

# Komparativna analiza projektnih pristupa dimenzioniranja AB zgrada prema HRN EN 1998-1

---

Vuletić, Matko

Master's thesis / Diplomski rad

2015

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:174237>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-05**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Matko Vuletić**

**Split, 2015.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Matko Vuletić**

**Komparativna analiza projektnih pristupa  
dimenzioniranja AB zgrada prema HRN EN 1998-1**

**Diplomski rad**

**Split, 2015.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT: VULETIĆ MATKO**

**BROJ INDEKSA: 481**

**KATEDRA: Katedra za TEORIJA KONSTRUKCIJA**

**PREDMET: Dinamika konstrukcija i potresno inženjerstvo**

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Komparativna analiza projektnih pristupa dimenzioniranja AB zgrada prema HRN EN 1998-1

Opis zadatka: Za zadanu AB konstrukciju sa tri projektna pristupa (modalna analiza, metoda naguravanja N2 i odgovor u vremenu) usporediti ukupnu poprečnu silu na razini donje etaže. Komentirati rezultate i dati preporuku za projektiranje sukladno inženjerskoj praksi.

U Splitu, 17.07.2015

Voditelj Diplomskog rada:

Prof. dr. sc. Ante Mihanović

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:  
Prof. dr. sc. Ivica Boko

# **Komparativna analiza projektnih pristupa dimenzioniranja AB zgrada prema HRN EN 1998-1**

## ***Sažetak:***

Za zadani objekt proveden je dokaz pojedinih vertikalnih elemenata dok je naglasak (usporedba) stavljena na ukupnu katnu poprečnu silu u prizemlju

## ***Ključne riječi:***

Odgovor u vremenu, N2 metoda, kapacitet nosivosti

# **Comparison of available design approach in regards to HRN EN 1998-1**

## ***Abstract:***

For a given RC building scific vertical bearing elements are checked, while this paper is focused on total base shear force in lovest level.

## ***Keywords:***

Time history analysis, N2 method, capacity design

# 1. SADRŽAJ

<b>1. SADRŽAJ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. UVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>3. TEHNIČKI OPIS</b> .....	<b>3</b>
3.1. <i>Opći podaci o objektu</i> .....	3
3.2. <i>Opis nosive konstrukcije</i> .....	6
3.2.1. Temelji .....	6
3.2.2. Stupovi .....	6
3.2.3. Grede .....	6
3.2.4. Zidovi .....	6
3.2.5. Međukatne konstrukcije.....	6
3.3. <i>Uvjeti održavanja i projektirani vijek trajanja</i> .....	6
3.4. <i>Proračun</i> .....	7
3.4.1. Pravilnici i norme .....	8
<b>4. ANALIZA OPTEREĆENJA</b> .....	<b>9</b>
4.1. <i>Stalno opterećenje</i> .....	9
4.1.1. Vlastita težina .....	9
4.1.2. Dodatno stalno .....	9
4.1. <i>Promjenjivo opterećenje</i> .....	10
4.1.1. Pokretno opterećenje .....	10
4.1.2. Opterećenje snijegom .....	10
4.1.3. Vjetar .....	12
4.2. <i>Potresno opterećenje</i> .....	16
4.2.1. Uvod .....	16
4.2.2. Proračunski spektar odziva.....	20
4.2.3. Faktor ponašanja $q$ .....	20
4.3. <i>Proračun prema kapacitetu nosivosti</i> .....	21
4.3.1. Proračun armiranobetonskih zidova prema EC 8 .....	22
4.3.2. Dimenzioniranje na moment savijanja i poprečnu silu.....	22
4.3.3. Otpornost na savijanje i posmik .....	24
4.4. <i>Metoda postupnog naguravanja</i> .....	26
4.5. <i>Nelinearna dinamička metoda (Time history analysis)</i> .....	31
<b>5. REZULTATI</b> .....	<b>31</b>
5.1. <i>Rezultati modalne analize</i> .....	31
5.2. <i>Dimenzioniranje nosivih elemenata prema kapacitetu nosivosti</i> .....	36

5.2.1.	Dimenzioniranje AB ploča.....	36
5.3.	<i>Dimenzioniranje AB greda.....</i>	40
5.4.	<i>Dimenzioniranje stupova.....</i>	42
5.5.	<i>Dimenzioniranje zidova.....</i>	43
5.6.	<i>Rezultati metode postupnog nagurvanja (Pushover metode).....</i>	45
5.7.	<i>Rezultati nelinearne dinamičke metode (Time history analysis).....</i>	51
5.7.1.	Korišteni akcelerogrami u proračunu.....	51
5.7.2.	Rezultati proračuna.....	58
<b>6.</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>75</b>
6.1.	<i>Usporedba rezultata po pojedinoj metodi.....</i>	75
<b>7.</b>	<b>PRILOZI.....</b>	<b>77</b>
7.1.	<i>Popis tablica.....</i>	77
7.2.	<i>Popis crteža.....</i>	77
7.3.	<i>Popis literature.....</i>	82

## 2. UVOD

Predmet diplomskog rada je seizmička analiza armirano betonske konstrukcije prema HRN EN 1998-1:2004. Izvršene su linearne i nelinearne analize konstrukcija. Upotrijebljena je linearna modalna analiza spektrom odziva, te nelinearna statička metoda postupnog guranja i nelinearna dinamička analiza u vremenu. U navedenim analizama promatran je ukupni pomak vrha konstrukcije te ukupna poprečna sila na bazi konstrukcije. Usporedba rezultata dana je na kraju ovoga rada.

## 3. TEHNIČKI OPIS

### 3.1. Opći podaci o objektu

Predmetna građevina ima sedam nadzemnih etaža te jednu podzemnu etažu. Ukupna bruto tlocrtna površina građevine iznosi 4275,52 m<sup>2</sup>. Objekt je tlocrtno nepravilnog oblika, pri čemu su donje 2 etaže zajedničke, dok se nakon prizemlja nastavljaju dva zasebna tornja. Tlocrtna površina podzemne etaže je 4275,52 m<sup>2</sup>, visine 3,5 m. Tlocrtna površina prizemlja je 2879,91 m<sup>2</sup>, visine 4,5 m. Iznad prizemlja se nalaze dva fizički odvojena tornja od kojih se svaki sastoji od šest etaža, visina svake etaže je 3,0 m. Prvi toranj je tlocrtna površina 1219,71 m<sup>2</sup>, a drugi toranj je tlocrtna površina 1404,71 m<sup>2</sup>. Ukupna visina objekta je 26,9 m.

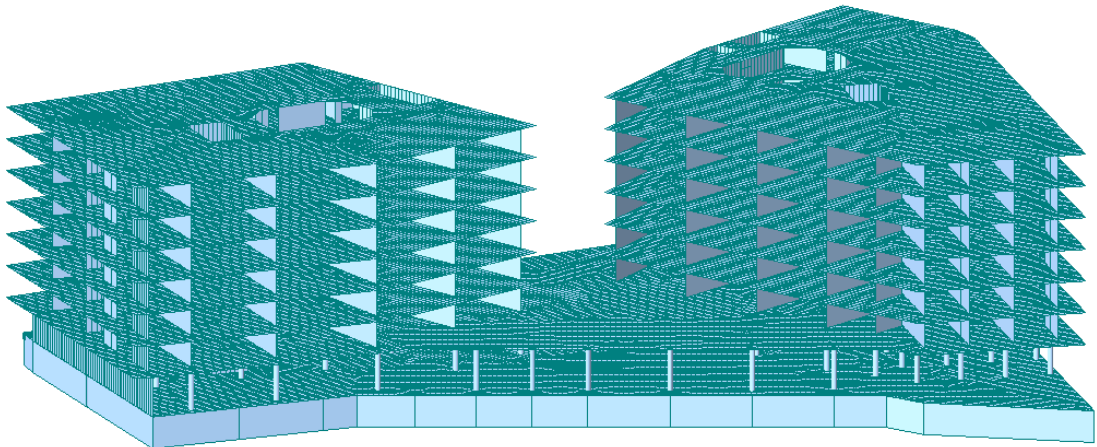
Vertikalnu nosivu konstrukciju čine armiranobetonski zidovi i stupovi. Međukatnu nosivu konstrukciju čine armirano betonske ploče oslonjene na zidove i grede. Vertikalna komunikacija je ostvarena liftovima i dvokrakim stubištima.

Građevina se nalazi na lokaciji koja prema važećim propisima spada u I područje opterećenja vjetrom sa osnovnom brzinom vjetra od 30 m/s te u područje I opterećenja snijegom sa karakterističnom vrijednošću opterećenja na tlu od 0,50 kN/m. Računsko ubrzanje tla rema karti iz HRN EN 1998-1:2012/NA za GSN s povratnim periodom od 475 god, iznosi 0,22 ag, dok za GSU s povratnim periodom od 95 god. iznosi 0,12 ag. Konstrukcija seizmičke sile preuzimaju sustavom armirano-betonskih zidova, što je u skladu s HRN EN 1992 i HRN EN 1998.

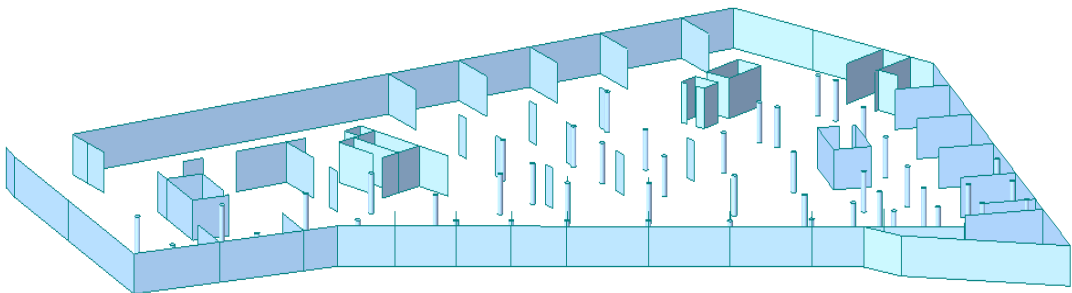


Tlo na kojem se temelji građevina je meka stijena – lapor ili tupina koja nije zahvaćena degradacijom površinskog sloja i zbog toga ima vrlo dobre fizičko-mehaničke karakteristike u pogledu čvrstoće i modula stišljivosti. Dopušteno naprezanje u tlu za uporabno opterećenje se procjenjuje na  $700 \text{ kN/m}^2$  ( $0,7 \text{ MPa}$ ). Zgrada je temeljena na temeljnoj ploči debljine 60cm lokalno ojačano na 80 do 100 cm. Dio zgrade koji se nalazi na rastrošenom materijalu i dijelu koji se sastoji od aluvijalnih nanosa uz potok se temelji na pilotima, ali nije predmet ovoga rada.

