Območje v smeri X (m)	0,0 – 2,5	2,5 – 12,5	12,5 - 42	0,0 – 2,5	2,5 – 12,5	12,5 - 42

Preglednica 4: Obtežba strehe z vetrom z juga (kN/m²)

Table 4: Wind loads on roof – wind from south (kN/m²)

Smer X (m)	Notranji tlak			Notranji srk		
0,0 - 10,5	-1,87	-0,98	+0,49	-1,18	-0,3	+0,59
10,5 - 31,5	-1,37			-0,69		
31,5 - 42,0	-1,87			-1,18		
Območje v smeri Y (m)	0,0–4,20	4,20–21,0	21,0 –25,0	0,0–4,20	4,20–21,0	21,0–25,0

4 MODELIRANJE NOSILNIH KONSTRUKCIJ S PROGRAMOM TOWER 5

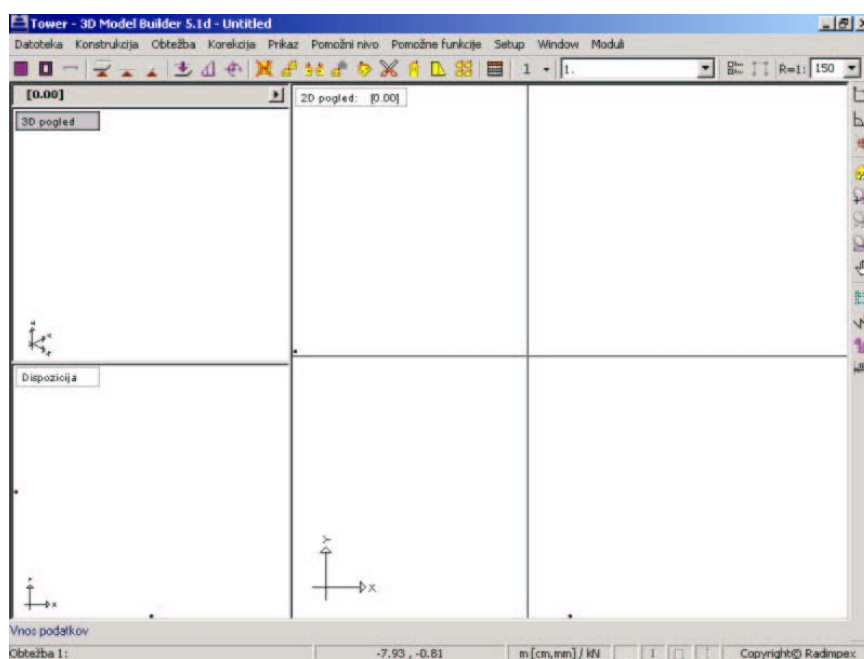
4.1 OPIS PROGRAMA TOWER 5

Program Tower 5 je namenjen statični in dinamični analizi ravninskih in prostorskih konstrukcij. Analiza se izvaja na podlagi metode končnih elementov. Geometrijo modela grafično določimo z risanjem konture konstruktivnih elementov. Program je sestavljen iz štirih med seboj povezanih modulov, ki omogočajo:

- vnos podatkov,
- formiranje mreže,
- analizo konstrukcije in
- obdelavo rezultatov.

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.
Dipl. nal. – VSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

Po zagonu programa se vedno aktivira prvi modul »vnos podatkov«. V prvem koraku se v modulu »vnos podatkov« podajo vsi vhodni podatki: lastnosti materialov, geometrija, obtežbe. Potem preidemo v modul »formiranje mreže«, od kjer se, po generaciji mreže končnih elementov, izbere opcija za analizo. Po končani analizi se v modulu »obdelava rezultatov« na različne načine prikažejo rezultati računa, dimenzionirajo elementi konstrukcije, ter izdelajo projektna dokumentacija. Prehod med moduli se izvede z izborom ukaza v meniju »moduli«. Območje risbe (slika 5) je razdeljeno na tri delovna področja. Največje območje z oznako 2D pogled je namenjeno trenutnemu 2D pogledu (tloris poljubne etaže, prerez, poljubno določen pogled). V zgornjem levem kotu je okno 3D pogled, ki služi za tridimenzionalno risanje. V njem se vedno prikazuje prostorski pogled cele konstrukcije. V tretjem oknu z oznako dispozicija, se shematsko prikazuje položaj okvirjev v tlorisu objekta.



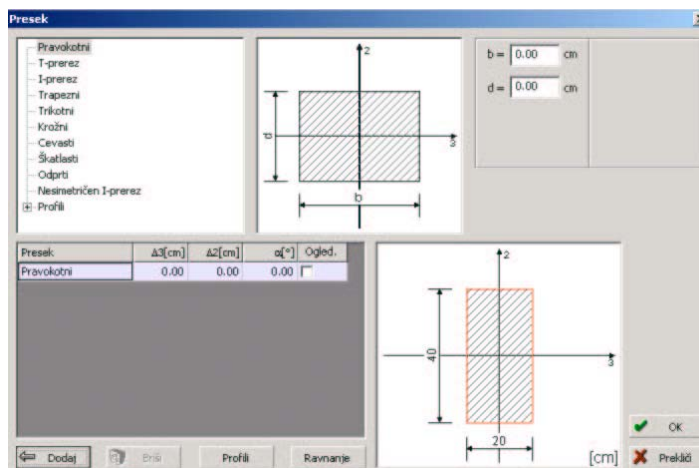
Slika 5: Osnovno okno programa Tower 5

Fig. 5: Tower 5 basic window

4.2 VNOS KONSTRUKCIJE V 3D MODEL

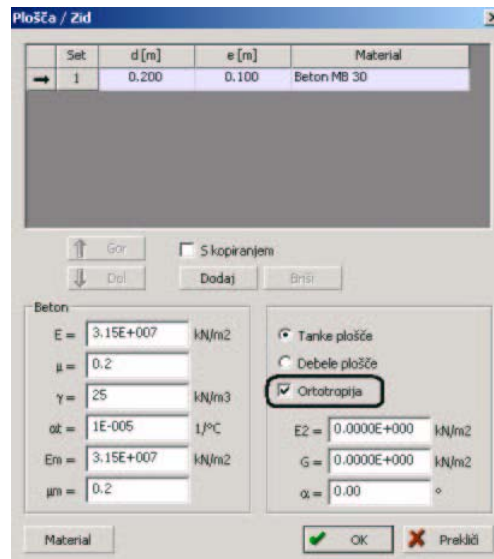
Vnos konstrukcije v Tower 5 je možen na dva načina. Prvi način je z risanjem konstrukcijskih elementov direktno v program. Drugi način je s pomočjo arhitektonske podloge v DWG formatu iz risarskih programov, kot so AutoCad, ArchiCad, itd., preko katere vnašamo konstrukcijske elemente v program. Konstrukcijo sva vnašala direktno v program.

Vnašanje konstrukcije je enostavno, saj ima program veliko pomožnih funkcij. Najprej sva nastavila pomožne osi, število etaž in etažne višine. Po tlorisu ene etaže sva vrisala vse konstrukcijske elemente (grede, stebre, stene in plošče). V kolikor se tloris po etažah ne spreminja, je možno konstrukcijo iz ene etaže kopirati v poljubno število etaž. Ob risanju posameznih elementov se odpre okno za določanje lastnosti konstrukcijskega elementa (prerez grede ali stebra, debelina plošče ali stene, material elementa in njegove karakteristike, položaj elementa glede na osi). Primeri pogovornih oken za posamezne konstrukcijske elemente so prikazani na slikah 6, 7 in 8.



Slika 6: Pogovorno okno za določanje prečnega prereza gred in stebrov

Fig. 6: Dialog box for defining columns and beams cross-sections



Slika 7: Pogovorno okno za določanje plošč in zidov

Fig. 7: Dialog box for defining slabs and walls

Naziv	Tip	E [kN/m ²]	μ	γ [kN/m ³]	α [1/°C]	E_m [kN/m ²]	μ
Beton MB 15	Beton	2.7000E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	2.7000E+007	0.20
Beton MB 20	Beton	2.8500E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	2.8500E+007	0.20
Beton MB 25	Beton	3.0000E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	3.0000E+007	0.20
→ Beton MB 30	Beton	3.1500E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	3.1500E+007	0.20
Beton MB 35	Beton	3.3000E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	3.3000E+007	0.20
Beton MB 40	Beton	3.4000E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	3.4000E+007	0.20
Beton MB 45	Beton	3.5000E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	3.5000E+007	0.20
Beton MB 50	Beton	3.6000E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	3.6000E+007	0.20
Beton MB 55	Beton	3.7000E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	3.7000E+007	0.20
Beton MB 60	Beton	3.8000E+007	0.20	25.00	1.0000E-005	3.8000E+007	0.20
Jeklo	Jeklo	2.1000E+008	0.30	78.50	1.0000E-005	2.1000E+008	0.30
Les	Les	1.0000E+007	0.20	10.00	1.0000E-005	1.0000E+007	0.20

Slika 8: Pogovorno okno za določanje materiala

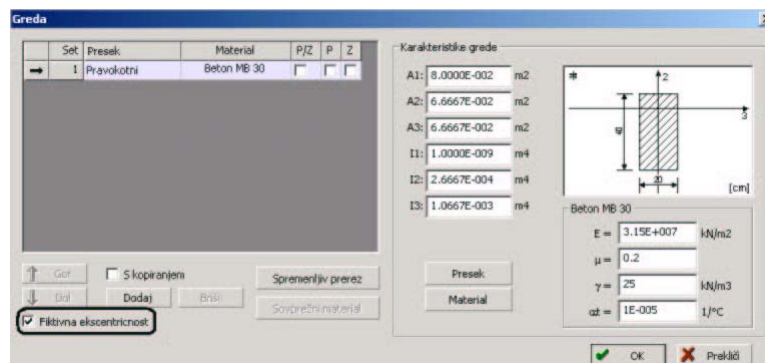
Fig. 8: Dialog box for defining material

4.2.1 Posebnosti pri modeliranju gred v plošči

Prečni prerez grede, ki deluje skupaj s ploščo, je potrebno postaviti ekscentrično glede na linijo, s katero je določen njen položaj v prostoru in zmanjšati izračunan torzijski vztrajnostni moment na polovično vrednost, da se v gredi ne pojavijo nerealno veliki vplivi torzijskih

momentov. Vplive torzije v gredah bo prevzel upogib plošč, kar je tudi realno obnašanje za tak tip konstrukcije.

Pri upoštevanju ekscentrično postavljenih gred imamo dve možnosti. Ali se v mreži končnih elementov zares postavijo ekscentrično glede na linijo, s katero je določen njihov položaj v prostoru, ali pa so, ne glede na njihov dejanski ekscentričen položaj, v analizi upoštevane kot centrično postavljene glede na ploščo. Na kateri način bodo ekscentrično postavljene grede upoštevane v analizi, določa stikalo »Fiktivna ekscentričnost«, kot je prikazano na sliki 9. Vključila sva opcijo fiktivne ekscentričnosti. V primeru takega izbora je greda postavljena centrično glede na linijo, s katero je določen njen položaj v prostoru, njen ekscentričen položaj je zajet s povečanim vztrajnostnim momentom glede na os, na katero je podana ekscentričnost težišča grede. Na tak način se ekscentrično obnašanje grede približno opiše, vendar se tako dobljeni rezultati nanašajo na celo gredo in so takoj uporabni tudi za opcijo avtomatskega dimenzioniranja grede.



Slika 9: Pogovorno okno za definiranje grede ali stebra

Fig. 9: Dialog box for defining columns and beams

4.3 Vnos obtežb konstrukcije

Na najinih konstrukcijah delujejo obtežbe zaradi stalne teže, dodatnih stalnih obtežb, spremenljive obtežbe, ter obtežbe snega, vetra in potresa. Stalno težo konstrukcijskih elementov program upošteva avtomatsko.

4.3.1 Dodatna stalna obtežba

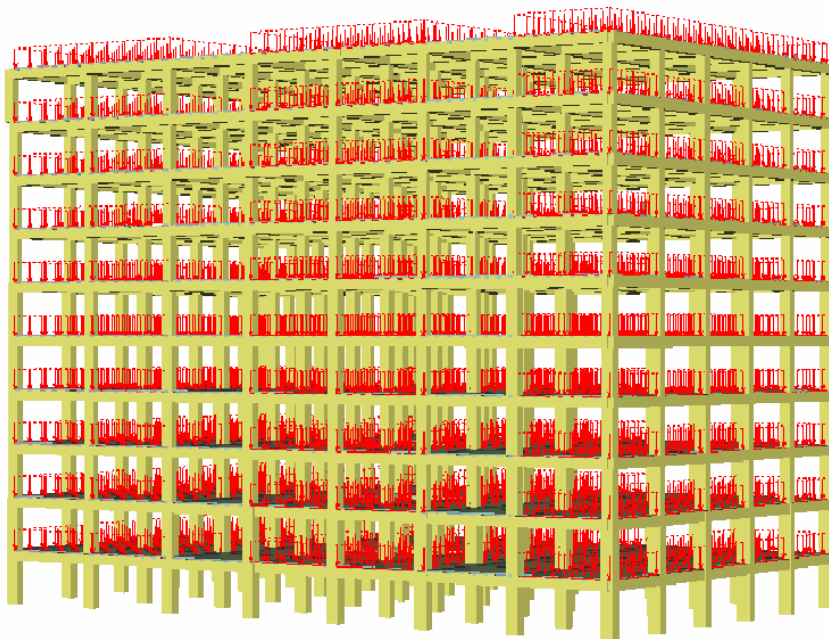
Dodatno stalno obtežbo Δg (glej poglavje 3.1) sva podala na konstrukcijo na naslednji način:

- stalna obtežba zaradi tlakov – podana kot ploskovna obtežba na stropne plošče,
- stalna obtežba zaradi fasade – podana kot ploskovna obtežba na stene in kot linijska obtežba na grede in stebre (s pomočjo funkcije v programu »konverter obtežbe«, ki površinsko obtežbo pretvori v linijsko) in
- stalna obtežba zaradi parapetov – podana kot linijska obtežba na grede.

V obtežnih primerih v prilogi je stalna obtežba označena z rimsko številko I.

4.3.2 Spremenljive obtežbe

- Koristne obtežbe stropov sva podala kot ploskovno obtežbo na stropne plošče. Za določitev maksimalnih notranjih sil v gredah, stebrih in stenah sva podala koristno obtežbo, ki jo poimenujemo kot »pasovna šahovska ploskovna obtežba«. Sheme koristne obtežbe so v prilogi. Skupaj imava deset različnih koristnih pasovnih šahovskih ploskovnih obtežb. V obtežnih primerih so označene z rimskimi številkami od III do XII. Na sliki št. 10 je prikazan primer postavitve koristne obtežbe imenovane »pasovna šahovska ploskovna obtežba«.



Slika 10: Primer postavitve koristne obtežbe

Fig. 10: Example of loaded live load

- Koristna obtežba s snegom je podana kot ploskovna obtežba na strešno ploščo. V obtežnih primerih v prilogi je obtežba s snegom označena z rimsko številko II.
- Koristna obtežba z vetrom je podana kot ploskovna obtežba na strešno ploščo in stene fasade. Na skeletno konstrukcijo je podana ploskovno in s pomočjo funkcije konverter obtežbe spremenjena v linijsko obtežbo stebrov in gred. V obtežnih primerih v prilogi so obtežbe z vetrom označena z rimskimi številkami od XIII do XVI.

5 POTRESNA OBTEŽBA

5.1 Račun lastnih nihajnih časov in določitev nihajnih oblik konstrukcije

Pri računu lastnih nihajnih časov in določitvi nihajnih oblik konstrukcije sva si pomagala s programom Tower 5. Program lahko opravi modalno analizo sistema z več prostostnimi stopnjami, ki je tudi osnovna metoda po standardu EC8. Za izvedbo modalne analize morajo biti ploskovni elementi, kot so plošče in stene, razdeljeni na mrežo končnih elementov. Mrežo

končnih elementov ustvari program sam. Določimo mu samo okvirno gostoto mreže končnih elementov s povprečno velikostjo elementov, ali številom končnih elementov. V najini analizi sva razdelila mrežo končnih elementov z upoštevanjem največje dimenzije 0,50 m. Gredne elemente računa program kot linijske elemente, vendar je potrebno grede, ki se nahajajo izven plošč, razdeliti na več elementov za večjo točnost rezultatov. V najinih primerih so vse grede v ploščah, tako da njihovo delitev določa gostota mreže končnih elementov plošč.

5.1.1 Modalna analiza

V okviru modalne analize sva določila lastne nihajne oblike in izračunala lastne nihajne čase konstrukcije. Tako dobljeni rezultati so kasneje uporabljeni pri seizmični analizi. Pri modalni analizi potrebujemo togost konstrukcije in razporeditev mas.

5.2 Nihajni časi konstrukcij

Nihajne čase obeh konstrukcij sva izračunala s programom Tower 5. Teža konstrukcije je bila upoštevana po pravilu:

- račun teže konstrukcije pri računu po EC:

$$W = \sum G_{kj} + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki}$$

$$\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i}$$

Vrsta koristne obtežbe: kategorija A - C

$$\varphi = 1 \quad \text{- vrhnja etaža}$$

$$\varphi = 0,5 \quad \text{- ostale etaže}$$

$$\psi_{2i} = 0,3 \quad \text{- poslovni prostori}$$

Kar nam da:

$$W = \sum 1,0 \cdot G_{kj} + \sum 0,30 \cdot Q_{ki} \quad \text{- za vrhnjo etažo}$$

$$W = \sum 1,0 \cdot G_{kj} + \sum 0,15 \cdot Q_{ki} \quad \text{- za ostale etaže}$$

- račun teže konstrukcije pri računu po PBAB:

$$G = \sum 1,0 \cdot g + \sum 0,5 \cdot p + \sum 0,50 \cdot s \quad \text{- vse etaže}$$

5.2.1 Izračunani lastni nihajni časi in pripadajoče frekvence skeletnega objekta

Preglednica 5: Lastni nihajni časi pri računu po EC

Table 5: Fundamental periods of vibration analyzed by EC

	T [s]	f [Hz]
Y	0,9077	1,1017
X	0,8159	1,2256
XY	0,8057	1,2412

Teža konstrukcije: $W = 134.273,2$ kN

Preglednica 6: Lastni nihajni časi pri računu po PBAB

Table 6: Fundamental periods of vibration analyzed by PBAB

	T [s]	f [Hz]
Y	1,1170	0,8952
X	1,0594	0,9439
XY	1,0281	0,9727

Teža konstrukcije: $G = 142.781,7$ kN

5.2.2 Izračunani lastni nihajni časi in pripadajoče frekvence stenasto-skeletnega objekta

Preglednica 7: Lastni nihajni časi pri računu po EC

Table 7: Fundamental periods of vibration analyzed by EC

	T [s]	f [Hz]
Y	0,5199	1,9236
X	0,4047	2,4709
XY	0,3522	2,8389

Teža konstrukcije: $W = 114.900,1$ kN

Preglednica 8: Lastni nihajni časi pri računu po PBAB

Table 8: Fundamental periods of vibration analyzed by PBAB

	$T [s]$	$f [Hz]$
Y	0,4803	2,0821
X	0,3662	2,7310
XY	0,2949	3,3906

Teža konstrukcije: $G = 129.387,0 \text{ kN}$

5.3 Račun potresnih sil

Potresne sile sva določila s pomočjo programa na podlagi izračunanih lastnih nihajnih časov in nihajnih oblik konstrukcije. Pri računu po EC sva določila potresne sile z modalno analizo, pri računu po PBAB po metodi ekvivalentne statične obtežbe.

- Modalna analiza

Sam postopek se lahko grobo deli na dva dela. Na del, v katerem se izvede modalna analiza in del, v katerem se izračuna seizmične sile na osnovi rezultatov predhodno izvedene modalne analize. Zaradi tega je pred samo seizmično analizo obvezno izvesti modalno analizo (glej poglavje 5.1.1). Na osnovi nihajnih časov in nihajnih oblik konstrukcije za vse predhodno izračunane nihajne čase in na osnovi vhodnih podatkov vezanih na dani predpis, program za vsako maso na modelu izračuna ustrezno vztrajnostno silo. Vsaka tako izračunana vztrajnostna sila deluje ustrezno nihajni obliki konstrukcije v okviru izračunanega nihajnega časa.

