

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,  
Konstrukcijska smer

Kandidatka:

**Špela Drolc**

# **Program za določanje potresne obtežbe v skladu z EVROKOD 8**

**Diplomska naloga št.: 298**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

Ljubljana, 19. 12. 2007

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **ŠPELA DROLC** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:  
**»PROGRAM ZA DOLOČANJE POTRESNE OBTEŽBE V SKLADU Z EVROKOD  
8«.**

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

Ljubljana, 6.12.2007

## **IZJAVE O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>004.42:006(4):624.042.7(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Špela Drolc</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Matjaž Dolšek</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Program za določanje potresne obtežbe v skladu z Evrokod 8</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>66 str., 14 pregl., 37 sl.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>standard Evrokod 8, potresna obtežba, faktor obnašanja, računalniški program, Excel – Visual Basic</b>

### **Izvleček**

Leta 2008 bodo v Sloveniji stopili v obvezno uporabo pri projektiranju evropski standardi imenovani Evrokod. Eden izmed teh je tudi EN 1998 ali Evrokod 8, ki se nanaša na potresno odporno gradnjo konstrukciji in predstavlja osnovo našemu programu za določanje potresne obtežbe. V programu so povzeta pravila za določitev faktorja obnašanja in projektnega spektra pospeškov. Vgrajena je tudi možnost za določitev nihajnega časa po približni metodi ter določitev potresnih sil po metodi s horizontalnimi silami. Program je izdelan v Excelu, s pomočjo Visual Basic Editor.

V diplomski nalogi so najprej opisana pravila za določitev faktorja obnašanja različnih vrst konstrukcij, prikazan je postopek izdelave algoritmov in programa, na koncu pa so prikazani še štiri različni primeri uporabe programa. V prvem primeru smo preverili pravilnost delovanja programa. V drugem primeru smo pokazali vpliv konstrukcijskih sistemov na velikost projektnih potresnih sil, pri čemer se izkaže, da so najmanjše projektne potresne sile za okvirne sisteme. V tretjem primeru smo primerjali nizko (DCL), srednjo (DCM) in visoko (DCH) stopnjo duktilnosti in pokazali, da je za izbran primer potresna obtežba za projektne potresne sile za DCM stopnjo duktilnosti 50% večja glede na potresne sile za visoko stopnjo duktilnosti, ter da je za nizko stopnjo duktilnosti potresna obtežba večja glede na DCH za 300% in glede na DCM za 167%. Zadnji primer, kjer smo primerjali tipe tal na vpliv projektnega spektra, pa nam je pokazal, da so najbolj ugodna tla za potresno odporno gradnjo, tla tipa A.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDK:** 004.42:006(4):624.042.7(043.2)  
**Author:** Špela Drolc  
**Supervisor:** Assist. Prof.. Matjaž Dolšek  
**Title:** Computer Program for determination of seismic loading according to Eurocode 8  
**Notes:** 66 p., 14 tab., 37 fig.  
**Key words:** standard Eurocode 8, seismic loading, behaviour factor, computer program, Excel – Visual Basic

**Abstract**

The structural design standards Eurocodes will become obligatory in Slovenia from the beginning of 2008. The main focus of the diploma thesis is the Eurocode 8 standard for earthquake resistant design of structures. More specifically, the computer program is developed for determination of the behaviour factor, the design response spectrum, the fundamental period of the structure according to simplified procedure and for determination of the seismic design forces according to lateral force method of analysis. The program is made in Excel by employing Visual Basic Editor.

Firstly, the procedure for determination of behaviour factor and design response spectrum is explained for different types of structures, then, the algorithms for program are developed and implemented and at the end for examples are presented. In the first example we have tested the program by an example of multi-storey building. The second example was a comparison between different structural types. We have seen that the lowest seismic loading is foreseen for frame structural types. Third example was a comparison between low (DCL), medium (DCM) and high (DCH) ductility class. It is shown that for selected case the design seismic forces for DCH ductility class are for 50% lower in comparison with the design forces for DCM ductility class and 300% lower than DCL ductility class. DCM ductility class is for 167% lower than DCL ductility class. Based on our fourth example we found out that the most appropriate ground for earthquake resistant buildings are grounds type A.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. M. Dolšku.

Zahvalila bi se tudi vsem, ki so mi vedno stali ob strani.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>STANDARDI.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Značilnosti tal in potresni vpliv .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Značilnosti tal .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Potresni vpliv .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Projektiranje stavb .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Kriteriji za pravilnost konstrukcije.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Kategorije pomembnosti in faktorji pomembnosti.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Metoda z vodoravnimi silami.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Betonske konstrukcije.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Tipi konstrukcij.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Faktorji obnašanja za vodoravne potresne vplive .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Jeklene konstrukcije .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Tipi konstrukcij.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Faktorji obnašanja .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Sovprežne stavbe iz jekla in betona.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Tipi konstrukcij.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Faktorji obnašanja.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6</b>	<b>Lesene stavbe .....</b>	<b>23</b>
<b>2.6.1</b>	<b>Stopnje duktilnosti in faktorji obnašanja .....</b>	<b>23</b>
<b>2.7</b>	<b>Zidane stavbe.....</b>	<b>24</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Vrsta gradnje in faktorji obnašanja.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>PROGRAM.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Algoritmi .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>Prikaz programa .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3</b>	<b>Zgradba in ukazi programa .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Zgradba programa.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Izbor ukazov .....</b>	<b>43</b>

<b>4</b>	<b>PRIMERI .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Primer številka 1.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Tehnični opis konstrukcije.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Določitev faktorja obnašanja.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Določitev nihajnega časa .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2</b>	<b>Primer številka 2.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Predpostavke.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Rezultati.....</b>	<b>53</b>
<b>4.3</b>	<b>Primer številka 3.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Opis konstrukcije.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Podatki konstrukcije .....</b>	<b>55</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Rezultati.....</b>	<b>56</b>
<b>4.4</b>	<b>Primer številka 4.....</b>	<b>57</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Predpostavke.....</b>	<b>57</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Rezultati.....</b>	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>VIRI .....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>PRILOGA .....</b>	<b>64</b>



**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Tipi tal .....	2
Preglednica 2: Vrednosti parametrov, ki opisujejo elastični spekter odziva za uporabo v Sloveniji .....	5
Preglednica 3: Vpliv pravilnosti konstrukcije na analizo in projektiranje na potresnih območjih.....	7
Preglednica 4: Kategorije pomembnosti za stavbe .....	11
Preglednica 5: Osnovne vrednosti faktorja obnašanja $q_o$ za sisteme, ki so pravilni po višini. 14	
Preglednica 6: Referenčne vrednosti faktorjev obnašanja za konstrukcije, ki so pravilne po višini.....	19
Preglednica 7: Referenčne vrednosti faktorjev obnašanja za konstrukcije, ki so pravilne po višini.....	22
Preglednica 8: Načini projektiranja, tipi konstrukcij in zgornje vrednosti faktorjev obnašanja za tri stopnje duktilnosti.....	24
Preglednica 9: Vrste gradnje in zgornja meja faktorja obnašanja.....	25
Preglednica 10: Lastnosti funkcij.....	44
Preglednica 11: Predpostavljene sile, ki smo jih podali v masno središče, mase in pomiki....	51
Preglednica 12: Primerjava nihajnih časov .....	52
Preglednica 13: Podatki za račun nihajnega časa.....	56
Preglednica 14: Prikaz rezultatov za DCL, DCH in DCM .....	56

## KAZALO SLIK

Slika 1: Potresna nevarnost Slovenije - Projektni pospešek tal.....	3
Slika 2: Oblika elastičnega spektra odziva.....	5
Slika 3: Oblika se spreminja po višini in ohranja simetrijo glede na navpično os. Tlorisna dimenzija se ne sme zmanjšati za več kot 20%, zato velja $(L_1 - L_2) / L_1 \leq 0,2$ . ....	9
Slika 4: Oblika se spreminja po višini in ohranja simetrijo glede na navpično os. Zamik se pojavi nad 15% višine. Tlorisna dimenzija se ne sme zmanjšati za več kot 20%. Velja $(L_3 - L_1) / L \leq 0,2$ . ....	9
Slika 5: Tlorisna dimenzija se zmanjša samo 1 krat v spodnjih 15% višine. Velja $(L_3 + L_1) / L \leq 0,5$ . ....	10
Slika 6: Osnova simetrija ne velja, veljata pa $(L - L_2) / L \leq 0,3$ in $(L_1 - L_2) / L_1 \leq 0,1$ . ....	10
Slika 7: Pomični okvirji, kjer je sposobnost sipanja v nosilcih ali na dnu stebrov. ....	16
Slika 8: Okvirji s centričnimi povezji, kjer je območje sipanja v nateznih diagonalah. ....	16
Slika 9: Okvirji s centričnimi povezji, kjer je območje sipanja energije v nateznih in tlačnih diagonalah.....	17
Slika 10: Okvirji z ekscentričnimi povezji, kjer je območje sipanja energije v upogibnih ali strižnih členih. ....	17
Slika 11: Konstrukcije obrnjeno nihalo, kjer je območje sipanja v stebrih ali na dnu stebra...	17
Slika 12: Konstrukcije z betonskim jedrom ali betonskimi stenami. ....	18
Slika 13: Pomični okvirji kombinirani s centričnimi povezji, kjer je območje sipanja energije v okviru in nateznih diagonalah. ....	18
Slika 14: Pomični okvirji kombinirani s polnili. ....	18
Slika 15: Jeklen ali sovprežen okvir z betonskim polnilom. ....	21
Slika 16: Sovprežne stene ojačane z robnimi navpičnimi jeklenimi elementi. ....	21
Slika 17: Sovprežne ali betonske stene, povezane z jeklenimi ali sovprežnimi nosilci. ....	21
Slika 18: Izbor materiala konstrukcije.....	33
Slika 19: AB konstrukcije.....	34
Slika 20: Jeklene konstrukcije .....	35
Slika 21: Sovprežne konstrukcije .....	36
Slika 22: Lesene konstrukcije.....	37

---

Slika 23: Zidane konstrukcije .....	38
Slika 24: Določitev projektnega spektra .....	39
Slika 25: Določitev nihajnega časa in potresnih sil. ....	40
Slika 26: Izpis.....	41
Slika 27: Uporaba gradnikov. ....	42
Slika 28: Izbor dogodka za gradnik. ....	43
Slika 29: 3D pogled konstrukcije.....	47
Slika 30: Prerez skozi konstrukcijo.....	48
Slika 31: Tloris tipične etaže.....	49
Slika 32: Določitev faktorja obnašanja .....	50
Slika 33: Primerjava vrednosti faktorjev obnašanja .....	53
Slika 34: Projektni spektri za različne konstrukcijske sisteme .....	54
Slika 35: Konstrukcija obravnavanega primera .....	55
Slika 36: Projektni spektri za različne stopnje duktilnosti.....	57
Slika 37: Primerjava projektnih spektrov glede tipa tal.....	58

## 1 UVOD

Živimo v prostoru, ki je potresno ogrožen in ravno zato moramo nameniti veliko pozornost konstruiranju potresno odpornih objektov. Vsi predpisi vključno s tistimi, ki zajemajo potresno odporen način gradnje, so se razvijali s konca 19. stoletja in nas pripeljali do današnjih predpisov oz. standardov imenovanih EN 1998-1 ali enostavneje Evrokod 8, ki so osnova za naše diplomsko delo.

Cilj diplomske naloge je bil izdelati računalniški program, ki bo izračunal potresno obtežbo za različne vrste konstrukcij, ki so obravnavane v Evrokod 8, in s tem olajšati marsikaterem projektantu delo pri določanju potresne obtežbe, saj so s pomočjo programa vsa določila, ki so pomembna za določitev potresne obtežbe, zbrana na enem mestu.

Diplomska naloga je v grobem sestavljena iz treh delov. Prvi del se nanaša na predpise, ki so osnova za program. V tem delu so povzeta določila za projektiranje potresno odpornih stavb po Evrokod 8.

V drugem delu je predstavljen program za določanje potresne obtežbe, in sicer algoritmi programa in sama zgradba programa. V zgradbi programa so zajete poglavitni programski prijemi. Program za izračun potresne obtežbe je narejen v programskem okolju Microsoft Office – Excel, in sicer z Visual Basic Editor. Za Excel smo se odločili zato, ker je del najbolj razširjene programske opreme in tako dostopen širši množici.

V tretjem delu pa so prikazani primeri. Prvi primer je narejen s pomočjo programa ETABS, ki se navezuje na diplomsko delo kolegice Sare Bašič. S tem primerom smo ugotavljali pravilnost delovanja programa. Drugi primer je primerjava konstrukcijskih sistemov armiranobetonskih konstrukcij, kjer ugotavljamo za katerega izmed konstrukcijskih sistemov je predvidena najmanjša potresna obtežba. Tretji primer se nanaša na vpliv nizke, srednje ali visoke stopnje duktilnosti na velikost projektnih potresnih sil. Pri zadnjem primeru pa smo ugotavljali vpliv tipa tal na projektni spekter.

## 2 STANDARDI

Osnovo programa nam predstavlja standard EN 1998-1 : 2004. Vsa določila, ki smo jih upoštevali v našem programu, so opisana v sledečih podpoglavjih poglavja 1. Pod vsakim podpoglavjem je zapisan člen standarda na podlagi katerega je narejen povzetek.

### 2.1 Značilnosti tal in potresni vpliv

(Člen 3)

#### 2.1.1 Značilnosti tal

(Člen 3.1)

Da lahko za neko lokacijo določimo tip tal, so potrebne določene raziskave. Lokacija objekta in narava temeljnih tal morata biti taki, da ne obstaja nevarnost porušitve tal, nestabilnosti pobočij ter trajnih posedkov zaradi likvefakcije ali zgoščevanja v primeru potresa.

Vplive značilnosti tal na potresne vplive lahko zajamemo z uporabo tipov tal A, B, C, D in E, ki so opisani v preglednici 1.

Preglednica 1: Tipi tal

Tip tal	<i>Opis stratografskega profila</i>
A	Skala ali druga skali podobna geološka formacija, na kateri je največ 5m slabšega površinskega materiala
B	Zelo gost pesek, prod ali zelo toga glina, debeline vsaj nekaj deset metrov, pri katerih mehanske značilnosti postopoma naraščajo z globino.
C	Globoki sedimenti gostega ali srednje gostega peska, prod ali toge gline globine nekaj deset do več sto metrov.
D	Sedimenti rahlih do srednje gostih evezljivih zemljin (z nekaj mehкими vezljivimi plastmi ali brez njih) ali pretežno mehkih do trdnih vezljivih zemljin.
E	Profil tal, kjer površinska aluvialna plast debeline med okrog 5 in 20 metri .

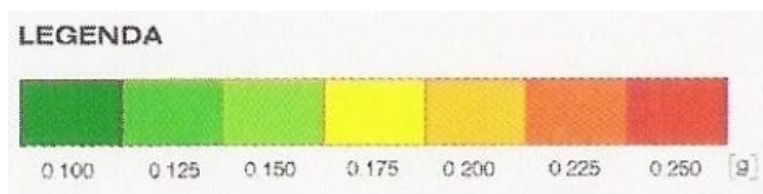
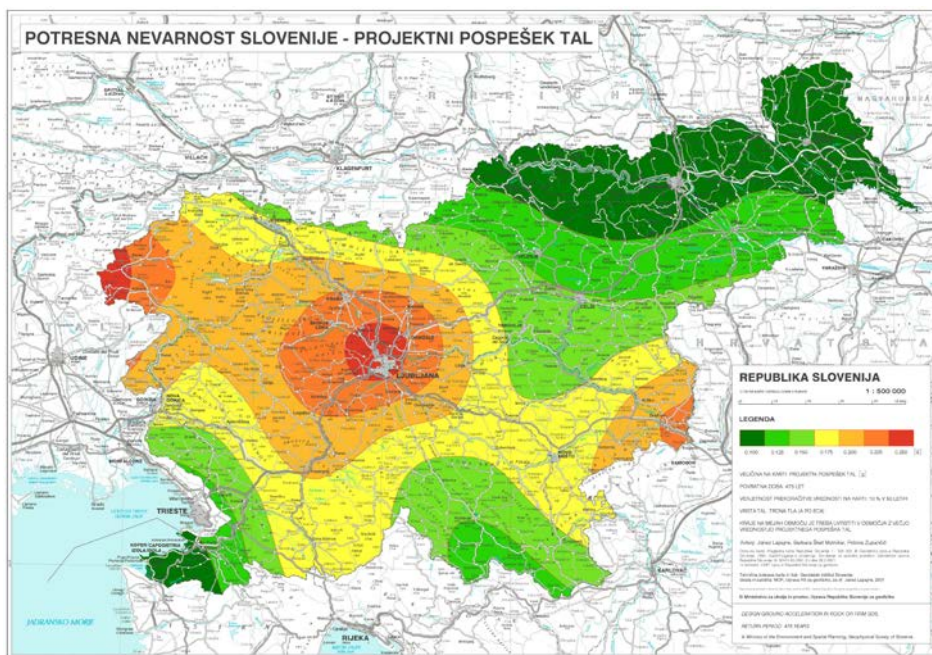
## 2.1.2 Potresni vpliv

(Člen 3.2)

Glede na potresno nevarnost je ozemlje države razdeljeno na potresna območja, za katera predpostavimo enako potresno nevarnost za tip tal A.

Potresno nevarnost določa en sam parameter, in sicer referenčna vrednost maksimalnega pospeška na tleh tipa tal A ( $a_{gR}$ ). Projektni pospeški tal so določeni v karti potresne nevarnosti.

V okviru EN 1998 je potresno gibanje na določenem mestu na površini predstavljeno v obliki elastičnega spektra pospeškov.