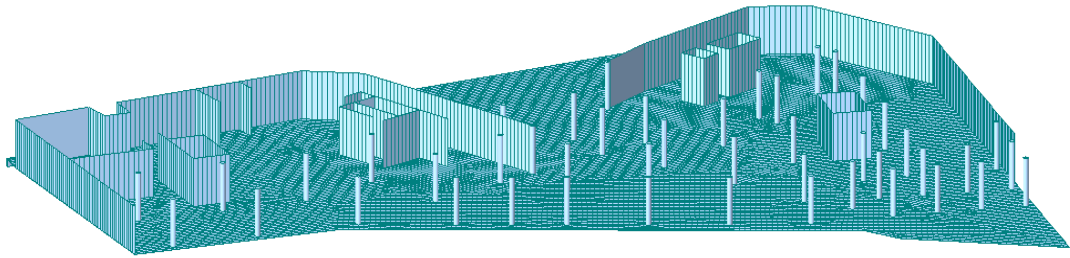
Za sve betonske radove predviđen je beton C 30/37. Predviđena armatura je B 500 B.



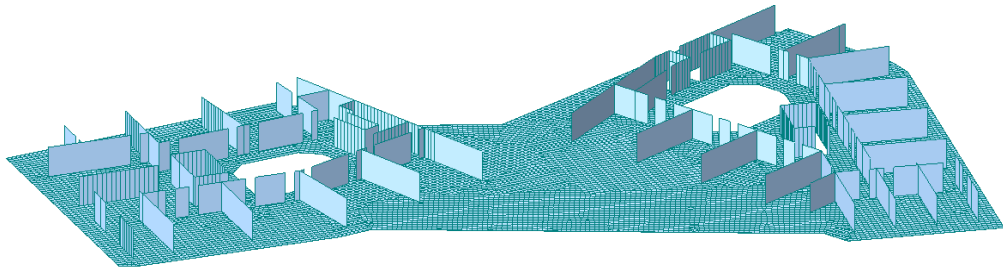
*Crtež 3.1. Aksonometrijski prikaz konstrukcije*



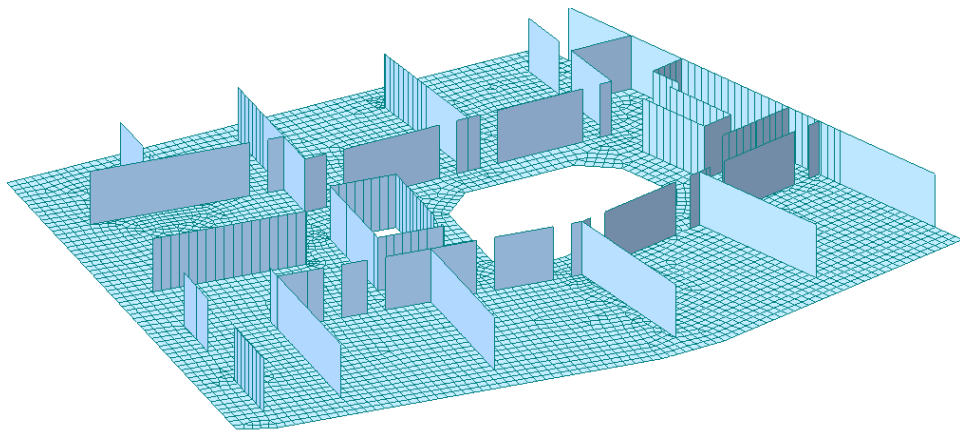
*Crtež 3.2. Tlocrt garaže*



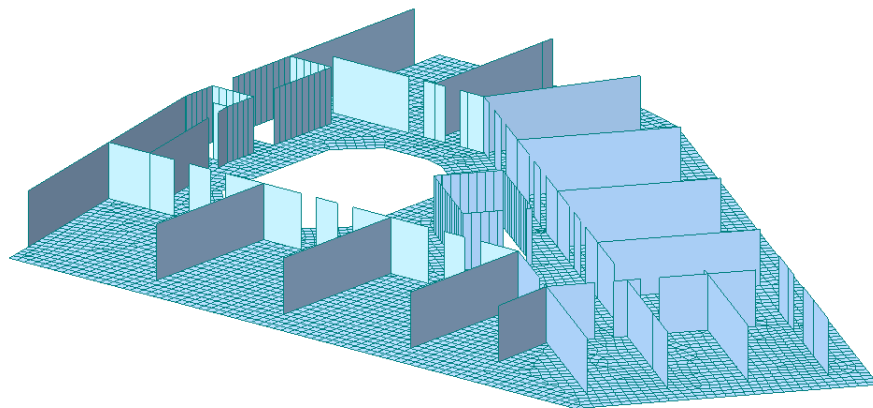
*Crtež 3.3. Tlocrt prizemlja*



*Crtež 3.4. Tlocrt 1. kata*



*Crtež 3.5. Tlocrt 1. tornja*



*Crtež 3.6. Tlocrt 2. tornja*

## **3.2. Opis nosive konstrukcije**

### **3.2.1. Temelji**

Stupovi i zidovi temelje se na temeljnoj ploči. Temeljna ploča se izvodi iz betona klase C30/37 i armira armaturnim šipkama i mrežama B 500B. Zaštitni sloj betona iznosi 5 cm.

### **3.2.2. Stupovi**

Stupovi su okruglog poprečnog presjeka promjera 50cm. Stupovi se izvedu iz betona klase C30/37 i armiraju armaturnim šipkama B 500B. Zaštitni sloj betona iznosi 2 cm.

### **3.2.3. Grede**

Grede se izvedu iz betona klase C 30/37 i armiraju armaturnim šipkama B 500B. Grede na etaži garaže i prizemlja su dimenzija b/h = 30/60 cm. Zaštitni sloj betona iznosi 2 cm.

### **3.2.4. Zidovi**

Zidovi se izvedu iz betona klase C 30/37 i armiraju armaturnim šipkama i mrežama B 500B. Širina zidova na etaži garaže i prizemlja je 30 cm, a na ostalim etažama 20 cm. Zaštitni sloj betona je 3 cm.

### **3.2.5. Međukatne konstrukcije**

Međukatna konstrukcija zgrade se sastoji od obostrano armirane betonske ploče oslonjene na grede i zidove. Međukatne konstrukcije garaže i prizemlja su debljine 25cm, a ostalih etaža 20cm. Izvedu se od betona klase C 30/37 i armiraju armaturnim mrežama B 500B.

## **3.3. Uvjeti održavanja i projektirani vijek trajanja**

Razmatrana građevina ne zahtijeva poseban tretman održavanja.

Ipak, ukopanost u tlo i relativna blizina agresivne sredine (mora) zahtijevaju povećanu mjeru opreza i pojačani nadzor nad svim elementima (konstruktivnim i nekonstruktivnim) građevina. U cilju postizanja kvalitetnije i trajnije konstrukcije, neophodno je poštivati mjere za postizanje kvalitete materijala, kao i posebne tehničke uvjete.

Radnje u okviru održavanja betonskih konstrukcija treba provoditi prema odredbama Priloga J.3. Održavanje betonskih konstrukcija, Tehničkog propisa za betonske konstrukcije (N.N. 139/09, 14/10, 125/10) i normama na koje upućuje Prilog J.3., te odgovarajućom primjenom odredaba ostalih priloga Tehničkog propisa za betonske konstrukcije (N.N. 139/09, 14/10, 125/10).

Redoviti pregled predmetne građevine, od strane kvalificiranih osoba, a u svrhu održavanja konstrukcije za predmetnu građevinu treba provoditi najmanje svakih 5 godina (zgrade javne

namjene). Izvanredne preglede građevine provoditi nakon nekog izvanrednog događaja (ekstremne vremenske neprilike, potres, požar, eksplozija i slično) ili prema zahtjevu inspekcije. Osim ovih pregleda preporučuje se da korisnici građevine vrše godišnje preglede i ukoliko primijete neku nepravilnost na konstrukciji zatraže redoviti ili izvanredni pregled i prije roka predviđenog ovim projektom. Način obavljanja pregleda uključuje:

- vizualni pregled, u kojeg je uključeno utvrđivanje položaja i veličine napuklina i pukotina te drugih oštećenja bitnih za očuvanje mehaničke otpornosti i stabilnosti građevine,
- utvrđivanja stanja zaštitnog sloja armature, za betonske konstrukcije u umjereno ili jako agresivnom okolišu,
- utvrđivanje veličine progiba glavnih nosivih elemenata betonske konstrukcije za slučaj osnovnog djelovanja, ako se na temelju vizualnog pregleda sumnja u ispunjavanje bitnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti.

Nakon obavljenih pregleda konstrukcije potrebno je izraditi dokumentaciju o stanju konstrukcije nakon pregleda sa potrebnim mjerama i radovima na saniranju i održavanju konstrukcije. Ovu i drugu dokumentaciju o održavanju betonske konstrukcije dužan je trajno čuvati vlasnik građevine.

Manje nedostatke može ispraviti stručna osoba (zanatlija) na licu mjesta, a kod većih zahvata vlasnik (ili korisnici) građevine dužni su postupiti prema potrebnim zahtjevima i mjerama iz dokumentacije o stanju konstrukcije te izvesti neophodne radove održavanja, obnove i izmjene uređaja i dijelova te radove popravka, ojačanja i rekonstrukcije.

Sve radove pregleda i izvedbe radova na konstrukciji potrebno je povjeriti za to ovlaštenim osobama.

Očekivani vijek trajanja građevina je 50 godina.

Preduvjet za postizanje očekivanog vijeka trajanja je pravilna izvedba te pravilno održavanje u skladu s prethodno navedenim zahtjevima te zakonima i pravilima struke.

### **3.4. Proračun**

Svi računalni proračuni su izvršeni programom: "Midas Gen 2015". Radi smanjenja glomaznosti projekta prikazani su neki rezultati, koji su smatrani relevantnim. Na zahtjev, svi ulazni i izlazni podaci se mogu dobiti kod autora ovog rada.