Ker se velikosti projektnih seizmičnih sil izračunajo posebej za vsako lastno nihajno obliko konstrukcije, program z metodo superpozicije nihajnih oblik interno analizo prevede sistem diferencialnih enačb v "n" neodvisnih diferencialnih enačb. Za vsako nihajno obliko se določijo notranje sile in z različnim kombiniranjem določi notranje sile pri potresni obtežbi iz spektra odziva.

Merodajne notranje sile za vsako podano smer delovanja potresa se dobijo z eno od statističnih metod, v katero spada tudi srednja kvadratna vrednost po spodnji enačbi:

$$\Phi = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Phi_i^2}$$

Φ - statična vrednost, ki se obravnava (moment, osna ali prečna sila)

Φ_i - statična vrednost za i-to nihajno obliko.

Še kratek citat iz Navodil za uporabo programa Tower 5 (Radimpex,2004,str.303) :

"Ker se iz samega izgleda izraza lahko zaključi, da bodo imele vse vrednosti pozitiven predznak, bodo diagrami notranjih sil za te obtežne primere imeli neobičajen izgled. Poleg tega predstavlja problem tudi to, da tako dobljeni vplivi v enem prerezu verjetno ne delujejo istočasno. Vse ti problemi izhajajo iz samih predpostavk modalne analize, vendar ker se veljavni standardi pozivajo na njo, nam ne preostane nič drugega, kot da tako dobljene rezultate uporabimo pri dimenzioniranju konstrukcije".

- Metoda ekvivalentne statične obtežbe

Ta metoda ne upošteva vplivov višjih nihajnih oblik konstrukcije. Kot vhodni podatek se podaja nihajni čas konstrukcije prve nihajne oblike, ki odgovarja translatornemu pomiku v podani smeri delovanja potresa. Na osnovi tega in ostalih vhodnih podatkov, ki določajo dani standard, se izračunajo nadomestne statične sile, ki na celem modelu delujejo v smeri podanega potresa. Na tak način se dobijo potresni obtežni primeri, ki po naravi popolnoma odgovarjajo drugim podanim obtežbam na modelu. Prednost te metode je v tem, da imajo izračunane notranje sile ustrezen predznak in vsi diagrami notranjih sil dobijo pričakovano obliko.

5.3.1 Vhodni podatki za račun potresnih sil

Pri računu potresnih sil po EC je potrebno za vsako smer potresa dodati še 30% delovanja seizmičnih sil iz druge pravokotne smeri.

- Skeletni objekt

Račun po EC		Račun po PBAB	
Kategorija tal:	B	Kategorija tal:	II
Kategorija pomena:	III	Kategorija objekta:	II
Faktor obnašanja q:	3,75	Vrsta konstrukcije:	1
Razmerje a_g/g :	0,25	Seizmična cona (a_g/g):	VIII
		Ks:	0,05
		15% sile	da

Račun faktorja obnašanja pri računu po EC:

$$q = q_0 \cdot k_D \cdot k_R \cdot k_W \geq 1,5$$

$$q_0 = 5$$

-okvirni sistem

$$k_D = 0,75$$

-faktor duktilnosti konstrukcije DCM

$$k_R = 1$$

-pravilnost konstrukcije po višini

$$k_W = 1$$

-faktor nevarnosti strižne porušitve pri stenastih konstr.

$$q = 5 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 3,75 \geq 1,5$$

- Stenasto-skeletni objekt

Račun po EC		Račun po PBAB	
Kategorija tal:	B	Kategorija tal:	II
Kategorija pomena:	III	Kategorija objekta:	II
Faktor obnašanja q:	3,38	Vrsta konstrukcije:	1
Razmerje a_g/g :	0,25	Seizmična cona (a_g/g):	VIII
		Ks:	0,05
		15% sile	da

Račun faktorja obnašanja pri računu po EC:

$$q = q_0 \cdot k_D \cdot k_R \cdot k_W \geq 1,5$$

$$q_0 = 4,5$$

-sistem s povezanimi stenami

$$k_D = 0,75$$

-faktor duktilnosti konstrukcije DCM

$$k_R = 1$$

-pravilnost konstrukcije po višini

$k_w = 1$ -faktor nevarnosti strižne porušitve pri stenastih konstr.

$$q = 4,5 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 3,38 \geq 1,5$$

5.3.2 Potresne sile

Preglednica 9: Potresne sile, skeletni objekt, smer X

Table 9: Seismic forces, frame construction, direction X

SMER X		Račun po EC	Račun po PBAB
Nivo	Z (m)	P_x [kN] – POTRES X	S_x [kN]
IX	32,00	2.376,5	1.346,9
VIII	28,80	2.231,6	642,7
VII	25,60	2.076,0	571,4
VI	22,40	1.857,4	499,9
V	19,20	1.606,0	433,5
IV	16,00	1.368,7	365,4
III	12,80	1.080,4	292,4
II	9,60	756,8	220,1
I	6,40	447,8	148,0
P	3,20	178,6	74,9
Σ [kN]=		13.979,9	4.595,8
W (G) [kN] =		134.273,2	142.781,7
Σ / W (G) [%]=		10,4	3,2

Preglednica 10: Potresne sile, skeletni objekt, smer Y

Table 10: Seismic forces, frame construction, direction Y

SMER Y		EC	PBAB
Nivo	Z (m)	P_y [kN] – POTRES Y	S_y [kN]
IX	32,00	2.198,9	1.277,5
VIII	28,80	2.060,4	609,6
VII	25,60	1.919,0	541,9

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.
Dipl. nal. – VSSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

VI	22,40	1.717,2	474,1
V	19,20	1.489,2	411,1
IV	16,00	1.274,6	346,6
III	12,80	1.015,9	277,4
II	9,60	709,5	208,8
I	6,40	418,0	140,4
P	3,20	176,5	71,1
Σ [kN]=		12.976,3	4.358,8
W (G) [kN] =		134.273,2	142.781,7
Σ / W (G) [%]=		9,6	3,0

Preglednica 11: Potresne sile, stenasto - skeletni objekt, smer X

Table 11: Seismic forces, wall-equivalent dual system, direction X

SMER X		EC	PBAB
Nivo	Z (m)	P_x [kN] – POTRES X	S_x [kN]
IX	32,00	2.778,7	2.724,6
VIII	28,80	2.623,1	1.378,2
VII	25,60	2.320,7	1.192,7
VI	22,40	1.998,0	1.043,1
V	19,20	1.659,7	893,8
IV	16,00	1.312,5	743,2
III	12,80	971,0	594,2
II	9,60	650,9	445,6
I	6,40	365,1	296,4
P	3,20	136,8	147,3
Σ [kN]=		14.816,4	9.459,5
W (G) [kN] =		114.900,1	129.387,0
Σ / W (G) [%]=		12,9	7,3

Preglednica 12: Potresne sile, stenasto – skeletni objekt, smer Y

Table 12: Seismic forces, wall-equivalent dual system, direction Y

SMER Y		EC	PBAB
Nivo	Z (m)	P_y [kN] – POTRES Y	S_y [kN]
IX	32,00	2812,9	2.724,6
VIII	28,80	2631,5	1.378,2
VII	25,60	2305,7	1.192,7
VI	22,40	1962,3	1.043,1
V	19,20	1607,6	893,8
IV	16,00	1249,4	743,2
III	12,80	903,7	594,2
II	9,60	587,0	445,6
I	6,40	314,1	296,4
P	3,20	109,0	147,3
Σ [kN]=		14.484,2	9.459,5
W (G) [kN] =		114.900,1	129.387,0
Σ / W (G) [%]=		12,6	7,3

5.4 Primerjava potresne sile izračunane z modalno analizo in poenostavljeno metodo

Za kontrolo potresne sile sva naredila ročni izračun skupne potresne sile po poenostavljeni metodi po obeh predpisih. To metodo, ki je dovoljena samo pri pravilnih konstrukcijah po tlorisu in višini, sva uporabila za kontrolo s programom izračunanih potresnih sil.

- Skeletna konstrukcija račun po EC

$$T_c \leq T \leq T_d$$

$$S_d(T) = \alpha \cdot S \cdot \beta_o/q \cdot (T_c / T)^{kd1}$$

$$S_{dx}(T_x) = 0,25 \cdot 1 \cdot 2,5 / 3,75 \cdot (0,6 / 0,8159)^{0,66} = 0,1357$$

$$S_{dy}(T_y) = 0,25 \cdot 1 \cdot 2,5 / 3,75 \cdot (0,6 / 0,9077)^{0,66} = 0,1264$$

$$F_b = S_d \cdot W$$

$$F_{bx} = 0,1357 \cdot 134.273,2 = 18.221,0 \text{ kN}$$

$$F_{by} = 0,1264 \cdot 134.273,2 = 16.972,0 \text{ kN}$$

EC8 ne uporablja varnostnega faktorja za povečanje obtežbe, pač pa z varnostnim faktorjem zmanjšuje nosilnost materiala. Pri duktilnih konstrukcijah je pomemben varnostni faktor za armaturo, ki znaša 1,15. Celotna primerljiva efektivna potresna sila znaša tako:

$$F_{b,ef} = 1,15 \cdot F_b$$

$$F_{bx,ef} = 1,15 \cdot 18.220,87 = 20.954,0 \text{ kN}$$

$$F_{by,ef} = 1,15 \cdot 16.972,13 = 19.518,0 \text{ kN}$$

- Skeletna konstrukcija ; račun po PBAB

$$K = K_0 \cdot K_s \cdot K_p \cdot K_d$$

$$0,47 < K_d < 1 \quad K_d = 0,7 / T$$

$$K_{dx} = 0,7 / 1,0594 = 0,661$$

$$K_{dy} = 0,7 / 1,1170 = 0,626$$

$$K_x = 1 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 0,661 = 0,0331$$

$$K_y = 1 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 0,626 = 0,0313$$

$$S = K \cdot G$$

$$S_x = 0,0331 \cdot 142.781,7 = 4.726,0 \text{ kN}$$

$$S_y = 0,0313 \cdot 142.781,7 = 4.469,0 \text{ kN}$$

Če upoštevamo varnostni faktor za obtežbo 1,3, potem znaša celotna primerljiva efektivna potresna sila:

$$S_{x,ef} = 1,3 \cdot 4.726,0 = 6.144,0 \text{ kN}$$

$$S_{y,ef} = 1,3 \cdot 4.469,0 = 5.810,0 \text{ kN}$$

- Stenasto-skeletni objekt ; račun po EC

$$T_b \leq T \leq T_c$$

$$S_d(T) = \alpha \cdot S \cdot \beta_o/q$$

$$S_d(T) = 0,25 \cdot 1 \cdot 2,5 / 3,38 = 0,1849$$

$$F_b = S_d \cdot W$$

$$F_b = 0,1849 \cdot 114.900,10 = 21.245,0 \text{ kN}$$

$$F_{b,ef} = 1,15 \cdot F_b$$

$$F_{b,ef} = 1,15 \cdot 21.245,0 = 24.432,0 \text{ kN}$$

- Stenasto-skeletni objekt račun po PBAB

$$K = K_0 \cdot K_s \cdot K_p \cdot K_d$$

$$0,47 < K_d < 1 \quad K_d = 0,7 / T$$

$$K_{dx} = 0,7 / 0,3662 = 1,91$$

$$K_{dy} = 0,7 / 0,4803 = 1,46$$

$$K_p = 1,0$$

$$K = 1 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 1 = 0,05$$

$$S = K \cdot G$$

$$S = 0,05 \cdot 129.387,00 = 6.469,0 \text{ kN}$$

$$S_{ef} = 1,3 \cdot 6.469,0 = 8.410,0 \text{ kN}$$

Preglednica 13: Primerjava potresnih sil pri računu po EC8 pri poenostavljeni metodi in modalni analizi

Table 13: Comparison of seismic forces analyzed by EC8 with simple method and modal analysis

			Poenostavljena metoda	Modalna analiza	K_{η}
Račun po EC	Skeletna konstrukcija	Smer X	18.221,0	13.979,9	1,30
		Smer Y	16.972,0	12.976,3	1,30
	Stenasto-skeletna konstrukcija	Smer X	21.245,0	14.816,4	1,43
		Smer Y	21.245,0	14.484,2	1,47

" K_{η} – faktor, ki predstavlja razmerje med skupno potresno silo dobljeno po poenostavljeni metodi proti skupni potresni sili dobljeni z modalno analizo.

Razlika nastane zaradi tega, ker poenostavljena metoda temelji na predpostavki, da konstrukcija niha pretežno v osnovni nihajni obliki, pri tem pa se upošteva celotna masa konstrukcije. Pri modalni analizi vsaki nihajni obliki pripada ustrezna efektivna masa. Vsota vseh efektivnih mas je sicer enaka celotni masi, zaradi pravil za kombinacijo vplivov posameznih nihajnih oblik pa je, ob uporabi projektnih spektrov po predpisih, celotna potresna sila, dobljena z modalno analizo, vedno manjša od celotne potresne sile, dobljene s poenostavljeno metodo." (Fajfar, za ur. Fischinger, 1995, Zbornik seminarja: Uvajanje sodobnih evropskih standardov Eurocode v Sloveniji, str. 174-175)

Iz zgornjih rezultatov je razvidno, da je skupna potresna sila, dobljena z modalno analizo, manjša od skupne potresne sile izračunane s poenostavljeno metodo. Potresne sile, dobljene z poenostavljeno metodo, so večje od potresnih sil z modalno analizo, za 30% pri skeletnem objektu in 43 – 47% pri stenasto-skeletni konstrukciji.

5.5 Primerjava izračunanih potresnih sil pri računu po EC in PBAB

V spodnji preglednici št. 14 je izdelana primerjava skupnih efektivnih potresnih sil izračunanih pri računu po EC in veljavnih predpisih. V preglednici so podane vrednosti efektivnih potresnih sil tako, da so vrednosti izračunane z modalno analizo (Preglednice 9 do 12) pomnožene s faktorjem 1,15 pri računu po EC, oziroma 1,30 pri računu po veljavnih predpisih.

Preglednica 14: Primerjava efektivnih potresnih sil pri računu po EC in PBAB

Table 14: Comparison of effective seismic forces calculated by EC and PBAB

		Račun po EC	Račun po PBAB	Razmerje EC / PBAB
Skeletna konstrukcija	Smer X	16.077,0	5.975,0	2,69
	Smer Y	14.923,0	5.667,0	2,63
Stenasto- skeletna konstrukcija	Smer X	17.039,0	12.298,0	1,38
	Smer Y	16.657,0	12.298,0	1,35

Iz zgornjih rezultatov je razvidno, da so skupne efektivne potresne sile, izračunane pri računu po EC večje od efektivnih potresnih sil izračunanih pri računu po veljavnih predpisih, približno 2,6-krat pri skeletnem objektu in približno 1,4 -krat pri stenasto-skeletni konstrukciji.

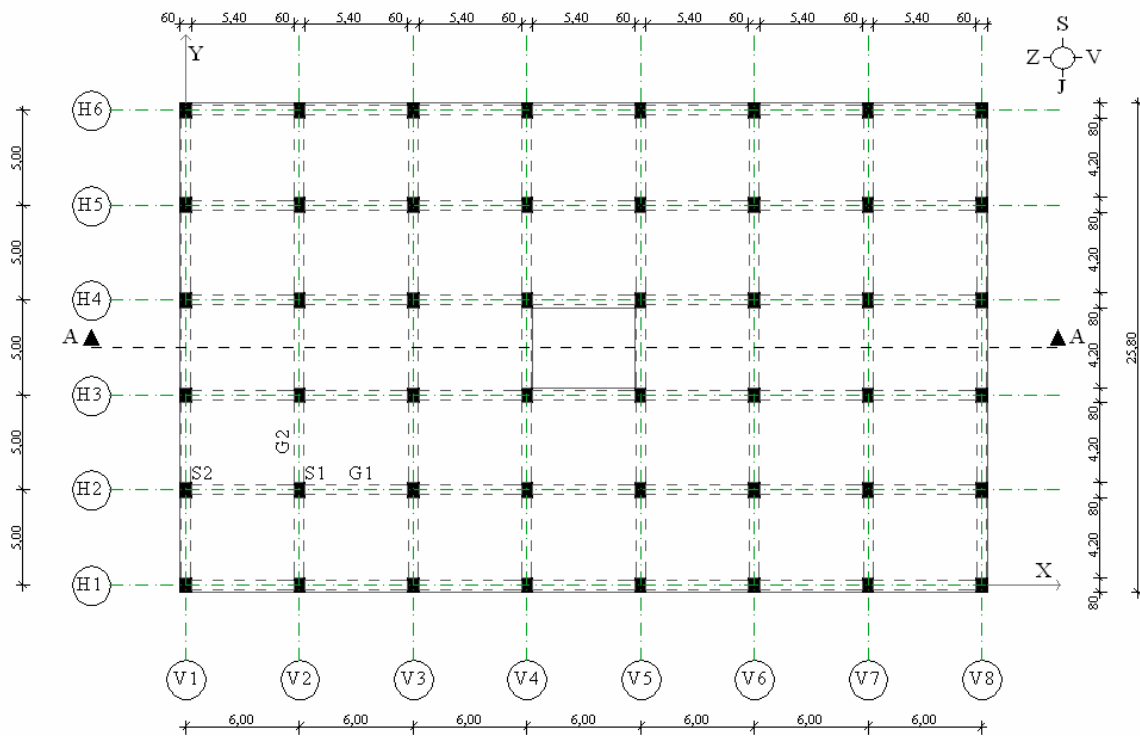
6 NOTRANJE SILE IN DIMENZINIRANJE PRI RAČUNU PO EC2 IN PBAB

Notranje sile v konstrukcijah pri računu po obeh standardih oziroma pravilnikih sva izračunala s pomočjo računalniškega programa Tower 5. S programom sva tudi avtomatsko dimenzionirala izbrane konstrukcijske elemente. V spodnjih preglednicah sva naredila primerjavo notranjih sil in količino potrebne armature pri računu po PBAB in EC2. Primerjavo sva naredila za nekaj polj na dveh gredah G1 in G2 v obeh ortogonalnih smereh X

in Y, ter na stebri S1, v sečišču okvirjev H3 in V2, kjer je tudi skupno vozlišče analiziranih gred G1 in G2. Pri stenasto-skeletni konstrukciji sva obravnavala steni ST1 in ST2, v okvirju H1. Položaj obravnavanih konstrukcijskih elementov je razviden iz tlorisov in prerezov na slikah 11,12, 13 in 14.

V primerjalni preglednici za skeletno konstrukcijo so za grede pri računu po EC izpisane merodajne kombinacije le za pozitivne momente, ker program pri izpisu dimenzioniranja gred izpiše le te, korektno pa izračuna tudi negativno armaturo. Kontrolo rezultatov sva opravila tudi ročno, kar sledi v poglavju 6.1. Pri dimenzioniranju stebrov pri računu po PBAB, program na mestih, kjer ni potrebna računsko armatura, ne omogoča izpisa merodajnih kombinacij in pripadajočih notranjih sil. Pri dimenzioniranju sten pri računu po EC in PBAB sva upoštevala razdelitev računsko potrebne armature po 35% v vogalnih stebrih stene in 30% v stojini stene.