Slika 1: Potresna nevarnost Slovenije - Projektni pospešek tal

**2.1.2.1 Vodoravni elastični spekter odziva**

(Člen 3.2.2.2)

Elastični spekter odziva  $S_e(T)$  je definiran s sledečimi enačbami:

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (1.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (1.2)$$

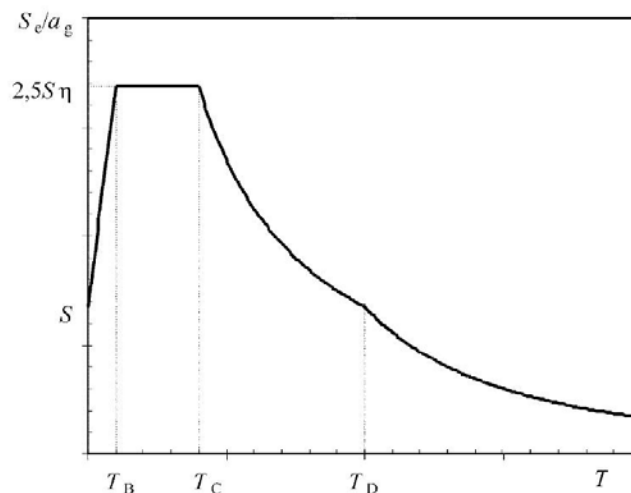
$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \quad (1.3)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (1.4)$$

kjer je

 $S_e(T)$  elastični spekter odziva; $T$  nihajni čas linearne sistema z eno prostostno stopnjo; $a_g$  projektni pospešek za tla tipa A; $T_B$  spodnja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost; $T_C$  zgornja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost; $T_D$  vrednost nihajnega časa, pri kateri se začne območje konstantne vrednosti spektralnega pomika; $S$  koeficient tal; $\eta$  faktor za korekcijo vpliva dušenja z vrednostjo  $\eta=1$  pri 5% viskoznega dušenja.

Od tipa tal so odvisne vrednosti nihajnih časov  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  in koeficient tal  $S$ . Vrednosti teh parametrov so navedene v preglednici 2.



Slika 2: Oblika elastičnega spektra odziva

Preglednica 2: Vrednosti parametrov, ki opisujejo elastični spekter odziva za uporabo v Sloveniji

Tip tal	$S$	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,10	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,7	0,10	0,4	2,0

### 2.1.2.2 Projektni spekter za elastično analizo

(Člen 3.2.2.5)

Pri projektiranju se uporabljajo manjše sile kot tiste, ki ustrezajo elastičnemu obnašanju konstrukcije med potresi, in to zaradi sposobnosti konstrukcijskega sistema, da prenaša potresne vplive tudi v nelinearnem območju. Zaradi enostavnosti to upoštevamo tako, da opravimo elastično analizo z reduciranim spektrom odziva, ki ga imenujemo tudi »projektni spekter«. To zmanjšanje oz. redukcijo računskih potresnih sile izvedemo z uvedbo faktorja obnašanja  $q$ .

Redukcija potresnih sil implicitno zajema duktilnost in s tem poškodbe konstrukcije ("sipanje" energije pri nelinearnem obnašanju konstrukcije) in je odvisna predvsem od izbire



konstrukcijskega sistema, pravilnosti konstrukcije in kvalitete izvedbe konstrukcijskih detajlov, ki jo izbere projektant (stopnja duktilnosti). Z zagotavljanjem duktilnosti lahko reduciramo potresne sile ali zahtevano nosilnost, kar konstrukcijo poceni in omogoča svobodnejše oblikovanje arhitekture.

Projektni spekter odziva  $S_d(T)$  je definiran s sledečimi enačbami:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (1.5)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (1.6)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (1.7)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (1.8)$$

kjer je

$a_g, S, T_B, T_C$  in  $T_D$  so definirani v 2.1.2.1;

$S_d(T)$  projektni spekter;

$q$  faktor obnašanja;

$\beta$  faktor, ki določa spodnjo mejo pri vodoravnem projektne spektru, priporočena vrednost je  $\beta = 0,2$ .

## 2.2 Projektiranje stavb

(Člen 4)

### 2.2.1 Kriteriji za pravilnost konstrukcije

(Člen 4.2.3)

Pri projektiranju na potresnih območjih so konstrukcije stavb lahko pravilne ali nepravilne. Ta opredelitev vpliva na model konstrukcije, ki je lahko ravninski ali prostorski in na metodo analize, ki je lahko poenostavljen analiza s po metodi s horizontalnimi silami ali modalna analiza, ter na vrednost faktorja obnašanja  $q$ .

Nepravilnost po višini in tlorisu se pri projektiranju upošteva ločeno.

Preglednica 3: Vpliv pravilnosti konstrukcije na analizo in projektiranje na potresnih območjih

Pravilnost		Dovoljena poenostavitve		Faktor obnašanja $q$ (linearna analiza)
Tloris	Višina	Model	Linearno-elastična analiza	
da	da	ravninski	vodoravne sile	referenčni
da	ne	ravninski	modalna	zmanjšan
ne	da	prostorski	vodoravne sile	referenčni
ne	ne	prostorski	modalna	zmanjšan

Zmanjšana vrednost faktorja obnašanja znaša 80% referenčne vrednosti faktorja, ki ga določimo posebej.

#### 2.2.1.1 Kriteriji za tlorisno pravilnost

(Člen 4.2.3.2)

Tlorisno pravilna konstrukcija mora zadostiti sledečim pogojem:

- 1) Glede na dve pravokotni smeri ima približno simetrično razporeditev togosti in mase.

- 2) Tlorisna razporeditev mora biti zgoščena, kar pomeni, naj vdolbine v tlorisu (če obstajajo) ne vplivajo na togost stropov v vodoravni ravnini. Prav tako ne sme biti površina med obodom etaže in konveksno poligonalno linijo, ki ovija etažo, večja od 5% etažne površine.
- 3) Togost stropov v vodoravni ravnini mora biti dovolj velika v primerjavi z vodoravno togostjo navpičnih elementov konstrukcije. Iz tega sledi, da morajo imeti deformacije stropov majhen vpliv na razporeditev sil med navpične elemente.
- 4) Vitkost tlorisa stavbe  $l$ , ne sme biti večja od 4

$$\lambda = \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \leq 4 \quad (1.9)$$

kjer je

$L_{\max}$  in  $L_{\min}$  večja in manjša tlorisna dimenzija, merjeni v pravokotnih smereh.

- 5) V vsaki etaži ter v  $x$  in  $y$  smeri analize morata biti izpolnjena naslednja pogoja:

$$\begin{aligned} e_{oi} &\leq 0,30 \cdot r_i \\ r_i &\geq l_s \end{aligned} \quad (1.10)$$

kjer je

$i$  X oz. Y smer analize;

$e_{ox}$  razdalja med središčem togosti in masnim središčem, merjena v X smeri, ki je pravokotna na smer analize;

$r_x$  kvadratni koren razmerja med torzijsko in translacijsko togostjo v Y smeri, »torzijski polmer«;

$l_s$  vztrajnostni polmer mase etaže (koncentrirane v višini stropa) v vodoravni ravnini, oz. kvadratni koren razmerja med a) polarnim momentom mase etaže v vodoravni ravnini glede na masno središče etaže in b) maso etaže.

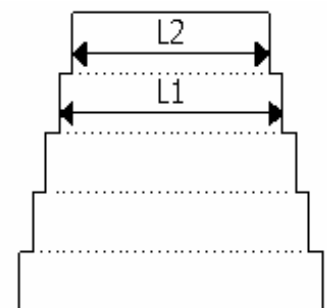
Način izračuna torzijske in translacijske togosti ter s tem torzijskega polmera v standardu ni jasno obrazložen. Isto velja za središče togosti.

### 2.2.1.2 Kriteriji za pravilnost po višini

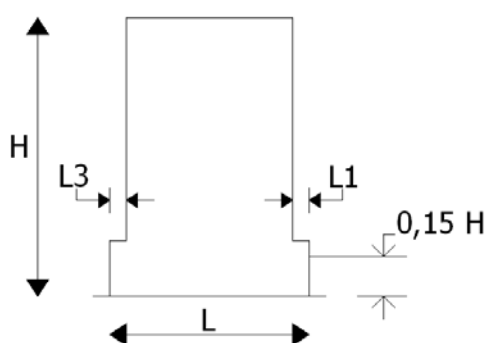
(Člen 4.2.3.3)

Konstrukcija, pravilna po višini, mora zadostiti sledečim pogojem:

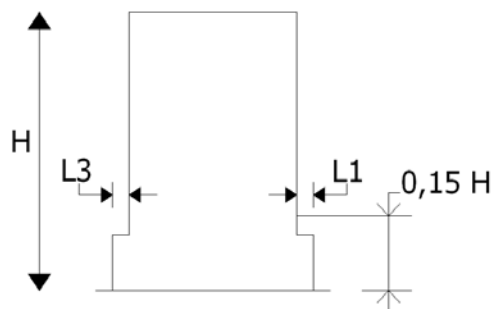
- 1) Vsi sistemi za prenos obtežbe v vodoravni smeri morajo potekati neprekinjeno od temeljev do vrha stavbe.
- 2) Togost v vodoravni smeri ter masa morata biti konstantni v vseh etažah, ali se postopoma zmanjševati od temeljev proti vrhu.
- 3) Če imajo posamezni deli stavbe različne višine, veljajo določila na naslednjih slikah:



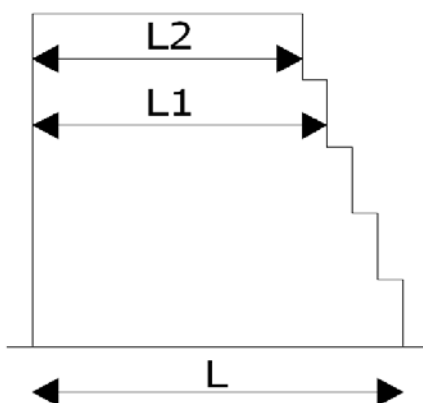
Slika 3: Oblika se spreminja po višini in ohranja simetrijo glede na navpično os. Tlorisna dimenzija se ne sme zmanjšati za več kot 20%, zato velja  $(L_1 - L_2) / L_1 \leq 0,2$ .



Slika 4: Oblika se spreminja po višini in ohranja simetrijo glede na navpično os. Zamik se pojavi nad 15% višine. Tlorisna dimenzija se ne sme zmanjšati za več kot 20%. Velja  $(L_3 - L_1) / L \leq 0,2$ .



Slika 5: Tlorisna dimenzija se zmanjša samo 1 krat v spodnjih 15% višine. Velja  $(L_3 + L_1) / L \leq 0,5$ .



Slika 6: Osna simetrija ne velja, veljata pa  $(L - L_2) / L \leq 0,3$  in  $(L_1 - L_2) / L_1 \leq 0,1$ .

### 2.2.2 Kategorije pomembnosti in faktorji pomembnosti

(Člen 4.2.5)

Konstrukcije so razdeljene v štiri kategorije, ki se ločijo glede na varnosti ljudi in civilno zaščito v obdobju po potresu, socialnih in ekonomskih posledic porušitve objekta v obdobju po potresu.

Stavbe, katerih elementi so nevarne instalacije ali materiali, je faktor pomembnosti potrebno določiti v skladu s EN 1998:4.

Preglednica 4: Kategorije pomembnosti za stavbe

Kategorija pomembnosti stavbe		$\gamma_I$
I	Stavbe manjše pomembnosti za varnost ljudi, npr. kmetijski objekti in podobno.	0,8
II	Običajne stavbe, ki ne pripadajo ostalim kategorijam.	1
III	Stavbe, katerih potresna odpornost je pomembna glede na posledice porušitve, npr. šole, dvorane za srečanja, kulturne ustanove in podobno.	1,2
IV	Stavbe, katerih integriteta med potresi je življenjskega pomena za civilno zaščito, npr. bolnišnice, gasilske postaje, elektrarne in podobno.	1,4

### 2.2.3 Metoda z vodoravnimi silami

(Člen 4.3.3.2)

#### 2.2.3.1 Celotna prečna sila

(Člen 4.3.3.2.2)

Celotna prečna sila, ki je na mestu vpetja konstrukcije je določena z enačbo:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda \quad (1.11)$$

kjer je

$S_d(T_1)$  ordinata v projektnem spektru;

$T_1$  osnovni nihajni čas konstrukcije za translacijsko gibanje v obravnavani smeri;

$m$  celotna masa stavbe nad temelji ali nad togo kletjo;

$\lambda$  korekcijski faktor, ki ima vrednost  $\lambda=0,85$ , če velja  $T_1 \leq 2T_C$  in ima stavba več kot dve etaži, drugače velja  $\lambda=1,0$ .

### 2.2.3.2 Razporeditev vodoravnih potresnih sil

(Člen 4.3.3.2.3)

Nihajne oblike se lahko izračunajo po metodah dinamike konstrukcij ali pa se kot približek, uporabi predpostavko, da vodoravni pomiki linearno naraščajo po višini stavbe.

Potresni vpliv je določen na podlagi delovanja vodoravnih sil  $F_i$  v vseh etažah.

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j} \quad (1.12)$$

kjer je

$F_i$  vodoravna sila, ki deluje v etaži  $i$ ;

$F_b$  celotna potresna sila;

$s_i, s_j$  pomika mase  $m_i$  in  $m_j$  v osnovni nihajni obliki;

$m_i, m_j$  mase etaž.

Če so izbrani vodoravni pomiki, ki linearno naraščajo z višino, izbrani za osnovno nihajno obliko, velja:

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j} \quad (1.13)$$

kjer sta

$z_i, z_j$  višinski koti mas  $m_i$  in  $m_j$  nad nivojem delovanja potresnega vpliva (to je nad temeljem ali nad togo kletjo).

## 2.3 Betonske konstrukcije

(Člen 5)

### 2.3.1 Tipi konstrukcij

(Člen 5.2.2.1)

Konstrukcijski tipi, ki se ločijo glede na obnašanje pri potresni obtežbi so:

- okvirni sistem
- mešani sistem (ekvivalenten okvirnemu ali stenastemu sistemu)
- duktilen stenasti sistem (z nepovezanimi ali povezanimi stenami)
- sistem velikih, šibko armiranih sten
- sistem obrnjenega nihala
- torzijsko podajen sistem.

Vsi tipi konstrukcijskih sistemov, razen torzijsko podajnega sistema, imajo lahko en tip konstrukcijskega sistema v eni smeri in drug tip v drugi smeri.

### 2.3.2 Faktorji obnašanja za vodoravne potresne vplive

(Člen 5.2.2.2)

Faktor obnašanja  $q$  upošteva sposobnost sipanja energije. Izračuna se na sledeči način:

$$q = q_o \cdot k_w \geq 1,5 \quad (1.14)$$

kjer je

$q_o$  osnovna vrednost faktorja obnašanja, odvisna od tipa konstrukcijskega sistema in njegove pravilnosti po višini;

$k_w$  faktor, ki upošteva prevladujoč način rušenja pri konstrukcijskih sistemih s stenami.

Za stavbe, pravilne po višini, so osnovne vrednosti faktorja obnašanja  $q_o$  podane v preglednici

5. Za stavbe, nepravilne po višini, so vrednosti zmanjšanih faktorjev enake 80% vrednosti  $q$ .



Preglednica 5: Osnovne vrednosti faktorja obnašanja  $q_o$  za sisteme, ki so pravilni po višini

Tip konstrukcije	DCM	DCH
Okvirni sistem, mešani sistem, sistem povezanih sten (sten z odprtini)	3,0 $\alpha_u/\alpha_1$	4,5 $\alpha_u/\alpha_1$
Sistem nepovezanih (konzolnih) sten	3,0	4,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Torzijsko podajen sistem	2,0	3,0
Sistem obrnjenega nihala	1,5	2,0

kjer je

- $a_1$  faktor, s katerim se pomnoži vodoravni potresni projektni vpliv (medtem ko vse ostale projektne vplive zadržimo konstantne) tako, da v prvem elementu konstrukcije dosežemo upogibno odpornost (upogibni plastični členek);
- $a_u$  faktor, s katerim se pomnoži vodoravni potresni projektni vpliv (medtem ko vse ostale projektne vplive zadržimo konstantne) tako, da nastanejo plastični členki v zadostnem številu prerezov za nastop globalne nestabilnosti konstrukcije (plastičnega mehanizma). Faktor  $\alpha_u$  se lahko določi z nelinearno statično (pushover) globalno analizo.

Razmerje  $\alpha_u/\alpha_1$  predstavlja faktor dodatne nosilnosti. Če je konstrukcija pravilna v tlorisu veljajo naslednje vrednosti:

a) Okvirni sistemi ali mešani sistemi, ekvivalentni okvirnemu:

- enoetažne stavbe:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
- večetažni okviri z enim poljem:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$
- večetažni okviri z več polji ali večetažni mešani sistemi, ekvivalentni okvirnemu:

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$$

b) Stenasti sistemi in mešani sistemi, ekvivalentni stenastemu:

- stenasti sistemi z dvema nepovezanima stenama v vsaki vodoravni smeri:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$
- drugi sistemi z nepovezanimi stenami:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
- mešani sistemi, ekvivalentni stenastemu ali sistemi povezanih sten (sten z odprtini):

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$$

Za stavbe, ki niso pravilne v tlorisu, se lahko kot približno vrednost faktorja  $\alpha_u/\alpha_1$  vzame kar povprečje med a) 1,0 in b) vrednostjo, ki bi jo izbrali v primeru, če bi bila konstrukcija pravilna v tlorisu.

Faktor  $k_w$ , ki upošteva prevladujoč način rušenja, določimo takole:

$$k_w = \begin{cases} 1,00, & \text{za okvire in okvirom ekvivalentne mešane sisteme} \\ (1 + \alpha_o)/3 \leq 1, & \text{toda ne manj kot } 0,5 \text{ za stenaste,} \\ & \text{stenam ekvivalentne mešane in torzijsko fleksibilne sisteme} \end{cases} \quad (1.15)$$

kjer je  $\alpha_o$  prevladujoče razmerje med višino in dolžino sten v konstrukcijskem sistemu.

$$\alpha_o = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}} \quad (1.16)$$

kjer je

$h_{wi}$  višina stene  $i$ ;

$l_{wi}$  dolžina prereza stene  $i$ .