### 3.4.1. Pravilnici i norme

Prilikom izrade projekta primijenjeni su sljedeći pravilnici i normativi:

- Tehnički propis za betonske konstrukcije
- HRN EN 1990
- HRN EN 1991           Osnove proračuna i djelovanja na konstrukcije
- HRN EN 1992           Projektiranje betonskih konstrukcija
- HRN EN 1997           Geotehničko projektiranje
- HRN EN 1998           Projektiranje konstrukcija na potresno opterećenje

Sva opterećenja uzeta su prema:

- HRN EN 1991-1-1 stalno i uporabno opterećenje
- HRN EN 1991-1-3 opterećenje snijegom
- HRN EN 1991-1-4 opterećenje vjetrom
- HRN EN 1998-1-1 potresno opterećenje

## 4. ANALIZA OPTEREĆENJA

### 4.1. Stalno opterećenje

#### 4.1.1. Vlastita težina

Vlastita težina je uključena u programu za proračun konstrukcije.

Modulus of Elasticity :	3.2836e+007	kN/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio :	0.2	
Thermal Coefficient :	5.5556e-006	1/[F]
Weight Density :	25	kN/m <sup>3</sup>

*Crtež 4.1. Svojstva betona*

#### 4.1.2. Dodatno stalno

##### Slojevi krova

*Tablica 4.1. Slojevi krova*

Sloj	d (m)	g (kN/m <sup>3</sup> )	d*g (kN/m <sup>3</sup> )
Betonske ploče na plastičnim podlošcima	0,05	25,0	1,25
Hidroizolacija + parna brana	0,01	20,0	0,2
Toplinska izolacija	0,08	5,0	0,4
Beton za pad	0,08	24,0	1,92
Podgled (žbuka)	0,02	19,0	0,38
<b>UKUPNO</b>			<b>4,15</b>

##### Slojevi poda etaže

*Tablica 4.2. Slojevi poda etaže*

Sloj	d (m)	g (kN/m <sup>3</sup> )	d*g (kN/m <sup>3</sup> )
Završna obrada poda	0,05	12,0	0,24
AB estrih	0,01	25,0	1,25
Toplinska izolacija	0,08	5,0	0,2
Podgled (žbuka)	0,02	19,0	0,38
Pregrade			1,0
<b>UKUPNO</b>			<b>3,07</b>

## 4.1. Promjenjivo opterećenje

### 4.1.1. Pokretno opterećenje

#### Krovnna konstrukcija

Pokretno opterećenje se uzima prema pravilniku: HRN EN 1991-2-1

Za neprohodni krov, osim za uobičajeno održavanje i popravak, nagiba  $< 20^\circ$

Razred površine "H"  $q = 0,75 \text{ kN/m}^2$

#### Međukatna konstrukcija

Pokretno opterećenje je uzeto prema pravilniku  $q = 2,00 \text{ kN/m}^2$

#### Stubišta i podesti

Pokretno opterećenje je uzeto prema pravilniku  $q = 3,00 \text{ kN/m}^2$

### 4.1.2. Opterećenje snijegom

Predmetni objekt se nalaze u neposrednoj u blizini mora.

Opterećenje snijegom definirano je HRN EN 1991-1-3.

$$s = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

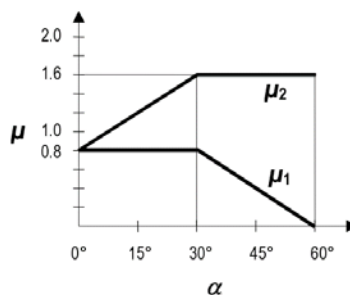
-  $\mu_1$  - koef. oblika za opterećenje snijegom

za krov nagiba  $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0,8$

-  $s_k$  - karakteristična vrijednost opterećenja na tlu u  $[\text{kN} / \text{m}^2]$

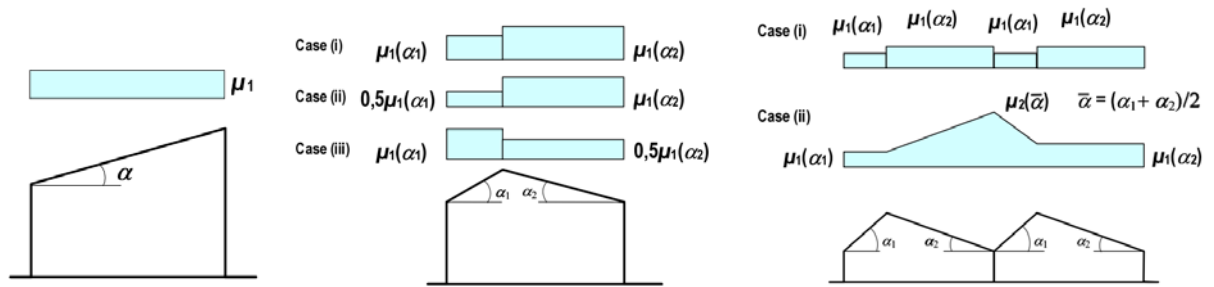
zona III., područje Split, nadmorska visina do 100 m  $\Rightarrow s_k = 0,14 [\text{kN} / \text{m}^2]$

Koeficijent  $\mu$  ovisi da li je krov jedno ili više strešan i dan je na dijagramu:



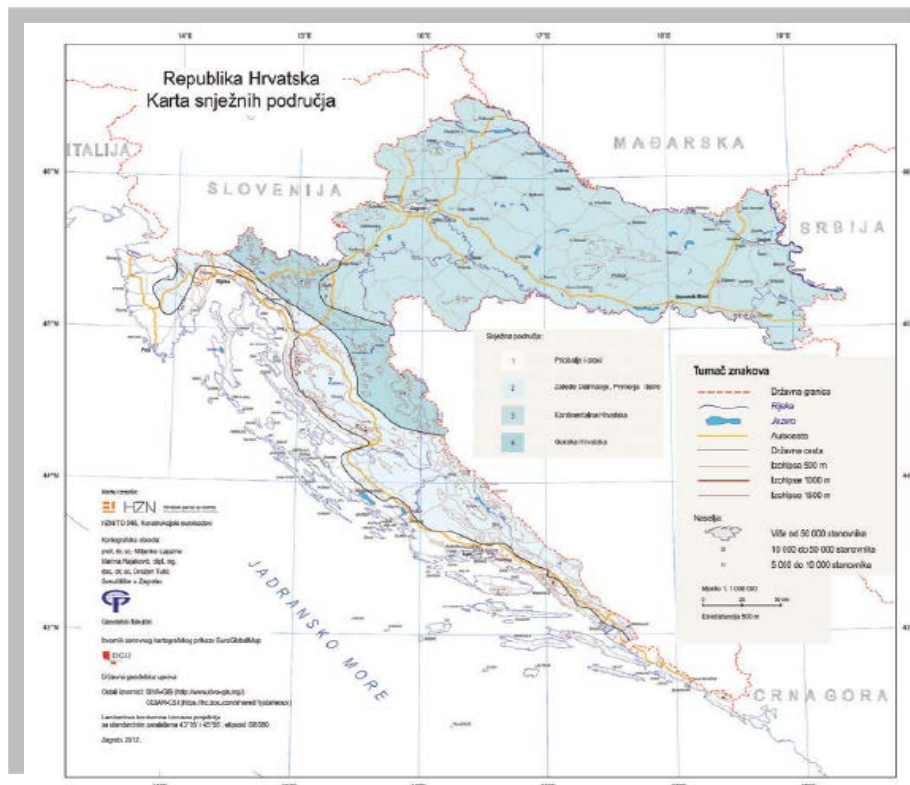
Crtež 4.2. Koeficijenti oblika

Vrijednosti na dijagramu ovise o kutu nagiba ( $\alpha$ ), strešnosti krova i slučaju opterećenja:



*Crtež 4.3. Koeficijenta oblika opterećenja od snijega*

Osnovno opterećenje snijegom dato je nacionalnim dodatkom i definirano je prema sljedećoj mapi i tablicama:



*Crtež 4.4. Karta područja za opterećenje snijega preuzeto iz HRN EN 1991*

Prema prijedlogu NAD-a i istraživanja opterećenja snijegom na području republike Hrvatske (K. Zaninović, M. Gajić-Čapka, B. Androić, I. Džeba, D. Dujmović - Određivanje karakterističnog opterećenja snijegom, Građevinar, 6, 59, 2001.), te preporukama europske norme ENV 1991-2-3:1995, karakteristično opterećenje snijegom je  $s_k = 0.14 \text{ kN/m}^2$  (Zona III).



Tablica 4.3. Karakteristične vrijednosti opterećenja snijega na tlu

Nadmorska visina (m)	S <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> )			
	I	II	III	IV
0	0,88	0,75	<b>0,14</b>	0,18
100	1,09	1,05	0,45	0,33
200	1,31	1,38	0,8	0,5
300	1,55	1,76	1,2	0,7
400	1,8	2,18	1,65	0,92
500	2,06	2,63	2,15	1,16
600	2,34	3,13	2,7	

Kako je ova veličina znatno manja od pretpostavljenog pokretnog opterećenja, opterećenje snijegom se zanemaruje.

#### 4.1.3. Vjetar

Predmetna građevina se nalazi u Splitu, na poziciji gdje je uglavnom nezaštićena od djelovanja vjetra i smještena je na nadmorskoj visini do 100.0 m.n.m.

Opterećenje vjetrom definirano je HRN EN 1991-1-4 – Djelovanje vjetra

$v_{b,0}$  je osnovna poredbena brzina vjetra ovisna o geografskom položaju objekta (dana na mapi na sljedećoj stranici).

Osnovna poredbena vrijednost brzine vjetra je karakteristična srednja 10-minutna vrijednost brzine vjetra, neovisna o smjeru vjetra, vremenu i godišnjem dobu, na 10 m iznad površine otvorenog terena, koji može biti obrastao travom i grmljem i manjim preprekama.