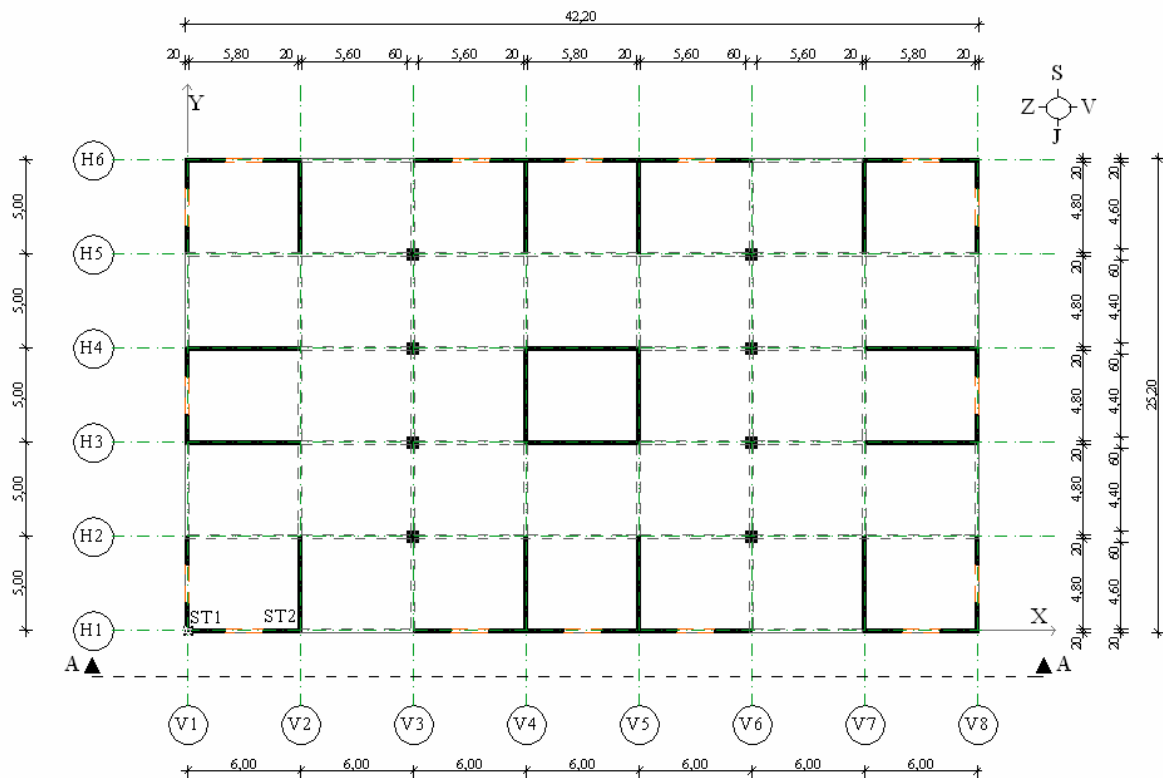
Seznam obtežnih primerov, katere sva uporabila pri analizi, so v prilogi.



Slika 11: Dispozicija analiziranih okvirjev, gred in stebrov, skeletna konstrukcija
Fig. 11: Disposition of analysed frames, beams and columns, frame construction

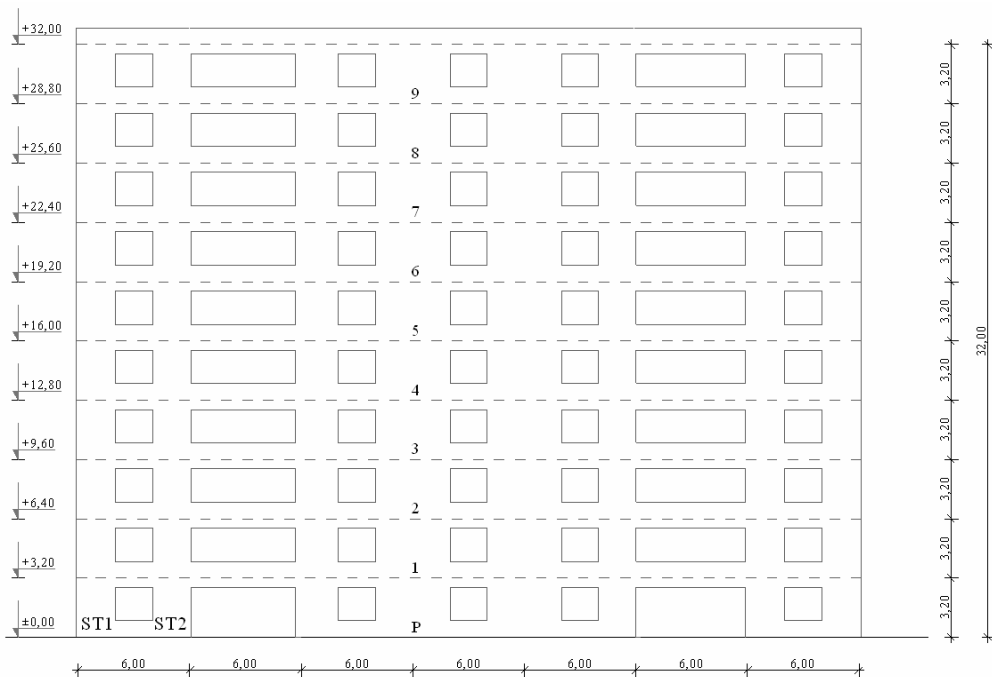


Slika 12: Okvir H3, dispozicija gred in stebrov, skeletna konstrukcija
Fig. 12: Frame H3, disposition of analysed beams and columns, frame construction



Slika 13: Dispozicija analiziranih sten, stenasto-skeletna konstrukcija

Fig. 13: Disposition of analysed walls, wall-equivalent dual system



Slika 14: Okvir H1, prerez, stenasto-skeletna konstrukcija

Fig. 14: Frame H1, section, wall-frame construction

Preglednica 15: Notranje sile in potrebna armatura v gredi G1 pri računu po EC in PBAB – skeletna konstrukcija**Table 15: Internal forces and needed reinforcement in beam G1 analyzed by EC and PBAB – frame construction**

Element	x (m)	G 1 x = 0,0		G 1 x = 3,0		G 1 x = 6,0	
Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	I+0,15·VI+XVII	1,3·I+0,65·III-1,3·XVI	1,35·I+1,50·XII	1,6·I+1,80·(VII+XIII)	I+0,15·VI+XVII	1,3·I+0,65·VI-1,3·XVI
N	(kN)	3,50	-4,17	-4,16	-7,53	6,86	0,86
M	(kNm)	425,72	-332,98	123,80	126,61	393,19	95,24
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·V -1·XVII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV	I+0,15·V-1·XVII	1,3·I+0,65·III-1,3·XVI	I+0,15·X+1·XVII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV
V	(kN)	-230,93	-107,25	-160,00	-65,64	222,53	88,95
Mer. kombinacija	torzija	I+0,15·V-1·XVIII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV	1,35·(I+VIII+XVI)	1,6·I+1,80·(VIII+XIV)	I+0,15·V+1·XVIII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV
T	(kNm)	-25,05	-18,91	2,66	1,82	25,29	17,63
A_v^+	(cm ²)	25,52	5,87	6,87	7,47	23,64	6,00
A_v^-	(cm ²)	37,75	21,21	0,08	0,06	34,94	21,87
$A_{s,w}$	(cm ²)	7,19	2,61	4,77	0,00	7,06	1,80

Element	x (m)	G 1 x = 9,0		G 1 x = 12,0		G 1 x = 15,0	
Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	1,35·I+1,50·VI	1,6·I+1,80·(VI+XIV)	I+0,15·XII+XVII	1,3·I+0,65·VI+1,3·XVI	1,35·I+1,50·XII	1,6·I+1,80·(XII+XIV)
N	(kN)	-0,91	-1,66	5,15	1,97	-2,09	-2,47
M	(kNm)	117,41	120,01	381,44	94,01	117,84	122,03
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·V+1·XVII	1,3·I+0,65·XI+1,3·XVI	I+0,15·XI+1·XVII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV	I+0,15·V+1·XVII	1,3·I+0,65·XI+1,3·XVI
V	(kN)	151,20	64,20	222,83	-88,09	152,84	64,92
Mer. kombinacija	torzija	I+0,15·V+1·XVIII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV	I+0,15·V+1·XVIII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV	I+0,15·V+1·XVIII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV
T	(kNm)	3,30	1,77	26,54	-17,71	3,96	1,82
A_v^+	(cm ²)	6,58	7,14	22,95	5,96	6,61	7,26
A_v^-	(cm ²)	0,09	0,06	33,88	21,69	0,12	0,06
$A_{s,w}$	(cm ²)	4,51	0,00	6,88	1,79	4,62	0,00

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.

Dipl. nal. – VSS. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

Preglednica 16: Notranje sile in potrebna armatura v gredi G2 pri računu po EC in PBAB – skeletna konstrukcija

Table 16: Internal forces and needed reinforcement in beam G2 analyzed by EC and PBAB – frame construction

Element x (m)		G 2 x = 0,0		G 2 x = 2,5		G 2 x = 5,0	
Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	I+0,15·VII+XVIII	1,3·I+0,65·III-1,3·XV	1,35·(I+IV+XVI)	1,6·I+1,80·IV+1,8·XIV	I+0,15·VII+XVIII	1,3·I+0,65·VII-1,3·XV
N	(kN)	3,47	-2,07	-6,96	-7,14	5,85	1,88
M	(kNm)	434,84	-301,38	9905,00	98,34	367,00	129,68
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·III -1·XVIII	1,3·I+0,65·VI-1,3·XVI	I+0,15·III-1·XVIII	1,3·I+0,65·III-1,3·XV	I+0,15·IV+1·XVIII	1,3·I+0,65·VI-1,3·XVI
V	(kN)	235,02	-90,67	-176,35	-80,30	231,73	73,84
Mer. kombinacija	torzija		1,3·I+0,65·VI-1,3·XVI		1,3·I+0,65·XII+1,3·XVI		1,3·I+0,65·VI-1,3·XVI
T	(kNm)	0,00	17,44	0,00	-2,26	0,00	-16,34

A_v^+	(cm ²)	25,29	8,61	5,34	5,77	21,28	8,16
A_v^-	(cm ²)	37,78	19,14	0,00	0,07	31,79	18,16
$A_{s,w}$	(cm ²)	6,95	1,80	5,22	0,00	6,85	1,12

Element x (m)		G 2 x = 7,5		G 2 x = 10,0		G 2 x = 12,5	
Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	1,35·I+1,50·VII	1,6·I+1,80·(VII+XIII)	I+0,15·V+XVIII	1,3·I+0,65·VIII+1,3·XV	1,35·I+1,50·IV	1,6·I+1,80·(IV+XIII)
N	(kN)	-0,40	-0,70	3,63	-2,70	-1,66	-1,89
M	(kNm)	85,52	87,29	359,38	-277,71	83,08	86,76
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·VIII+XVIII	1,3·I+0,65·VIII+1,3·XV	I+0,15·VIII+XVIII	1,3·I+0,65·VI-1,3·XVI	I+0,15·V-XVIII	1,3·I+0,65·IX+1,3·XV
V	(kN)	161,66	77,06	217,21	72,58	-162,52	77,36
Mer. kombinacija	torzija		1,3·I+0,65·VI-1,3·XVI		1,3·I+0,65·VI-1,3·XVI		1,3·I+0,65·VI-1,3·XVI
T	(kNm)	0,00	-2,21	0,00	-16,21	0,00	-2,21

A_v^+	(cm ²)	4,69	5,19	20,78	7,89	4,53	5,14
A_v^-	(cm ²)	0,00	0,07	31,04	17,54	0,00	0,07
$A_{s,w}$	(cm ²)	4,78	0,00	6,42	1,06	4,81	0,00

Preglednica 17: Notranje sile in potrebna armatura v stebru S1 pri računu po EC in PBAB – skeletna konstrukcija**Table 17: Internal forces and needed reinforcement in column S1 analyzed by EC and PBAB – frame construction**

Element	x (m)	S 1 x = 32,0		S 1 x = 28,8		S 1 x = 25,6	
Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	I+0,15·IV+XVIII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV	I+0,15·V+XVIII		I+0,15·VI+XVII	
N	(kN)	-302,17	-384,30	-592,03		-842,27	
M _y	(kNm)	118,26	103,89	180,57		36,92	
M _z	(kNm)	26,20	12,42	45,49		269,71	
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·VIII+1·XVIII	1,3·I+0,65·V-1,3·XV	I+0,15·VIII-1·XVIII		I+0,15·XI-1·XVIII	
V _y	(kN)	15,81	7,89	-3,55		-14,37	
V _z	(kN)	67,24	-60,03	-104,41		-146,69	
Mer. kombinacija	torzija	I+0,15·VIII+1·XVIII		I+0,15·VIII-1·XVIII		I+0,15·XI-1·XVIII	
T	(kNm)	0,49		-0,83		-1,17	
$\pm A_z$	(cm ²)	0,00	0,81	0,02	min.	0,03	min.
$\pm A_y$	(cm ²)	3,47	0,09	3,93	min.	5,05	min.
A _{s,w}	(cm ²)	0,00	0,00	0,00	min.	0,00	min.

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.

Dipl. nal. – VSS. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

Preglednica 17: Notranje sile in potrebna armatura v stebru S1 pri računu po EC in PBAB – skeletna konstrukcija
(nadaljevanje)

Table 17: Internal forces and needed reinforcement in column S1 analyzed by EC and PBAB – frame construction
(it continues)

Element	x (m)	S 1 x = 22,4		S 1 x = 19,2		S 1 x = 16,0	
		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	I+0,15·V+1·XVIII		I+0,15·V+XVIII		I+0,15·VI+XVIII	
N	(kN)	-1.178,11		-1.470,93		-1.756,66	
M _y	(kNm)	297,30		369,97		396,04	
M _z	(kNm)	62,38		76,63		85,89	
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·XI+XVIII		I+0,15·V-XVIII		I+0,15·VI+XVIII	
V _y	(kN)	37,16		-25,53		52,44	
V _z	(kN)	178,84		-227,61		243,20	
Mer. kombinacija	torzija	I+0,15·XI+XVIII		I+0,15·V-XVIII		I+0,15·VI+XVIII	
T	(kNm)	1,49		-2,22		2,79	
±A_z	(cm²)	1,32	min.	0,51	min.	0,46	min.
±A_y	(cm²)	5,10	min.	4,09	min.	3,61	min.
A_{s,w}	(cm²)	0,11	min.	0,12	min.	0,15	min.

Preglednica 17: Notranje sile in potrebna armatura v stebru S1 pri računu po EC in PBAB – skeletna konstrukcija
(nadaljevanje)

Table 17: Internal forces and needed reinforcement in column S1 analyzed by EC and PBAB – frame construction
(it continues)

Element	x (m)	S 1 x = 12,8		S 1 x = 9,6		S 1 x = 6,4	
Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	I+0,15·V+XVIII		I+0,15·VI+XVIII		I+0,15·IV-XVIII	
N	(kN)	-2.073,09		-2.362,00		-2.418,12	
M _y	(kNm)	433,97		444,12		-442,88	
M _z	(kNm)	84,29		88,39		-82,57	
Mer. kombinacija.	strig	I+0,15·IX -1·XVIII		I+0,15·V+1·XVIII		I+0,15·V+1·XVIII	
V _y	(kN)	-38,68		52,22		52,22	
V _z	(kN)	-266,40		273,39		273,39	
Mer. komb.	torzija	I+0,15·IX -1·XVIII		I+0,15·V+1·XVIII		I+0,15·V+1·XVIII	
T	(kNm)	-3,71		3,88		3,88	
$\pm A_z$	(cm ²)	0,51	min.	0,88	min.	1,90	min.
$\pm A_y$	(cm ²)	3,90	min.	3,23	min.	1,94	min.
A _{s,w}	(cm ²)	0,20	min.	0,21	min.	0,21	min.

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.

Dipl. nal. – VSS. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

**Preglednica 17: Notranje sile in potrebna armatura v stebru S1 pri računu po EC in PBAB – skeletna konstrukcija
(nadaljevanje)**

**Table 17: Internal forces and needed reinforcement in column S1 analyzed by EC and PBAB – frame construction
(it continues)**

Element	x (m)	S 1 x = 3,2		S 1 x = 1,07	
		EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	1,35·I+1,5·III		1,35·I+1,5·III	
N	(kN)	-5.134,60		-5.773,28	
M _y	(kNm)	1,83		-0,12	
M _z	(kNm)	11,04		-1,73	
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·VII-XVIII		I+0,15·IX+XVIII	
V _y	(kN)	-49,34		49,14	
V _z	(kN)	-286,09		267,92	
Mer. kombinacija	torzija	I+0,15·VII-XVIII		I+0,15·IX+XVIII	
T	(kNm)	-4,10		2,69	
$\pm A_z$	(cm ²)	0,08	min.	0,06	min.
$\pm A_y$	(cm ²)	0,12	min.	0,08	min.
A _{s,w}	(cm ²)	0,17	min.	0,11	min.

Preglednica 18: Notranje sile in potrebna armatura v steni ST1 pri računu po EC in PBAB – stenasto - skeletna konstrukcija**Table 18: Internal forces and needed reinforcement in wall ST1 analyzed by EC and PBAB – wall-equivalent dual construction**

Element x (m)	Predpis	ST 1 x = 1,0		ST 1 x = 4,2		ST 1 x = 7,4	
		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	I+0,15·VI+XVII	1,9·I+2,1· III-2,1·XIII	I+0,15·VI+XVII	1,9·I+2,1· III-2,1·XIII	1,35·I+1,5·III	1,9·I+2,1· III-2,1·XIII
M (kNm)		366,82	49,04	288,63	84,48	73,22	50,12
N (kN)		-285,98	-2.791,82	-303,59	-2.391,14	-1.708,36	-2.226,74
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·VIII-1·XVII	1,3·I+0,65· VIII-1,3·XV	I+0,15·VIII-1·XVII	1,3·I+0,65· VIII-1,3·XV	I+0,15·VIII-1·XVII	1,3·I+0,65· XI-1,3·XV
V (kN)		-374,69	-360,29	-309,32	-330,44	-289,35	260,59
$\pm A_{s,v}$ (cm ²)		1,15	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
$\pm A_v$ (cm ² /m)		0,29	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
$\pm A_h$ (cm ² /m)		2,96	2,48	2,45	2,27	2,29	1,79
Element x (m)	Predpis	ST 1 x = 10,6		ST 1 x = 13,8		ST 1 x = 17,0	
		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	1,35·I+1,5·III	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII	1,35·I+1,5·III	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII	1,35·I+1,5·III	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII
M (kNm)		81,62	98,67	53,07	27,39	82,81	49,08
N (kN)		-1.489,42	-1.937,14	-1.220,84	-1.582,20	-1.060,42	-1.407,25
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·VIII-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV	I+0,15·VIII-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV	I+0,15·VIII-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV
V (kN)		-260,80	-272,64	-238,67	-214,02	-236,48	-213,02
$\pm A_{s,v}$ (cm ²)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_v$ (cm ² /m)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_h$ (cm ² /m)		2,06	1,87	1,89	1,47	1,87	1,46

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.

Dipl. nal. – VSS. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

**Preglednica 18: Notranje sile in potrebna armatura v steni ST1 pri računu po EC in PBAB – stenasto - skeletna konstrukcija
(nadaljevanje)**

**Table 18: Internal forces and needed reinforcement in wall ST1 analyzed by EC and PBAB – wall-equivalent dual system
(it continues)**

Element	x (m)	ST 1 x = 20,2		ST 1 x = 23,4		ST 1 x = 26,6	
Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	1,35·I+1,5·III	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII	1,35·I+1,5·III	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII	1,35·I+1,5·III	1,9·I+2,1· III-2,1·XIV
M	(kNm)	71,98	35,68	65,65	37,00	56,76	12,75
N	(kN)	-848,00	-1.127,26	-618,74	-756,28	-383,68	-483,74
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·VIII-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV	I+0,15·VI-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV	I+0,15·VIII-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV
V	(kN)	-197,22	-188,84	-155,46	-170,04	-105,54	-111,56
$\pm A_{s,v}$	(cm ²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_v$	(cm ² /m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_h$	(cm ² /m)	1,56	1,30	1,23	1,17	0,83	0,77

Element	x (m)	ST 1 x = 29,8	
Predpis		EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	1,35·I+1,5·VIII	1,9·I+2,1· XI+2,1·XIII
M	(kNm)	34,56	-9,14
N	(kN)	-158,29	-157,97
Mer. kombinacija	strig	1,35·I+1,5·VIII	1,9·I+2,1· VIII+2,1·XIV
V	(kN)	-52,28	-72,86
$\pm A_{s,v}$	(cm ²)	0,00	0,00
$\pm A_v$	(cm ² /m)	0,00	0,00
$\pm A_h$	(cm ² /m)	0,41	0,50

Preglednica 19: Notranje sile in potrebna armatura v steni ST2 pri računu po EC in PBAB – stenasto - skeletna konstrukcija**Table 19: Internal forces and needed reinforcement in wall ST2 analyzed by EC and PBAB – wall-equivalent dual system**

Element	x (m)	ST 2 x = 1,0		ST 2 x = 4,2		ST 2 x = 7,4	
Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija	upogib	1,35·I+1,5·XI	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII	1,35·I+1,5·XI	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII	1,35·I+1,5·XI	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII
M	(kNm)	12,33	92,77	32,75	142,77	30,98	89,93
N	(kN)	-2.270,03	-3.046,71	-2.040,72	-2.683,01	-1.828,61	-2.430,90
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·VIII-1·XVII	1,3·I+0,65· VIII-1,3·XV	I+0,15·VI-1·XVII	1,3·I+0,65· VIII-1,3·XV	I+0,15·VI-1·XVII	1,3·I+0,65· VIII-1,3·XV
V	(kN)	-424,19	-443,53	-403,30	-469,81	-422,90	-502,78
$\pm A_{s,v}$	(cm ²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_v$	(cm ² /m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_h$	(cm ² /m)	3,35	3,05	3,19	3,23	3,34	3,46

Element	x (m)	ST 2 x = 10,6		ST 2 x = 13,8		ST 2 x = 17,0	
Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Mer. kombinacija.	upogib	1,35·I+1,5·XI	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII	1,35·I+1,5·III	1,9·I+2,1· III+2,1·XIII	1,35·I+1,5·XI	1,9·I+2,1· III+2,1·XIV
M	(kNm)	25,54	133,35	-28,13	52,06	17,21	55,41
N	(kN)	-1.593,66	-2.126,11	-1.301,61	-1.715,55	-1.124,46	-1.505,16
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·VI-XVII	1,3·I+0,65· VIII-1,3·XV	I+0,15·VI-XVII	1,3·I+0,65· VIII-1,3·XV	I+0,15·VI-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV
V	(kN)	440,70	-474,74	-394,84	-463,93	-391,25	-448,74
$\pm A_{s,v}$	(cm ²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_v$	(cm ² /m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_h$	(cm ² /m)	3,48	3,26	3,12	3,19	3,09	3,09

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.