## 2.4 Jeklene konstrukcije

(Člen 6)

### 2.4.1 Tipi konstrukcij

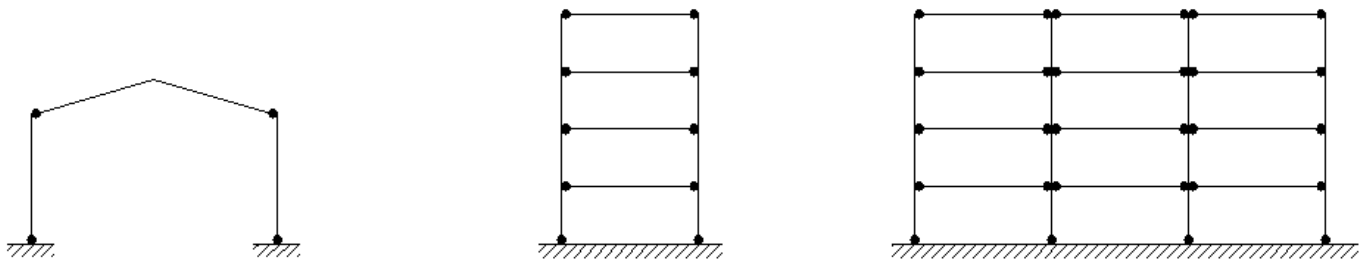
(Člen 6.3.1)

Konstrukcijski tipi, ki se ločijo glede na obnašanje pri potresni obtežbi so:

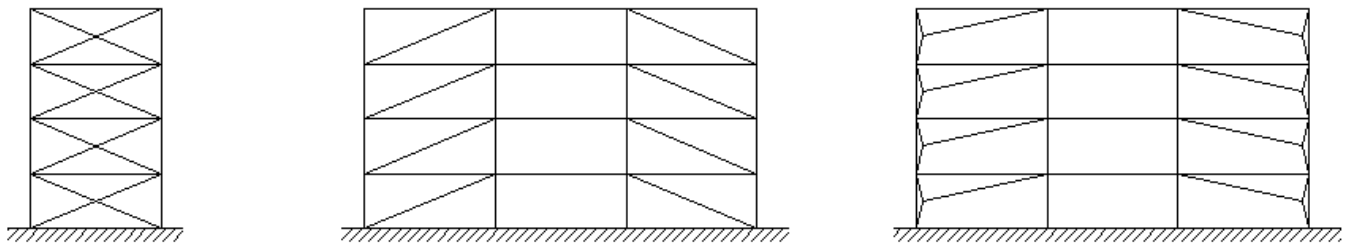
- pomični okvirji (slika 7) → pretežno sipajo energijo v gredah ali na dnu okvirov ob priključkih na temelje ali na vrhu stebrov zgornje etaže večnadstropnih stavb ali na vrhu in ob dnu stebrov enoetažnih stavb
- okvirji s centričnimi povezji (slika 8) → sipanje energije razporejeno pretežno v natezних diagonalah. Povezja se lahko delijo na tista, ki prenašajo vodoravne sile samo

z nateznimi diagonalami (prispevek tlačnih zanemarimo) ali na V povezja, kjer se vodoravne sile prenašajo z nateznimi in tlačnimi diagonalami.

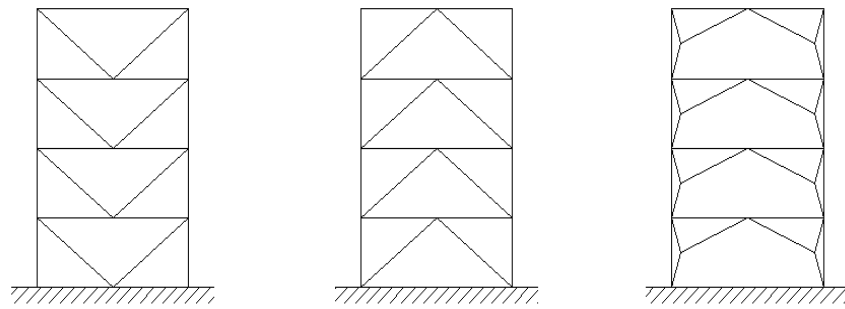
- okvirji z ekscentričnimi povezji (slika 10) → morajo zagotoviti aktivnost vseh členov
- konstrukcije obrnjenega nihala (slika 11)
- konstrukcije z betonskimi jedri ali betonskimi stenami (slika 12)
- pomični okvirji, kombinirani s centričnimi povezji (slika 13)
- pomični okvirji, kombinirani s polnili (slika 14)



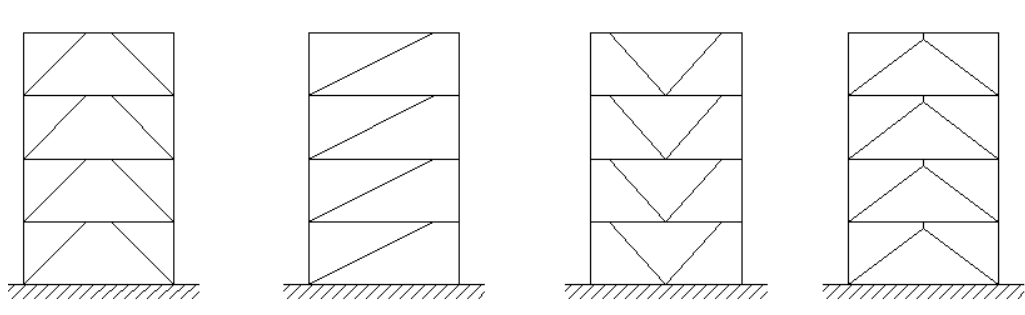
Slika 7: Pomični okvirji, kjer je sposobnost sipanja v nosilcih ali na dnu stebrov.



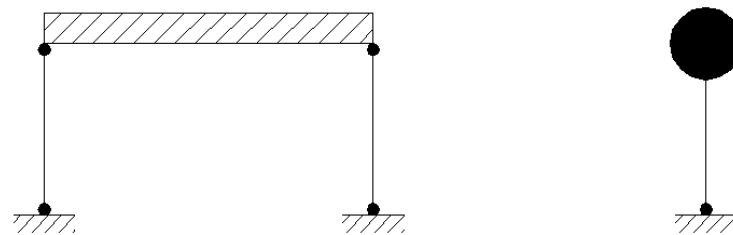
Slika 8: Okvirji s centričnimi povezji, kjer je območje sipanja v nateznih diagonalah.



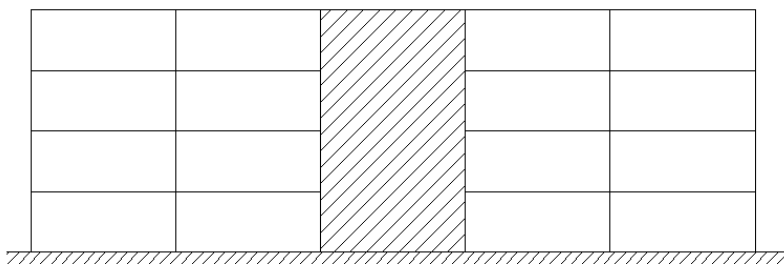
Slika 9: Okvirji s centričnimi povezji, kjer je območje sipanja energije v nateznih in tlačnih diagonalah.



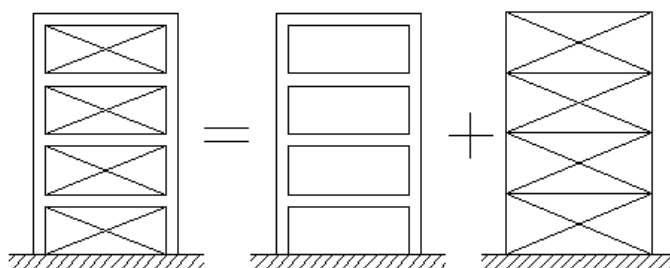
Slika 10: Okvirji z ekscentričnimi povezji, kjer je območje sipanja energije v upogibnih ali strižnih členih.



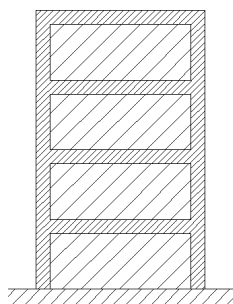
Slika 11: Konstrukcije obrnjeno nihalo, kjer je območje sipanja v stebrih ali na dnu stebra.



Slika 12: Konstrukcije z betonskim jedrom ali betonskimi stenami.



Slika 13: Pomični okvirji kombinirani s centričnimi povezji, kjer je območje sipanja energije v okviru in nateznih diagonalah.



Slika 14: Pomični okvirji kombinirani s polnili.

## 2.4.2 Faktorji obnašanja

(Člen 6.3.2)

Za stavbe, pravilne po višini, so referenčne vrednosti faktorja obnašanja  $q$  podane v preglednici 6. Za stavbe, nepravilne po višini, so vrednosti teh faktorjev 80% vrednosti  $q$ .

Preglednica 6: Referenčne vrednosti faktorjev obnašanja za konstrukcije, ki so pravilne po višini

Tip konstrukcije	DCM	DCH
Pomični okviri	4,0	5,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Okviri s centričnimi diagonalnimi povezji	4,0	4,0
Okviri s centričnimi V povezji	2,0	2,5
Okvir z ekscentričnimi povezji	4,0	5,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Sistem obrnjenega nihala	2,0	2,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Sistem povezanih sten (sten z odprtinami)	3,0 $\alpha_u/\alpha_1$	4,5 $\alpha_u/\alpha_1$
Sistem nepovezanih (konzolnih) sten	3,0	4,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Pomični okviri s koncentričnimi povezji	4,0	4,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Pomični okviri kombinirani s betonskim ali z zidanim polnilom, ki niso spojeni z okvirom, vendar v stiku z njim	2,0	2,0
Armiranobetonsko polnilo, spojeno z okvirom	3,0 $\alpha_u/\alpha_1$	4,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Polnila, izolirana od okvira	4,0	5,0 $\alpha_u/\alpha_1$

Če faktor  $\alpha_u/\alpha_1$  ni izvednoten eksplicitno, se lahko za stavbe, pravilne v tlorisu, uporabijo sledeče približne vrednosti:

a) Okvirni sistemi ali mešani sistemi, ekvivalentni okvirnemu:

- enoetažne stavbe:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$

- večetažni okviri z enim poljem:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$

- večetažni okviri z več polji ali večetažni mešani sistemi, ekvivalentni okvirnemu:

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$$

b) Okvir z ekscentričnimi povezji:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$

c) Sistem obrnjenega nihala:

- območje sipanja ob dnu stebrov:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1$

- območje sipanja v stebrih:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$

d) Pomični okvirji kombinirani s centričnimi povezji:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$

Za stavbe, ki niso pravilne v tlorisu, se lahko kot približno vrednost faktorja  $\alpha_u/\alpha_1$  vzame kar povprečje med a) 1,0 in b) vrednostjo, ki bi jo izbrali v primeru, če bi bila konstrukcija pravilna v tlorisu.

## **2.5 Sovprežne stavbe iz jekla in betona**

(Člen 7)

### **2.5.1 Tipi konstrukcij**

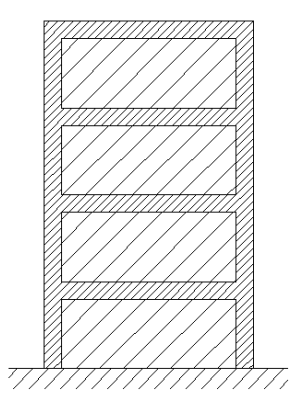
(Člen 7.3.1)

Konstrukcijski tipi, ki se ločijo glede na obnašanje pri potresni obtežbi so:

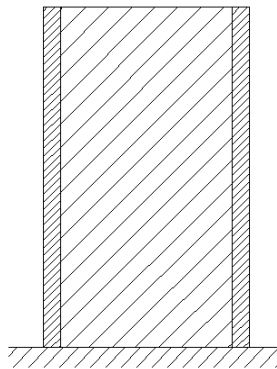
- sovprežni pomični okvirji
- sovprežni okvirji s centričnimi povezji
- sovprežni okvirji z ekscentričnimi okvirji
- konstrukcije obrnjenega nihala
- sovprežni konstrukcijski sistem
- sovprežne strižne stene z jekleno ploščo (sestavljene so iz navpične jeklene plošče po celotni višini stavbe, ki je z ene ali obeh strani obbetonirana z armiranim betonom in iz jeklenih ali sovprežnih robnih elementov).

Sovprežni konstrukcijski sistemi se obnašajo kot armirano betonske stene in se ločijo na:

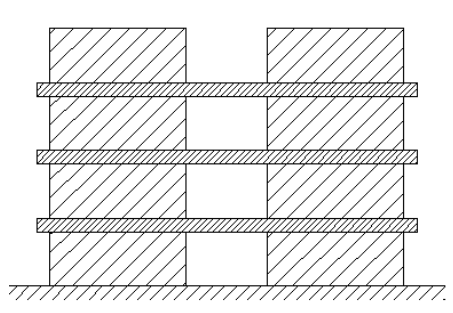
- jeklen ali sovprežen okvir, ki deluje skupaj z betonskim polnilom, povezanim z jekleno konstrukcijo
- armirano betonsko steno z jeklenimi elementi, ki so priključeni na betonsko konstrukcijo in delujejo kot vzdolžna armatura
- jeklene ali sovprežne nosilce, ki povezujejo dve ali več armiranih betonskih ali sovprežnih sten.



Slika 15: Jeklen ali sovprežen okvir z betonskim polnilom.



Slika 16: Sovprežne stene ojačane z robnimi navpičnimi jeklenimi elementi.



Slika 17: Sovprežne ali betonske stene, povezane z jeklenimi ali sovprežnimi nosilci.

Pri vseh konstrukcijskih tipih sovprežnih konstrukcij se sipa energija v navpičnih jeklenih elementih ali v vzdolžni armaturi sten, razen pri sovprežnih ali betonskih stenah, povezanih z jeklenimi ali sovprežnimi nosilci se lahko energija sipa tudi v vodoravnih povezovalnih nosilcih.



## 2.5.2 Faktorji obnašanja

(Člen 7.3.2)

Za stavbe, pravilne po višini, so osnovne vrednosti faktorja obnašanja  $q$  podane v preglednici 7. Za stavbe, nepravilne po višini, so vrednosti 80% vrednosti  $q$ .

Preglednica 7: Referenčne vrednosti faktorjev obnašanja za konstrukcije, ki so pravilne po višini

Tip konstrukcije	DCM	DCH
Pomični okviri	4,0	5,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Okviri s centričnimi digonalnimi povezji	4,0	4,0
Okviri s centričnimi V povezji	2,0	2,5
Okvir z ekscentričnimi povezji	4,0	5,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Sistem obrnjenega nihala	2,0	2,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Sovprežni konstrukcijski sistem z armiranobetonskim polnilom, se nanaša na jeklen ali sovprežen okvir, ki deluje skupaj z betonskim polnilom, povezani z jekleno konstrukcijo	3,0 $\alpha_u/\alpha_1$	4,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Sovprežni konstrukcijski sistem, gre za armirano betonsko steno z jeklenimi elementi, ki so priključeni na betonsko steno in ki delujejo kot vzdolžna robna armatura	3,0 $\alpha_u/\alpha_1$	4,0 $\alpha_u/\alpha_1$
Sovprežni konstrukcijski sistem, nanaša se na jeklene ali sovprežne nosilce, ki povezujejo dve ali več armirano betonskih ali sovprežnih sten	3,0 $\alpha_u/\alpha_1$	4,5 $\alpha_u/\alpha_1$
Sovprežne strižne stene z jeklene ploščo	3,0 $\alpha_u/\alpha_1$	4,0 $\alpha_u/\alpha_1$

Če faktor  $\alpha_u/\alpha_1$  ni eksplicitno določen, se lahko za stavbe, pravilne v tlorisu, uporabijo sledeče približne vrednosti:

a) Okvirni sistemi ali mešani sistemi, ekvivalentni okvirnemu:

- enoetažne stavbe:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$

- večetažni okviri z enim poljem:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$

- večetažni okviri z več polji ali večetažni mešani sistemi, ekvivalentni okvirnemu:

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$$

b) Okvir z eksentričnimi povezji:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$

c) Sistem obrnjenega nihala:

- območje sipanja ob dnu stebrov:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1$

- območje sipanja v stebrih:  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$

Pri sovprežnih konstrukcijskih sistemih se lahko privzame standardna vrednost  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$ , pri sovprežnih strižnih stenah z jekleno ploščo pa vrednost  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$ .

Za stavbe, ki niso pravilne v tlorisu, se lahko kot približno vrednost faktorja  $\alpha_u/\alpha_1$  vzame kar povprečje med a) 1,0 in b) vrednostjo, ki bi jo izbrali v primeru, če bi bila konstrukcija pravilna v tlorisu.

## **2.6 Lesene stavbe**

(Člen 8)

### **2.6.1 Stopnje duktilnosti in faktorji obnašanja**

(Člen 8.3)

Lesen konstrukcije ločimo glede sposobnosti sipanje energije in duktilnosti v eno izmed treh stopenj duktilnosti (L, M, H).

Za stavbe, nepravilne po višini, se vrednost teh faktorjev reducira za 20%, vendar vrednost faktorja obnašanja ni treba, da je manjša od 1,5.

Preglednica 8: Načini projektiranja, tipi konstrukcij in zgornje vrednosti faktorjev obnašanja za tri stopnje duktilnosti

Načini projektiranja	q	Primeri konstrukcij
DCL	1,5	konzole, grede, dvo- in tro-členski loki; paličja povezana s spojniki
DCM	2,0	lepljeni stenski paneli z lepljeni diafragmami, povezani z žebli ali vijaki z maticami (sorniki); paličja z mozničenimi ali vijachenimi spoji (spoji s sorniki); mešane konstrukcije iz lesenega okvira (ki prenaša vodoravne sile) in nenosilnega polnila
	2,5	statično nedoločeni portalni okviri z mozničenimi ali vijachenimi spoji – spoji s sorniki
DCH	3,0	žebljani stenski paneli z lepljenimi diafragmami, povezani z žebli ali vijaki z maticami (sorniki); paličja z žebljanimi vozlišči
	4,0	statično nedoločeni portalni okviri z mozničenimi ali vijachenimi spoji - spoji s sorniki
	5,0	žebljani stenski paneli z žebljanimi diafragmami, povezani z žebli in vijaki z maticami (sorniki)

## 2.7 Zidane stavbe

(Člen 9)

### 2.7.1 Vrsta gradnje in faktorji obnašanja

(Člen 9.3)

Vrste gradnje, ki se ločijo glede na prevzem potresne obtežbe so:

- gradnja z nearmiranim zidovjem
- gradnja s povezanim zidovjem
- gradnja z armirani zidovjem

Nearmirano zidovje, ki izpolnjuje zahteve EN 1996, se obravnava kot zidovje z nizko sposobnostjo sipanja energije, zaradi njegove nizke natezne trdnosti in duktilnosti.