Vrijednost osnovne poredbene brzine vjetra  $v_{b,0}$  (na mapi) dodatno se korigira s obzirom na smjer vjetra, godišnje doba i nadmorsku visinu, te se tako dobiva poredbena (referentna) brzina vjetra:

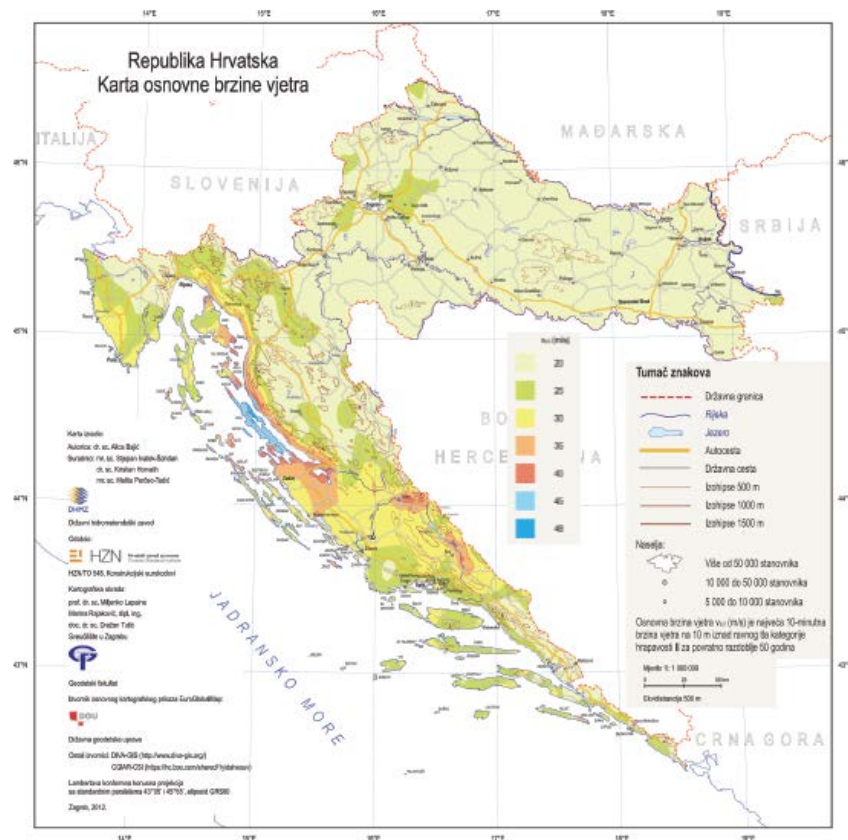
$$v_b = c_{DIR} \cdot c_{SEASON} \cdot v_{b,0}$$

Koeficijent smjera vjetra ( $c_{DIR}$ ) proizlazi iz odnosa brzine vjetra za različiti smjer vjetra i uzima se za cijelo područje Hrvatske  $c_{DIR}=1.0$ .

Koeficijent godišnjeg doba ( $c_{SEASON}$ )

Tablica 4.4. Osnovna brzina vjetra

Područja	$V_{b,0}$ (m/s)
I	22
II	30
III	35
IV	40
V	50



Crtež 4.5. Karta područja za opterećenje vjetra – preuzeto iz HRN EN 1991

Srednja brzina vjetra na nekoj visini  $z$  određuje se iz izraza:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

$$c_r(z) = [k_r \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{za} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad \text{- koeficijent hrapavosti}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z \leq z_{\min}$$

$$k_r = 0.19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07} \quad \text{- koeficijent terena – dan u tablici}$$

$c_0(z)$  - koeficijent topografije (uglavnom se uzima 1.0)

Tablica 4.5. Koeficijenti za proračun vjetra

Kategorija terena	Opis	$K_r$	$z_0$ [m]	$Z_{min}$ [m]
0	More ili područje uz more otvoreno prema moru	0.156	0.003	1
I	Uzburkano otvoreno more ili jezero, s najmanje 5 km dužine navjetrine i gladak ravan teren bez prepreka	0.170	0.01	1
II	Poljoprivredno zemljište s ogradama, povremenim malim poljoprivrednim objektima, kućama ili drvećem	0.190	0.05	2
III	Predgrađa ili industrijske zone i stalne šume	0.215	0.30	5
IV	Urbane zone u kojima je najmanje 15% površine pokriveno zgradama čija je srednja visina veća od 15 m	0.234	1.00	10

Maksimalna visina  $z_{max}$  se obično uzima 200 m.

Turbulencija vjetra na visini  $z$  iznad terena dana je izrazom:

$$l_v(z) = \frac{1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad za \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$l_v(z) = l_v(z_{min}) \quad za \quad z \leq z_{min}$$

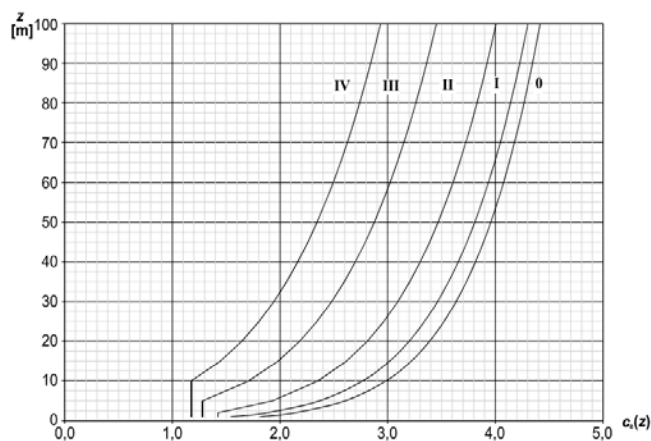
Pa je maksimalni tlak brzine vjetra  $q_p(z_e)$ :

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{\rho_{zr}}{2} \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$$q_b = \frac{\rho_{zr}}{2} \cdot v_b^2(z)$$

$$\rho_{zr} = 1.25 \text{ kg/m}^3$$

Za, npr. ravna područja, kod kojih je  $c_0(z)=1.0$ , Faktor izloženosti je prikazan na dijagramu u ovisnosti kategorije terena i visine iznad terena.



Crtež 4.6. Dijagram ovisnosti kategorije terena i visine iznad terena

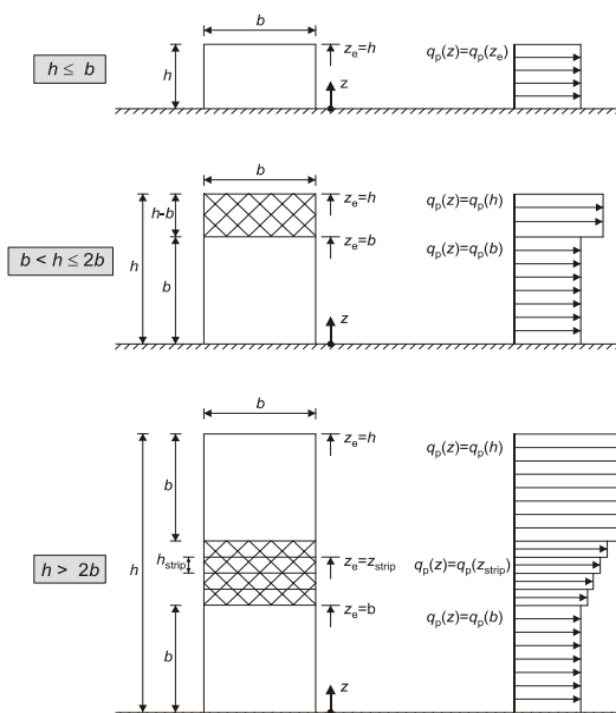
Rezultirajuća sila vjetra:

$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$  - sila vjetra na vanjske plohe;  $c_{pe}$  - koeficijent vanjskog tlaka

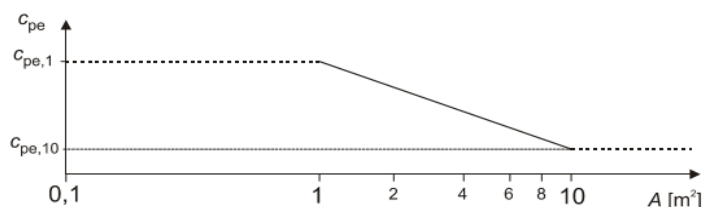
$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi}$  - sila vjetra na unutarnje plohe;  $c_{pi}$  - koeficijent unutarnjeg tlaka

$z_e$  - referentna visina objekta – vidljivo na slici

Napomena: pri izračunu  $q_p(z)$ , za  $z$  koristiti  $z_e$ .

Crtež 4.7. Referentna visina  $z_e$  ovisna o  $h$  i  $b$  - preuzeto iz HRN EN 1991-1-4

Rezultirajuća sila vjetra, tj. koeficijent rezultirajuć sile  $c_{pe}$ , ovisi i o površini na koju vjetar djeluje. Primjenjuje se sljedeći graf:

Crtež 4.8. Preporučeni postupak određivanja koeficijenta vanjskog tlaka  $c_{pe}$  za zgrade s opterećenom ploštinom između  $1m^2$  i  $10m^2$  – preuzeto iz HRN EN 1991-1-4

## 4.2. Potresno opterećenje

### 4.2.1. Uvod

Računsko ubrzanje tla  $a_g$  koje odgovara povratnom periodu potresa od 475 godina za predmetnu lokaciju iznosi 0,22  $a_g$ .

Seizmičko djelovanje obično se predstavlja sa tri komponente, gibanje točke opisuje s dvije horizontalne i jednom vertikalnom komponentom.

Za određivanje jedne komponente seizmičkog djelovanja obično se koristi spektar seizmičkog ubrzanja tla u jednom translacijskom smjeru.