Dipl. nal. – VSS. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

**Preglednica 19: Notranje sile in potrebna armatura v steni ST2 pri računu po EC in PBAB – stenasto - skeletna konstrukcija
(nadaljevanje)**

**Table 19: Internal forces and needed reinforcement in wall ST2 analyzed by EC and PBAB – wall-equivalent dual system
(it continues)**

Predpis		EC	PBAB	EC	PBAB	EC	PBAB
Element x (m)		ST 2	x = 20,2	ST 2	x = 23,4	ST 2	x = 26,6
Mer. kombinacija	upogib	1,35·I+1,5·III	1,9·I+2,1· III+2,1·XIV	1,35·I+1,5·VIII	1,9·I+2,1· III+2,1·XIV	1,35·I+1,5·VIII	1,9·I+2,1· VIII+2,1·XIV
M	(kNm)	-15,32	47,95	-21,06	58,01	-24,58	28,33
N	(kN)	-914,72	-1.243,54	-670,69	-908,15	-416,24	-611,74
Mer. kombinacija.	strig	I+0,15·VI-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV	I+0,15·VI-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV	I+0,15·VI-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV
V	(kN)	-368,43	-423,77	-320,49	-362,56	-264,26	-350,04

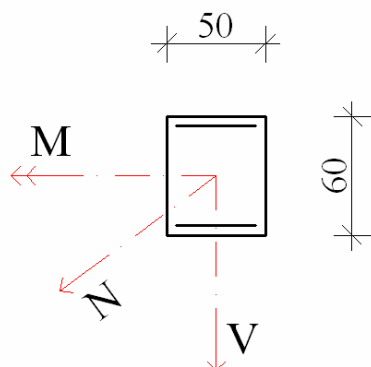
$\pm A_{s,v}$	(cm ²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_v$	(cm ² /m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\pm A_h$	(cm ² /m)	2,91	2,91	2,53	2,49	2,09	2,41

Element x (m)		ST 2	x = 29,8
Predpis		EC	PBAB
Mer. kombinacija.	upogib	1,35·I+1,5·VIII	1,9·I+2,1· VIII+2,1·XIV
M	(kNm)	-22,03	24,78
N	(kN)	-172,96	-265,88
Mer. kombinacija	strig	I+0,15·VI-XVII	1,3·I+0,65· VI-1,3·XV
V	(kN)	-199,31	-297,49

$\pm A_{s,v}$	(cm ²)	0,00	0,00
$\pm A_v$	(cm ² /m)	0,00	0,00
$\pm A_h$	(cm ² /m)	1,58	2,05

6.1 ROČNA KONTROLA DIMENZIONIRANJA PRI RAČUNU PO EC

6.1.1 Ročna kontrola dimenzioniranja grede



Ročno kontrolo dimenzioniranja gred sva izvedla v okvirju H3, na delu grede G1 nad prvim nadstropjem. Grede sva dimenzionirala s tabelami za enoosni upogib (Kot primeri v PDMMS – Rogač, Saje...). Osne sile sva zanemarila, ker so vrednosti zelo majhne, pri njihovem prevzemu pa sodeluje še plošča. Prav tako prihaja do manjših odstopanj od rezultatov programa Tower, ker program dimenzionira na prostorskem modelu, tako da grede računa na dvoosni upogib.

Strig sva izračunala po EC2 verziji ENV 1992-1-1:1991 in verziji prEN 1992-1-1:2002. Bistvena razlika pri računu potrebne stremenske armature je, da v verziji EC2 (prEN 1992-1-1:2002) ves strig prevzamemo s stremeni do vrednosti, ko je projektna strižna sila V_{sd} večja od projektne strižne nosilnosti betona $V_{Rd,c}$. Ko pa je $V_{Rd,c}$ večji od V_{wd} , armiramo z minimalno armaturo. V starejši verziji EC2 (ENV 1992-1-1:1991) se izračuna projektna nosilnost grede brez strižne armature $V_{Rd,1}$ (strižna nosilnost betona) in se jo odšteje od projektne strižne sile V_{sd} , tako da s stremeni prevzamemo razliko projektne strižne sile V_{sd} . V kolikor je V_{sd} manjša od $V_{Rd,1}$, armiramo prerez z minimalno potrebno armaturo.

Program potrebno stremensko armaturo izračuna kot srednjo kvadratno vrednost potrebnih količin za vsako od smeri ($A_{s,w} = \sqrt{A_{s,w,x}^2 + A_{s,w,y}^2}$) . Oznaka $m=2$ pri dimenzioniranju stremenske armature s programom pomeni, da so stremena dvostrizna.

Izrazi za dimenzioniranje glede upogiba pri računu po EC2:

$$k_h = M_{sd} / f_{cd} \cdot b \cdot d^2$$

$$A_s = k_s \cdot M_{sd} / f_{yd} \cdot d$$

Izrazi za dimenzioniranje striga pri računu po EC2 (ENV 1992-1-1: 1991):

Maksimalna projektna strižna nosilnost grede glede tlačnih diagonal:

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot 0,9 \cdot b_w \cdot d$$

Projektna strižna nosilnost grede brez strižne armature (strižna nosilnost betona):

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$\rho_l = A_{sl} / b_w \cdot d \leq 0,02$$

$$k = 1,6 - d \text{ (m)} \geq 1$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c$$

$$v = 0,7 - f_{ck} / 200 \geq 0,5,$$

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{Rd1}$$

$$A_{sw} / s = V_{wd} / 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}$$

Kontrola maksimalne strižne sile, ki jo prenese greda glede tlačnih diagonal po standardni metodi v EC2 ($\theta = 45^\circ$, $z = 0,9 \cdot d$ in izbrana navpična stremena $\alpha = 90^\circ$):

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot 0,9 \cdot b_w \cdot d = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 0,9 \cdot 50\text{cm} \cdot 60\text{cm} = 1.485,0 \text{ kN}$$

Izrazi za dimenzioniranje striga pri računu po EC2 (prEN 1992-1-1: 2002):

Kontrola maksimalne strižne sile, ki jo prenese greda glede porušitve tlačnih diagonal po standardni metodi v EC2 ($\theta = 45^\circ$, $z = 0,9 \cdot d$):

$$V_{Rd,max} = \alpha_c \cdot 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot 0,9 \cdot b_w \cdot d = 1 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 0,9 \cdot 50\text{cm} \cdot 60\text{cm} = 1.620,0 \text{ kN}$$

$$\alpha_c = 1 \quad (\sigma_{cp} \approx 0)$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

z minimalno vrednostjo:

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$\rho_l = A_{sl} / b_w \cdot d \leq 0,02$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c < 0,2 \cdot f_{cd}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$$V_{wd} = V_{sd}, \text{ ko je } V_{sd} > V_{Rd,c}$$

$$A_{s,w} = \min, \text{ ko je } V_{sd} < V_{Rd,c}$$

Izračun potrebne strižne armature:

$$A_{s,w} / s = V_{wd} / 0,9 \cdot d \cdot f_{y,wd}$$

Izrazi za dimenzioniranje glede torzije pri računu po EC2 (prEN 1992-1-1: 2002):

$$T_{sd} \leq T_{Rd1}$$

$$T_{sd} \leq T_{Rd2}$$

$$T_{Rd1} = 2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t \cdot A_k / (\text{ctg } \theta \cdot \text{tg } \theta)$$

$$t \leq A / U_k$$

$$b_k = b - t$$

$$h_k = h - t$$

$$U_k = 2 \cdot (b_k + h_k)$$

$$A_k = b_k \cdot h_k$$

$$v = 0,7 \cdot (0,7 - f_{ck}/200)$$

$$A_{sw} / s = T_{Rd2} \cdot \text{tg } \theta / (2 \cdot A_k \cdot f_{ywd})$$

$$A_{sl} = T_{Rd} \cdot \text{ctg } \theta \cdot U_k / (2 \cdot A_k \cdot f_{yld})$$

$$(T_{sd} / T_{Rd1})^2 + (V_{sd} / V_{Rd,2})^2 \leq 1$$

Preglednica 20: Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja grede G1 pri računu po EC2

Table 20: Summary of results, manual analyzing of beam G1 analyzed by EC2

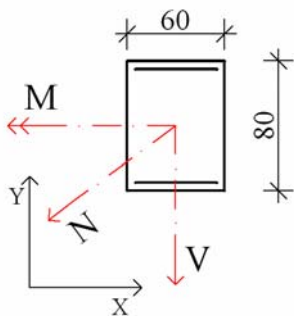
b=	50 cm	(za beton C 30)
h=	60 cm	$f_{cd}= 2,00 \text{ kN/cm}^2$
d=	54 cm	$f_{ck}= 30 \text{ MPa}$
$f_{yd}= 34,78 \text{ kN/cm}^2$		$\alpha f_{cd}= 1,70 \text{ kN/cm}^2$
k=	1,06	$\tau_{Rd}= 0,034 \text{ kN/cm}^2$

		GREDA G1 V OKVIRJU H3				
		x (m)	0,00	3,00	6,00	9,00
UPOGIB EC2	M_+ (kNm)		425,72	123,79	393,19	117,40
	k_h		0,172	0,050	0,159	0,047
	k_s		1,105	1,041	1,103	1,041
	A_{s+} (cm ²)		25,05	6,86	23,09	6,51
	M_- (kNm)		610,33	18,71	556,60	22,60
	k_h		0,246	0,008	0,225	0,009
	k_s		1,181	1,033	1,151	1,033
	A_{s-} (cm ²)		38,38	1,03	34,11	1,24
STRIG (ENV 1992-1-1: 1991)	V (kN)		230,93	158,34	229,53	150,32
	ρ_l		0,0093	0,0025	0,0086	0,0024
	V_{Rd1} (kN)		152,88	126,66	150,06	126,15
	V_{wd} (kN)		78,05	31,68	79,47	24,17
	$A_{s,w}$ (cm ² /m ¹)		4,62	1,87	4,70	1,43
STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	V (kN)		230,93	158,34	229,53	150,32
	$C_{Rd,c}$		0,12	0,12	0,12	0,12
	k		1,61	1,61	1,61	1,61
	ρ_l		0,0093	0,0025	0,0086	0,0024
	v_{min}		0,39	0,39	0,39	0,39
	V_{Rdc} (kN)		157,94	102,58	153,72	100,78
	$V_{Rdc,min}$ (kN)		105,60	105,60	105,60	105,60
	$V_{Rdc,mer}$ (kN)		157,94	105,60	153,72	105,60
	$A_{s,w}$ (cm ² /m ¹)		13,66	9,37	13,58	8,89

TORZIJA (ENV 1992-1: 1991)	T (kNm)	4,87	0,39	3,66	0,43
	t (cm)	13,64	13,64	13,64	13,64
	a _k (cm)	36,36	36,36	36,36	36,36
	b _k (cm)	46,36	46,36	46,36	46,36
	U _k (cm)	165,45	165,45	165,45	165,45
	A _k (cm ²)	1.685,95	1.685,95	1.685,95	1.685,95
	v	0,385	0,385	0,385	0,385
	T _{Rdl} (kNm)	123,92	123,92	123,92	123,92
	A _{s,w} (cm ² /m ¹)	0,42	0,03	0,31	0,04
	A _{sl} (cm ²)	0,69	0,06	0,52	0,06

x	0,00 m	ROČNO	TOWER5
A _{s+}	(cm ²)	25,20	25,52
A _{s-}	(cm ²)	38,53	37,75
A _{s,w}	(cm ² /m ¹)	5,03	7,19

6.1.2 Ročna kontrola dimenzioniranja stebra S1



Steber S1 in S2 sva dimenzionirala s tabelami za enosni upogib (Kot primeri v PDMMS – Rogač, Saje...).

Preglednica 21: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stebra S1 pri računu po EC2

Table 21: Summary of results, manual analyzing of column S1 analyzed by EC2

b=	80 cm	(za C 30)			
h=	60 cm	$f_{cd} =$	2,00 kN/cm ²		
d=	54 cm	$f_{ck} =$	30 MPa		
$f_{yd} =$	34,78 kN/cm ²	$\alpha f_{cd} =$	1,70 kN/cm ²		
$k_x =$	1,06	$\tau_{Rd} =$	0,034 kN/cm ²		
$k_y =$	1,00				

STEBER S1 SMER Y V OKVIRJU H3					
	x (m)	0,00	3,20	6,4 - sp.	6,4 - zg.
UPOGIB EC2	N (kN)	-5.790,56	-5.186,44	-5.134,60	-2.418,12
	M (kNm)	-6,36	-3,68	11,04	-82,57
	n_u	-0,710	-0,636	-0,629	-0,296
	m_u	-0,001	-0,001	0,002	-0,017
	μ_o	0,05	0,05	0,05	0,05
	μ	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
	$A_s = A_s'$ (cm ²)	5,87	5,87	5,87	5,87

STRIG (ENV 1992-1-1: 1991)	V (kN)	49,14	49,34	49,34	52,22
	ρ_l	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	V_{Rd1} (kN)	977,01	895,46	888,46	521,73
	V_{wd} (kN)	0,00	0,00	0,00	0,00
	$A_{s,w}$ (cm ² /m ¹)	0,00	0,00	0,00	0,00

STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	V (kN)	49,14	49,34	49,34	52,22
	$C_{Rd,c}$	0,12	0,12	0,12	0,12
	k	1,61	1,61	1,61	1,61
	ρ_l	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	v_{min}	0,39	0,39	0,39	0,39
	V_{Rdc} (kN)	133,17	133,17	133,17	133,17
	$V_{Rdc,min}$ (kN)	168,96	168,96	168,96	168,96
	$V_{Rdc,mer}$ (kN)	168,96	168,96	168,96	168,96
	$A_{s,w}$ (cm ² /m ¹)	0,00	0,00	0,00	0,00

Preglednica 21: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stebra S1 pri računu po EC2 (se nadaljuje)

Table 21: Summary of results, manual analyzing of column S1 analyzed by EC2 (it continues)

TORZIJA (ENV 1992-1-1: 1991)	T (kNm)	2,69	-4,10	-4,10	3,88
	t (cm)	17,14	17,14	17,14	17,14
	a _k (cm)	62,86	62,86	62,86	62,86
	b _k (cm)	42,86	42,86	42,86	42,86
	U _k (cm)	211,43	211,43	211,43	211,43
	A _k (cm ²)	2.693,88	2.693,88	2.693,88	2.693,88
	v	0,385	0,385	0,385	0,385
	T _{Rdl} (kNm)	355,59	355,59	355,59	355,59
	A _{s,w} (cm ² /m ¹)	0,14	0,22	0,22	0,21
	A _{s,l} (cm ²)	0,30	0,46	0,46	0,44

STEBER S1 SMER X V OKVIRJU H3					
	x (m)	0,00	3,20	6,4 - sp.	6,4 - zg.
UPOGIB EC2	N (kN)	-5.790,56	-5.186,44	-5.134,60	-2.418,12
	M (kNm)	-1,05	-1,59	1,83	-442,88
	n _u	-0,710	-0,636	-0,629	-0,296
	m _u	0,000	0,000	0,000	-0,068
	μ _o	0,05	0,05	0,05	0,05
	μ	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
	±A _s (cm ²)	5,87	5,87	5,87	5,87

STRIG (ENV 1992-1-1: 1991)	V (kN)	267,92	286,09	286,09	273,39
	ρ _l	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	V _{Rdl} (kN)	965,96	884,40	877,40	510,68
	V _{wd} (kN)	0,00	0,00	0,00	0,00
	A _{s,w} (cm ² /m ¹)	0,00	0,00	0,00	0,00

Preglednica 21: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stebra S1 pri računu po EC2 (se nadaljuje)

Table 21: Summary of results, manual analyzing of column S1 analyzed by EC2 (it continues)

STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	V (kN)	267,92	286,09	286,09	273,39
	$C_{Rd,c}$	0,12	0,12	0,12	0,12
	k	1,53	1,53	1,53	1,53
	ρ_l	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	v_{min}	0,36	0,36	0,36	0,36
	V_{Rdc} (kN)	126,42	126,42	126,42	126,42
	$V_{Rdc,min}$ (kN)	156,28	156,28	156,28	156,28
	$V_{Rdc,mer}$ (kN)	156,28	156,28	156,28	156,28
	$A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	5,94	6,35	6,35	6,07

TORZIJA (ENV 1992-1-1: 1991)	T (kNm)	2,69	-4,10	-4,10	3,88
	t (cm)	17,14	17,14	17,14	17,14
	a_k (cm)	62,86	62,86	62,86	62,86
	b_k (cm)	62,86	62,86	62,86	62,86
	U_k (cm)	251,43	251,43	251,43	251,43
	A_k (cm^2)	3.951,02	3.951,02	3.951,02	3.951,02
	v	0,385	0,385	0,385	0,385
	T_{Rdl} (kNm)	521,53	521,53	521,53	521,53
	$A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	0,10	0,15	0,15	0,14
	$A_{s,l}$ (cm^2)	0,25	0,38	0,38	0,35

x	0,00 m	ROČNO	TOWER5
$\pm A_z$	(cm^2)	5,95	0,06
$\pm A_y$	(cm^2)	5,94	0,08
$A_{s,w}$	(cm^2/m^1) $m=2$	0,14	0,11

Preglednica 22: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stebra S2 pri računu po EC2

Table 22: Summary of results, manual analyzing of column S2 analyzed by EC2

b=	80 cm	(za C 30)		
h=	60 cm		$f_{cd}=$	2,00 kN/cm ²
d=	54 cm		$f_{ck}=$	30 MPa
$f_{yd}=$	34,78 kN/cm ²		$\alpha f_{cd}=$	1,70 kN/cm ²
kx=	1,06		$\tau_{Rd}=$	0,034 kN/cm ²
ky=	1,00			