Preglednica 9: Vrste gradnje in zgornja meja faktorja obnašanja

Vrsta gradnje	Faktor obnašanja
Nearmirano zidovje, ki izpolnjuje samo zahteve EN 1996 (se priporoča samo v primerih nizke seizmičnosti).	1,5
Nearmirano zidovje, ki izpolnjuje zahteve EN 1998-1	1,5 - 2,5
Povezано zidovje	2,0 - 3,0
Armirano zidovje	2,5 - 3,0

OPOMBA: V programu so vzete spodnje vrednosti faktorjev obnašanja.

Za stavbe, nepravilne po višini, se vrednost teh faktorjev reducira za 20%, vendar ni potrebno upoštevati vrednosti faktorjev obnašanja manjših od 1,5.

### 3 PROGRAM

Program za izračun potresnih sil je izdelan v programskem okolju MS Office – Excel z VB Editor. V zasnovi programa so upoštevana vsa določila iz Evrokoda 8 navedena v 2. poglavju.

#### 3.1 Algoritmi

Po definiciji SSKJ-ja je algoritem navodilo, ki določa vrsto in zaporedje operacij v računskem postopku.

Značilnosti algoritma:

- (lahko) ima podatke
- (običajno) vrne rezultat
- je natančno določen
- je končen
- je izvedljiv.

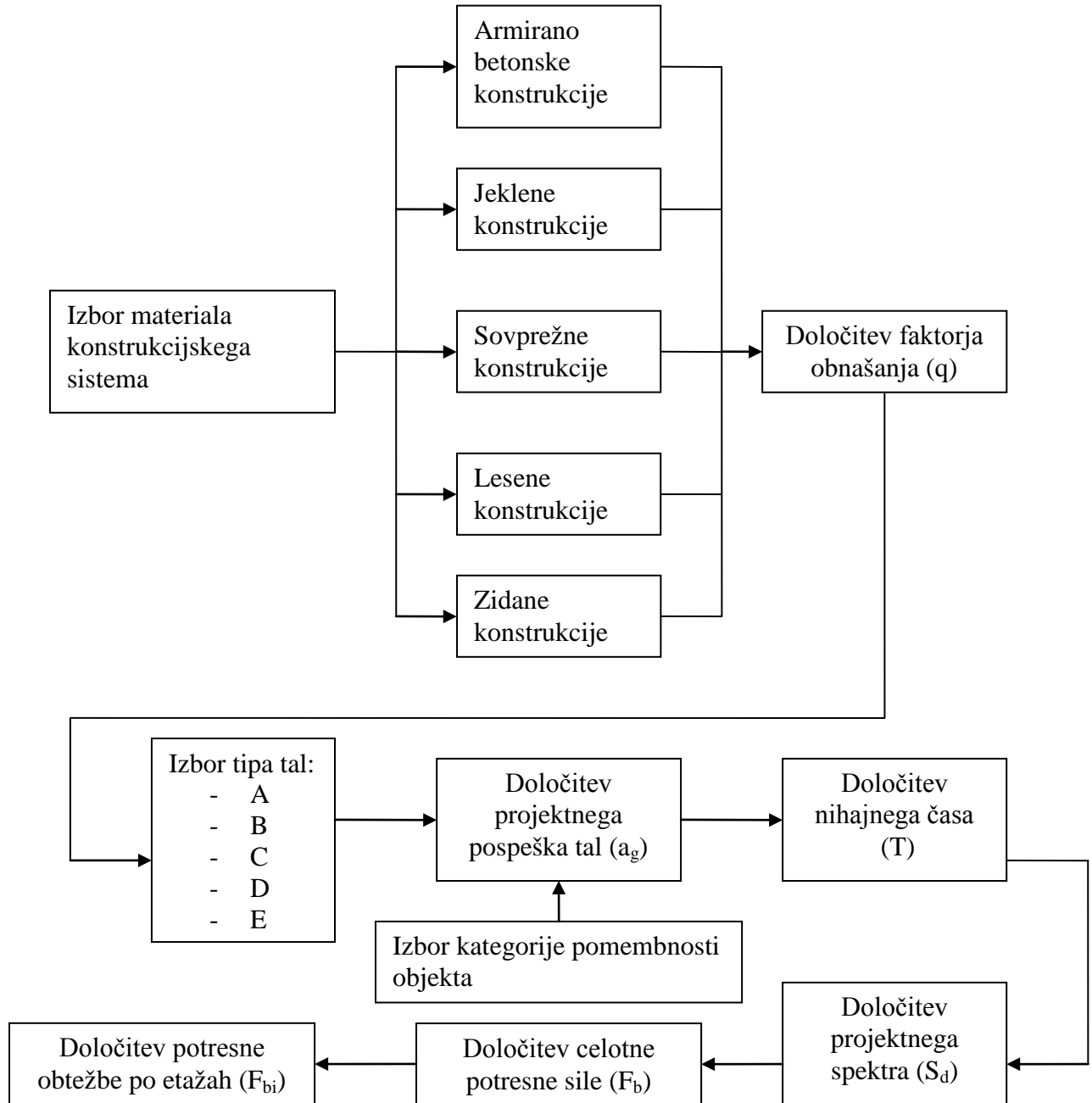
Pri zasnovi računalniškega programa nam algoritmi pripomorejo, da pridemo hitreje do rešitve problema. Kot vemo je programiranje zahtevno delo in tako zapletenost programov obvladamo z razdelitvijo neke naloge na podnaloge. Rešitev naloge in podnalog najprej zapišemo v obliki algoritmov, nato pa v programskem jeziku.

Algoritem bomo v našem primeru pokazali z diagrami poteka.

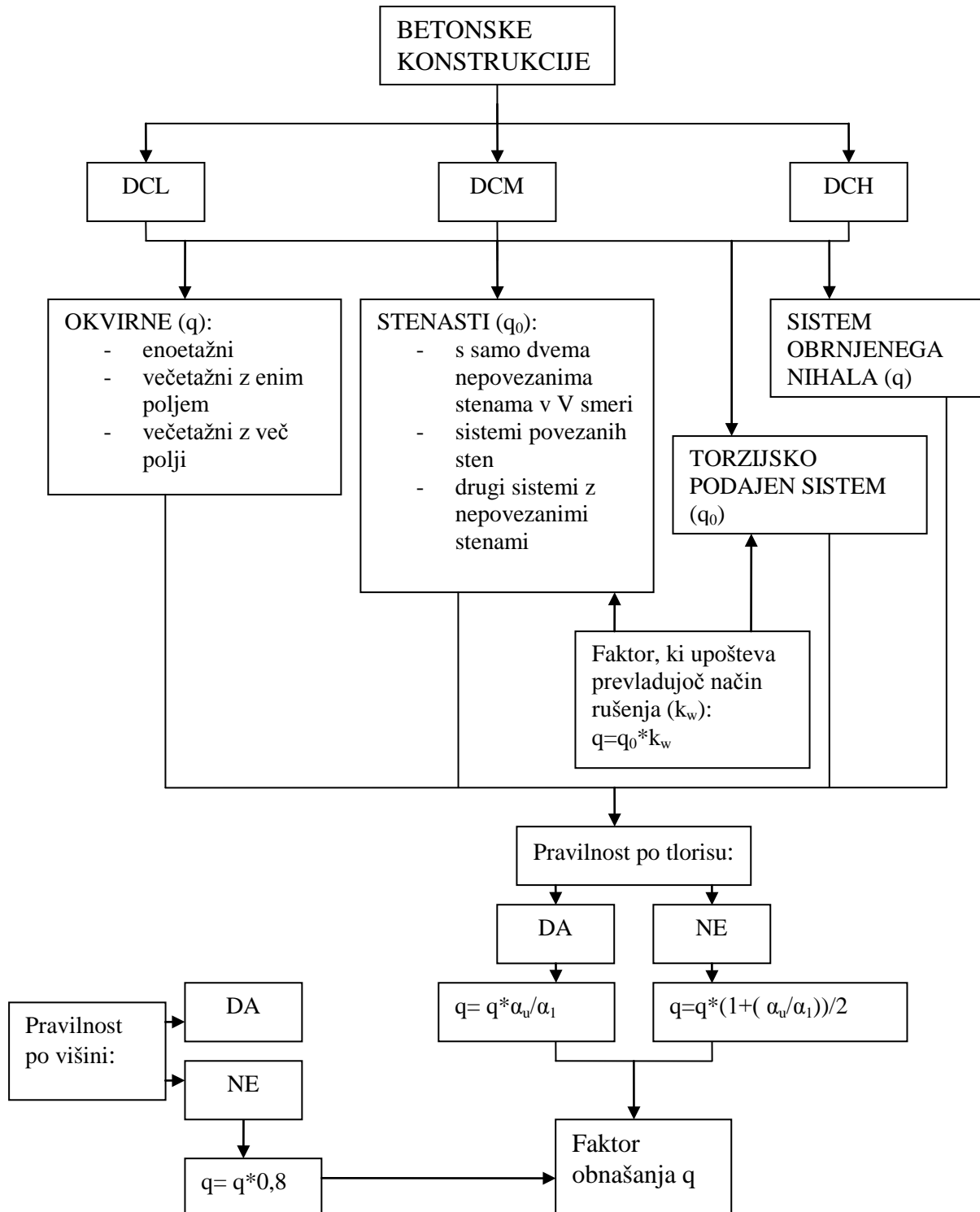
Prednosti diagramov poteka so hitro dojetje toka izvedbe, uporaba standardnih simbolov in pa hitro učenje. Kot slabost pa lahko navedemo nepreglednost pri podrobnejših algoritmihih.

Najprej bomo prikazali osnovni algoritem, nato pa še algoritme za armiranobetonske, jeklene, sovprežne, lesene in zidane konstrukcije.

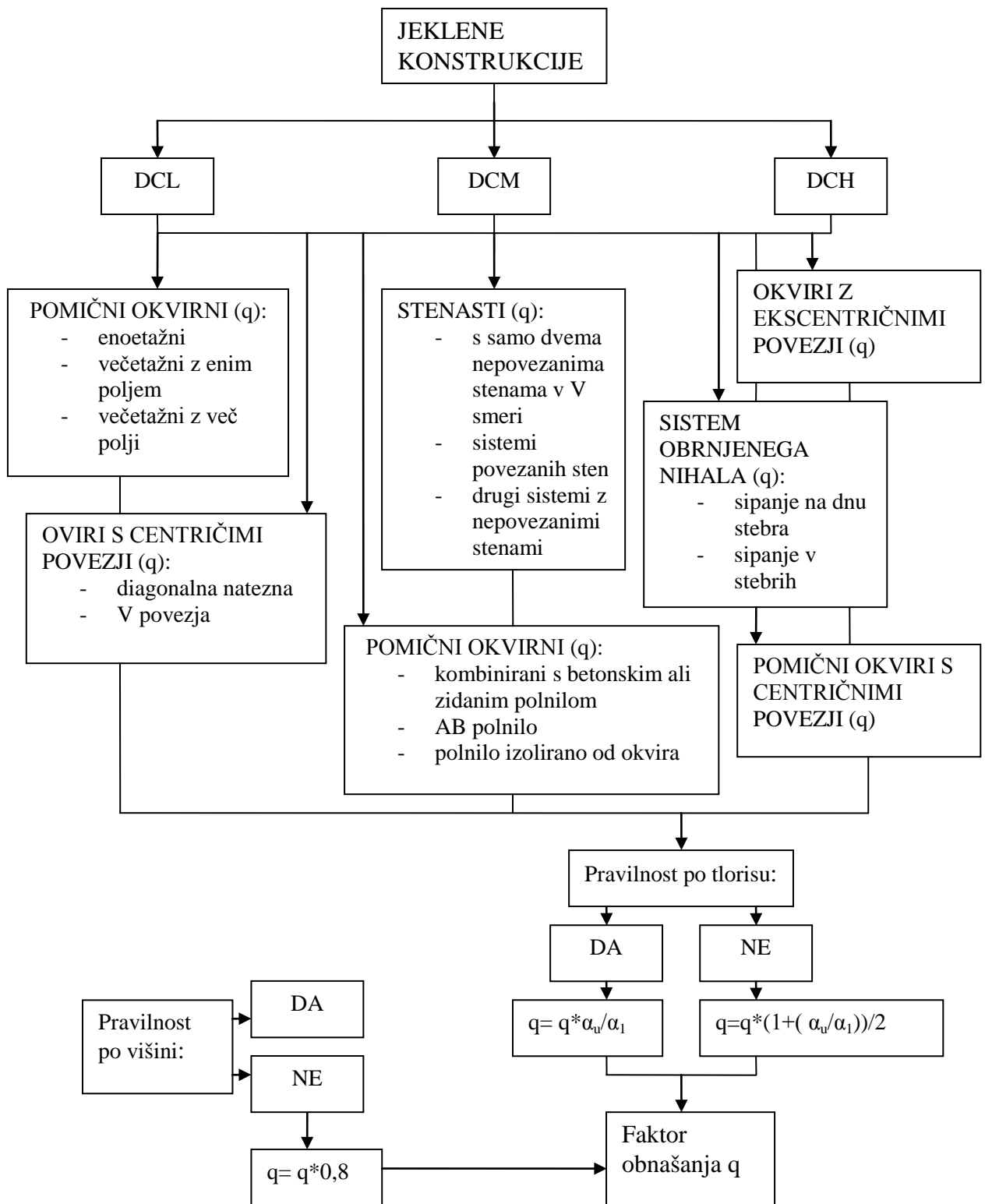
Osnovni algoritem:



Algoritem za izračun faktorja obnašanja pri armirano betonskih konstrukcijah:

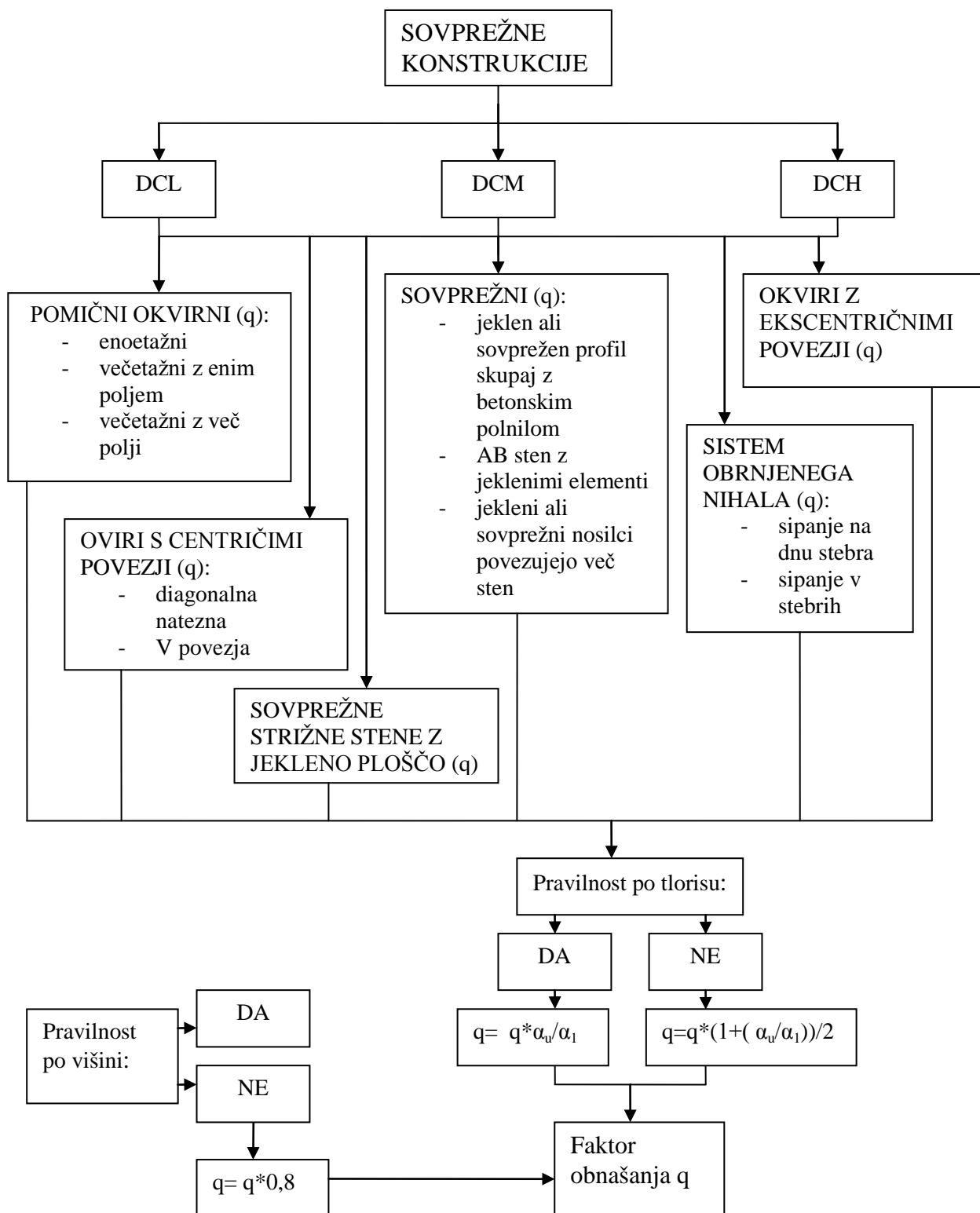


Algoritem za izračun faktorja obnašanja jeklenih konstrukcij:

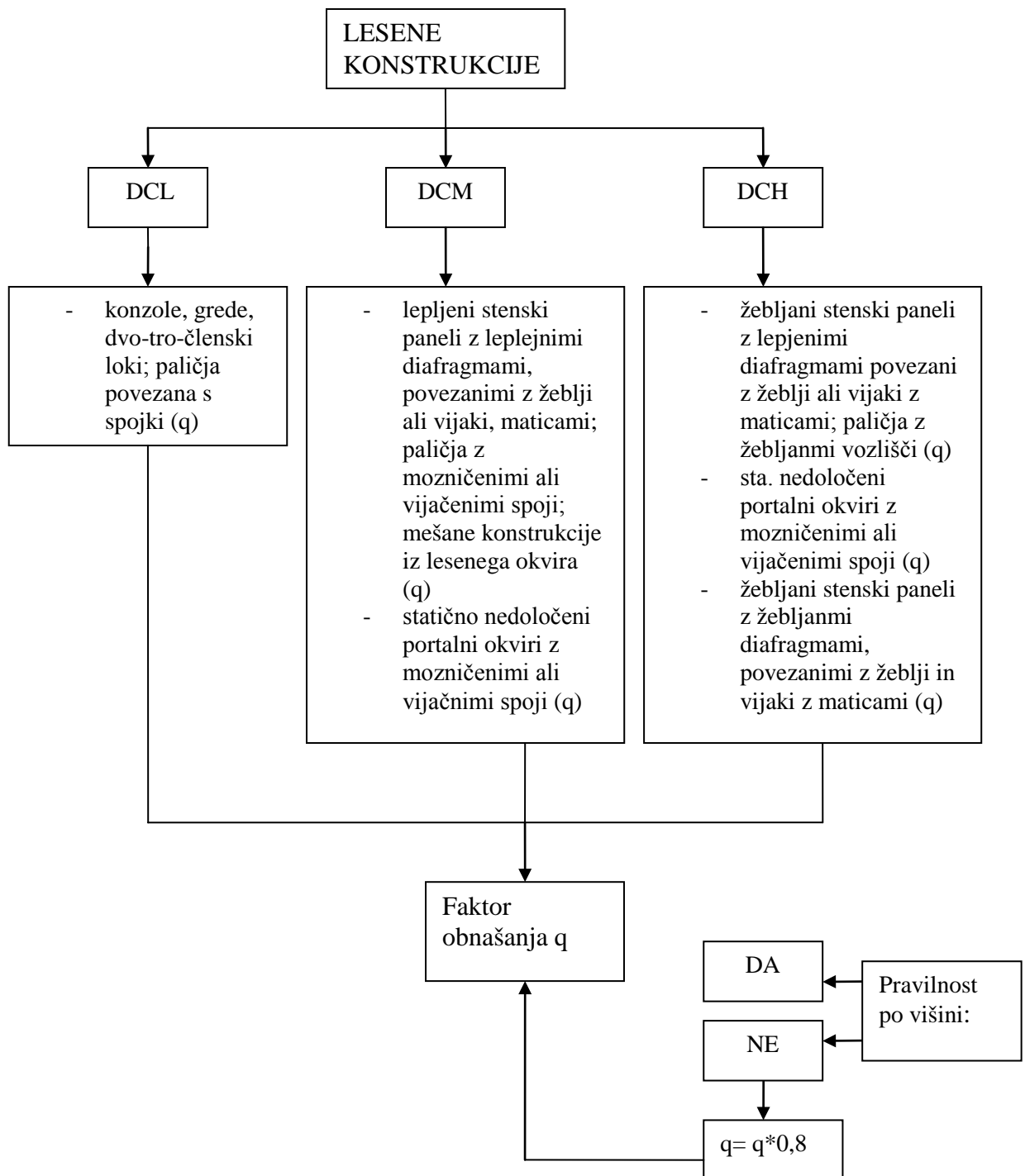




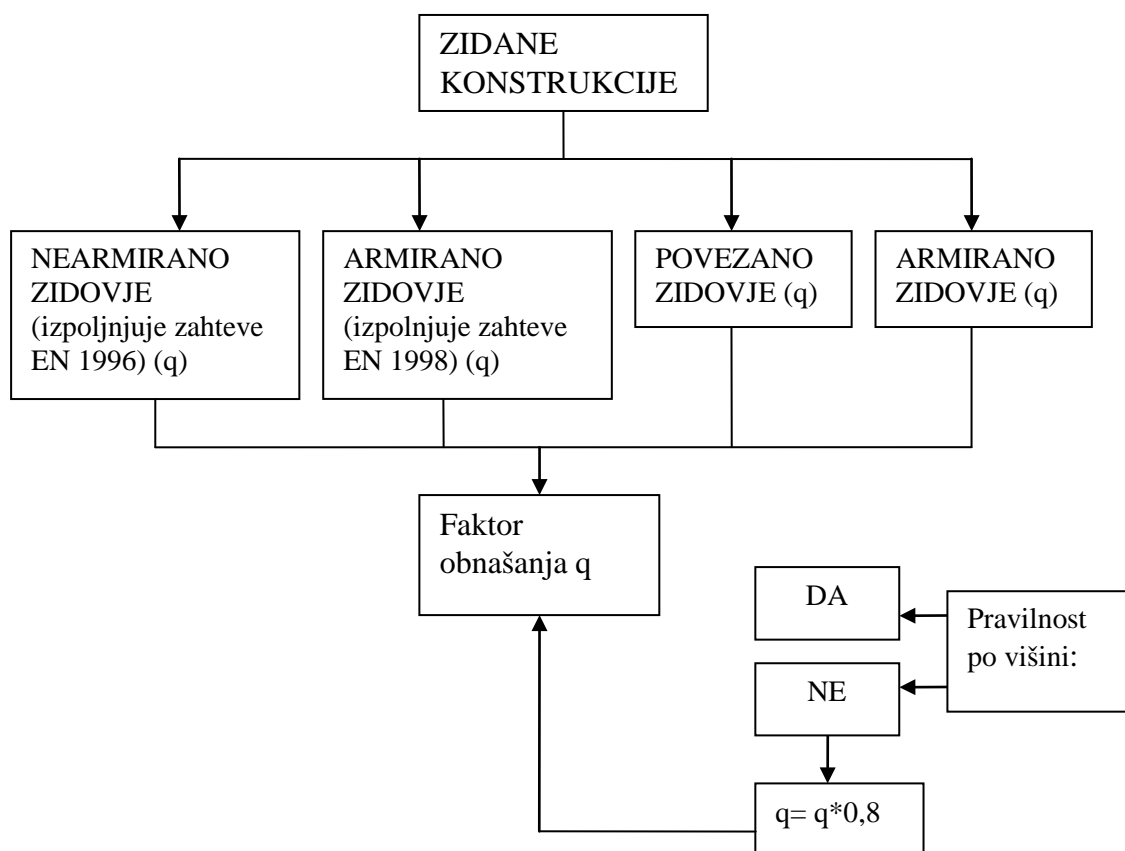
Algoritem za izračun faktorja obnašanja sovprežnih konstrukcij:



Algoritem za izračun faktorja obnašanja lesenih konstrukcij:



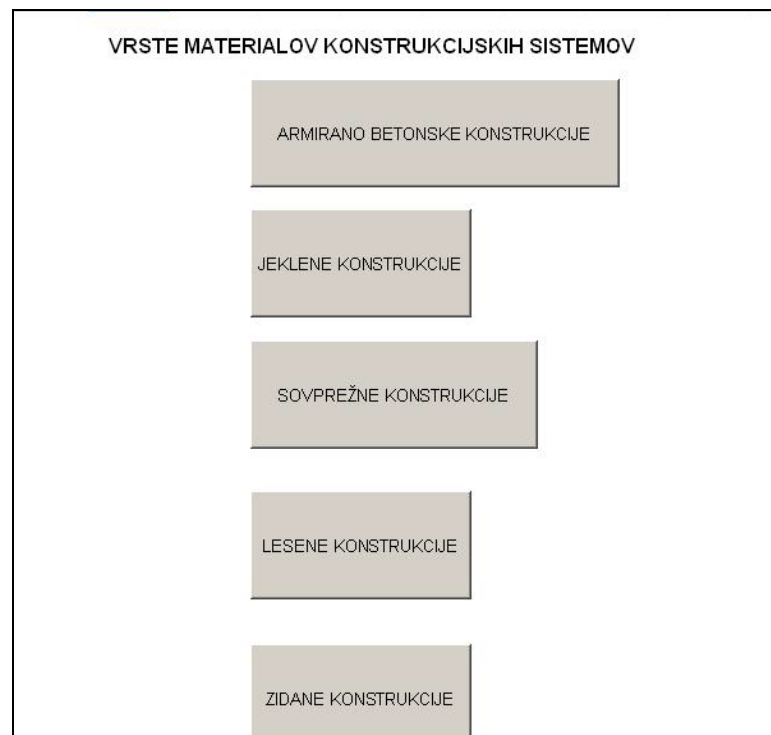
Algoritem za izračun faktorja obnašanja zidanih konstrukcij:



### 3.2 Prikaz programa

Kot smo že zapisali je program narejen v okolju MS Office – Excel, s pomočjo Visual Basic. Uporabnik prehaja med različnimi delovnimi listi s pomočjo gumbov. Za vsak delovni list je napisana svoja programska koda.

Ko uporabnik prične s programom se mora najprej odločiti za tip materiala, ki ga bo uporabil pri svoji konstrukciji, ta izbor prikazuje slika 18.



Slika 18: Izbor materiala konstrukcije

Z izborom materiala oz. s pritiskom na gumb nam program odpre tisti delovni list, ki ustreza izbranemu materialu. Tako so na slikah številka 19, 20, 21, 22 in 23 prikazani obrazci programa.

Te obrazce določajo izbori za:

- tip konstrukcije/vrsta gradnje
- stopnja duktilnosti
- pravilnost po višini
- pravilnost po tlorisu
- razmerje med višino in dolžino stene  $i$  (le pri AB konstrukcijah)
- rezultat: faktor obnašanja.

FAKTOR OBNAŠANJA

KONSTRUKCIJSKI SISTEMI

- enotažni okvirni sistem, mešani ekvivalentni okvirnem sistemu
- večetažni okvirni sistemi z enim poljem, mešani ekvivalentni okvirnem sistemu
- večetažni okvirni sistemi z več polji, mešani ekvivalentni okvirnem sistemu
- sistemi povezanih sten (z odprtinami), mešani ekvivalentni stenastem sistemu
- sistemi nepovezanih (konzolnih) sten s samo 2 nepovezanima stenama v V smeri, mešani ekvivalentni
- drugi stenasti sistemi z nepovezanimi stenami, mešani ekvivalentni stenastem sistemu
- tozjiško podajni sistemi
- sistemi obrnjenega nihala

STOPNJE DUKTILNOSTI

DCL  DCM  DCH

PRAVLNOST PO TLORISU

DA  
 NE

PRAVLNOST PO VIŠINI

DA  
 NE

RAZMERJE MED VIŠINO IN DOLŽINO STENE  $i$

$\frac{h_{wi}}{l_{wi}}$    $\leq$

PREVLADUJOČ NAČIN RUŠENJA

$k_w$    $\leq 1$

konstrukcijski sistem:  $R = 3.0$   
 pravilnost tlorisa:  $R * 1.2$   
 prevladujoč način rušenja:  $R * 1$   
 pravilnost po višini:  $R * 0.8$   
 REZULTAT:  $R = 2,88$

FAKTOR OBNAŠANJA

$q$

Slika 19: AB konstrukcije

FAKTOR OBNAŠANJA

KONSTRUKCIJSKI SISTEM

- pomični enoetažni okvirji
- pomični večetažni okvirji čez eno polje
- pomični večetažni okvirji z več polji
- okvirji s centričnimi povezji z nateznimi diagonalami
- okvirji s centričnimi V povezji
- okvirji z ekscentričnimi povezji
- konstrukcije v ste obrnjeno nihalo-območje sipanja v stebrih
- konstrukcijske v ste obrnjeno nihalo-območje sipanja v upogibnih ali strižnih členih
- sistem povezanih sten z odprtinami
- sistem nepovezanih (konzolnih) sten s samo 2 nepovezanima stenama v V smeri
- drugi sistemi nepovezanih (konzolnih) sten
- pomični okvirji s koncentričnimi povezji
- pomični okvirji kombinirani s betonskim ali zidanim polnilom, ki ni spojeno z okvirjem, vendar v stiku s polnilom
- pomični okvirji kombinirani s AB polnilom, spojeno z ovrom
- enoetažni pomični okvirji kombinirani s polnili izolirani od okvira
- pomični večetažni čez eno polje okvirji kombinirani s polnili izolirani od okvira
- pomični večetažni čez več polji okvirji kombinirani s polnili izolirani od okvira

STOPNJA DUKTILNOSTI

DCL  DCM  DCH

PRAVLNOST PO TLORISU

DA  
 NE

PRAVLNOST PO VŠINI

DA  
 NE

konstrukcijski sistem: R = 4.0  
REZULTAT: R = 4

q

NADALJUJ ZRAČUN

Slika 20: Jeklene konstrukcije

FAKTOR OBNAŠANJA

KONSTRUKCIJSKI SISTEM

- pomični enoetažni okvirji
- pomični večetažni okvirji čez eno polje
- pomični večetažni okvirji z več polji
- okvirji s centričnimi povezji z nateznimi diagonalami
- okvirji s centričnimi V povezji
- okvirji z ekscentričnimi povezji
- konstrukcije vrste obrnjeno nihalo-območje sipanja v stebrih
- konstrukcijske vrste obrnjeno nihalo-območje sipanja v upogibnih ali strižnih členih
- sovprežen ali jeklen profil, ki deluje skupaj z betonskim polnilom, povezanim z jekleno konstrukcijo
- armirana betonska stena z jeklenimi elementi, ki so priključeni na betonsko konstrukcijo in ki delujejo kot vzdolžna robna armatura
- jekleni ali sovprežni nosilci povezujejo dve ali več AB ali sovprežnih sten
- sovprežne strižne stene

STOPNJA DUKTILNOSTI

DCL    DCM    DCH

PRAVILNOST PO TLORISU

DA  
 NE

PRAVILNOST PO VIŠINI

DA  
 NE

konstrukcijski sistem:  $R = 4.5$   
 pravilnost po višini:  $R * 0.8$   
 pravilnost tlorisa:  $R * 1.1$   
 REZULTAT:  $R = 3,96$

q

Slika 21: Sovprežne konstrukcije

FAKTOR OBNAŠANJA

NIZKA SPOSOBNOST SIPANJA ENERGUE-DCL

konzole, grede, dvo- in tro-ženski loki; paličja povezana s spojniki

SREDNJA SPOSOBNOST SIPANJA ENERGUE-DCM

lepljeni stenski paneli z lepljenimi diafragmami, povezani z žebli ali vijaki z maticami (somiki); paličja z

mozničenimi ali vijačenimi spoji (spoji s somiki); mešane konstrukcije iz lesenega okvira (ki prenaša vodoravne sile) in nenosilnega polnila

statično nedoločeni portalni okviri z mozničenimi ali vijačenimi spoji - spoji s somiki

VIŠOKA SPOSOBNOST SIPANJA ENERGUE-DCH

žebljani stenski paneli z lepljenimi diafragmami, povezani z žebli ali z vijaki z maticami (somiki) x paličja z žebljanimi vozlišči

statično nedoločeni portalni okviri z mozničenimi ali vijačenimi spoji - spoji s somiki

žebljani stenski paneli z žebljanimi diafragmami, povezani z žebli in vijaki z maticami

PRAVLNOST PO VIŠINI

DA

NE

konstrukcijski sistem: R = 2.5  
pravilnost po višini: R \* 0.8  
REZULTAT: R = 2

q

NADALJU IZRAČUN

Slika 22: Lesene konstrukcije



FAKTOR OBNAŠANJA

VRSTA GRADNJE

- nearmirano zidovje, ki izpolnjuje le zahteve EN1996(priporočale v primerih nizke seizmičnosti)
- nearmirano zidovje, ki izpolnjuje zahteve EN 1998-1
- povezano zidovje
- armirano zidovje

PRAVLNOST PO VIŠINI

- DA
- NE

REZULTAT: R = 1,5

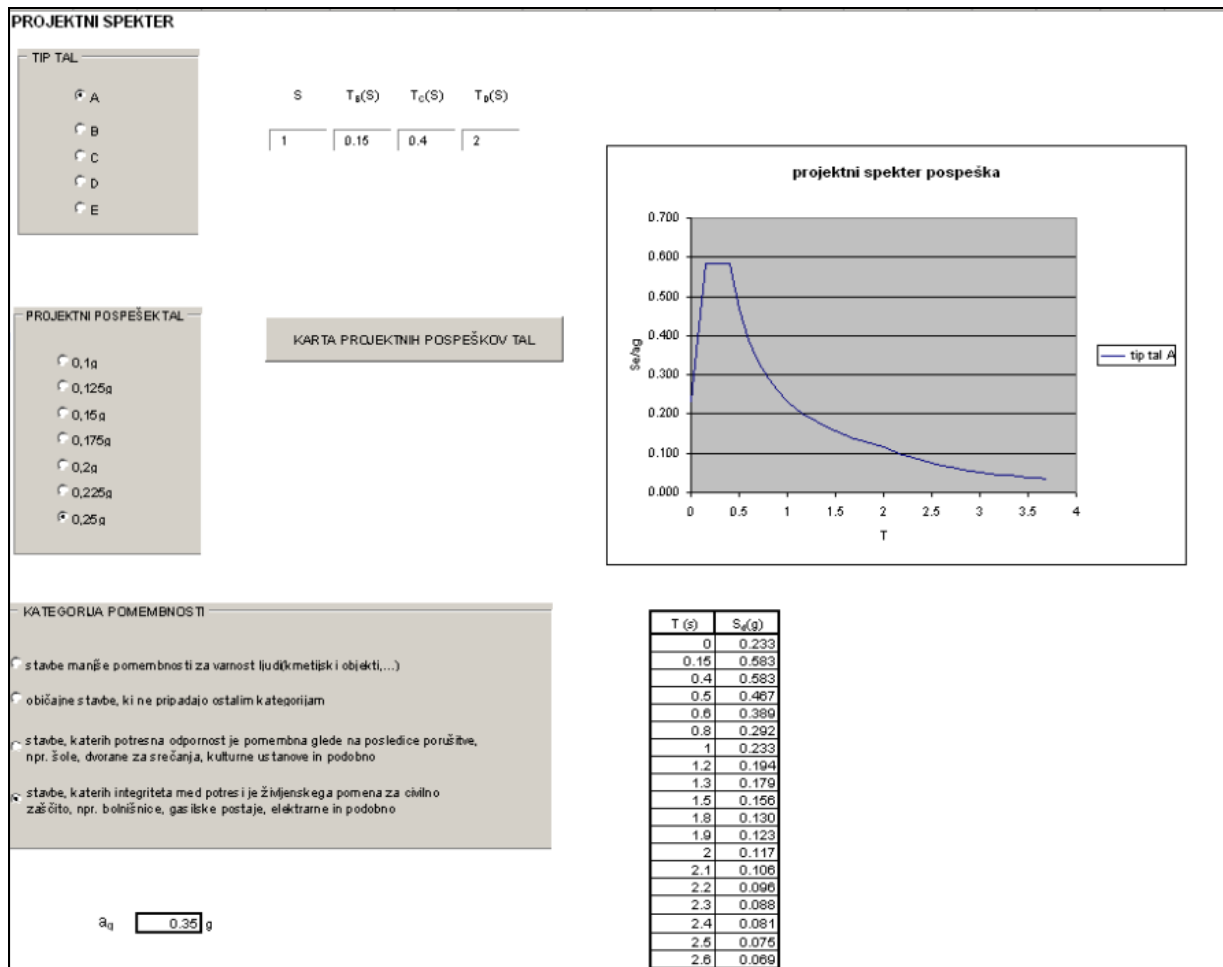
q

Slika 23: Zidane konstrukcije

Ko je določen faktor obnašanja se uporabnik s pritiskom na gumb »NADALJUJ IZRAČUN« postavi na stran, kjer bo nadaljeval z izborom različnih parametrov in izračunom.