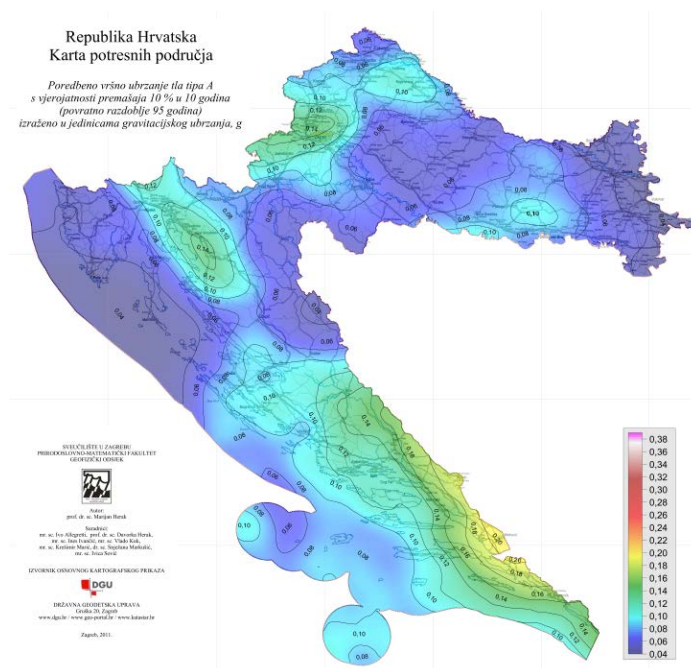
Metode analize:

- Linearna statička (metoda bočne sile)
- Linearna dinamička (Modalna analiza sa spektrima odgovora)
- Nelinearna statička (pushover analiza)
- Nelinearna dinamička analiza

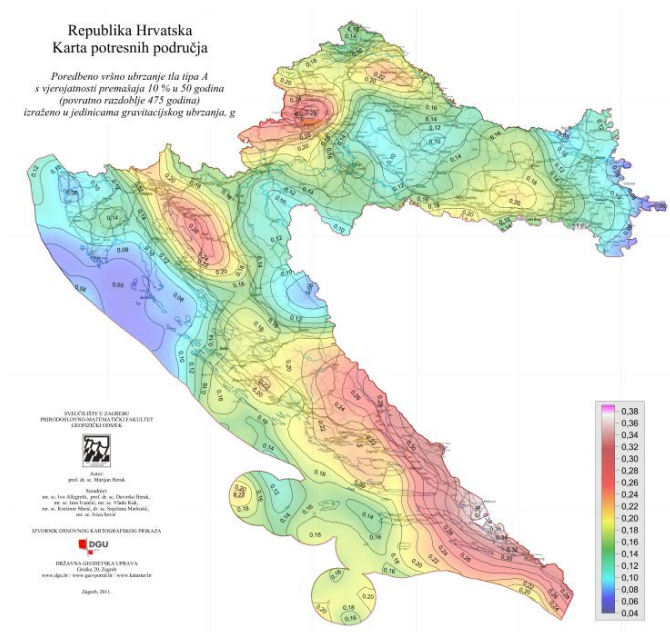
Osnovni zahtjevi:

Konstrukcije se u potresnim područjima moraju projektirati i graditi tako da se ispune dva osnovana zahtjeva, svaki s odgovarajućim stupnjem pouzdanosti:

- zahtjev da ne smije doći do rušenja
- zahtjev ograničenog oštećenja



Crtež 4.9. Potresna karta Hrvatske za povratno razdoblje 95 godina preuzeto iz HRN EN 1998

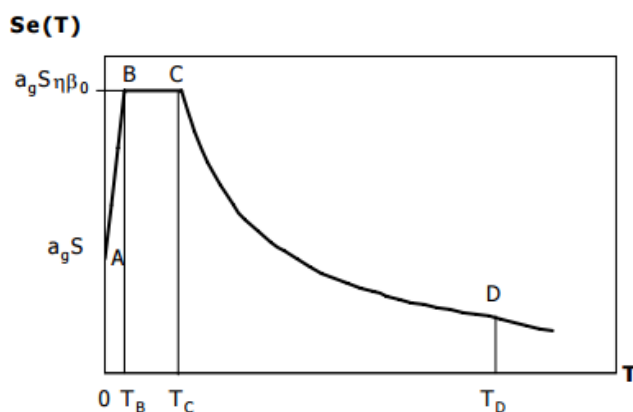


Crtež 4.10. Potresna karta Hrvatske za povratno razdoblje od 475 godina HRN EN 1998

### Elastični spektar odziva

Elastični spektar odziva maksimalni odgovor JS, u ovisnosti o periodu sustava i prigušenja, za određeno dinamičko opterećenje. Odgovor sustava se može prikazati u obliku ubrzanja, brzina, pomaka, energije, duktilnosti. Svakom akcelelogramu odgovara jedan spektar. Akcelelogram daje potpuniju informaciju o kretanju tla.

Spektar odgovora je zapis vršnih vrijednosti odgovora za sve moguće JS i predstavlja odgovor na konkretno pomicanje tla (konkretni potres).



Crtež 4.11. Osnovni oblik elastičnog spektra odgovora za horizontalno seizmičko djelovanje preuzeto iz HRN EN 1998

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

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

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

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

$S_e(T)$  -ordinata spektra odgovora u jedinici ubrzanja tla

$a_g$  -osnovno računsko ubrzanje tla

$S$  -modificirani faktor tla

$T$  -osnovni period osciliranja linearnog sustava

$T_B, T_C$  -granice intervala konstantnog spektralnog ubrzanja

$T_D$  -granica koja definira početak područja spektra s konstantnim pomacima

$\eta$  -korekcijski faktor prigušenja (=1 za viskozno prigušenje 5%)

*Tablica 4.6. Tablica faktora važnosti zgrade*

Razred važnosti zgrade	Opis i namjena zgrade	Faktor važnosti zgrade $g_I$
I	Zgrade čija je cjelovitost neposredno nakon potresa životno važna za zaštitu ljudi	1,4
II	Zgrade čija je potresna otpornost važna zbog posljedica vezanih uz rušenje	1,2
III	Obične zgrade koje ne pripadaju drugim razredima	1,0
IV	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost	0,8

*Tablica 4.7. Tablica tipova tla*

Tip tla	Opis stratigrafskog profila
A	Stijena ili druga geološka formacija poput stijene uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini
B	Nanosi vrlo gustog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline, debljine najmanje nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom
C	Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara
D	Nanosi rahlog do srednje zbijenog nekoherentnog tla (s nešto mekih koherentnih slojeva ili bez njih), ili pretežno meko do dobro koherentno tlo
E	Profil tla koja se sastoji od površinskog aluvijskog sloja s vrijednostima $v_s$ za tipove C ili D i debljinom između 5 i 20 m ispod kojeg je krući materijal s $v_s > 800$ m/s
S1	Nanosi koji se sastoje od, ili sadrže, sloj debljine najmanje 10 m mekih glina/praha s velikim indeksom plastičnosti ( $PI > 40$ ) i velikim sadržajem vode
S2	Nanosi tla podložnih likvefakciji, osjetljivih glina ili svaki drugi profil tla koji nije obuhvaćen tipovima A do E ili S1

*Tablica 4.8. Vrijednosti parametara koje opisuju elastični spektar odziva tipa 1*

Tip tla	S	T <sub>B</sub> (s)	T <sub>C</sub> (s)	T <sub>D</sub> (s)
A	1,0	0,15	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	1,4	0,15	0,5	2,0

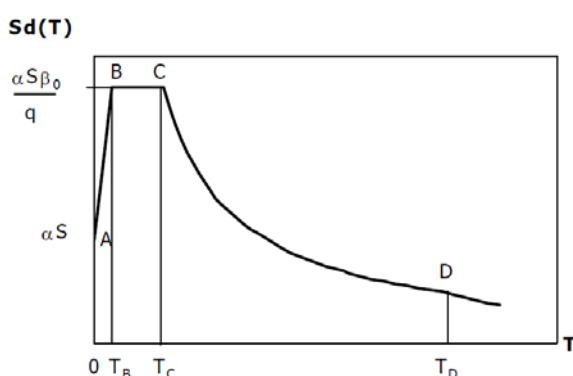


#### 4.2.2. Proračunski spektar odziva

Karakteristike potresnog opterećenja za potrebe projektiranja najčešće se zadaju u obliku projektnog spektra. U projektnim spektrima često su uključene i karakteristike ponašanja konstrukcije. Projektni spektri predstavljaju prosječne vrijednosti više spektara odgovora.

Projektni spektri su obično u obliku spektara ubrzanja. Za uobičajene konstrukcije projektni spektri dani su propisima.

Projektni spektar daje iznos projektne potresne sile ili pomaka kao funkcije vlastitog perioda i prigušenja za određeno područje.



*Crtež 4.12. Proračunski spektar odziva - preuzeto iz HRN EN 1998*

#### 4.2.3. Faktor ponašanja q

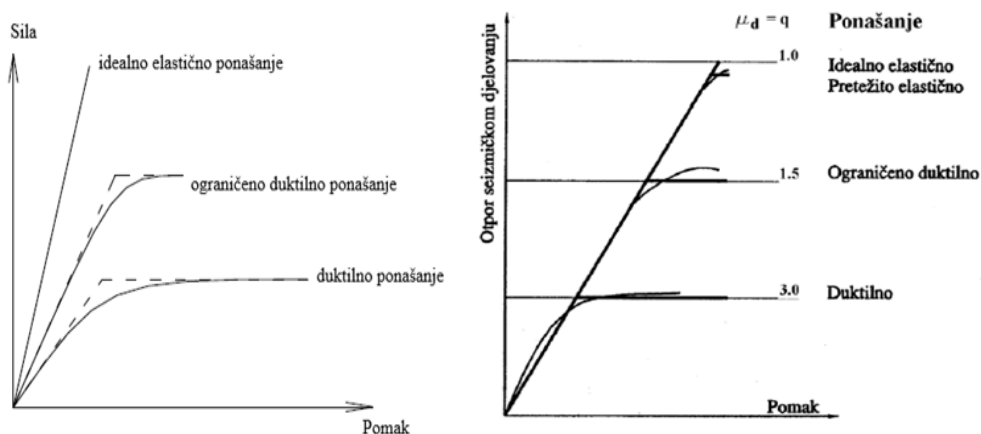
$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

$q_0$ —osnovni faktor ponašanja

$k_w$ —faktor prevladavajućeg sloma

Faktor koji se upotrebljava pri proračunu kako bi se uzeo u obzir nelinearna narav građevine – smanjuju se sile dobivene linearnim proračunom uslijed disipacije energije unutar sustava koja se ostvaruje puzanjem betonskog presjeka i deformacijom armature.

Odražava sposobnost konstrukcije za deformiranje, te sadrži u sebi podatke o vrsti elementa, vrsti gradiva i duktilnosti.



Crtež 4.13. Seizmičko ponašanje konstrukcije i odgovarajući faktori ponašanja  $q$  – preuzeto iz [6]

Tablica 4.9. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja  $q_0$  za sustave pravilne po visini

Okviri, dvostruki sustavi, povezani sustavi	$3.0\alpha_u/\alpha_1$	$4.5\alpha_u/\alpha_1$
Nezavisni zidni sustavi	3,0	$4.0\alpha_u/\alpha_1$
Sustavi ovisni o uvrtanju	2,0	3,0
Obrnuto njihalo, konzolni sustavi	1,5	2,0

$\alpha_1$ - množitelj horizontalnog seizmičkog djelovanja pri pojavi prvog plastifikacijskog zgloba

$\alpha_u$ - množitelj horizontalnog seizmičkog djelovanja pri pojavi mehanizma

Okviri i okvirima ekvivalentni dvojni sustavi

- jedan kat  $\alpha_u/\alpha_1=1.1$
- više katova, jedno polje  $\alpha_u/\alpha_1=1.2$
- više katova više polja  $\alpha_u/\alpha_1=1.3$

Zidovi i zidovima ekvivalentni dvojni sustavi

- samo dva nezavisna zida u jednom smjeru  $\alpha_u/\alpha_1=1.0$

ostali nezavisni zidni sustavi  $\alpha_u/\alpha_1=1.1$

zidovima ekvivalentni dvojni sustavi, ili povezani zidni sustavi  $\alpha_u/\alpha_1=1.2$

Za tlocrtno nepravilne sustave  $\alpha_u/\alpha_1=1$

Vrijednost  $\alpha_u/\alpha_1$  se može odrediti statički nelinearnom analizom

Maksimalna vrijednost  $\alpha_u/\alpha_1 = 1.50$

U slučaju specijalne kontrole kvalitete vrijednost  $q_0$  se može povećati za do 20%.