STEBER S2 SMER Y V OKVIRJU H3						
	x	(m)	0,00	3,20	6,4 - sp.	6,4 - zg.
UPOGIB EC2	N	(kN)	-1.280,91	-3.866,80	-3.814,96	-1.800,11
	M	(kNm)	556,99	-130,69	139,75	-3,79
	n_u		-0,157	-0,474	-0,468	-0,221
	m_u		0,114	-0,027	0,029	-0,001
	μ_o		0,10	0,05	0,05	0,05
	μ		0,0024	0,0012	0,0012	0,0012
	$\pm A_s$	(cm ²)	11,73	5,87	5,87	5,87
STRIG (ENV 1992-1-1: 1991)	V	(kN)	14,27	66,34	66,34	5,75
	ρ_l		0,0027	0,0014	0,0014	0,0014
	V_{Rd1}	(kN)	376,67	717,30	710,31	438,30
	V_{wd}	(kN)	0,00	0,00	0,00	0,00
	$A_{s,w}$	(cm ² /m ¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	V	(kN)	14,27	66,34	66,34	5,75
	$C_{Rd,c}$		0,12	0,12	0,12	0,12
	k		1,61	1,61	1,61	1,61
	ρ_l		0,0027	0,0014	0,0014	0,0014
	v_{min}		0,39	0,39	0,39	0,39
	V_{Rdc}	(kN)	167,79	133,17	133,17	133,17
	$V_{Rdc,min}$	(kN)	168,96	168,96	168,96	168,96
	$V_{Rdc,mer}$	(kN)	168,96	168,96	168,96	168,96
	$A_{s,w}$	(cm ² /m ¹)	0,00	0,00	0,00	0,00

Preglednica 22: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stebra S2 pri računu po EC2 (se nadaljuje)

Table 22: Summary of results, manual analyzing of column S2 analyzed by EC2 (it continues)

TORZIJA (ENV 1992-1-1: 1991)	T	(kNm)	-2,68	4,17	4,17	-3,87
	t	(cm)	17,14	17,14	17,14	17,14
	a _k	(cm)	62,86	62,86	62,86	62,86
	b _k	(cm)	42,86	42,86	42,86	42,86
	U _k	(cm)	211,43	211,43	211,43	211,43
	A _k	(cm ²)	2.693,88	2.693,88	2.693,88	2.693,88
	v		0,385	0,385	0,385	0,385
	T _{Rd1}	(kNm)	355,59	355,59	355,59	355,59
	A _{s,w}	(cm ² /m ¹)	0,14	0,22	0,22	0,21
	A _{s,l}	(cm ²)	0,30	0,47	0,47	0,44

		STEBER S2 SMER X V OKVIRJU H3				
	x	(m)	0,00	3,20	6,4 - sp.	6,4 - zg.
UPOGIB EC2	N	(kN)	-1.280,91	-3.866,80	-3.814,96	-1.800,11
	M	(kNm)	71,84	-1,17	1,43	410,22
	n _u		-0,157	-0,474	-0,468	-0,221
	m _u		0,011	0,000	0,000	0,063
	μ _o		0,05	0,05	0,05	0,05
	μ		0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
	±A _s	(cm ²)	5,87	5,87	5,87	5,87

STRIG (ENV 1992-1-1: 1991)	V	(kN)	257,66	272,08	272,08	-257,43
	ρ _l		0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	V _{Rd1}	(kN)	357,16	706,25	699,25	427,25
	V _{wd}	(kN)	0,00	0,00	0,00	0,00
	A _{s,w}	(cm ² /m ¹)	0,00	0,00	0,00	0,00

Preglednica 22: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stebra S2 pri računu po EC2 (se nadaljuje)

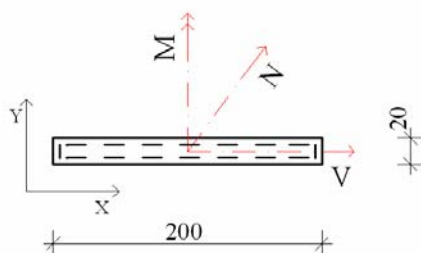
Table 22: Summary of results, manual analyzing of column S2 analyzed by EC2 (it continues)

STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	V (kN)	257,66	272,08	272,08	-257,43
	$C_{Rd,c}$	0,12	0,12	0,12	0,12
	k	1,53	1,53	1,53	1,53
	ρ_l	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	v_{min}	0,36	0,36	0,36	0,36
	V_{Rdc} (kN)	126,42	126,42	126,42	126,42
	$V_{Rdc,min}$ (kN)	156,28	156,28	156,28	156,28
	$V_{Rdc,mer}$ (kN)	156,28	156,28	156,28	156,28
	$A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	5,72	6,04	6,04	0,00

TORZIJA (ENV 1992-1-1: 1991)	T (kNm)	-2,68	4,17	4,17	-3,87
	t (cm)	17,14	17,14	17,14	17,14
	a_k (cm)	62,86	62,86	62,86	62,86
	b_k (cm)	62,86	62,86	62,86	62,86
	U_k (cm)	251,43	251,43	251,43	251,43
	A_k (cm^2)	3.951,02	3.951,02	3.951,02	3.951,02
	v	0,385	0,385	0,385	0,385
	T_{Rd1} (kNm)	521,53	521,53	521,53	521,53
	$A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	0,10	0,15	0,15	0,14
	$A_{s,l}$ (cm^2)	0,25	0,38	0,38	0,35

x	0,00 m	ROČNO	TOWER5
$\pm A_z$	(cm^2)	11,82	5,67
$\pm A_v$	(cm^2)	5,94	0,08
$A_{s,w}$ (cm^2/m^1) $m=2$		0,14	0,11

6.1.3 Ročna kontrola dimenzioniranja stene



Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.

Dipl. nal. – VSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

Preglednica 23: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stene ST2 pri računu po EC2

Table 23: Summary of results, manual analyzing of wall ST2 analyzed by EC2

b=	20 cm	(za C 30)		
h=	200 cm		$f_{cd}= 2,00 \text{ kN/cm}^2$	
d=	180 cm		$f_{ck}= 30 \text{ MPa}$	
$f_{yd}=$	$34,78 \text{ kN/cm}^2$		$\alpha f_{cd}= 1,70 \text{ kN/cm}^2$	
k=	1		$\tau_{Rd}= 0,034 \text{ kN/cm}^2$	

		STENA ST2 V OKVIRJU H1									
h (m)		1,00	4,20	7,40	10,60	13,80	17,00	20,20	23,40	26,60	29,80
UPOGIB EC2	N (kN)	-2.270,03	-2.040,72	-1.828,61	-1.593,66	-1.301,61	-1.124,46	-914,72	-670,69	-416,24	-172,96
	M (kNm)	12,33	32,75	30,98	25,54	18,13	17,21	15,32	21,06	24,58	22,03
	n_u	-0,334	-0,300	-0,269	-0,234	-0,191	-0,165	-0,135	-0,099	-0,061	-0,025
	m_u	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
	μ_o	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	μ	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
	$\pm A_{s,v}$ (cm ²)	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89
STRIG (ENV 1992-1-1: 1991)	V (kN)	424,19	403,30	422,90	440,70	394,84	391,25	368,43	320,49	264,26	199,31
	ρ_l	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	V_{Rd1} (kN)	459,98	429,02	400,39	368,67	329,24	305,33	277,01	244,07	209,72	176,88
	V_{wd} (kN)	0,00	0,00	22,51	72,03	65,60	85,92	91,42	76,42	54,54	22,43
	$A_{s,w}$ cm ² /m ¹)	0,00	0,00	0,20	0,64	0,58	0,76	0,81	0,68	0,48	0,20

Preglednica 23: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stene ST2 pri računu po EC2 (se nadaljuje)**Table 23: Summary of results, manual analyzing of wall ST2 analyzed by EC2 (it continues)**

STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	V (kN)	424,19	403,30	422,90	440,70	394,84	391,25	368,43	320,49	264,26	199,31
	$C_{Rd,c}$	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	k	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	ρ_l	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	v_{min}	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	V_{Rdc} (kN)	122,63	119,54	116,68	113,50	109,56	107,17	104,34	101,04	97,61	94,32
	$V_{Rdc,min}$ (kN)	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25
	$V_{Rdc,mer}$ (kN)	122,63	119,54	116,68	113,50	109,56	107,17	106,25	106,25	106,25	106,25
	$A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	3,76	3,58	3,75	3,91	3,50	3,47	3,27	2,84	2,35	1,77
ROČNO	$\pm A_{s,v}$ (cm^2)	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89
	$\pm A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	3,76	3,58	3,75	3,91	3,50	3,47	3,27	2,84	2,35	1,77
TOWER	$\pm A_{s,v}$ (cm^2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$\pm A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	3,35	3,19	3,34	3,48	3,12	3,09	2,91	2,53	2,09	1,58

7 KONTROLA POTRESNIH ZAHTEV PRI RAČUNU PO EC 8

V tem razdelku sva za nekaj glavnih konstrukcijskih elementov izvedla kontrole, katere je potrebno izvesti za elemente konstrukcije v smislu projektiranja seizmično odpornih konstrukcij. Za kontrolo posebnih potresnih zahtev sva uporabila predstandard ENV 1998-1-3: 1994. Pri poteku kontrol potresnih zahtev sva se opirala na točke diagrama toka za uporabo razdelka 2 "Posebna pravila za betonske zgradbe", ki je podan v informativnem dodatku A. Diagrami toka podajajo niz korakov praktičnega projektiranja, ter kažejo merodajne točke za projektiranje zgradbe izbranega tipa konstrukcije in stopnje duktilnosti.

7.1 Kontrola potresnih zahtev za gredo

Skelet okvir H3, greda G1 x= 0,0m, razred duktilnosti DC "M"

Material: beton C 30/37, rebrasta armatura S 400

$b_w = 50 \text{ cm}$

$h_w = 60 \text{ cm}$

- Minimalna armatura pri računu po EC2 (prEN 1992-1-1:2002):

- minimalna vzdolžna natezna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm} / f_{yk}) \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot (0,29 \text{ kN/cm}^2 / 40 \text{ kN/cm}^2) \cdot 50 \text{ cm} \cdot 55 \text{ cm} = 5,18 \text{ cm}^2, \text{ oziroma}$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 50 \text{ cm} \cdot 55 \text{ cm} = 3,58 \text{ cm}^2$$

- minimalna stremenska armatura:

maksimalna razdalja med stremeni

$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 55 \text{ cm} = 41,25 \text{ cm}$$

izbrana dvostrizna stremena (m=2): $\phi 8$ $A_{s,w} = 1,00 \text{ cm}^2$

$$\rho_{w,min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} = (0,08 \cdot \sqrt{30}) / 400 = 0,0011$$

$$s_{max} < A_{s,w} / \rho_{w,min} \cdot b_w = 1,00 \text{ cm}^2 / 0,0011 \cdot 50 \text{ cm} = 18,1 \text{ cm}$$

Zgornja armatura: $A_{ra\check{c}}^- = 37,75 \text{ cm}^2$; izbrana: $10\phi 22$ $A_{dej}^- = 38,01 \text{ cm}^2$

Spodnja armatura: $A_{ra\check{c}}^+ = 25,52 \text{ cm}^2$; izbrana: $7\phi 22$ $A_{dej}^+ = 26,60 \text{ cm}^2$

Stremena: $A_{ra\check{c}} = 7,19 \text{ cm}^2/\text{m}^1$ (m=2); izbrana: $\phi 8/12 \text{ cm}$ $A_{dej} = 8,33 \text{ cm}^2/\text{m}^1$ (m=2)

• **Kontrole grede pri računu po EC8**

-geometrijske omejitve:

razmak težiščnih osi steber-greda $e < b_c / 4$ ($0\text{cm} < 80\text{ cm} / 4 = 20\text{cm}$ – ustreza)

$b_w > 20\text{cm}$; ($b_w = 50\text{ cm}$ – ustreza)

$b_w / h_w > 0,25$; ($50\text{cm} / 60\text{cm} = 0,83$ – ustreza)

$1/4$ zgornje armature nad podporami postaviti po celi dolžini grede.

$A_{dej}^- / 4 = 38,01\text{cm}^2 / 4 = 9,50\text{ cm}^2$; izbrana: $3\phi 22$ $A_{dej}^- = 11,40\text{cm}^2$

-min / max armatura:

L_{cr} kritično območje

$L_{cr} = 1,5 \cdot h_w = 1,5 \cdot 60\text{cm} = 90\text{cm}$

$d_{bw} > 6\text{mm}$ (izbrana stremena $\phi 8$)

$s = \min (h_w / 4; 24 \cdot d_{bw}; 200\text{mm}; 7 \cdot d_{bL}) = \min (15\text{ cm}; 19,2\text{cm}; 20\text{cm}; 15,4\text{cm}) = 15\text{cm}$

Zunanje vozlišče greda-steber :

$d_{bL} / h_c < (7,5 \cdot f_{ctm} / \gamma_{Rd} \cdot f_{yd}) \cdot (1 + 0,8 \cdot v_d)$

$\gamma_{Rd} = 1,15$ za DC "M"

$v_d = N_{sd} / f_{cd} \cdot A_c = 3,5\text{ kN} / 2\text{ kN/cm}^2 \cdot 3.000,0\text{ cm}^2 = 0,000583$

$2,2\text{ cm} / 60\text{ cm} = 0,036$

$(7,5 \cdot 0,29\text{ kN/cm}^2 / 1,15 \cdot 34,78\text{ kN/cm}^2) \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,000583) = 0,054$

$0,036 < 0,054$ (ustreza)

širina grede na ne bo večja od :

$\min (b_c + h_w; 2 \cdot b_c) = \min (80\text{ cm} + 60\text{ cm}; 2 \cdot 80\text{ cm}) = 140\text{ cm} > 50\text{ cm} = b_w$

koeficient minimalne natezne armature ρ_{min} :

$\rho_{min} = 0,5 \cdot (f_{ctm} / f_{yk}) = 0,5 \cdot (0,29\text{ kN/cm}^2 / 40\text{ kN/cm}^2) = 0,0036 = 0,36\% < 0,89\%$

koeficient maksimalne natezne armature ρ_{max} :

$\rho_{max} = 0,65 \cdot f_{cd} / f_{yd} \cdot \rho' / \rho + 0,0015$

$\rho_{max} = 0,65 \cdot 2\text{ kN/cm}^2 / 34,78\text{ kN/cm}^2 \cdot 0,0152 / 0,0177 + 0,0015 = 0,0336 > 0,0127$

$\rho_{max} = 3,36\%$

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.
Dipl. nal. – VSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

$$\rho' = A_{\text{dej}}^+ / b_w \cdot h_w = 26,60 \text{ cm}^2 / 50 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm} = 0,0152 = 0,89\%$$

$$\rho = A_{\text{dej}}^- / b_w \cdot h_w = 38,01 \text{ cm}^2 / 50 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm} = 0,0177 = 1,27\%$$

Minimalno 2 $\phi 14$ S400 postaviti na zgornji in spodnji strani po celi dolžini grede.

Sidranje vzdolžne armature :

Zunanje vozlišče greda-steber :

$$d_{bL} < 6,5 \cdot (f_{ctm} / f_{yd}) \cdot (1 + 0,8 \cdot v_d) \cdot h_c$$

$$6,5 \cdot (0,29 \text{ kN/cm}^2 / 34,78 \text{ kN/cm}^2) \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,000583) \cdot 60 \text{ cm} = 3,25 \text{ cm}$$

$$d_{bL} = 2,2 \text{ cm} < 3,25 \text{ cm} \quad (\text{ustreza})$$

Maksimalni dovoljeni razmak med stremeni pri preklapljanju vzdolžne armature grede :

$$s = \min (h/4 ; 100 \text{ mm}) = (50 \text{ cm}/4 ; 10 \text{ cm}) = 10 \text{ cm}$$

Armatura, večja od polovice, ali enaka polovici dejansko izbrane površine natezne armature se postavi v tlačno cono kot dodatek računsko potrebni tlačni armaturi.

$$\text{Izbrana zgornja armatura : } 10\phi 22 \text{ } A_{\text{dej}}^- = 38,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Izbrana spodnja armatura : } 7\phi 22 \text{ } A_{\text{dej}}^+ = 26,60 \text{ cm}^2$$

Z zgornjo in spodnjo izbrano armaturo sva temu pogoju zadostila.

Strižna nosilnost

Na delu $l_{cr} = 90 \text{ cm}$ (kritično območje ob stebru) :

$$V_{cd} = V_{Rd1} = 0 \text{ kN}$$

$$\zeta = V_{Smin} / V_{Smax} = 78,96 \text{ kN} / -230,91 \text{ kN} = -0,342$$

$\zeta = -0,342 > -0,5$, sledi :

STRIG (ENV 1992-1-1: 1991)	V (kN)	230,93
	ρ_l	0,0093
	V_{Rd1} (kN)	0,00
	V_{wd} (kN)	230,93
	$A_{s,w}$ (cm^2/m^1) $m=2$	13,66

STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	V (kN)	230,93
	$C_{Rd,c}$	0,12
	k	1,61
	ρ_l	0,0093
	v_{min}	0,39
	V_{Rdc} (kN)	157,94
	$V_{Rdc,min}$ (kN)	105,60
	$V_{Rdc,mer}$ (kN)	157,94
	$A_{s,w}$ (cm^2/m^1) m=2	13,66

Izbrana stremenska armatura v kritičnem območju $l_{cr} = 90$ cm :

$$\phi 8/7cm \ A_{dej} = 14,29 \text{ cm}^2/m^1 \ (m=2)$$

Strig pri računu po (prEN 1992-1-1: 2002) :

Zahteva stremensko armaturo $\phi 8/7cm \ A_{dej} = 14,29 \text{ cm}^2/m^1 \ (m=2)$, dokler vrednost prečne sile ni manjša od $V_{Rd,c} = 157,94$ kN.

7.2 Kontrola potresnih zahtev za steber

Skelet okvir H3, Steber S1 $x = 6,40m$ - spodaj, razred duktilnosti DC "M"

Material: beton C 30/37, rebrasta armatura S 400

Steber dimenzij:

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

$$b = 60 \text{ cm.}$$

- Minimalna armatura pri računu po EC2

-minimalna vzdolžna armatura:

$$A_c = 80 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm} = 4.800 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 4.800 \text{ cm}^2 = 14,4 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot N_{Ed} / f_{yd} = 0,15 \cdot 3.153,33 \text{ kN} / 34,8 \text{ kN/cm}^2 = 13,6 \text{ cm}^2$$

Izbrana minimalna vzdolžna armatura je $14\phi 12$, $A_{dej} = 15,82 \text{ cm}^2$

-minimalna stremenska armatura:

$$d_{\min} \geq \max (6 \text{ mm}, 0,25 \cdot d_{bL}) = \max (6 \text{ mm}, 5 \text{ mm}) = 6 \text{ mm}$$

$$s_{cl,tmax} = \min (12 \cdot d_{bL}, \min(b, h), 300 \text{ mm}) = \min (24,0 \text{ cm}, 60 \text{ cm}, 30 \text{ cm}) = 24,0 \text{ cm}$$

smer X: izbrana navpična 2 x dvostrizna stremena (m=4): $\phi 8 A_{sw} = 2,00 \text{ cm}^2$

$$\rho_{w,\min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} = (0,08 \cdot \sqrt{30}) / 400 = 0,0011$$

$$s_{\max} < A_{s,w} / \rho_{w,\min} \cdot b_w = 2,00 \text{ cm}^2 / 0,0011 \cdot 80 \text{ cm} = 22,7 \text{ cm}$$

smer Y: izbrana 2 x dvostrizna stremena (m=4): $\phi 8 A_{sw} = 2,00 \text{ cm}^2$

$$s_{\max} < A_{s,w} / \rho_{w,\min} \cdot b_w = 2,00 \text{ cm}^2 / 0,0011 \cdot 60 \text{ cm} = 30,4 \text{ cm}$$

- izbrana minimalna vzdolžna armatura za upogib v smeri X:

Zgornja armatura: izbrana: $5\phi 12 A_{dej}^- = 5,65 \text{ cm}^2$

Spodnja armatura: izbrana: $5\phi 12 A_{dej}^+ = 5,65 \text{ cm}^2$

- izbrana minimalna vzdolžna armatura za upogib v smeri Y:

Zgornja armatura: izbrana: $4\phi 12 A_{dej}^- = 4,52 \text{ cm}^2$

Spodnja armatura: izbrana: $4\phi 12 A_{dej}^+ = 4,52 \text{ cm}^2$

- izbrana minimalna stremenska armatura 2x dvostrizno streme $\phi 8/20 \text{ cm}$

$$A_{dej} = 10,00 \text{ cm}^2/\text{m}^1 (m=4)$$

- **Kontrole stebra pri računu po EC8**

Upogibni momenti

Za stebre izbranega razreda duktilnosti DC "M" je potrebno računске vrednosti upogibnih momentov izračunati v skladu s kriterijem metode programiranega obnašanja (*ang. capacity design*), z analiziranjem ravnotežja vozlišča greda-steber, ki je pod vplivom najbolj neugodne kombinacije momentov nosilnosti prečnih prerezov na koncih obeh sosednjih gred, za pozitivno in negativno smer delovanja seizmičnih vplivov (smer 1 in smer 2).