V naslednjih korakih uporabnik določi:

- tip tal
- projektni pospešek tal
- kategorijo pomembnosti objekta
- graf spektra pospeškov
- preglednica za modalno analizo ( $T/S_d$ )
- nihajni čas
- projektni spekter
- celotno potresno silo.
- potresne sile, ki odpadejo na posamezno etažo.



Slika 24: Določitev projektnega spektra

**DOLOČITEV NIHAJNEGA ČASA**

št. Etaž	sila (kN)	pomiki (m)	masa (t)
1	194.4	0.028	8.3
2	200	0.081	8.6
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nihajni čas (T)  s

$S_d(T)$   g

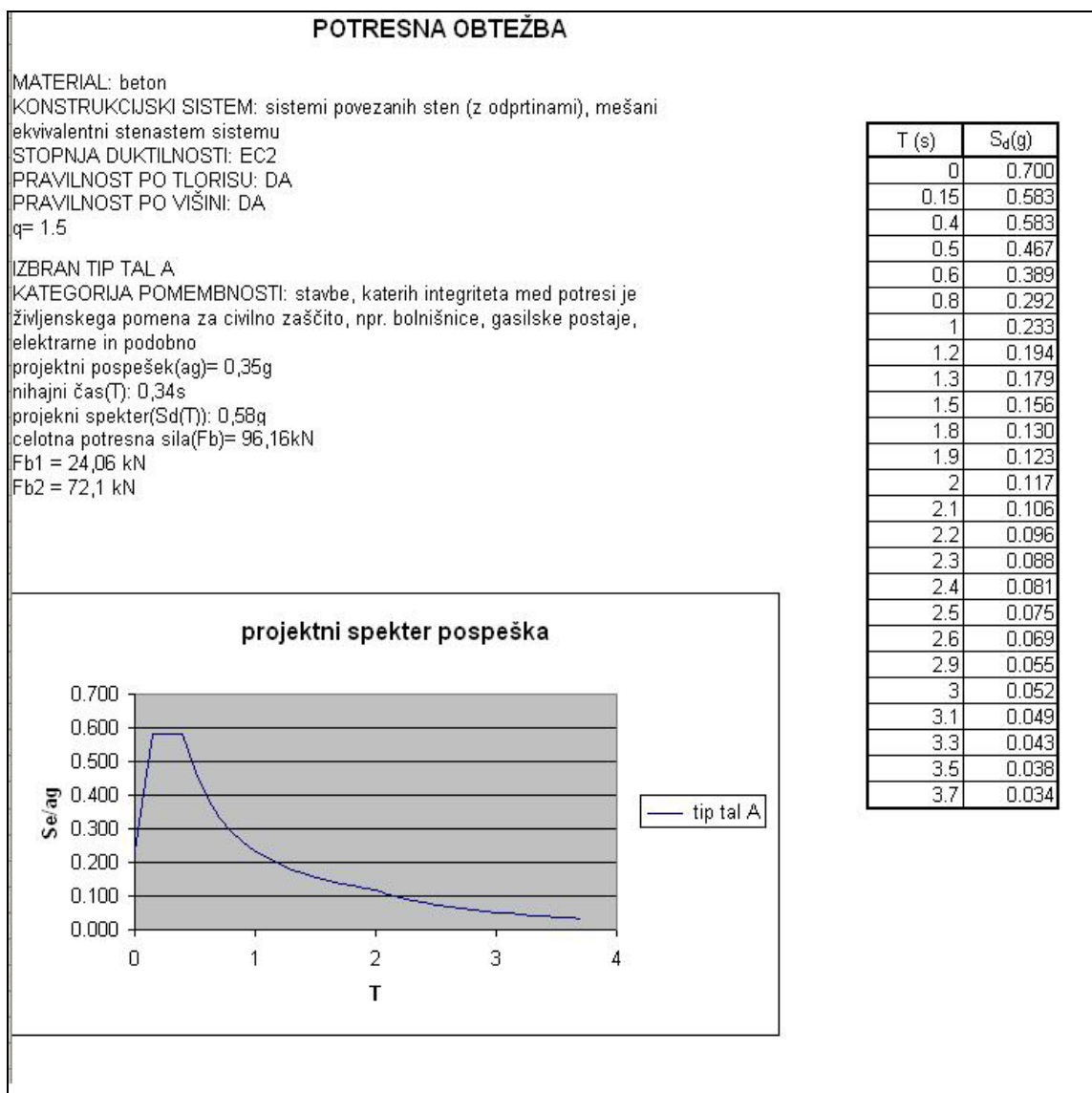
$F_b$   kN

**POTRESNE SILE, KI ODPADAJO NA ETAŽO**

št. Etaž	$F_{bi}(kN)$
1	24.06
2	72.1
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0

Slika 25: Določitev nihajnega časa in potresnih sil.

S pritiskom na gumb »PRIPRAVI IZPIS« se povzamejo vsi parametri, ki smo jih tekom uporabe programa izbrali in so pripravljene za tiskanje.



Slika 26: Izpis.

### 3.3 Zgradba in ukazi programa

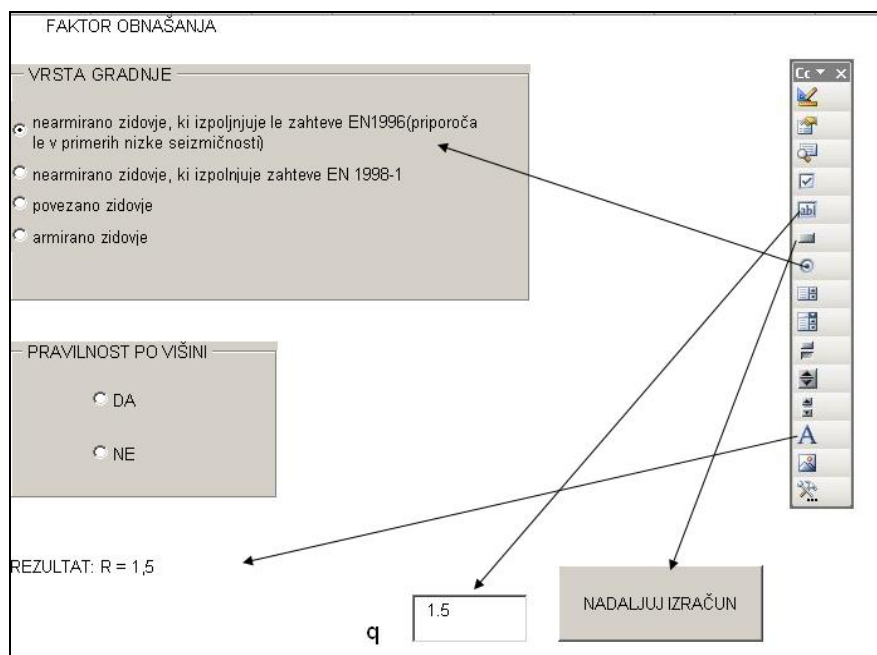
#### 3.3.1 Zgradba programa

##### 3.3.1.1 Obrazci in gradniki

Vsak program, napisan s pomočjo VBA, lahko razdelimo na dva dela: programsko kodo in programski vmesnik. Programska koda se izvaja v ozadju, tako da jo uporabnik nikoli ne vidi, vidni del je le obrazec. Ta je pravzaprav osnova programskega vmesnika, ki je namenjen

komuniciranju med uporabnikom in programom. Obrazec je objekt, ki vsebuje gradnike, kot so okenca za besedilo, izbirni gumbi, pritrditvena polja, ukazni gumbi, sezname, drsniki in še mnoge druge. Seveda so tudi gradniki objekti s svojimi lastnostmi, postopki in dogodki. V našem primeru je obrazec delovni list Excela.

Naš obrazec sestavljajo gumb (ComandButton), etiketa (Label), ukazni gumb (OptionButton) in tekstovno okno (TextBox).



Slika 27: Uporaba gradnikov.

Ko pišemo kodo za gradnike, se moramo zavedati, da imamo opravka z dogodkovnim programiranjem. Ko na primer kliknemo gumb, se sproži dogodek klik na gumb. Da se izvede ta ukaz moramo napisati ustrezno dogodkovno proceduro. To storimo tako, da dvokliknemo gradnik. Odpre se okno s programsko kodo. Dvoklik nas avtomatično postavi znotraj kode privzete dogodkovne procedure za kliknjeni objekt. Če bi radi napisali proceduro za kak drug objekt in/ali kak drug dogodek, moramo izbrati nov par. V oknu s programsko kodo sta dva padajoča seznama. V prvem se nahajajo imena vseh gradnikov, ki so na obrazcu, kjer smo gradnik dvokliknili. V drugem pa vsi dogodki, ki se lahko na izbranem gradniku zgodijo. Glej sliko 28.



Slika 28: Izbor dogodka za gradnik.

### 3.3.2 Izbor ukazov

#### 3.3.2.1 Pogojni stavki

Večkrat se moramo na nekem mestu v programu odločiti, kaj naj program naredi. V tem primeru postavimo pogoj. Če je pogoj izpolnjen, se izvede prvi del kode, v nasprotnem primeru pa se ta del preskoči in se izvede drugi del kode. VBA pozna tri vrste pogojnih stavkov: stavek *If...Then*, stavek *If...Then...Else* in stavek *Select Case*.

V našem primeru smo uporabljali stavek *If...Then...Else*.

#### Stavek *If...Then...Else*

Kadar želimo, da se nekaj izvede, če je pogoj izpolnjen, nekaj drugega pa, če pogoj ni izpolnjen, uporabimo obliko:

*If* Pogoj *Then*

Stavki1

*Else*

Stavki2

*End If*

Če je pogoj izpolnjen, se bodo izvedli *Stavki1*, če pa ne, pa *Stavki2*. Potem se izvajanje nadaljuje za *End If*.

#### 3.3.2.2 Dogodkovna procedura

Ko nek objekt, kot je obrazec ali kak drug gradnik, prepozna dogodek, kot je klik, premik miške in podobno, se samodejno sproži dogodkovna procedura, ki smo jo v kodi povezali s

tem dogodkom. Ker ime te procedure vzpostavi povezavo med objektom in kodo, bi lahko rekli, da so dogodkovne procedure pripete obrazcem in gradnikom.

Kako zapisujemo dogodkovne procedure? Kadar gre za proceduro, povezano z nekim gradnikom, zapišemo ime gradnika, ki mu sledi znak `_`, na koncu pa še ime dogodka. Za zgled zapišimo začetno vrstico procedure, ki se izvede ob kliku na ukazni gumb z imenom IzrisiGraf:

```
Private Sub IzrisiGraf_Click ()
End Sub.
```

### 3.3.2.3 Funkcije

Funkcija je posebna vrsta procedure, za katero je značilno, da vrne neko vrednost. VBA pozna celo vrsto vgrajenih funkcij

Funkcije imajo, podobno kot spremenljivke, določen tip podatkov, ki ga vrnejo. Tega zapišemo za besedo *As*. Če to izpustimo, funkcija vrača rezultat tipa Variant.

Uporabljene funkcije so: Range (nanaša na celico, vrstico ali stolpec), Single, Variant, Integer.

Preglednica 10: Lastnosti funkcij.

Podatkovni tip	Pomen	Obseg
Single	Realno število (z manjšo natančnostjo)	Od -3.402823E38 do -1.41298E-45 za negativne vrednosti; od 1.401298E-45 do 3.402823E38 za pozitivne vrednosti
Integer	Celo število	Od -32 768 do 32768
Varaint	Različica s števili	Od -1.797693134862315E308 do -4.94066E-324 za negativne vrednosti; od 4.94066E-324 do 1.797693134862315E308 za pozitivne vrednosti

### 3.3.2.3.1 Matematične funkcije

#### **Round**

Funkcija Round zaokroži število na izbrano število decimalk.

Round (Število [, Decimalke])

Drugi argument ni obvezen, določa pa število decimalk, ki jih dobimo pri zaokrožitvi števila.

Če ga ne zapišemo, funkcija zaokroži število na najbližje celo število.



## 4 PRIMERI

### 4.1 Primer številka 1

Za primer smo vzeli stavbo, ki jo je obravnavala v diplomskem delu kolegica Sara Bašič, in sicer z naslovom Modeliranje in analiza stenasto-okvirne konstrukcije po EC8.

Konstrukcija, ki jo je v diplomskem delu obravnavala Sara Bašič, je bila modelirana s programom ETABS.

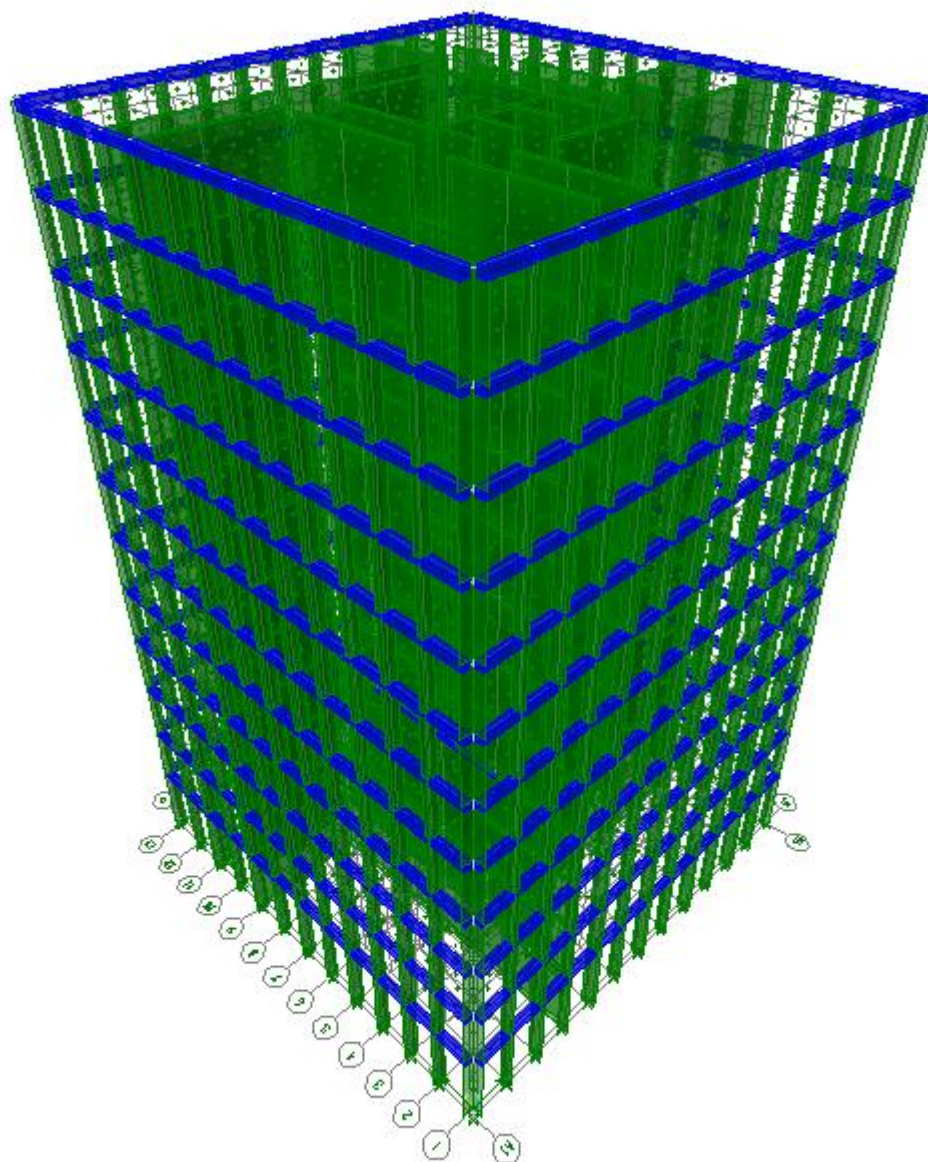
V že pripravljen računski model smo vstavili našo obtežbo, ki smo si jo izbrali po predpostavljeni trikotni obliki, in na podlagi dobljenih rezultatov smo preverjali pravilnost našega programa in primerjali med seboj dobljene rezultate.