Za zgrade nepravilne po visini  $q=0,8 \cdot q_0$

### 4.3. Proračun prema kapacitetu nosivosti

Metoda kapaciteta nosivosti temeljna je deterministička metoda dimenzioniranja i konstrukcijskog oblikovanja detalja armiranja. U nosivom sklopu uspostavlja se hijerarhija kapaciteta nosivosti presjeka po visini nosivog elementa. Područja plastičnih zglobova inženjer odabire svjesno, a konstrukcijski se oblikuju tako da se pod djelovanjem računskoga potresnog opterećenja uspostavi povoljan plastični mehanizam. Plastični zglobovi se dimenzioniraju tako da mogu razviti zahtijevani stupanj duktilnosti. Preostali dijelovi nosivog sklopa, za koje nije poželjna plastifikacija, dimenzioniraju se tako da ostanu u elastičnom području. Takav sustav može razviti velike deformacije, ima stabilno neelastično ponašanje i izraženu sposobnost disipiranja energije u plastičnom zglobu.

Prednosti metode kapaciteta nosivosti nad klasičnom metodom dimenzioniranja betonskih konstrukcija otpornih na ciklička djelovanja:

- drastičnom smanjenju proračunskih potresnih sila
- velikoj sigurnosti rušenja
- kontroliranoj mjeri očekivanih deformacija
- učinkovitoj kontroli oštećenja
- velikoj fleksibilnosti u slučajevima promjene namjene građevine

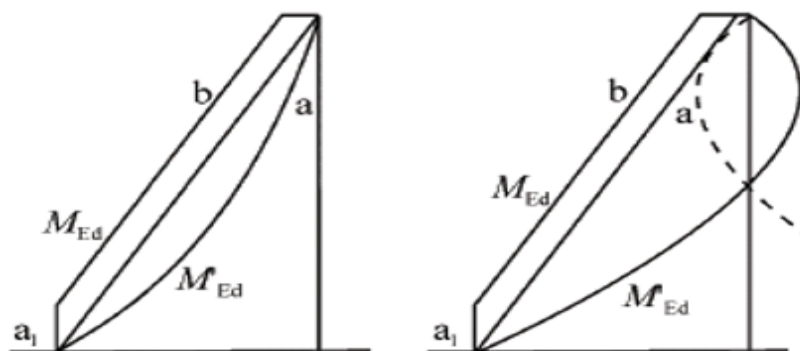
#### **4.3.1. Proračun armiranobetonskih zidova prema EC 8**

AB zidovi vrlo često se koriste za osiguranje bočne krutosti i čvrstoće višekatih zgrada u zonama srednje i visoke seizmičnosti. Takvi zidovi doživljavaju plastične deformacije pri računskom potresnom opterećenju, te se najčešće dimenzioniraju prema kapacitetu nosivosti. Ključni element proračuna prema kapacitetu nosivosti je procjena računskih posmičnih sila. Ta procjena mora uzeti u obzir sve uzroke koji mogu dovesti do povećanja posmičnih sila a time i momenata savijanja u odnosu na one dobivene metodom ekvivalentnog statičkog opterećenja.

#### **4.3.2. Dimenzioniranje na moment savijanja i poprečnu silu**

Za momente savijanja:

- Proračunski dijagram momenata savijanja (b) je ovojnica proračunskog dijagrama momenata vertikalno pomaknutog za razmak jednak  $a_1$  (vlačni pomak);
- Ovojnicu se može uzeti linearno ako u konstrukciji nema važnih diskontinuiteta mase, krutosti ili otpornosti po visini.



*Crtež 4.14. anvelopa momenata savijanja savojnih zidova (lijevo: zidni sustav, desno: dvojni sustav) – preuzeto iz HRN EN 1998*

a – dijagram prema proračunu

b – projektna anvelopa

a1- vlačni pomak (posljedica povećanja pop. sile)

Povećanje poprečne sile u dnu može biti najviše za 50% proračunske

Za poprečne sile:

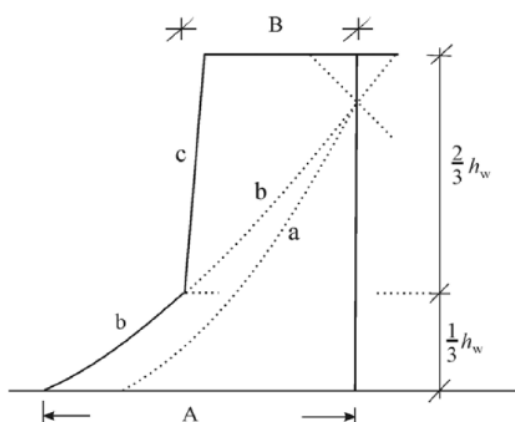
Kod klase duktilnosti DCM potrebno je uzeti u obzir moguće povećanje poprečnih sila nakon popuštanja u podnožju primarnog potresnog zida.

Proračunske potresne sile  $V_{ed}$  treba izvesti u skladu s izrazom:  $V_{ed} = \varepsilon V'_{ed}$

gdje su:  $V'_{ed}$  - poprečna sila dobivena proračunom

$\varepsilon$  - faktor povećanja ( $\varepsilon > 1.5$ )

U dvojnim sustavima koji sadrže vitke zidove treba uzeti u obzir proračunsku ovojniciu poprečnih sila u skladu sa slikom.



*Crtež 4.15. Proračunska ovojnica poprečnih sila za vitke zidove dvojnih sustava – preuzeto iz HRN EN 1998*

- a – dijagram poprečnih sila zida dobiven proračunom
- b – povećani dijagram poprečnih sila zida
- c – proračunska ovojnica
- A – veličina poprečne sile pri podnožju zida
- B – veličina poprečne sile na vrhu zida ( $B = A/2$ )

#### 4.3.3. Otpornost na savijanje i posmik

Vrijednost normaliziranog osnovnog opterećenja,  $v_d$ , u primarnim potresnim zidovima ne treba premašiti 0,4.

U proračunu otpornosti na savijanje presjeka zida u obzir se uzima vertikalna armatura hrpta. Složene presjeke zidova koji se sastoje od spojenih ili pravokutnih dijelova koji se međusobno sijeku (presjeci oblika L, T, U, I ili sličnih) treba uzeti kao cjelovite elemente koji se sastoje od hrpta ili hrptova koji su paralelni ili približno paralelni sa smjerom djelujuće potresne poprečne sile i od pojasnice ili pojasnica koje su okomite ili približno okomite na njih.

U proračunu otpornosti na savijanje, treba uzeti da se širina pojasnice sa svake strane hrpta proteže od lica hrpta za najmanje:

- stvarnu širinu pojasnice
- polovinu razmaka do susjednog hrpta zida
- 25 % ukupne visine zida iznad promatrane razine.

Proračun na poprečne sile sastoji se od provjere:

- dijagonalnog tlačnog,
- dijagonalnog vlačnog sloma hrpta

Kod provjere dijagonalnog tlačnog sloma hrpta mora biti zadovoljen uvjet

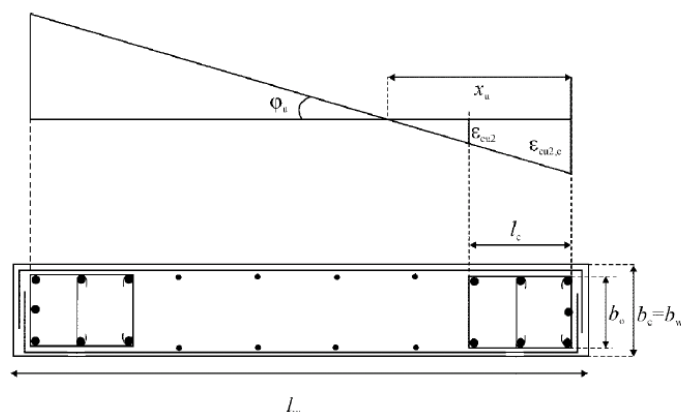
$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

$V_{Ed}$  – proračunska poprečna sila

$V_{Rd,max}$  – najveća proračunska poprečna sila koju može preuzeti zid bez otkazivanja tlačnih štapova (dijagonala)

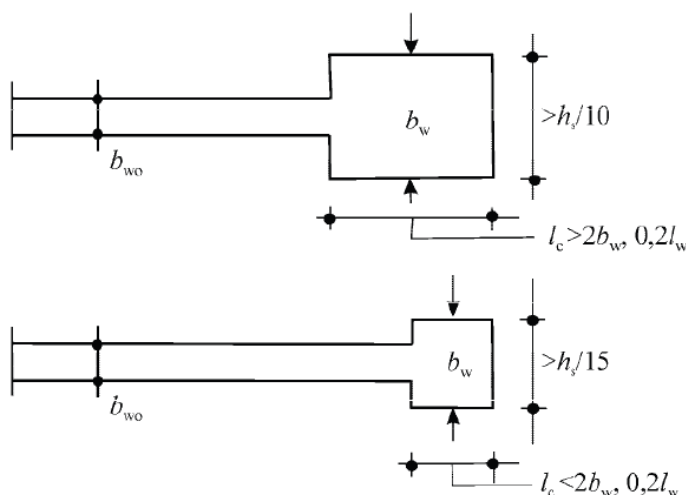
Ovijanje se treba vertikalno protezati na visini hcr kritičnoga područja, a horizontalno uzduž duljine  $l_c$  mjerene od rubnoga tlačnog vlakna zida do točke gdje se neovijeni beton može odlomiti zbog velikih tlačnih deformacija. Ako nisu dostupni točniji podaci, tlačna deformacija pri kojoj se očekuje odlamanje smije se uzeti jednakom  $\epsilon_{cu2} = 0,0035$ . Ovijeni rubni element smije se ograničiti na razmak  $x_u(1 - \epsilon_{cu}/\epsilon_{cu2,c})$  od središta spona u blizini rubnog tlačnog vlakna do visine ovijenog tlačnog područja  $x_u$  pri najvećoj procijenjenoj zakrivljenosti iz ravnoteže za konstantnu širinu  $b_0$  ovijenog tlačnog područja i za najveću deformaciju  $\epsilon_{cu2}$ , c

ovijenog betona  $c=0,0035 + 0,1 a\omega wd$ . Najmanja vrijednost  $l_c$  ovijenog rubnog elementa ne treba biti manja od  $0,15l_w$  ili  $1,50 b_w$ .