Smer X:

$$M_{ARd1} = A_{dej}^- \cdot d \cdot f_{yd} = 38,01 \text{ cm}^2 \cdot 51,2 \text{ cm} \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 = 67.724,7 \text{ kNcm} = 677 \text{ kNm}$$

$$M_{BRd1} = A_{dej}^+ \cdot d \cdot f_{yd} = 26,60 \text{ cm}^2 \cdot 51,9 \text{ cm} \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 = 48.042,8 \text{ kNcm} = 480 \text{ kNm}$$

Smer 1:

$$M_{CSd1} = 442,27 \text{ kNm}$$

$$M_{DSd1} = -454,46 \text{ kNm}$$

Smer 2:

$$M_{CSd2} = -444,12 \text{ kNm}$$

$$M_{DSd2} = 455,80 \text{ kNm}$$

$$\gamma_{Rd} = 1,20 \text{ za DC "M"}$$

Smer 1:

$$\alpha_{CD,1} = \gamma_{Rd} (M_{ARd1} + M_{BRd1}) / |M_{CSd1} - M_{DSd1}|$$

$$\alpha_{CD,1} = 1,20 (677 \text{ kNm} + 480 \text{ kNm}) / |442,27 \text{ kNm} + 454,46 \text{ kNm}| = 1,55$$

Smer 2:

$$\alpha_{CD,2} = \gamma_{Rd} (M_{ARd2} + M_{BRd2}) / |M_{CSd2} - M_{DSd2}|$$

$$\alpha_{CD,2} = 1,20 (480 \text{ kNm} + 677 \text{ kNm}) / |-444,12 \text{ kNm} - 455,80 \text{ kNm}| = 1,54$$

Računski momenti, ki delujejo na stebre, korigirani v skladu z metodo programiranega obnašanja so:

Smer 1:

$$M_{SD1,CD} = \alpha_{CD,1} \cdot M_{SD1} = 1,55 \cdot -454,46 \text{ kNm} = -704,4 \text{ kNm}$$

Smer 2:

$$M_{SD2,CD} = \alpha_{CD,2} \cdot M_{SD2} = 1,54 \cdot 455,80 \text{ kNm} = 701,9 \text{ kNm}$$

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.
Dipl. nal. – VSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

Zaradi dimenzioniranja ločeno za vsako smer posebej, se skladno z EC8 reducira upogibna nosilnost stebra v obeh smereh:

$$M_{SDi,CD} \leq 0,7 \cdot M_{Rdi}, i, \dots, i\text{-ta smer.}$$

Zato je merodajni moment:

$$M_{SD2,CD}' = M_{SD2,CD} / 0,7 = 704,4 \text{ kNm} / 0,7 = 1.006,3 \text{ kNm}$$

Merodajne notranje sile za dimenzioniranje stebra po metodi programiranega obnašanja so:

$$M_{SD,CD} = -1.006,3 \text{ kNm}$$

$$N_{Sd} = 2.418,0 \text{ kN}$$

b=	80 cm	(za C 30)
h=	60 cm	$f_{cd} = 2,00 \text{ kN/cm}^2$
d=	54 cm	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
$f_{yd} =$	34,78 kN/cm^2	$\alpha f_{cd} = 1,70 \text{ kN/cm}^2$
k=	1,00	$\tau_{Rd} = 0,034 \text{ kN/cm}^2$

STEBER S1 SMER X V OKVIRJU H3		
	x (m)	6,40
UPOGIB EC2	N_{Sd} (kN)	-2.418,00
	$M_{SD,CD}$	1.006,30
	n_u	-0,296
	m_u	0,254
	μ_o	0,38
	μ	0,0092
	$\pm A_{s,v}$ (cm^2)	43,99

Smer Y:

$$M_{ARd1} = A_{dej}^- \cdot d \cdot f_{yd} = 38,01 \text{ cm}^2 \cdot 51,2 \text{ cm} \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 = 67.724,7 \text{ kNcm} = 677 \text{ kNm}$$

$$M_{BRd1} = A_{dej}^+ \cdot d \cdot f_{yd} = 26,60 \text{ cm}^2 \cdot 51,9 \text{ cm} \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 = 48.042,8 \text{ kNcm} = 480 \text{ kNm}$$

Smer 1:

$$M_{CSd1} = 553,48 \text{ kNm}$$

$$M_{DSd1} = -553,70 \text{ kNm}$$

Smer 2:

$$M_{CSd2} = -554,78 \text{ kNm}$$

$$M_{DSd2} = 556,24 \text{ kNm}$$

$$\gamma_{Rd} = 1,20 \text{ za DC "M"}$$

Smer 1:

$$\alpha_{CD,1} = \gamma_{Rd} (M_{ARd1} + M_{BRd1}) / |M_{CSd1} - M_{DSd1}|$$

$$\alpha_{CD,1} = 1,20 (677 \text{ kNm} + 480 \text{ kNm}) / |553,48 \text{ kNm} + 553,70 \text{ kNm}| = 1,25$$

Smer 2:

$$\alpha_{CD,2} = \gamma_{Rd} (M_{ARd2} + M_{BRd2}) / |M_{CSd2} - M_{DSd2}|$$

$$\alpha_{CD,2} = 1,20 (480 \text{ kNm} + 677 \text{ kNm}) / |-554,78 \text{ kNm} - 556,24 \text{ kNm}| = 1,25$$

Računski momenti, ki delujejo na stebre, korigirani v skladu z metodo programiranega obnašanja so:

Smer 1:

$$M_{SD1,CD} = \alpha_{CD,1} \cdot M_{Sd1} = 1,25 \cdot -553,70 \text{ kNm} = -692,0 \text{ kNm}$$

Smer 2:

$$M_{SD2,CD} = \alpha_{CD,2} \cdot M_{Sd2} = 1,25 \cdot 556,24 \text{ kNm} = 695,0 \text{ kNm}$$

Merodajne notranje sile za dimenzioniranje stebra po metodi programiranega obnašanja so:

$$M_{SD,CD} = 695,0 \text{ kNm}$$

$$N_{Sd} = 2.418,0 \text{ kN}$$

$$M_{SDy,CD} \leq 0,7 \cdot M_{Rdy}$$

Zato je merodajni moment:

$$M_{SD1,CD}' = M_{SD1,CD} / 0,7 = 695,0 \text{ kNm} / 0,7 = 993,0 \text{ kNm}$$

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.

Dipl. nal. – VSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

b=	60 cm	(za C 30)
h=	80 cm	$f_{cd}= 2,00 \text{ kN/cm}^2$
d=	72 cm	$f_{ck}= 30 \text{ MPa}$
$f_{yd}=$	34,78 kN/cm^2	$\alpha f_{cd}= 1,70 \text{ kN/cm}^2$
k=	1,00	$\tau_{Rd}= 0,034 \text{ kN/cm}^2$

STEBER S1 SMER Y V OKVIRJU H3		
	x (m)	6,40
UPOGIB EC2	N_{Sd} (kN)	-2.418,00
	$M_{SD,CD}$	993,00
	nu	-0,296
	m_u	0,188
	μ_o	0,23
	μ	0,0055
	$\pm A_{s,v}$ (cm^2)	26,39

-izbrana vzdolžna armatura smer X:

$$A_s = A_s' = 43,99 \text{ cm}^2$$

Izbrana vzdolžna armatura: 8 ϕ 28 $A_{dej} = 49,26 \text{ cm}^2$

-izbrana vzdolžna armatura smer Y:

$$A_s = A_s' = 26,39 \text{ cm}^2$$

Izbrana vzdolžna armatura: 7 ϕ 28 $A_{dej} = 43,10 \text{ cm}^2$

- Simetrične prečne prereze v kritičnih conah je potrebno simetrično armirati. ($\rho = \rho'$)
- V kritičnih delih je potrebno vgraditi vsaj eno sredinsko palico med vogalnimi palicami stebra na vsaki strani stebra, da se izboljša delovanje vozlišča greda-steber.

Prečne sile

Za stebre izbranega razreda duktilnosti DC "M" je potrebno računске vrednosti delujočih prečnih sil izračunati v skladu s kriterijem metode programiranega obnašanja (*ang. capacity design*), z analiziranjem ravnotežja stebra, ki je pod vplivom dejanskih momentov nosilnosti v končnih prečnih prerezih stebra po izrazu:

$$V_{Sd,CD} = \gamma_n \cdot (M_{DRd} + M_{CRd} / l_{cl})$$

$$M_{DRd} = M_{CRd} = 1.469,0 \text{ kNm} \dots \dots \dots \text{dejanska upogibna nosilnost stebra}$$

$$\gamma_n = \gamma_{Rd} = 1,20 \text{ za DC "M"}$$

$$l_{cl} = 2,60 \text{ m} - \text{svetla višina stebra}$$

$$V_{Sd,CD} = 1,2 \cdot (1.469,0 \text{ kNm} + 1.469,0 \text{ kNm} / 2,6 \text{ m}) = 1.356,0 \text{ kN}$$

b=	60 cm	(za C 30)	
h=	80 cm	$f_{cd} =$	2,00 kN/cm ²
d=	72 cm	$f_{ck} =$	30 MPa
$f_{yd} =$	34,78 kN/cm ²	$\alpha f_{cd} =$	1,70 kN/cm ²
ky=	1,00	$\tau_{Rd} =$	0,034 kN/cm ²

STEBER S1 V OKVIRJU H3		
STRIG (ENV 1992-1-1: 1991)	V (kN)	1.356,00
	ρ_l	0,0061
	V_{Rd1} (kN)	326,43
	V_{wd} (kN)	1029,57
	$A_{s,w}$ (cm ² /m ¹)	22,84

STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	V (kN)	1.356,00
	$C_{Rd,c}$	0,12
	k	1,53
	ρ_l	0,0061
	v_{min}	0,36
	V_{Rdc} (kN)	278,30
	$V_{Rdc,min}$ (kN)	208,37
	$V_{Rdc,mer}$ (kN)	278,30
	$A_{s,w}$ (cm ² /m ¹)	30,08

-izračunana potrebna stremenska armatura smer Y po ENV 1992-1-1:1991:

$$A_{s,w} = 22,84 \text{ cm}^2/\text{m}^1$$

Izbrana 2 x dvostrizna stremena (m=4) $\phi 10 / 13 \text{ cm}$ ($A_{dej} = 24,31 \text{ cm}^2/\text{m}^1$).

- geometrijske omejitve:

$$\min (b, h) \geq 25\text{cm};$$

V najnižjih dveh etažah zgradbe, se morajo stremena zgostiti ob vpetju na delu $l_{cr} + l_{cr} / 2$.

Efekt interakcije med betonskimi okvirji in zidanimi polnili je potrebno vedno upoštevati.

- omejitev osne sile v prerezu:

$$v_d \leq 0,65$$

$$v_d = N_d / (A_c \cdot f_{cd}) = 3.619,53 \text{ kN} / (4800 \text{ cm}^2 \cdot 2,0 \text{ kN/cm}^2) = 0,377$$

$$v_d = 0,377 < 0,65$$

-omejitev vzdolžne armature:

$$0,04 \geq \rho_l \geq 0,01$$

$$A_{s,\min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 4800 \text{ cm}^2 = 48 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 4800 \text{ cm}^2 = 192 \text{ cm}^2$$

-oblikovanje armature

Pri izračunu dolžine sidranja $l_{b,\text{net}}$ vzdolžnih palic stebrov, ki prispevajo upogibni nosilnosti v kritičnih delih stebrov, je potrebno pri izračunu sidrne dolžine privzeti $A_{s,\text{req}} / A_{s,\text{prov}} = 1$.

Dolžina sidranja $l_{b,\text{net}}$ palic stebra, usidranih v okvirju vozlišča greda-steber, se mora meriti od točke na razdalji enaki $k_b \cdot d_{bl}$ od roba grede.

$$k_b = 5 \text{ za DC "M"}$$

V kolikor je pri potresni obtežni kombinaciji v stebru osna sila natezna, se morajo sidrne dolžine povečati za 50%.

- podaljševanje palic:

Podaljševanje palic z varjenjem ni dovoljeno v kritičnih delih konstrukcijskih elementov.

Maksimalni dovoljeni razmak med stremeni pri preklapljanju vzdolžne armature stebra :

$$s = \min (h/4 ; 100 \text{ mm}) = (60\text{cm}/4 ; 10\text{cm}) = 10 \text{ cm}$$

Stremenska armatura na mestih preklapljanja vzdolžne armature :

$$A_{st} = s \cdot (d_{bL}/50) \cdot (f_{ydL} / f_{ywd})$$

$$A_{st} = 10 \text{ cm} \cdot (2,8 \text{ cm}/50) \cdot (34,8 \text{ kN/cm}^2 / 34,8 \text{ kN/cm}^2) = 0,56 \text{ cm}^2$$

$$\text{Izbrano 2 x dvostrizna stremena (m=4) } \phi 10/10\text{cm. (} A_{st, \text{dej.}} = 0,79 \text{ cm}^2 \text{)}$$

Deli na obeh konceh stebrov se morajo vzeti kot kritična območja. Dolžina l_{cr} je dana za vse razrede duktilnosti.

- Izračun kritične dolžine stebra l_{cr} :

$$l_{cr} = \max (1,5 \cdot d_c ; l_{cl} / 6 ; 450 \text{ mm}) = \max (1,5 \cdot 80 \text{ cm} ; 260 \text{ cm} / 6 ; 45 \text{ cm})$$

$$l_{cr} = 120 \text{ cm}$$

$$d_c = 80 \text{ cm (večja dimenzija stebra)}$$

$$l_{cr} / d_c = 120 \text{ cm} / 80 \text{ cm} = 1,5 < 3$$

Ker obravnavava steber druge etaže, se kritična dolžina poveča za 50%.

$$l_{cr} = l_{cr} + l_{cr} / 2 = 120 \text{ cm} + 60 \text{ cm} = 180 \text{ cm}$$

Iz rezultatov zgornjih enačb sledi zaključek, da se v najinem primeru, pri izbranih dimenzijah stebrov dimenzij 60/80 cm in kritični dolžini 120 cm in etažni višini 320 cm, stebri prve in druge etaže obravnavajo na celotni višini kot kritično območje.

- Stremenska armatura na kritičnih mestih

$$d_{bw} \geq 0,35 \cdot d_{bL,max} \cdot \sqrt{f_{yLd} / f_{ywd}}$$

$$1,0 \text{ cm} \geq 0,35 \cdot 2,8 \text{ cm} \cdot \sqrt{34,8 \text{ kN/cm}^2 / 34,8 \text{ kN/cm}^2} = 0,98 \text{ cm}$$

$$1,0 \text{ cm} \geq 0,98 \text{ cm (ustreza)}$$

$$s = \min (b_0/3 ; 150 \text{ mm}, 7 \cdot d_{bL}) = (48\text{cm}/3 ; 15\text{cm}, 7 \cdot 2,8 \text{ cm}) = 15 \text{ cm}$$

$$s = 15 \text{ cm}$$

Razmak med palicami vzdolžne armature, objete s stremeni, ne sme biti večji od 20 cm, čemur je zadoščeno pri minimalni in potrebni armaturi.

V primeru, da je višina polnila manjša od svetle višine stebra, je potrebno upoštevati navodila za armiranje stebrov zaradi lokalnih vplivov polnil.(glej EC8)

Gostota stremen v kritičnih območjih stebra l_{cr} , je v EC8 predpisana z mehanskim prostorninskim deležem stremen, ki se izračuna z izrazom:

$$\omega_{wd} = (V_{sw} / V_{cc}) \cdot (f_{yd} / f_{cd})$$

V_{sw} prostornina stremen, ki objemajo jedro

V_{cc} prostornina betonskega jedra znotraj stremen

f_{yd} projektna vrednost meje elastičnosti za stremena

f_{cd} projektna cilindrična trdnost betona

Zahtevani delež je odvisen od več parametrov in sicer od oblike in razporeda stremen, izbrane stopnje duktilnosti, velikosti osne sile, deformabilnosti materiala, betonskega kritja, ter se izračuna s spodnjim izrazom:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq k_o \cdot \mu_{1/r} \cdot v_d \cdot \epsilon_{sy,d} \cdot (0,35 \cdot A_c / A_o + 0,15) - 10 \cdot \epsilon_{cu}$$

in

$$\omega_{wd} \geq \omega_{wd,min} = 0,09 \text{ za DC"M"}$$

A_c površina celega betonskega prereza

$$A_c = b_c \cdot d_c = 60 \text{ cm} \cdot 80 \text{ cm} = 4.800 \text{ cm}^2$$

A_o površina objetega betonskega jedra

$$A_o = b_o \cdot d_o = 52 \text{ cm} \cdot 72 \text{ cm} = 3.744 \text{ cm}^2$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq k_o \cdot \mu_{1/r} \cdot v_d \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot (0,35 \cdot A_c / A_o + 0,15) - 10 \cdot \varepsilon_{cu}$$

α koeficient globalne učinkovitosti stremen

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,85 \cdot 0,765 = 0,65$$

- za pravokotni prečni prerez :

$$\alpha_n = 1 - \sum^n b_i^2 / 6 \cdot A_o$$

$$\alpha_n = 1 - \sum^{34} b_i^2 / 6 \cdot A_o = 1 - ((2 \cdot 3 \cdot 19,6^2 \text{ cm}^2 + 2 \cdot 3 \cdot 12,9^2 \text{ cm}^2) / (6 \cdot 3.744 \text{ cm}^2))$$

$$\alpha_n = 0,85$$

$$\alpha_s = (1 - (s / 2 \cdot b_o))^2$$

$$\alpha_s = (1 - 13 \text{ cm} / 2 \cdot 52 \text{ cm})^2$$

$$\alpha_s = 0,765$$

- Izbrana stremena 2 x dvostrizna $\phi 10/13\text{cm}$:

$$\omega_{wd} = (336,0 \text{ cm}^3 / 48.672 \text{ cm}^3) \cdot (34,8 \text{ kN/cm}^2 / 2 \text{ kN/cm}^2) = 0,12$$

$$\omega_{wd} = 0,12 > \omega_{wd, \min} = 0,09 \text{ za DC}''\text{M}''$$

Izračunani mehanski prostorninski delež stremen pri izbranih stremenih 2 x dvostrizna $\phi 10 / 13 \text{ cm}$ ustreza drugemu pogoju za razred duktilnosti DC''M''.

k_o koeficient, ki je odvisen od izbrane stopnje duktilnosti

$$k_o = 60 \text{ (za DC"M")}$$

$\mu_{1/r}$ faktor duktilnosti za ukrivljenost (CCDF), v odvisnosti od izbrane stopnje duktilnosti

$$\mu_{1/r} \geq 9 \text{ (za DC"M")}$$

$$v_d = N_d / A_c \cdot f_{cd} = 3.619,53 \text{ kN} / 4.800 \text{ cm}^2 \cdot 2,0 \text{ kN/cm}^2 = 0,377$$

Iz prvega pogoja izračunava potrebni mehanski prostorninski delež stremen :

$$\omega_{wd} \geq (k_o \cdot \mu_{1/r} \cdot v_d \cdot \epsilon_{sy,d} \cdot (0,35 \cdot A_c / A_o + 0,15) - 10 \cdot \epsilon_{cu}) / \alpha$$

$$\omega_{wd} \geq (60 \cdot 9 \cdot 0,377 \cdot 0,00165 \cdot (0,35 \cdot (4.800 \text{ cm}^2 / 3.744 \text{ cm}^2) + 0,15) - 10 \cdot 0,0035) / 0,65 = 0,255$$

$$0,120 \leq 0,255$$

Izračunani mehanski prostorninski delež stremen pri izbranih stremenih 2 x dvostrizna $\phi 10/13$ ne ustreza prvemu pogoju za razred duktilnosti DC"M".