#### 4.1.1 Tehnični opis konstrukcije

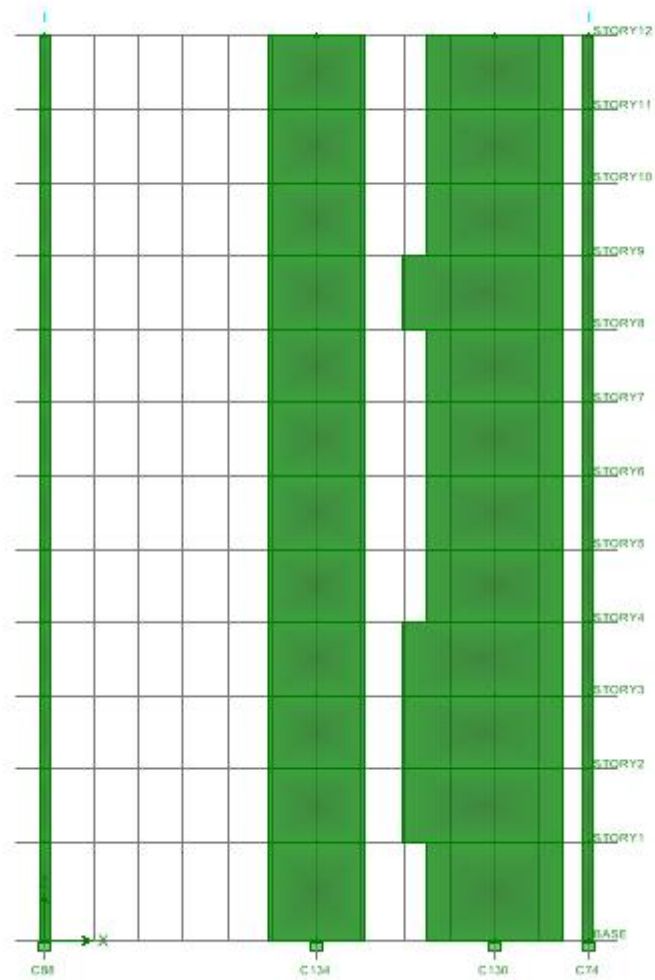
Konstrukcija, ki jo obravnavamo je dvanajst etažna stenasta stavba.

Pogled in tloris tipične etaže sta prikazana na slikah številka 30 (pogled) in 31 (tloris). Plošča je debeline 20 cm ali na nekaterih delih celo 25 cm ali pa le 12 cm. Vsak obodni okvir je sestavljen iz trinajstih stebrov, ki potekajo neprekinjeno od začetka do konca konstrukcije. Notranji stebri so dimenzij 26/48 cm in 26/60 cm, medtem ko so zunanji stebri v obliki črke L, so zunanje dimenzije 60 cm, notranje pa 34 cm. Grede so v konstrukciji zato, da povezujejo stebre in so dimenzij 38/35 cm. Okvir v konstrukciji je ločen od sten (stebri in stene niso toga povezani). Stene so debeline 26 cm.

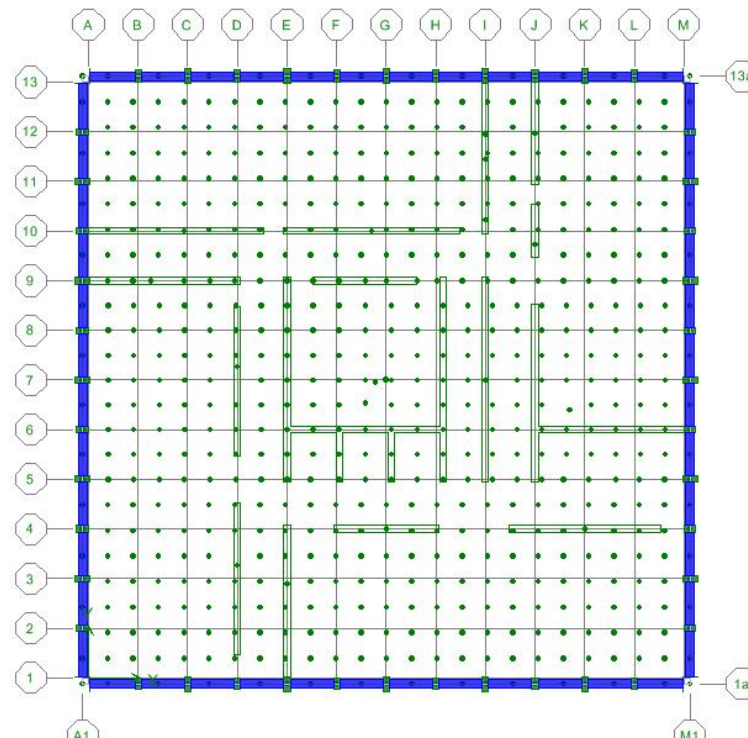
Za celotno konstrukcijo je uporabljen beton kvalitete C25/30.



Slika 29: 3D pogled konstrukcije



Slika 30: Prerez skozi konstrukcijo



Slika 31: Tloris tipične etaže

#### 4.1.2 Določitev faktorja obnašanja

Preden smo želeli uporabiti naš program smo potrebovali najprej pogledati, kateri so tisti parametri, ki določajo našo konstrukcijo in so pomembni za uporabo našega programa.

Parametri, ki določajo faktor obnašanja  $q$ :

- material: AB
- konstrukcijski sistem: sistemi povezanih sten (z odprtinami), mešani ekvivalentni stenastem sistemu, ker je strižna nosilnost pri vpetju veliko večja od 50% skupne strižne nosilnosti celotne konstrukcije
- faktor, ki upošteva prevladujoč način rušenja: 2,71
- stopnja duktilnosti: DCM
- pravilnost po tlorisu: NE
- pravilnost po višini: DA.

Ko smo povzeli vse te pglavitne parametre, smo jih označili v programu in dobili, da je faktor obnašanja  $q = 3,3$ , kar prikazuje slika 32.

FAKTOR OBNAŠANJA

---

KONSTRUKCIJSKI SISTEMI

- enoetažni okvirni sistem, mešani ekvivalentni okvirnem sistemu
- večetažni okvirni sistem iz enim poljem, mešani ekvivalentni okvirnem sistemu
- večetažni okvirni sistem iz več polji, mešani ekvivalentni okvirnem sistemu
- sistemi povezanih sten (z odprtinami), mešani ekvivalentni stenastem sistemu
- sistemi nepovezanih (konzolnih) sten s samo 2 nepovezanima stenama v smeri, mešani ekvivalentni
- drugi stenasti sistemi z nepovezanimi stenami, mešani ekvivalentni stenastem sistemu
- tozijsko podajni sistemi
- sistemi obrnjenega nihala

STOPNJE DUKTILNOSTI

EC2  DCM  DCH

PRAVILNOST PO TLOORISU

DA  NE

PRAVILNOST PO VIŠINI

DA  NE

RAZMERJE MED VIŠINO IN DOLŽINO STENE  $l$

$h_{wi}$

$l_{wi}$

$\alpha_0$

PREVLADUJOČ NAČIN RUŠENJA

$k_w$

konstrukcijski sistem:  $R = 3,0$   
 pravilnost tlorisa:  $R * (1+1,2)^2$   
 prevladujoč način rušenja:  $R * 1$   
 REZULTAT:  $R = 3,3$

FAKTOR OBNAŠANJA

$q$

Slika 32: Določitev faktorja obnašanja

Rezultat, ki smo ga dobili, je enak Sarinem, kar smo tudi pričakovali, da bo. V tem delu primera smo videli, da program deluje pravilno.

### 4.1.3 Določitev nihajnega časa

Za določitev nihajnega časa smo definirali dva primera s horizontalnimi silami v programu ETABS, in sicer v smeri X in Y, ki so razporejene po trikotniku in imajo prijemališče v masnem središču.

Preglednica 11: Predpostavljene sile, ki smo jih podali v masno središče, mase in pomiki

Etaža	Masa $M_i$ (t)	Predpostavljena sila (kN)	Pomik v x $u_{ix}$ (m)	Pomik v y $u_{iy}$ (m)
1	841	15 000	0.025459	0.015055
2	788	13 784	0.066072	0.039763
3	795	12 568	0.120044	0.074534
4	857	11 351	0.184933	0.118519
5	854	10 135	0.258932	0.181086
6	854	8 919	0.339794	0.25132
7	854	7 703	0.45438	0.32725
8	855	6 486	0.5141	0.407138
9	855	5 270	0.604265	0.489213
10	854	4 054	0.694795	0.572227
11	854	2 839	0.784903	0.655552
12	1357	1 622	0.873822	0.738331

Ko smo zbrali in dobili vse te podatke, smo jih vstavili v program in izračunali nihajni čas.

Poleg teh podatkov je bilo potrebno določiti še naslednje parametre:

- tip tal: C
- lokacija: Ljubljana
- kategorija pomembnosti: običajne stavbe, ki ne pripadajo ostalim kategorijam.

Tako smo dobili v X smeri  $T_x = 1,44$  s, v Y smeri pa  $T_y = 1,31$  s. Te rezultate smo primerjali z rezultati, ki so navedeni v Sarini diplomski nalogi.

Preglednica 12: Primerjava nihajnih časov

Smer	Naš nihajni čas (s)	Sarin nihajni čas (s)	$\Delta$ (%)
X	1,44	1,44	0
Y	1,31	1,31	0

Iz preglednice 12 vidimo, da smo dobili z našim programom enake nihajne čase kot kolegica Sara s programom ETABS. Tako smo tudi v tem delu primera pokazali, da program deluje pravilno.

## 4.2 Primer številka 2

V tem primeru smo želeli pokazati kateri tip konstrukcijskega sistema je najbolj ugoden na potresnem območju. Izbrali smo med konstrukcijskimi sistemi armirano betonskih konstrukcij, ki ležijo na območju Ljubljane in primerjali vrednosti faktorjev obnašanja in projektne spektre.

### 4.2.1 Predpostavke

Predpostavili smo da so:

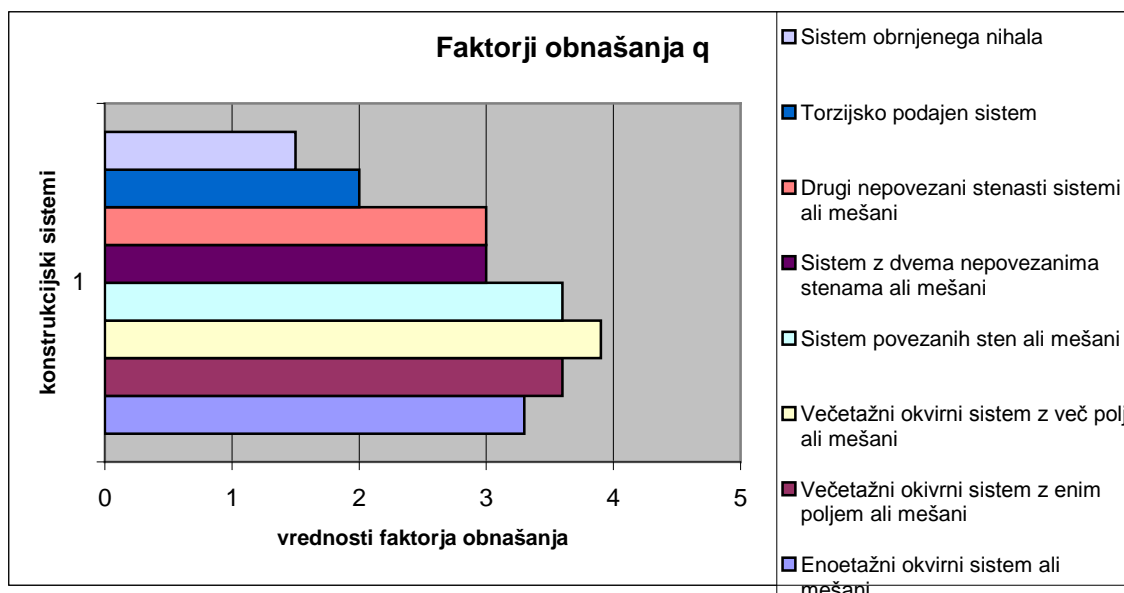
- v območju srednje stopnje duktilnosti (DCM)
- pravilne po tlorisu
- pravilne po višini
- faktor, ki upošteva prevladujoč način rušenja ( $k_w$ ) je pri stenastih sistemih enak 1
- ležijo na območju Ljubljanske kotline
- tip tal B
- gre za stavbe, katerih integriteta med potresi je življenjskega pomena za civilno zaščito, npr. bolnišnice, gasilske postaje, elektrarne in podobno

## 4.2.2 Rezultati

Dobili smo naslednje vrednosti:

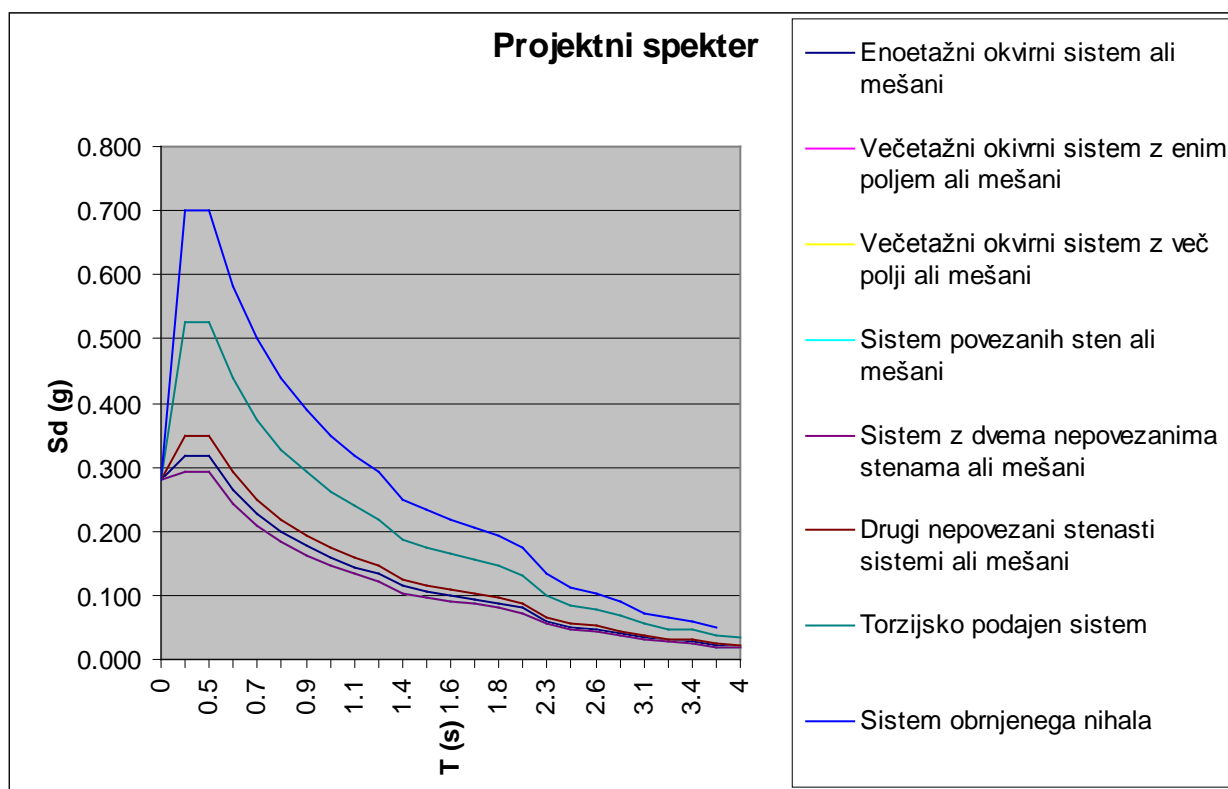
- Enoetažni okvirni sistem, mešani ekvivalentni okvirnem sistemu.:  $q=3,3$
- Večetažni okvirni sistemi z enim poljem, mešani ekvivalentni okvirnem sistemu.:  $q=3,6$
- Večetažni okvirni sistemi z več polji, mešani ekvivalentni okvirnem sistemu.:  $q=3,9$
- Sistemi povezanih sten (z odprtinami), mešani ekvivalentni stenastem sistemu.:  $q=3,6$
- Sistemi nepovezanih (konzolnih) sten s samo 2 nepovezanima stenamav V smeri, mešani ekvivalentni:  $q=3$
- Drugi stenasti sistemi z nepovezanimi stenami, mešani ekvivalentni stenastem sistemu:  $q=3$
- Tozijsko podajni sistemi:  $q=2$
- Sistemi obrnjenega nihala:  $q=1,5$ .

Na sliki 33 so zbrane vrednosti faktorjev obnašanja, kjer so razvidne razlike v vrednostih za različne konstrukcijske tipe.



Slika 33: Primerjava vrednosti faktorjev obnašanja





Slika 34: Projektni spektri za različne konstrukcijske sisteme

Največjo vrednost faktorja obnašanja ima večetažni okvirni sistemi z več polji ali mešani ekvivalentni okvirnem sistemu, kar pomeni, da je ta konstrukcijski sistem za armiranobetonske konstrukcije potrebno projektirati na najmanjše potresne sile, saj je zaradi maksimalne vrednosti faktorja obnašanja, delež projektnega spektra glede na celotno maso konstrukcije najmanjši in posledično nanj odpade tudi najmanjša potresna obtežba  $F_b$ .

Najmanjšo vrednost faktorja obnašanja pa ima sistem obrnjenega nihala, ki je tako izmed vseh konstrukcijskih sistemom najmanj ugoden za potresna območja.

Na podlagi te primerjave lahko rečemo, da če živimo na potresno ogroženem območju, je najbolje izbirati med konstrukcijskimi sistemi kot so okvirni sistemi (enoetažni, večetažni z enim poljem, večetažni z več polji) in stenastimi (povezanih sten, nepovezanih sten in drugimi stenastimi) sistemi. Najmanj pa si želimo imeti na potresnem območju konstrukcije tipa obrnjenega nihala in torzijsko podajno konstrukcijo.

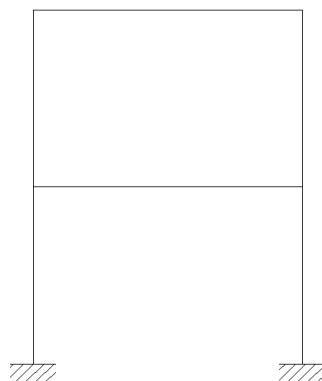
### 4.3 Primer številka 3

S pomočjo tega primera smo pokazali kako vpliva stopnja duktilnosti konstrukcijskega sistema na faktor obnašanja in projektni spekter. Najprej smo si izbrali nizko stopnjo duktilnosti (DCL), nato srednjo stopnjo duktilnosti (DCM), ter na koncu še visoko stopnjo duktilnosti (DCH) in primerjali dobljene rezultate.

#### 4.3.1 Opis konstrukcije

Konstrukcija, ki jo obravnavamo je dvoetažna jeklena hala. Stebri HEA 280, prečke pa so neskončno toge. V grobem opisu bi lahko rekli, da spada med okvirne konstrukcijske sisteme, ker pa za določitev faktorja obnašanja to ni dovolj, moramo reči še, da spada med večetažne pomične okvire, ki gredo čez eno polje. Konstrukcija je pravilna po tlorisu in po višini.