*Crtež 4.16. Ovijeni rubni element zida sa slobodnim rubom (gore: deformacije pri najvećoj zakrivljenosti; dolje: presjek zida) – preuzeto iz HRN EN 1998*

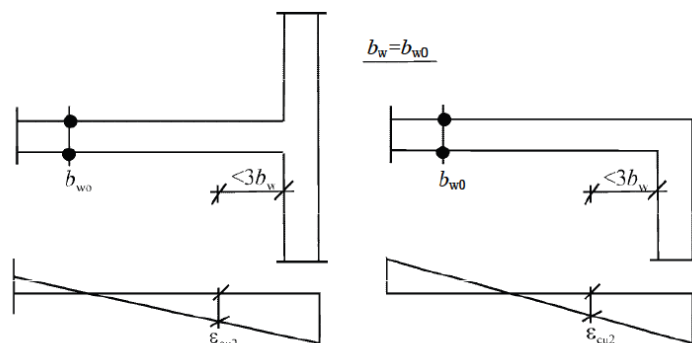
- Ne zahtijeva se ovijeni rubni element u pojasnicama zida ako je debljina  $b_f \geq h_s / 15$ , a širina  $l_f \geq h_s / 5$ , gdje je  $h_s$  svijetla visina kata (slika 5.9). Međutim, na krajevima takvih pojasnica zbog savijanja zida izvan ravnine smiju se zahtijevati ovijeni rubni elementi.
- Omjer uzdužne armature u rubnim elementima ne treba biti manji od 0,005.
- Debljina  $b_w$  ovijenoga dijela presjeka zida (rubni elementi) ne treba biti manja od 200 mm. Međutim, ako duljina ovijenoga dijela ne premašuje  $2b_w$  i  $0,2l_w$ , tada  $b_w$  ne treba biti manje od  $h_s / 15$ , gdje je  $h_s$  katna visina. Ako duljina ovijenoga dijela premašuje najviše  $2 b_w$  i  $0,2 l_w$ , tada  $b_w$  ne treba biti manje od  $h_s/10$ .



*Crtež 4.17. Minimalna debljina rubnih dijelova zida – preuzeto iz HRN EN 1998*

- Treba upotrijebiti sponne s preklopima tako da je svaka uzdužna šipka povezana sa sponom ili poprečnom sponom.

- Ako je zid spojen s pojasnicom debljine  $b_f \geq 3 h_s / 15$  širine  $l_f \geq h_s / 5$  ( $h_s$  je svjetla visina-kata) i ako je potrebno da se ovijeni rubni element proširi iz pojasnice u hrpatu za dodatnu duljinu do  $3b_{w0}$ , tada debljina  $b_w$  rubnog elementa u hrptu treba biti u skladu s odredbama za  $b_{w0}$ .



*Crtež 4.18. Deformacija slobodnog ruba zida i zida s pojasnicom – preuzeto iz HRN EN 1998*

- Iznad kritičnoga područja rubni se elementi trebaju osigurati još u jednom katu više s najmanje polovinom ovijene armature koja se zahtijeva u kritičnom području.
- Mora se spriječiti prerano raspucavanje hrpta zbog poprečne sile postavljanjem najmanje količine armature u hrptu  $\rho_{h,min} = \rho_{v,min} = 0,002$ .
- Armatura hrpta treba imati promjer ne manji od 8 mm ali ne veći od osmine širine hrpata  $b_{w0}$ . Ona treba biti postavljena na razmacima ne većim od 250 mm ili 25 puta promjer šipke, a mjerodavna je manja vrijednost.
- Da bi se uravnotežili nepovoljni učinci raspucavanja uzduž hladnog spoja i pridružene nesigurnosti, kroz takve spojeve treba postaviti najmanju količinu potpuno usidrene vertikalne armature. Najmanji omjer te armature,  $r_{min}$ , nužan za ponovnu uspostavu otpornosti ne raspucaloga betona na posmik.

#### 4.4. Metoda postupnog naguravanja

Metoda postupnog guranja (Pushover- Analysis) spada u skupinu nelinearne statičke analize. Metoda se temelji na pomacima. Usporedbom deformabilne sposobnosti konstrukcije sa zahtijevanim stupnjem deformabilnosti pod utjecajem normiranog djelovanja moguće je odrediti sigurnost objekta u odnosu na promatrano djelovanje. Pri provođenju analize dopušteno je primijeniti nelinearni model pri čemu se za pojedinačne strukturne elemente pretpostavlja bilinearno: linearno elastično, idealno plastično ponašanje.

Postupak se primjenjuje na deformabilne objekte s duktilnim nosivim elementima. Deformabilni konstrukcijski elementi su po definiciji oni elementi koji pod utjecajem cikličkog djelovanja imaju

izraženo stabilno ponašanje u nelinearnom području. Krhki (ne duktilni) mehanizmi sloma ne smiju nastupiti niti kod jednog od primarnih nosivih elemenata.

Iako se ova metoda proračuna može primijeniti na sve konstrukcije, najčešća joj je primjena provjera postojećih građevina na horizontalna djelovanja.

Metoda postupnog naguravanja sastoji se od određivanja grafa nelinearne zavisnosti sile i pomaka. Ova zavisnost predstavlja ukupnu horizontalnu silu na mjestu upetosti u zavisnosti od pomaka kontrolne točke odabrane negdje na nosivom elementu.

Najčešće se kontrolna točka bira na vrhu objekta. Za određivanje krivulje kapaciteta nosivosti koristi se ekvivalentni nelinearni sustav s jednim stupnjem slobode. Dijeljenjem ukupne sile, koja odgovara otporu elementa na

mjestu upetosti, s ekvivalentnom modalnom masom sustava s jednim stupnjem slobode i dijeljenjem pripadajućih pomaka s faktorom učešća ( $\Gamma$ ) za promatrani ton, moguće je krivulju kapaciteta nosivosti predstaviti u ADRS- formatu. Ova krivulja predstavlja stranu otpora konstrukcije.

Opis proračuna:

1. Iz spektra ubrzanja, u kojem je ubrzanje dano u odnosu na period, odredit ćemo nelinearni spektar u formatu ubrzanje – pomak (AD format – *acceleration - displacement*). Za nelinearni sustav s jednim stupnjem slobode s bilinearnim odnosom sila – deformiranje, spektar ubrzanja  $S_a$  i spektar pomaka  $S_d$  mogu se odrediti na sljedeći način:

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu}$$

$$S_d = \frac{\mu}{R_\mu} \cdot S_{de} = \frac{\mu}{R_\mu} \cdot \frac{T^2}{4\mu^2} S_{ae} = \mu \frac{T^2}{4\mu^2} \cdot S_a$$

$\mu$ - koeficijent duktilnosti definiran kao odnos maksimalnog pomaka i pomaka na granici popuštanja

$R_\mu$ - redukcijski faktor zbog duktilnosti zbog histereznog rasipanja energije duktilnih konstrukcija

Faktor redukcije  $R_\mu$  određen je bilinearnim spektrom definiranim na sljedeći način:

$$R_\mu = (\mu - 1) \cdot \frac{T}{T_c} + 1 \quad \text{Za } T < T_c$$

$$R_\mu = \mu \quad \text{Za } T > T_c$$



$T_c$  - karakterističan period gibanja podloge

2. Metoda postupnog guranja provodi se tako da se konstrukcija podvrgne monotono rastućem bočnom opterećenju. Takvo opterećenje predstavlja inercijske sile koje nastaju kao posljedica ubrzanja temeljnog tla. Postupnim povećavanjem bočnog opterećenja dolazi do progresivnog popuštanja elemenata konstrukcije, što dovodi do smanjenja njezine krutosti. Metoda postupnog guranja daje karakterističnu nelinearnu krivulju odnosa sile i pomaka, a najčešće se prikazuje kao odnos ukupne poprečne sile  $V$  u razini temelja i pomaka vrha zgrade  $D_t$ . Takav je prikaz vrlo zanimljiv jer istodobno daje podatke o nosivosti, duktilnosti i krutosti konstrukcije.

Vektor bočnog opterećenja  $P$  određuje se na sljedeći način:

$$P = p \cdot m \cdot \Phi$$

$p$  - intenzitet bočnih sila

$m$  – matrica masa

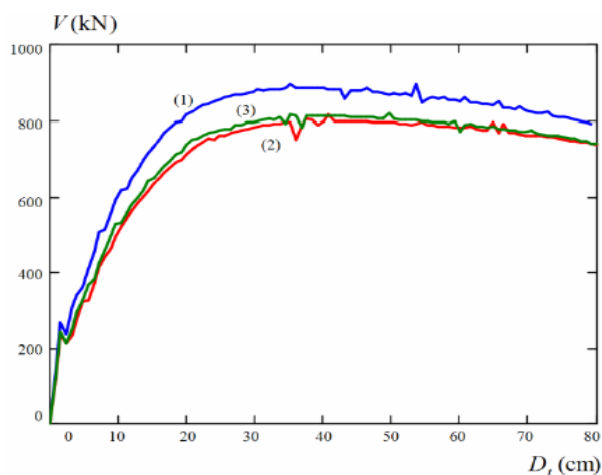
$\Phi$  – pretpostavljeni oblik pomaka

Pretpostavljeni oblici pomaka jesu:

- jednolika raspodjela  $\Phi^T = [1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00]$
- trokutasta raspodjela  $\Phi^T = [0,17 \ 0,35 \ 0,46 \ 0,57 \ 0,67 \ 0,78 \ 0,89 \ 1,00]$
- modalna raspodjela  $\Phi^T = [\text{ordinate iz prvog vlastitog vektora}]$