Izbereva razdaljo med stremeni $s = 10 \text{ cm}$ in izračunava potrebni prerez stremena:

$$A_{w,potr.} / s = (\omega_{wd} \cdot A_c \cdot s \cdot f_{cd}) / (4 \cdot (b_0 + d_0) \cdot f_{yd})$$

$$A_{w,potr.} / s = (0,255 \cdot 3.744 \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ cm} \cdot 2 \text{ kN/cm}^2) / (4 \cdot (52 \text{ cm} + 72 \text{ cm}) \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2)$$

$$A_{w,potr.} / 10 \text{ cm} = 1,10 \text{ cm}^2$$

Izbereva stremena 2 x dvostrizna $\phi 12/10 \text{ cm}$. ($A_{sw,dej.} = 45,20 \text{ cm}^2$)

7.3 Kontrola potresnih zahtev za notranje vozlišče stebra S1 v X smeri

Horizontalne strižne sile, ki delujejo po obodu jedra vozlišča, moramo upoštevati iz najbolj neugodnih kombinacij seizmičnih vplivov, t.j. zahtev programiranega obnašanja (*ang. capacity design conditions*) sočelnih koncev gred in pripadajočih kompatibilnih vrednosti strižnih sil v elementih okvirja.

Horizontalna prečna sila, ki deluje na betonsko jedro vozlišča in sicer v najinem primeru obravnavano notranje vozlišče greda – steber, se izračuna po izrazu:

$$V_{jhd} = \gamma_{Rd} \cdot (2/3) \cdot (A_{S1} + A_{S2} \cdot q / 5) \cdot f_{yd} - V_c$$

$$V_{jhd} = 1,15 \cdot (2/3) \cdot (38,01 \text{ cm}^2 + 26,60 \text{ cm}^2 \cdot 3,75 / 5) \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 - 286,09 \text{ kN}$$

$$V_{jhd} = 1.261,0 \text{ kN}$$

$$\gamma_{Rd} = 1,15 \text{ za DC " M "}$$

a) za notranje vozlišče greda – steber:

$$V_{jhd} \leq 20 \cdot \tau_{Rd} \cdot b_j \cdot h_c$$

$$1.261,0 \text{ kN} \leq 20 \cdot 0,034 \text{ kN/cm}^2 \cdot 80 \text{ cm} \cdot 60 \text{ cm} = 3.264 \text{ kN} \quad \text{Ustreza!}$$

če je $b_c \geq b_w$:

$$b_j = \min \{ b_c ; (b_w + 0,5 \cdot h_c) \}$$

$$b_j = \min \{ 80 \text{ cm} ; (50 \text{ cm} + 0,5 \cdot 60 \text{ cm}) \} = 80 \text{ cm}$$

Ustrezno horizontalno in vertikalno objetje vozlišča se mora zagotoviti in sicer z omejevanem maksimalnih diagonalnih napetosti v betonu, po izrazu:

$$\max \sigma_{ct} \leq f_{ctm} / \gamma_c$$

Zgornji izraz se lahko izpolni z izpolnjevanjem naslednjih pravil:

a) potrebna horizontalna stremena se morajo vgraditi znotraj vozlišča greda-steber, tako da je:

$$A_{sh} \cdot f_{yd} / b_j \cdot h_{jw} \geq V_{jhd} / b_j \cdot h_{jc} - \lambda \cdot \sqrt{\tau_{Rd} \cdot (12 \cdot \tau_{Rd} + v_d \cdot f_{cd})}$$

$$\lambda = 1,2 \text{ za DC " M "}$$

$$A_{sh} \geq V_{jhd} / b_j \cdot h_{jc} - \lambda \cdot \sqrt{\tau_{Rd} \cdot (12 \cdot \tau_{Rd} + v_d \cdot f_{cd})} / (f_{yd} / b_j \cdot h_{jw})$$

$$A_{sh} \geq 1.261,0 \text{ kN} / 80 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm} - 1,2 \cdot \sqrt{0,034 \text{ kN/cm}^2 \cdot (12 \cdot 0,034 \text{ kN/cm}^2 + 0,25 \cdot 2 \text{ kN/cm}^2)}$$

$$/ (34,8 \text{ kN/cm}^2 / 80 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm})$$

$$A_{sh} \geq 12,0 \text{ cm}^2$$

V horizontalni smeri, v osi gred skozi vozlišče izberemo:

$$h_{jc} = 50 \text{ cm}, 2 \text{ x dvostrizna navpična stremena } \phi 8 / 10 \text{ cm. } (A_{dej.} = 12 \text{ cm}^2 / 50 \text{ cm})$$

V vertikalni smeri, v osi stebra skozi vozlišče zadostuje:

$$h_{jw} = 50 \text{ cm}, 2 \text{ x dvostrizna stremena } \phi 8 / 10 \text{ cm. } (A_{dej.} = 12 \text{ cm}^2 / 50 \text{ cm})$$

V vertikalni smeri skozi vozlišče vodimo horizontalno stremensko armaturo iz stebra 2 x dvostrizna stremena $\phi 12 / 10 \text{ cm. } (A_{dej.} = 22,60 \text{ cm}^2 / 50 \text{ cm})$

b) mora se zagotoviti potrebna vertikalna (vzdolžna) armatura stebra, ki gre skozi vozlišče, tako da je :

$A_{sv,i}$ označuje skupno ploskev prerezov srednjih palic, postavljenih na odgovarjajoči strani stebra, med vogalnimi palicami stebra, vključujoč palice, ki so del vzdolžne armature stebra.

$$A_{sv,i} \geq (2/3) \cdot A_{sh} \cdot (h_{jc} / h_{jw})$$

$$A_{sv,i} \geq (2/3) \cdot 12 \text{ cm}^2 \cdot (50 \text{ cm} / 50 \text{ cm})$$

$$A_{sv,i} \geq 8 \text{ cm}^2$$

Vzdolžna armatura stebra: $16\phi 28 A_{dej.} = 98,56 \text{ cm}^2$

$$A_{sv,i} = 98,56 \text{ cm}^2 \quad \text{Ustreza!}$$

Znotraj vozlišča greda-steber se morajo vgraditi horizontalna stremena, ki izpolnjujejo naslednje zahteve :

a) premer stremen d_{bw} ne sme biti manjši od 6 mm

b) razmak med stremeni s ne sme biti večji od :

$$s = \min \{ h_c / 2 ; 150 \text{ mm} \}$$

Najmanj ena srednja vertikalna palica (med vogalnimi palicami stebra) se mora vgraditi na vsaki strani vozlišča.

7.4 Kontrola potresnih zahtev za steno

Vitke stene so tisti, pri katerih je razmerje višine proti dolžini večje od 2.

$$H_w / l_w > 2$$

$$32,0 \text{ m} / 2,0 \text{ m} = 16$$

$$16 > 2$$

Ker obravnavana spada med vitke stene po zgornji definiciji, je potrebno zaradi netočnosti , ki se nanašajo na dejanske razporeditve momentov po višini stene zaradi potresne obtežbe, dvigniti ovojnico momentov za h_{cr} . V najinem primeru je objekt dvojno simetričen, po višini in tlorisu, zato se po standardu ovojnica momentov predpostavi kot premica.

Izrazi za oceno višine kritičnega dela h_{cr} :

$$h_{cr} = \max (l_w, H_w/6) = \max (2,0 \text{ m}, 32,0 \text{ m} / 6) = 5,3 \text{ m}$$

ali

$$h_{cr} \leq (2 \cdot l_w, 2 \cdot h_s \text{ (za } n > 7 \text{ etaž)}) \leq (2 \cdot 2,0 \text{ m}, 2 \cdot 3,0 \text{ m (za } n > 7 \text{ etaž)}) \leq 4,0 \text{ m}$$

Izbereva $h_{cr} = 4,0 \text{ m}$.

Steno armiramo v vogalih na razdalji 30 cm po celotni višini s potrebno minimalno armaturo:

$$A_{s,vmin.} = 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 200 \text{ cm} = 12 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,vmin.} > A_{s,vpotr.}$$

Izberemo 4 ϕ 14 ($A_{dej} = 6,16 \text{ cm}^2$)

S tem, ko smo armirali po celotni višini, smo zajeli dvig ovojnice momentov.

Računsko ovojnico prečnih sil po višini stene smo izračunali po izrazu:

a) v skladu z z ENV 1998-1-1: 1991

$$V_{sd} = \varepsilon \cdot V_{sd}'$$

$$\varepsilon = q \cdot \sqrt{(\gamma_{Rd} / q \cdot M_{Rd} / M_{Sd})^2 + 0,1 \cdot (S_e(T_C) / S_e(T_1))^2} \leq q$$

b) v skladu z prEN 1998-1-1: 2002.

$$V_{sd} = 1,5 \cdot V_{sd}'$$

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.

Dipl. nal. – VSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

Preglednica 24: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stene ST1 pri računu po EC8 – strig (se nadaljuje)

Table 24: Summary of results, manual analyzing of wall ST1 analyzed by EC8 – shear (it continues)

STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	h (m)	1,00	4,20	7,40	10,60	13,80	17,00	20,20	23,40	26,60	29,80
	V (kN)	374,69	309,32	289,35	260,80	238,67	236,48	197,22	155,64	105,54	52,28
	$C_{Rd,c}$	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	k	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	ρ_l	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	v_{min}	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	V_{Rdc} (kN)	95,85	96,09	115,05	112,10	108,47	106,30	103,44	100,34	97,17	94,13
	$V_{Rdc,min}$ (kN)	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25
	$V_{Rdc,mer}$ (kN)	106,25	106,25	115,05	112,10	108,47	106,30	106,25	106,25	106,25	106,25
$A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	3,33	2,74	2,57	2,31	2,12	2,10	1,75	1,38	0,00	0,00	
ROČNO	$\pm A_{s,v}$ (cm^2)	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89
	$\pm A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	3,33	2,74	2,57	2,31	2,12	2,10	1,75	1,38	0,00	0,00
TOWER	$\pm A_{s,v}$ (cm^2)	1,15	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	$\pm A_{s,w}$ (cm^2/m^1)	2,96	2,45	2,29	2,06	1,89	1,87	1,56	1,23	0,83	0,41

Povečanje ovojnice prečnih sil V_{Sd} po višini zidu za faktor ε :		$V_{Sd} = \varepsilon \cdot V_{Sd}$	
$M_{Rd} =$	398,4 kNm	$q =$	3,35
$T_C =$	0,60 s	$\gamma_{Rd} =$	1,15 za DC " M "
$T_1 =$	0,41 s		

Preglednica 24: : Izvleček rezultatov ročnega dimenzioniranja stene ST1 pri računu po EC8 – strig (se nadaljuje)**Table 24: Summary of results, manual analyzing of wall ST1 analyzed by EC8 – shear (it continues)**

	h	(m)	1,00	4,20	7,40	10,60	13,80	17,00	20,20	23,40	26,60	29,80
STRIG (ENV 1998-1-1: 1991)	ε		1,99	2,22	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35
	V_{Sd}	(kN)	745,94	686,32	969,32	873,68	799,54	792,21	660,69	521,39	353,56	175,14
	ρ_l		0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	V_{Rdl}	(kN)	0,00	0,00	384,16	354,60	318,34	296,68	268,01	237,06	205,32	174,90
	V_{wd}	(kN)	745,94	686,32	585,17	519,08	481,20	495,52	392,68	284,34	148,23	0,24
	$A_{s,w}$	(cm^2/m^1)	6,62	6,09	5,19	4,61	4,27	4,40	3,48	2,52	1,32	0,00

Povečanje ovojnice prečnih sil V_{Sd} po višini zidu za 50%:		$V_{Sd} = 1,5 \cdot V_{Sd}'$										
STRIG (prEN 1998-1-1: 2002)	V_{Sd}	(kN)	562,04	463,98	434,03	391,20	358,01	354,72	295,83	233,46	158,31	78,42
	C_{Rdc}		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	k		1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	ρ_l		0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014
	v_{min}		0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	V_{Rdc}	(kN)	95,85	96,09	115,05	112,10	108,47	106,30	103,44	100,34	97,17	94,13
	$V_{Rdc,min}$	(kN)	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25	106,25
	$V_{Rdc,mer}$	(kN)	106,25	106,25	115,05	112,10	108,47	106,30	106,25	106,25	106,25	106,25
	$A_{s,w}$	(cm^2/m^1)	4,99	4,12	3,85	3,47	3,18	3,15	2,63	2,07	1,40	0,00

Preglednica 25: Primerjave potrebne strižne armature v steni pri računu po EC 8

Table 25: Comparison of needed shear reinforcement in wall analyzed by EC 8

	h (m)	1,00	4,20	7,40	10,60	13,80	17,00	20,20	23,40	26,60	29,80
PRIMERJAVA	STRIG (ENV 1998-1-1: 1991):										
	$A_{sw} \text{ +/-}(\text{cm}^2/\text{m}^1)$	6,62	6,09	5,19	4,61	4,27	4,40	3,48	2,52	1,32	0,00
	STRIG (prEN 1998-1-1: 2002):										
	$A_{sw} \text{ +/-}(\text{cm}^2/\text{m}^1)$	4,99	4,12	3,85	3,47	3,18	3,15	2,63	2,07	1,40	0,00

Strižna armatura stene izračunana s povečanjem prečnih sil v skladu z ENV 1998-1-1: 1991 je nekaj večja od strižne armature izračunane v skladu z prEN 1998-1-1: 2002. Največje razlike so v kritičnih delih stene, v pritličju in prvi etaži, proti vrhu pa se zmanjšujejo. S povečanjem prečnih sil zajamemo možno povečanje prečnih sil po pojavu plastifikacije v osnovi zidu.

Minimalna potrebna armatura stene:

$$A_{s,vmin.} = 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 6 \text{ cm}^2 / \text{m}^1$$

$$A_{s,hmin.} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 4 \text{ cm}^2 / \text{m}^1$$

Steno armiramo ob straneh z računsko potrebno armaturo:

a) pritličje, prva, druga in tretja etaža (od h=0,0 do 12,8 m):

Izberemo Q – mrežo ± 785 ($A_{dej}=2 \times 7,85 \text{ cm}^2/ \text{m}^1$)

b) četrte, peta in šesta (od h=12,8 do 22,4 m):

Izberemo Q – mrežo ± 503 ($A_{dej}=2 \times 5,03 \text{ cm}^2/ \text{m}^1$)

c) sedma, osma in deveta etaža (od h=22,4 do 32,0 m):

Izberemo Q – mrežo ± 335 ($A_{dej}=2 \times 3,35 \text{ cm}^2/ \text{m}^1$)

Stremenska armatura vogalnih stebrov:

a) pritličje, prva, druga in tretja etaža (od $h=0,0$ do $12,8$ m):

Izberemo dvostrizna stremena $\phi 8$ ($2 \times A_{dej} = 0,50 \text{ cm}^2$)

$$s < 1,0 \text{ cm}^2 / 0,1324 \text{ cm}^2 / \text{cm} = 7,6 \text{ cm}$$

Izberemo dvostrizna stremena $\phi 8 / 7$ cm.

b) četrte, peta in šesta (od $h=12,8$ do $22,4$ m):

Izberemo dvostrizna stremena $\phi 8$ ($2 \times A_{dej} = 0,50 \text{ cm}^2$)

$$s < 1,0 \text{ cm}^2 / 0,0854 \text{ cm}^2 / \text{cm} = 10,1 \text{ cm}$$

Izberemo dvostrizna stremena $\phi 8 / 10$ cm.

c) sedma, osma in deveta etaža (od $h=22,4$ do $32,0$ m):

Izberemo dvostrizna stremena $\phi 8$ ($2 \times A_{dej} = 0,50 \text{ cm}^2$)

$$s < 1,0 \text{ cm}^2 / 0,0504 \text{ cm}^2 / \text{cm} = 19,1 \text{ cm}$$

Izberemo dvostrizna stremena $\phi 8 / 15$ cm. (Maksimalni razmak s za DC"M" je 15 cm)

Izrazi za oceno širino kritičnega dela l_{cr} :

$$l_c = \min (0,15 \cdot l_w, 1,5 \cdot b_w) = \min (0,15 \cdot 2,0 \text{ m}, 1,5 \cdot 0,2) = 0,3 \text{ m}$$

Za vogalne stebre stene veljajo zahteve in pravila za oblikovanje in konstruiranje detajlov armature stebra.

Minimalna debelina stene zaradi preprečitve bočne nestabilnosti se izračuna po sledečem izrazu:

$$b_{wo} = \min (15 \text{ cm}, q \cdot l_w / 60, h_s / 20) = \min (15 \text{ cm}, 3,38 \cdot 200 \text{ cm} / 60, 260 \text{ cm} / 20) = 11,3 \text{ cm}$$

Debelina b_w stene na dolžini natezne cone mora ustrezati naslednjim pravilom:

$$l_c = 30 \text{ cm} < \max(2 \cdot b_w, 0,2 \cdot l_w) = \max(2 \cdot 20 \text{ cm}, 0,2 \cdot 200 \text{ cm}) = 40 \text{ cm}$$

potem je:

$$b_w \geq (20 \text{ cm}, h_s / 15) = (20 \text{ cm}, 260 \text{ cm} / 15) = 20 \text{ cm} \quad \text{Ustreza!}$$

Nad kritičnim delom je potrebno na višini ene etaže armirati najmanj z eno polovico potrebne natezne armature, izračunane za kritično področje.

- Porušitev tlačne diagonale v stojini stene

$$V_{sd} \leq V_{Rd2}$$

Vrednost V_{Rd2} se izračuna po sledečem izrazu:

a) v kritični coni (prva in druga etaža):

$$V_{Rd2} = 0,4 \cdot (0,7 - f_{ck} / 200) \cdot f_{cd} \cdot b_{wo} \cdot z$$

$$V_{Rd2} = 0,4 \cdot (0,7 - 30 \text{ MPa} / 200) \cdot 2,0 \text{ kN/cm}^2 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 160 \text{ cm}$$

$$V_{Rd2} = 1.408 \text{ kN}$$

$$374,69 \text{ kN} \leq 1408 \text{ kN} \quad \text{Ustreza!}$$

b) izven kritične cone:

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot (0,7 - f_{ck} / 200) \cdot f_{cd} \cdot b_{wo} \cdot z$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot (0,7 - 30 \text{ MPa} / 200) \cdot 2,0 \text{ kN/cm}^2 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 160 \text{ cm}$$

$$V_{Rd2} = 1.760 \text{ kN}$$

$$289,35 \text{ kN} \leq 1760 \text{ kN} \quad \text{Ustreza!}$$

Porušitev natezne diagonale v stojini stene

$$V_{sd} \leq V_{Rd3}$$

Vrednost V_{Rd3} se izračuna po sledečem izrazu:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd}$$

$$\alpha_s = M_{Sd} / (V_{Sd} \cdot l_w) \quad \text{strižni koeficient}$$

$$\alpha_s = 366,82 \text{ kNm} / (374,69 \text{ kN} \cdot 2,0 \text{ m}) = 0,48$$

V kolikor je $\alpha_s \leq 1,3$ se za izračun potrebne horizontalne in vertikalne armature lahko uporabi naslednji empirični izraz:

$$V_{sd} \leq \{ \rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot (\alpha_s - 0,3) + \rho_v \cdot f_{yd,v} \cdot (1,3 - \alpha_s) \} \cdot b_{wo} \cdot z + V_{cd}$$

s pogojem da je:

$$\text{- razmerje } \rho_v \cdot f_{yd,v} / \rho_h \cdot f_{yd,h} \leq 1$$

- ko je $\alpha_s < 0,3$, se privzame $\alpha_s = 0,3$

$$\rho_h = A_{s,h} / b_w \cdot 1,0 \text{ m} = 15,7 \text{ cm} / 20 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 0,00785 > \rho_{h,min} = 0,002$$

$$\rho_v = A_{s,v} / b_w \cdot 1,0 \text{ m} = 15,7 \text{ cm} / 20 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 0,00785 > \rho_{v,min} = 0,002$$

$$V_{sd} \leq \{ 0,00785 \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 \cdot (0,48 - 0,3) + 0,00785 \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 \cdot (1,3 - 0,48) \} \cdot 15 \text{ cm} \\ \cdot 160 \text{ cm} + 0 = 655,6 \text{ kN}$$

$$374,69 \text{ kN} < 655,6 \text{ kN} \quad \text{Ustreza v kritičnem delu !}$$

$$V_{sd} \leq \{ 0,00785 \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 \cdot (0,48 - 0,3) + 0,00785 \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 \cdot (1,3 - 0,48) \} \cdot 15 \text{ cm} \\ \cdot 160 \text{ cm} + 384,16 \text{ kN} = 1.039,0 \text{ kN}$$

$$289,35 \text{ kN} < 1.039,0 \text{ kN} \quad \text{Ustreza izven kritičnega dela !}$$