Konstrukcija leži na Gorenjskem, in sicer v Kranju. Za območje Kranja velja tip tal C in projektni pospešek tal  $a_g = 0,225$  g. Po kategoriji pomembnosti gre za običajen objekt, ki ne pripada ostalim kategorijam in zato se projektni pospešek v tem primeru ne zmanjša in ne zveča.



Slika 35: Konstrukcija obravnavanega primera

#### 4.3.2 Podatki konstrukcije

Konstrukcija ima stalno vertikalno obremenitev  $g = 8,5$  kN/m<sup>2</sup> in spremenljivo  $q = 3$  kN/m<sup>2</sup>. Površina na kateri obremenitev deluje je enaka 12 m<sup>2</sup>. Ti podatki so v našem primeru potrebni

za določitev mas konstrukcije. V zgornji etaži prištejemo 30% spremenljive obtežbe k stalni, v spodnji pa le 15 % spremenljive obtežbe.

Preglednica 13: Podatki za račun nihajnega časa

Etaža	Višina etaže $h$ (m)	Masa $m$ (t)	Predpostavljena trikotna obtežba $F$ (kN)	Togost $k$ (kN/cm)	Pomik $u$ (cm)
1	3,2	107,4	320	210,26	1,5
2	2,8	112,8	600	313,85	3,4

Podatke iz poglavja 4.3.1 in 4.3.2 vstavimo v naš program in dobimo rezultate, ki so opisani v naslednjem poglavju.

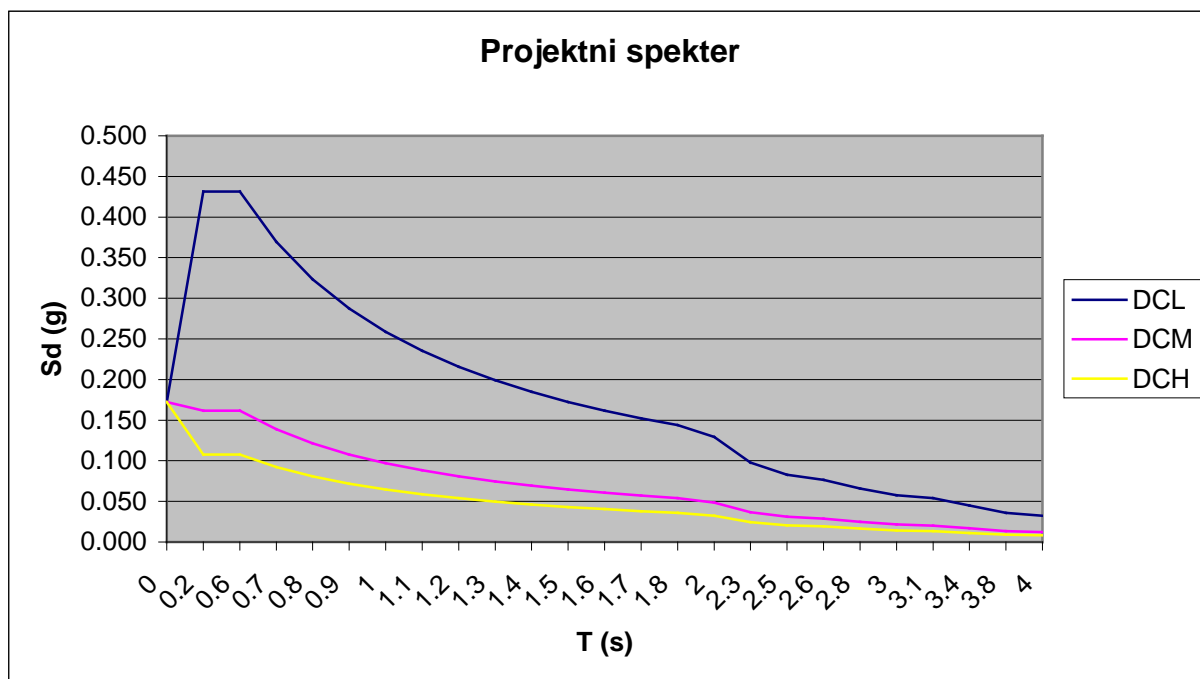
### 4.3.3 Rezultati

Iz rezultatov je razvidno, da je za srednjo stopnjo duktilnosti potresna obtežba za 50% večja od potresne obtežbe za konstrukcijski sistem s privzeto visoko stopnjo duktilnosti DCH. Zato bi lahko verjetno za visoko stopnjo duktilnosti izbrali lažje profile od tistih za sistem s srednjo stopnjo duktilnosti, če pa je izbor sistema DCH ekonomičen, bi bile potrebne še dodatne analize, saj je so za ta sistem konstrukcijski detajli lahko bolj zahtevni.

Potresna obtežba pri nizki stopnji duktilnosti pa je za kar 300% večja od potresne obtežbe visoke stopnje duktilnosti in za 167% večja od srednje stopnje duktilnosti. Zato bi v primeru nizke stopnje duktilnosti verjetno izbirali profile, ki so precej težji od tistih, ki ustrezajo DCM in DCH območju.

Preglednica 14: Prikaz rezultatov za DCL, DCH in DCM

Stopnja duktilnosti	Faktor obnašanja $q$	Nihajni čas $T$ (s)	Projektni spekter $S_d$ (g)	Potresna obtežba $F_b$ (kN)
DCL	1,5	0,492	0,431	931,03
DCM	4	0,492	0,162	349,95
DCH	6	0,492	0,108	233,3



Slika 36: Projektni spektri za različne stopnje duktilnosti

#### 4.4 Primer številka 4

V tem primeru smo gledali kako vpliva na projektni spekter izbor tipa tal. V prvem primeru bomo izbrali tip tal A, v drugem tip tal B, v tretjem tip tal C, v četrtem tip tal D in v zadnjem tip tal E.

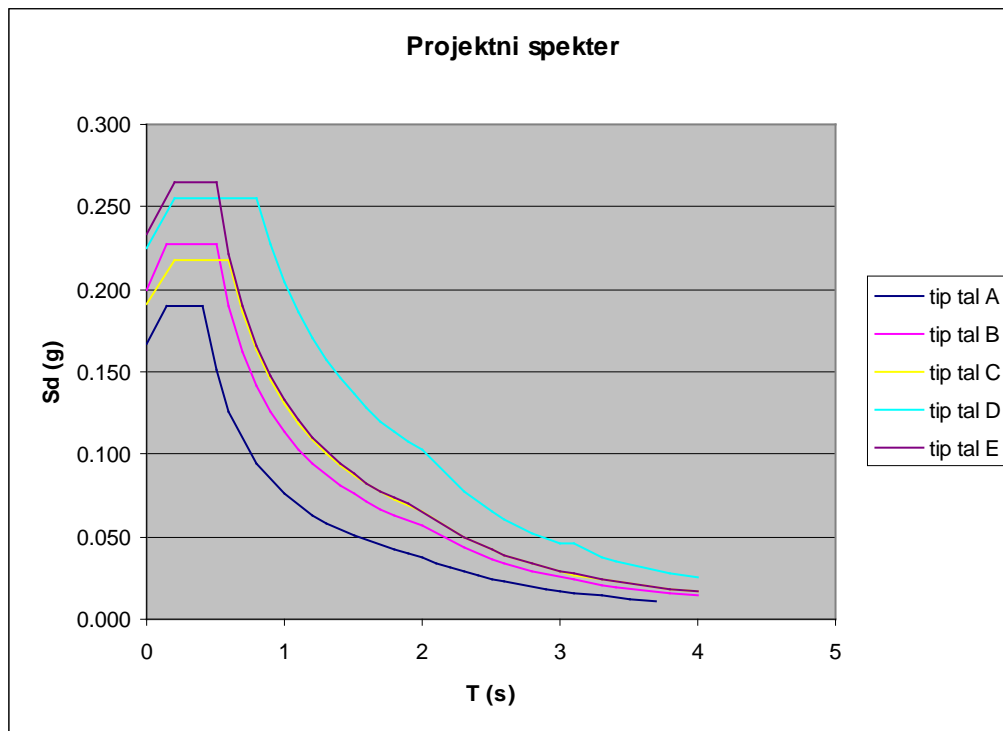
##### 4.4.1 Predpostavke

Predpostavke, ki so potrebne za določitev projektnega spektra:

- faktor obnašanja: 3,3 (sovprežne konstrukcije-sovprežen ali jeklen profil, ki deluje skupaj z betonskim polnilom, povezanim z jekleno konstrukcijo)
- projektni pospešek tal: 0,25g
- pomembnost objekta: običajne stavbe, ki ne pripadajo ostalim kategorijam.

#### 4.4.2 Rezultati

Ko smo v naš program vstavili omenjene parametre, smo dobili projektne spektre na sliki 37.



Slika 37: Primerjava projektних spektrov glede tipa tal

Iz le-te je jasno razvidno, da tip tal, ki deluje najbolj ugodno, ko nastopi potresna obremenitev, je tip tal A, saj je projektni spekter najmanjši. Kot najbolj neugodno območje potresno odporne gradnje je pa območje E.

Najširše območje med parametroma  $T_B$  in  $T_C$  zavzema tip tal D, saj je vrednost parametrov  $T_B=0,2$  in  $T_C=0,8$ , kar pomeni, da je ta tip tal najdlje v konstantnem območju, za katero velja izraz oz. formula 1.2.

Tako lahko rečemo, da tla, ki so najbolj primerna za potresno odporno gradnjo so tipa A, sledijo tla tipa C, nato tip B, bolj neugodna pa so tla tipa D in najmanj ugodna tla tipa E.

## 5 ZAKLJUČEK

Osnovo našega diplomskega dela predstavlja standard EN 1998-1:2004. Skozi delo smo ugotovili, da uporaba le-tega ni ravno preprosta. Standard določa veliko število pravil, ki jih morajo projektanti poiskati in upoštevati, kar povzroča dokaj zamudno projektiranje. Z namenom, da bi projektantom prihranili čas, smo izdelali program za določanje potresne obtežbe, ki je sestavljen iz treh delov.

Prvi del programa določa vrednost faktorja obnašanja. V tem delu programa so zbrane vse zahteve iz Evrokod 8, ki so potrebne za določitev faktorja. Upoštevali smo vse vrste konstrukcijskih sistemov, stopenj duktilnosti, tlorisnih in višinskih pravilnosti in nepravilnosti za različne materiale. Program zajema armiranobetonske, jeklene, sovprežne, lesene in zidane konstrukcije. Videli smo, da je potrebno pri armirano betonskih konstrukcijah upoštevati, poleg že omenjenih parametrov tudi faktor, ki upošteva prevladujoč način porušitve, vendar ta vpliva na faktor obnašanja le pri stenastih konstrukcijah. Največ konstrukcijskih sistemov je na voljo pri jeklenih konstrukcijah, najmanj pa pri zidanih konstrukcijah, kjer se delijo le na nearmirana, povezana in armirana zidovja.

Drugi del programa, ki je skupen vsem vrstam zgoraj omenjenih materialov, obsega tipe tal, kategorije pomembnosti objektov, projektni pospešek tal, nihajni čas, projektni spekter, celotno potresno obtežbo in potresne sile, ki odpadejo na posamezne etaže. V splošnem smo v drugem delu obravnavali metodo z vodoravnimi silami.

Tretji del našega programa predstavlja izpis, kjer so zajeti vsi podatki o konstrukciji, ki smo jih tekom uporabe programa izbrali in so pripravljene za izpis. Lahko rečemo, da je ta del povzetek celotne uporabe programa.

Program je narejen v Microsoft Office Excel 2003, s pomočjo Visual Basic Editor. Med izdelavo programa nam je predstavljalo težavo predvsem kako določila standarda prevesti v programsko kodo. Pomagali smo si tako, da smo za vsak delovni list zapisali algoritem, ki

smo ga nato prevedli v programski jezik. Ugotovili smo, da je pisanje ukazov v programskem jeziku zelo zahtevno delo.

V zadnjem delu diplomske naloge smo naredili štiri različne primere, kjer smo najprej preverjali pravilnost delovanja programa, nato smo primerjali kateri konstrukcijski sistem je najbolj ugoden na potresnem območju, kolikšna je razlika pri potresni obtežbi v primeru različnih stopenj duktilnosti in nazadnje kako tip tal vpliva na projektni spekter.

Pravilnost delovanja programa smo preverjali s primerjavo naših rezultatov z rezultati, ki jih je v svojem diplomskem delu, Modeliranje in analiza stenasto-okvirne konstrukcije po EC8, dobila Sara Bašič. Kontrolirali smo vrednost faktorja obnašanja in nihajnega časa in ugotovili, da s pomočjo programa faktor obnašanja določimo hitreje, kot če bi ga morali določiti »pešč«. Dobljene vrednosti so bile enake tistim, ki jih je dobila Sara Bašič. S tem primerom smo potrdili pravilnost delovanja programa.

V drugem primeru smo si izbrali različne konstrukcijske sisteme armiranobetonskih konstrukcij in primerjali vrednosti faktorjev obnašanja. Na podlagi teh vrednosti smo povedali kateri konstrukcijski sistemi delujejo najbolj ugodno na potresno ogroženih območjih. Ugotovili smo, da je na najmanjšo potresno obtežbo potrebno projektirati več etažne okvire z več polji, na največjo pa torzijsko podajne sisteme in sisteme obrnjenega nihala.

V tretjem primeru obravnavamo jekleni več etažni pomični sistem (čez eno polje), kjer smo opazovali razlike, ki nastanejo, če vzamemo nizko stopnjo duktilnosti (DCL), srednjo stopnjo duktilnosti (DCM) ali visoko stopnjo duktilnosti (DCH). Ugotovili smo, da na konstrukcijo, ki pripada DCL območju odpade za 300% večja potresna obremenitev kot na visoko stopnjo duktilnosti in za 167% večja kot na srednjo stopnjo duktilnosti. Ugotovili smo tudi, da če je konstrukcija v DCH območju, nanjo odpade 50% manjša obtežba kot na konstrukcijo v območju srednje stopnje duktilnosti, kar iz tega stališča konstrukcijo poceni. Vendar ne smemo pozabiti, da so v DCH območju detajli konstrukcije izvedeni boljše kot v DCM območju, zato ne moremo trditi, da je iz ekonomičnega vidika boljše uporaba konstrukcij iz DCH območja. Iz tega vidika bi bila v tem primeru potrebna malo bolj podrobna analiza.

V zadnjem delu smo opazovali vpliv tal na projektni spekter, kjer smo v vseh primerih vzeli isti konstrukcijski sistem in različne tipe tal. Primerjali smo tip tal A, B, C, D in E. Ugotovili smo, da so najbolj primerna tla za gradnjo potresno odpornih konstrukcij, tla tipa A. Tipu A sledi tip tal C, nato B, D in najmanj priporočljiva je izbira tipa tal E.



## 6 VIRI

Fajfar, P. 1984. Dinamika gradbenih konstrukcij. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 550 str.

Fajfar, P. 1995. Osnove potresnega inženirstva. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 83 str.

EN 1998-1 2004. Evrokod 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels, November 2004.

Werber, B. 2002. Osnove programiranja Visual Basic 6.0 na primerih, Kranj, Založba Moderna organizacija: 234 str.

Bašič, S. 2005. Modeliranje in analiza stenasto – okvirne konstrukcije po EC8. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer.

Mesojedec, U. 1998. Visual Basic, sodobno programiranje: priročnik za obvladovanje programiranja z visual basicom, Ljubljana: Pasadena, 1998: 651 str.

Reynolds, M., Blair, R., Crossland, J., Willis, T. 2002. Visual Basic. NET od začetka, Ljubljana: Pasadena, 2002: 860 str.

Halvorson, M., Young, M. 2001. Microsoft Office XP Inside Out, Washington, United States of America, Microsoft Press: 1582 str.

Walkenbach, J. 2000. Microsoft Excel 2000 Bible, Foster City, IDG Books Worldwide: 1381 str.

Karta projektnega pospeška tal. 2001. Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Agencija republike Slovenije za okolje.

[http://www.arso.gov.si/podro~cja/potresi/podatki/projektني\\_pospesek\\_tal.jpg](http://www.arso.gov.si/podro~cja/potresi/podatki/projektني_pospesek_tal.jpg)

The code project.

<http://www.codeproject.com/vb/net/FormulaEngine.asp> (21.9.2007)

Mrexcel.com.

<http://www.mrexcel.com/archive2/60900/70508.htm> (6.8.2007)

Xtreme VB talk.

<http://www.xtremevbtaalk.com/showthread.php?t=183066> (24.7.2007)

A1vbcode, the VB Source Code Site.

<http://www.a1vbcode.com/a1vbcode/vbforums/Topic17458-3-1.aspx> (26.8.2007)

Chart and graph tutorial. John F. Lacher & Associates. Custom Application design and developement.

<http://www.lacher.com/toc/tutchart.htm> (29.6.2007)

Vbcity.com.

<http://vbcity.com/forums/topic.asp?tid=4488> (24.7.2007)

V prilogi so na priloženi zgoščenki naslednje datoteke:

## 7 PRILOGA

V prilogi so na priloženi zgoščenci naslednje datoteke:

V mapi »PRIMERI« so štiri podmape – v vsaki so podane datoteke za posamezen primer:

- a) mapa »PRIMER ŠTEVILKA 1«:
  - metoda z vodoravnimi silami.EDB
  - metoda z vodoravnimi silami.e2k (tekstovna datoteka)
  - TRIKX.xls
  - TRIKY.xls
- b) mapa »PRIMER ŠTEVILKA 2«:
  - drugi stenasti sistem.xls
  - enoetažni-okvirni sistem.xls
  - sistem nepovezanih sten.xls
  - sistem obrnjenega nihala.xls
  - sistem povezanih sten z odprtini.xls
  - torzijsko podajen sistem.xls
  - večetažni – eno poljni sistem.xls
  - večetažni – več poljni sistem.xls
- c) mapa »PRIMER ŠTEVILKA 3«:
  - DCM.xls
  - DCH.xls
  - DCL.xls
- d) mapa »PRIMER ŠTEVILKA 4«:
  - tip tal A
  - tip tal B
  - tip tal C
  - tip tal D
  - tip tal E

V mapi »PROGRAM« je podana Excel datoteka našega programa:

- Program za določanje potresne obtežbe v skladu z EC 8.xls