- Strižna porušitev zaradi zdrsa

$$V_{sd} \leq V_{Rd,s}$$

Vrednost $V_{Rd,s}$ se izračuna po sledečem izrazu:

$$V_{Rd,s} = V_{dd} + V_{id} + V_{fd}$$

Pri tem da je:

$$V_{dd} = \min (1,3 \cdot \Sigma A_{sj} \cdot \sqrt{(f_{cd} \cdot f_{yd})} ; 0,25 \cdot f_{yd} \cdot \Sigma A_{sj})$$

$$\Sigma A_{sj} = 43,7 \text{ cm}^2$$

$$V_{dd} = \min (1,3 \cdot 43,7 \text{ cm}^2 \cdot \sqrt{(2,0 \text{ kN/cm}^2 \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2)} ; 0,25 \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 \cdot 43,7 \text{ cm}^2)$$

$$V_{dd} = \min (473,9 \text{ kN} ; 380,19 \text{ kN}) = 380,2 \text{ kN}$$

$$V_{id} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{fd} = \min (\mu_f \cdot \{ (\Sigma A_{sj} \cdot f_{yd} + N_{sd}) \cdot \xi + M_{sd} / z \}, 0,25 \cdot f_{cd} \cdot \xi \cdot l_w \cdot b_{wo})$$

$$\xi = x / l_w = 16,38 \text{ cm} / 200 \text{ cm} = 0,082 \text{ (normirana } l_w)$$

$$V_{fd} = \min (1 \cdot \{(43,7 \text{ cm}^2 \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 + 285,98 \text{ kN}) \cdot 0,082 + 36.682 \text{ kNcm} / 160 \text{ cm}\}, 0,25 \cdot 2,0 \text{ kN/cm}^2 \cdot 0,082 \cdot 200 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm})$$

$$V_{fd} = \min (1.777 \text{ kN}, 123,0 \text{ kN}) = 123,0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 380,2 \text{ kN} + 0 \text{ kN} + 123,0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 503,2 \text{ kN}$$

$$374,69 \text{ kN} < 503,2 \text{ kN} \quad \text{Ustreza!}$$

7.5 Kontrola potresnih zahtev za povezovalno gredo med stenami

- Dimenzioniranje vezne grede pri računu po EC2

Stenasto-skeletna konstrukcija, okvir H1, greda v pritličju, razred duktilnosti DC "M"

Material: beton C 30/37, rebrasta armatura S 400,

$$b_w = 20 \text{ cm}$$

$$h_w = 140 \text{ cm}$$

$$l = 200 \text{ cm}$$

Zaradi razmerja $h_w / l = 140/200 = 0,70 > 0,5$ je vezna greda po definiciji stenasti nosilec. Zato sva pri dimenzioniranju privzela statično višino grede $d = 0,5 \cdot h$.

b=	20 cm	(za C 30)
h=	140 cm	$f_{cd}= 2,00 \text{ kN/cm}^2$
d=	70 cm	$f_{ck}= 30 \text{ MPa}$
$f_{yd}= 34,78 \text{ kN/cm}^2$		$\alpha f_{cd}= 1,70 \text{ kN/cm}^2$
k=	1	$\tau_{Rd}= 0,034 \text{ kN/cm}^2$

VEZNA GREDA V PRITLIČJU V OKVIRJU H1		
UPOGIB EC2	N (kN)	-469,3
	M ₊ (kNm)	29,50
	k _h	0,165
	k _s	1,112
	A_{s+} (cm²)	14,84
	M ₋ (kNm)	35,44
	k _h	0,162
	k _s	1,103
	A_{s-} (cm²)	15,10
	STRIG (ENV 1992-1-1: 1991)	V (kN)
ρ_l		0,0106
V _{Rd1} (kN)		77,30
V _{wd} (kN)		283,40
A_{s,w} (cm²/m¹)		7,19
STRIG (prEN 1992-1-1: 2002)	V (kN)	360,70
	C _{Rd,c}	0,12
	k	1,40
	ρ_l	0,0059
	v _{min}	0,32
	V _{Rdc} (kN)	110,14
	V _{Rdc,min} (kN)	44,38
	V _{Rdc,mer} (kN)	110,14
	A_{s,w} (cm²/m¹)	9,15
	ARMATURA VEZNE GREDE	
A_{s+} (cm²)	14,84	
A_{s-} (cm²)	15,10	
A_{s,w} (cm²/m¹)	7,19	

- Minimalna armatura pri računu po EC2

-minimalna vzdolžna natezna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm} / f_{yk}) \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot (0,29 \text{ kN/cm}^2 / 40 \text{ kN/cm}^2) \cdot 20 \text{ cm} \cdot 70 \text{ cm} = 2,64 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 70 \text{ cm} = 1,82 \text{ cm}^2$$

-minimalna stremenska armatura:

maksimalna razdalja med stremeni

$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 70 \text{ cm} = 52 \text{ cm}$$

izbrana navpična dvostržna stremena (m=2): $\phi 8$ $A_{sw} = 1,00 \text{ cm}^2$

$$\rho_{w,min} = (0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk} = (0,08 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}) / 400 \text{ MPa} = 0,0011$$

$$s_{max} < A_{sw} / \rho_{w,min} \cdot b_w = 1,00 \text{ cm}^2 / 0,0011 \cdot 20 \text{ cm} = 45 \text{ cm}$$

Zgornja armatura: $A_{rac}^- = 15,10 \text{ cm}^2$; izbrana: 6 $\phi 18$ $A_{dej}^- = 15,27 \text{ cm}^2$

Spodnja armatura: $A_{rac}^+ = 14,84 \text{ cm}^2$; izbrana: 6 $\phi 18$ $A_{dej}^+ = 15,27 \text{ cm}^2$

Stremena: $A_{rac} = 7,19 \text{ cm}^2/\text{m}^1$ (m=2); izbrana: $\phi 8/13 \text{ cm}$ $A_{dej} = 7,69 \text{ cm}^2/\text{m}^1$ (m=2)

- **Kontrole vezne grede pri računu po EC8**

Za vezne grede veljajo pravila za grede kolikor je izpolnjen eden od naslednjih pogojev:

a) $V_{sd} < 4 \cdot b_w \cdot d \cdot \tau_{Rd}$

$$V_{sd} < 4 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 126 \text{ cm} \cdot 0,034 \text{ kN/cm}^2$$

$$360,7 \text{ kN} > 342,70 \text{ kN}, \text{ pogoj ni izpolnjen}$$

b) $l/h > 3$

$$l = 200 \text{ cm}$$

$$200 \text{ cm} / 140 \text{ cm} > 3$$

$$1,42 < 3, \text{ pogoj ni izpolnjen}$$

Ker noben pogoj ni izpolnjen, je potrebno potresno odpornost vezne grede zagotoviti z diagonalno armaturo v obeh smereh, v skladu z naslednjimi pogoji:

$$a) V_{sd} < 2 \cdot A_{si} \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha$$

A_{si} skupna površina diagonalne armature v obeh diagonalnih smereh

$\sin \alpha$ kot med diagonalami in horizontalno smerjo

$$\alpha = \arctg (h/l) = \arctg (140 \text{ cm} / 200 \text{ cm}) = 35^\circ$$

Iz zgornjega pogoja izračunava potrebno diagonalno armaturo.

$$A_{si} > V_{sd} / (2 \cdot f_{yd} \cdot \sin \alpha)$$

$$A_{si} > 360,7 \text{ kN} / (2 \cdot 34,8 \text{ kN/cm}^2 \cdot \sin 35^\circ)$$

$$A_{si} > 9,04 \text{ cm}^2, \quad \text{izbrana diagonalna armatura: } 6 \phi 14 \quad A_{dej} = 9,24 \text{ cm}^2$$

Dolžina sidranja diagonalne armature mora biti za 50% večja od priporočenih vrednosti v EC2.

Izračun potrebnih stremen oziroma objetja diagonalne armature.

$$s_{\max} \leq 10 \text{ cm}$$

$$d_{bw} \geq 0,35 \cdot d_{bL,\max} \cdot \sqrt{f_{yLd} / f_{ywd}}$$

$$0,8 \text{ cm} \geq 0,35 \cdot 1,8 \text{ cm} \cdot \sqrt{34,8 \text{ kN/cm}^2 / 34,8 \text{ kN/cm}^2} = 0,63 \text{ cm}$$

$$0,8 \text{ cm} \geq 0,63 \text{ cm} \text{ (ustreza)}$$

$$s = \min (b_0/3 ; 150 \text{ mm}, 7 \cdot d_{bL}) = (15\text{cm}/3 ; 15\text{cm}, 7 \cdot 1,8 \text{ cm}) = 5 \text{ cm}$$

Izbereva $s = 5 \text{ cm}$

Stremena: $A_{rac} = 6,05 \text{ cm}^2/\text{m}^1 (m=2)$; izbrana stremena : $\phi 8/5\text{cm} \quad A_{dej} = 20,0 \text{ cm}^2/\text{m}^1 (m=2)$

8 PRIMERJAVA VGRAJENE ARMATURE PRI RAČUNU PO EC IN PBAB

- **Skeletna konstrukcija**

Primerjavo armature elementov konstrukcije sva naredila za steber in gredo. Steber dimenzij 60/80 cm, ki je zajet v primerjalni preglednici, je v drugi etaži desetnadstropne skeletne konstrukcije. Steber II. etaže sva izbrala iz razloga, ker so v najinem primeru zaradi zahtev EC8 obravnavajo prvi dve etaži kot kritični del konstrukcije, ter zaradi tega veljajo posebne zahteve za armiranje. Iz primerjalne preglednice za steber je razvidno, da zaradi izbranega razreda duktilnosti DC" M" in posledično zahteve v EC 8 pri računu po korekciji delujočih momentov in prečnih sil v skladu s kriterijem metode programiranega obnašanja, dobiva kot končni rezultat 246% povečanje vzdolžne armature in 573% povečanje stremenske armature glede na obstoječe predpise.

Gredo dimenzij 50/60 (50) cm, ki je zajeta v primerjalni preglednici 26, je v drugi etaži desetnadstropne skeletne konstrukcije. Gredo sva izbrala v II. etaži zato, ker so se v njej računsko izkazale največje notranje sile. EC obravnava del grede ob vozlišču kot kritični del konstrukcije, ter zaradi tega veljajo posebne zahteve za armiranje. Iz primerjalne preglednice 26 je pri gredi razvidno, da zaradi izbranega razreda duktilnosti DC" M" in posledično zahteve v EC 8 po korekciji prečnih sil, ter glede na delujoče momente v gredi, dobiva kot končni rezultat 109% povečanje vzdolžne armature in 43% povečanje stremenske armature glede na obstoječe predpise. Pri EC je greda višja za 10 cm zaradi maksimalnega predpisanega procenta natezne armature. Posledično je statična višina višja za 10 cm in je pripadajoča armatura manjša, kot bi jo dobila z upoštevanjem višine kot pri računu po PBAB, zato so razlike v armaturi v resnici še večje.

- **Stenasto-skeletna konstrukcija**

Primerjavo armature elementov konstrukcije sva naredila za steno. Stena dimenzij 20/200 cm, ki je zajeta v primerjalni preglednici 27, je v pritlični etaži v vogalu desetnadstropne stenasto-skeletne konstrukcije. Steno I. etaže sva izbrala iz razloga, ker EC obravnava kritične dele konstrukcije, ter zaradi tega veljajo posebne zahteve za armiranje in zaradi največjih notranjih sil ob vpetju stene. Pri izbranem razredu duktilnosti DC" M" in posledično zahtevi v EC 8 po korekciji delujočih momentov in prečnih sil v skladu s kriterijem metode programiranega obnašanja, dobiva pri izbrani stenasto-skeletni konstrukciji kot končni rezultat 231% povečanje horizontalne armature in 614% povečanje stremenske armature v vogalnih stebrih, ter skupno povečanje armature na prerez za 42% glede na obstoječe predpise.

Borštnar M., Vranješ M. 2006. Analiza in dimenzioniranje dveh desetetažnih stavb v skladu s PBAB in EC.

Dipl. nal. – VSŠ. Ljubljana, UL, FGG, Odd.za gradbeništvo, konstruktivna smer.

Preglednica 26: Primerjave armature pri računu po EC ter PBAB in PTNSO, skeletna konstrukcija

Table 26: Comparison of reinforcement analyzed by EC and PBAB with PTNSO, frame construction

	TIP KONSTRUKCIJE		SKELETNA KONSTRUKCIJA							
	ELEMENT KONSTRUKCIJE		STEBER (dim. 60/80 cm)				GREDA (dim. 50/50(60) cm)			
	ARMATURA	STANDARD ALI PRAVILNIK	VZDOLŽNA			STREMENSKA	VZDOLŽNA			STREMENSKA
			$A_{s,v,x}$ (cm ²)	$A_{s,v,y}$ (cm ²)	$\Sigma A_{s,v}$ (cm ²)	$A_{s,w}$ (cm ² / m ¹) m=2	As^- (cm ²)	As^+ (cm ²)	$\Sigma A_{s,v}$ (cm ²)	$A_{s,w}$ (cm ² / m ¹) m=2
EUROCODE	RAČUNSKA	EC2	0,12	0,16	0,28	0,11	37,75	25,52	63,27	7,19
	MINIMALNA	EC2	7,20	7,20	14,40	8,80	5,18	5,18	10,36	5,55
	POTRESNA	EC8	43,99	26,39	70,38	22,6	37,75	25,52	63,27	14,29
PBAB+ PTNSO	RAČUNSKA	PBAB	0,00	0,00	0,00	0,00	20,17	5,57	25,74	1,80
	MINIMALNA	PBAB	14,40	14,40	28,80	2,07	5,00	5,00	10,00	6,66
	POTRESNA	PTNSO	14,40	14,40	28,80	3,73	20,17	10,09	30,26	10,00
PRIMERJAVA	RAČUNSKA: (EC2 / PBAB)						87%	358%	146%	299%
	MINIMALNA:(EC2 / PBAB)		-50%	-50%	-50%	325%	4%	4%	4%	-17%
	POTRESNA: (EC8 / PTNSO)		205%	83%	144%	506%	87%	153%	109%	43%

Preglednica 27: Primerjava armature pri računu po EC ter PBAB in PTNSO, stenasto-skeletna konstrukcija**Table 27: Comparison of reinforcement analyzed by EC and PBAB with PTNSO, wall-equivalent dual construction**

	TIP KONSTRUKCIJE		STENASTA KONSTRUKCIJA				
	ELEMENT KONSTRUKCIJE		STENA (dim. 200/20 cm , h=32 m)				
	ARMATURA	STANDARD ALI PRAVILNIK	VOGALI		VMESNI DEL		NA PREREZ
$A_{s,v}$ (cm ²)			$A_{s,w}$ (cm ² / m ¹) m=2	$A_{s,v}$ (cm ² / m ¹) m=2	$A_{s,h}$ (cm ² / m ¹) m=2	Σ (cm ²)	
EUROCODE	RAČUNSKA	EC2	1,15	2,96	0,29	2,96	8,80
	MINIMALNA	EC2	6,00	2,00	3,00	2,00	22,00
	POTRESNA	EC8	6,00	14,28	3,00	6,62	31,24
PBAB+ PTNSO	RAČUNSKA	PBAB	0,00	1,73	0,00	1,73	3,46
	MINIMALNA	PBAB	6,00	2,00	1,75	2,00	19,50
	POTRESNA	PTNSO	6,00	2,00	3,00	2,00	22,00
PRIMERJAVA	RAČUNSKA: (EC2 / PBAB)			71%		71%	154%
	MINIMALNA:(EC2 / PBAB)				71%		13%
	POTRESNA: (EC8 / PTNSO)			614%		231%	42%

9 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu sva zasnovala desetetažni skeletni in desetetažni stenasto-skeletni armiranobetonski objekt in modelirala nosilne konstrukcije v 3D prostoru z računalniškim programom TOWER5. Program TOWER5 se je izkazal kot prijazno in uporabno orodje za analizo in dimenzioniranje konstrukcij. Pri izdelavi diplomskega dela pa sva ugotovila, da ima program pomanjkljivosti pri dimenzioniranju v skladu z EC, predvsem manjkajo pri dimenzioniranju potresni predpisi EC8. Ker ravno EC8, kot je tudi iz diplomskega dela razvidno, zahteva veliko računskih kontrol in korekcij notranjih sil v skladu z metodo programiranega obnašanja, je zelo nujna izdelava programskega orodja, v najinem primeru nadgradnja dobro zasnovanega programskega paketa TOWER5 za avtomatizacijo dela pri računu po EC8.

V diplomskem delu sva tudi prikazala in ugotovila, da je skupna horizontalna potresna obremenitev pri računu po EC8 za skeletno konstrukcijo približno 2,7 - krat večja od obremenitev po obstoječih predpisih, pri stenasto-skeletni konstrukciji pa približno 1,4-krat večja od obremenitev po obstoječih predpisih. Zaradi tolikšnega povečanja horizontalnih sil na objekt in zahteve EC po boljšem objetu betonskega jedra, ter zahtevane korekcije momentov in prečnih sil v skladu z metodo programiranega obnašanja, prihaja v vseh konstrukcijskih elementih do bistvenega povečanja t.i. strižne armature, kar je razvidno iz primerjalnih preglednic 26 in 27 v poglavju 8.

Delež povečanja stremenske armature pri izbrani gredi je 43%, pri stebri pa 506%. Izračunane vrednosti veljajo za kritične dele konstrukcijskih elementov.

Pri izbrani stenasto-skeletni konstrukciji je delež povečanja horizontalne armature 231% glede na ustrezno armaturo po obstoječih predpisih. Povečanje stremenske armature vogalnih stebrov je 614%. Tu bi opozorila, da stremena vogalnih stebrov stene v obstoječih predpisih niso bila obdelana, zato sva v primerjalni preglednici 27 privzela minimalno stremensko armaturo po PBAB, ter jo primerjala z armaturo po EC. Skupni delež povečanja armature na prerezu je 42%.

Na koncu bi rada opozorila na finančno plat sprejetja novih standardov EC. Zaradi dejstva, da je cena vgrajene armature v zadnjem letu zrasla iz 0,6 EUR/kg vgrajene armature na okrogli 1,0 EUR/kg vgrajene armature, kar pomeni 40% povečanje in zaradi zgoraj ugotovljenih dejstev povečanja porabe armature v konstrukcijskih elementih (v kritičnih delih konstrukcije), lahko zaključiva, da podražitev izdelave armiranobetonske konstrukcije ni zanemarljiva.

Vendar pa, glede na to, da se objekti gradijo za življenjsko dobo 100 let ali več, višji začetni stroški pri gradnji ne pomenijo toliko, v kolikor se objekt bolje obnaša v morebitnem potresu in so stroški zaradi sanacije morebitnih poškodb konstrukcije manjši.

10 VIRI

Fischinger, M. urednik, 1996. Zbornik seminarja Uvajanje sodobnih evropskih standardov " Eurocode " v Sloveniji, v Postojni, septembra 1995. Ljubljana, Slovensko društvo za potresno inženirstvo in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo.

Bubnov, S., Fajfar, P., Fischinger, M., Ribarič, V., Tomaževič, M., junij 1982. Graditev objektov visokogradnje na seizmičnih območjih, Publikacija IKPIR št. 25, Ocena pravilnika. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, v sodelovanju z ZRMK Ljubljana in Seizmološkim zavodom SRS, Ljubljana.

EUROCODE 2, Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings. prEN 1992-1-1:2002(Revised final draft).

EUROCODE 2, Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings. ENV 1992-1-1:1991.

EVROKOD 8, Projektovanje seizmički otpornih konstrukcija – Deo 1-1: Seizmička dejstva i opšti zahtevi za konstrukcije, Deo 1-2: Opšta pravila za zgrade, Deo 1-3: Posebna pravila za različite materijale i elemente. ENV 1998-1-3:1994.

Pravilnik o tehničnih normativih za beton in armirani beton, UR.L. SFRJ, št. 11, februar 1987.

Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, UR.L. SFRJ, št. 31, junij 1981.

Tower 5, 2004: Tower 5, Radimpex SČG, Navodila za uporabo.