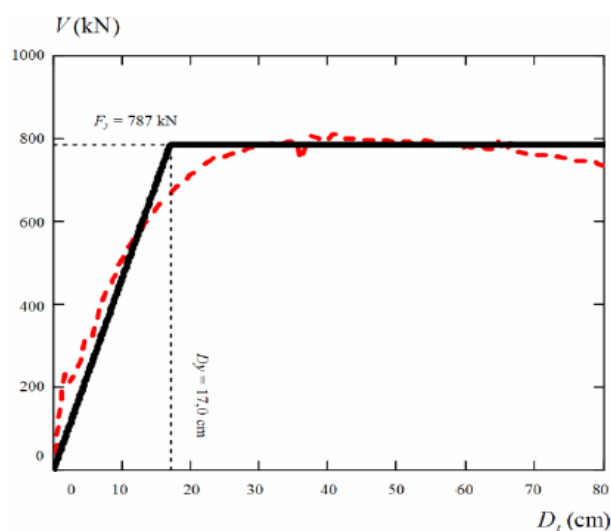
Oblik raspodjele bočnih sila se normizira i tako da sila na krovu ima jediničnu vrijednost:

- jednolika raspodjela  $P^T = [1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00 \ 1,00]$
- trokutasta raspodjela  $P^T = [0,17 \ 0,35 \ 0,46 \ 0,57 \ 0,67 \ 0,78 \ 0,89 \ 1,00]$
- modalna raspodjela  $P^T = [\text{ordinate iz prvog vlastitog vektora}]$



Crtež 4.19. Usporedni prikaz krivulje postupnog guranja za tri pretpostavljena oblika pomaka: jednoliko (1), trokutasto (2), prvi oblik vibracija (3) – preuzeto iz [6]

Krivulja kapaciteta idealizira se bilinearnim, elastoplastičnim odnosom sila-pomak. Za određivanje granica popuštanja potrebna je inženjerska prosudba. Ako se poštuje pristup jednakih energija, veća usvojena vrijednost granice popuštanja znači i manju inicijalnu krutost te obrnuto.



Crtež 4.20. Krivulja kapaciteta (isprekidanom je crtom prikazana stvarna krivulja kapaciteta, a punom crtom bilinearna idealizacija) – preuzeto iz [6]

3. Potresni zahtjev u metodi N2 određuje se uporabom spektara odziva koji su dani za sustave s jednim stupnjem slobode. Prema tome, potrebno je provesti transformaciju originalnog sustava s više stupnjeva slobode u ekvivalentni sustav s jednim stupnjem slobode čija jednadžba gibanja ima oblik:

$$m^* \cdot D^* + F^* = -m^* \cdot a$$

$m^*$  - ekvivalentna masa sustava s jednim stupnjem slobode.

$$m^* = \Phi^T m_1 = \sum m_i \cdot \Phi_i$$

$D^*$ - pomak

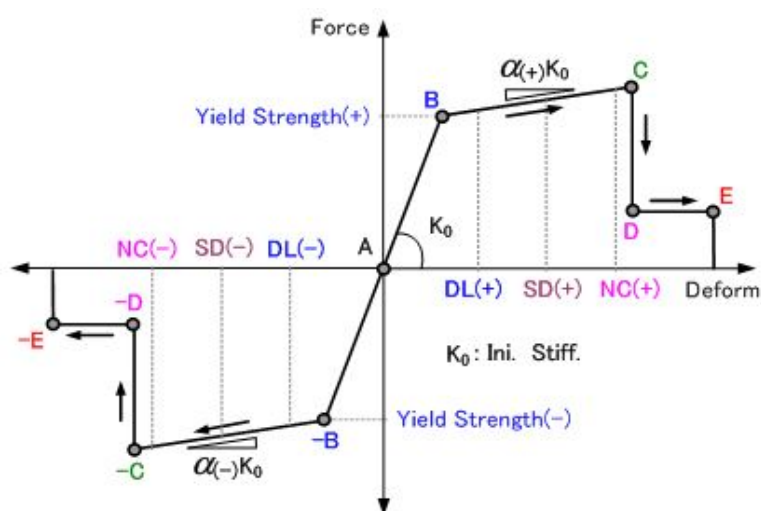
$F^*$  - sila ekvivalentnog sustava s jednim stupnjem slobode

$$D^* = \frac{D_t}{\Gamma} \qquad F^* = \frac{V}{\Gamma}$$

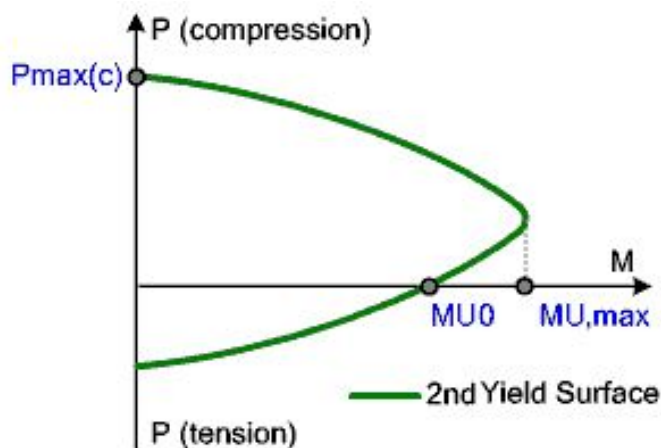
$\Gamma$  - konstanta koja vrijedi za transformaciju pomaka i za transformaciju sila. Kao posljedica, odnos sila – pomak jednak je za oba sustava i razlikuje se samo za faktor mjerila  $\Gamma$ . Oba sustava imaju i istu početnu krutost.

4. Zahtijevani pomak ekvivalentnog sustava s jednim stupnjem slobode transformira se natrag u ciljani pomak vrha zgrade sustava s više stupnjeva slobode. Maksimalni pomaci katova predstavljeni su anvelopom rezultata dobivenih proračunima s različitim pretpostavljenim oblicima pomaka.

5. Proračun postupnim guranjem izvodi se do trenutka kada pomak vrha zgrade ne dostigne vrijednosti ciljanih pomaka dobivenih u 4. koraku, što daje oblik pomaka za cijelu konstrukciju, odnosno lokalne potresne zahtjeve u smislu apsolutnih i relativnih pomaka katova.



Crtež 4.21. Prikaz grafa krutosti čvora



Crtež 4.22. Prikaz dijagrama interakcije

Računalni program automatski računa krutost čvora i dijagram interakcije s obzirom na zadana svojstva i odabranu armaturu.

#### 4.5. Nelinearna dinamička metoda (Time history analysis)

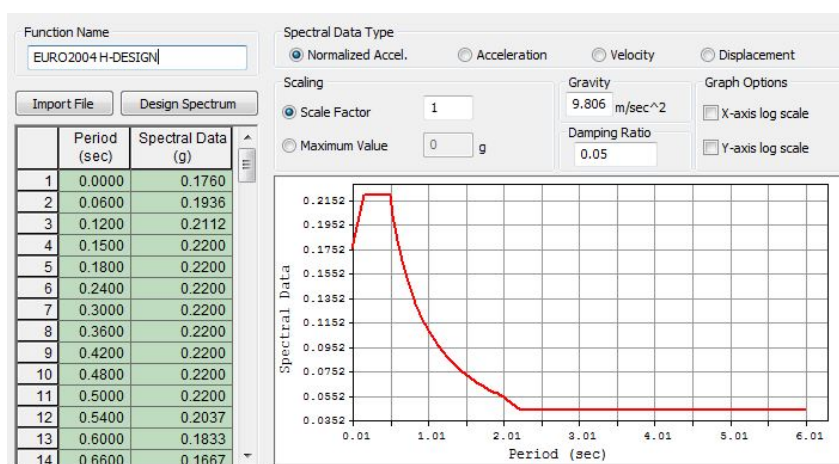
Prema HRN EN 1998-1 u nelinearnoj dinamičkoj analizi konstrukcija u vremenu mogu se koristiti umjetni akcelerogrami i realni akcelerogrami zapisani u nekom stvarnom potresu na lokaciji koja po svojim karakteristikama tla i seizmičnosti približno odgovara lokaciji predmetne konstrukcije.

Seizmičko opterećenje u ovoj metodi dano je kao ubrzanje temeljnog tla u funkciji vremena što se prikazuje umjetnim akcelerogramima ili zapisima stvarnih potresa.

U proračun je uzeto prvih 20 sekundi trajanja potresa, vremenski inkrement od 0,001 sekunde i 5% prigušenje.

## 5. REZULTATI

### 5.1. Rezultati modalne analize



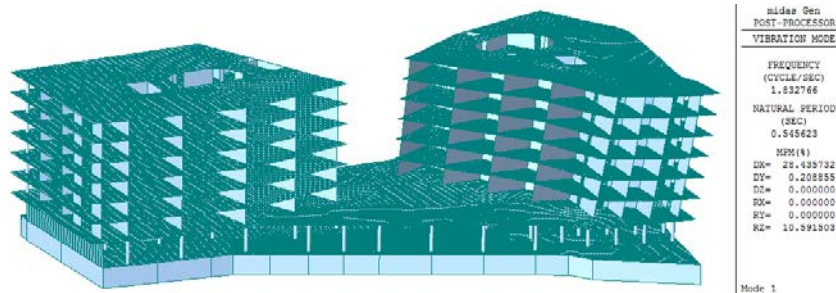
*Crtež 5.1. Prikaz projektog spektra*

Node	Mode	ux	uy	uz	Rx
<b>EIGENVALUE ANALYSIS</b>					
	Mode No	Frequency		Period	Tolerance
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
	1	11.5156	1.8328	0.5456	0.0000e+000
	2	15.9672	2.5413	0.3935	0.0000e+000
	3	19.5370	3.1094	0.3216	0.0000e+000
	4	23.1978	3.6920	0.2709	0.0000e+000
	5	25.6553	4.0832	0.2449	0.0000e+000
	6	33.6543	5.3563	0.1867	0.0000e+000
	7	74.6859	11.8866	0.0841	8.1339e-093
	8	89.5250	14.2484	0.0702	8.9487e-086
	9	95.0773	15.1320	0.0661	1.9040e-082
	10	95.9616	15.2728	0.0655	9.9379e-083
	11	127.6296	20.3129	0.0492	8.6598e-075
	12	143.4720	22.8343	0.0438	4.6630e-071
	13	180.9920	28.8058	0.0347	1.8320e-062
	14	189.4188	30.1469	0.0332	1.0492e-059
	15	193.3422	30.7714	0.0325	2.7988e-059

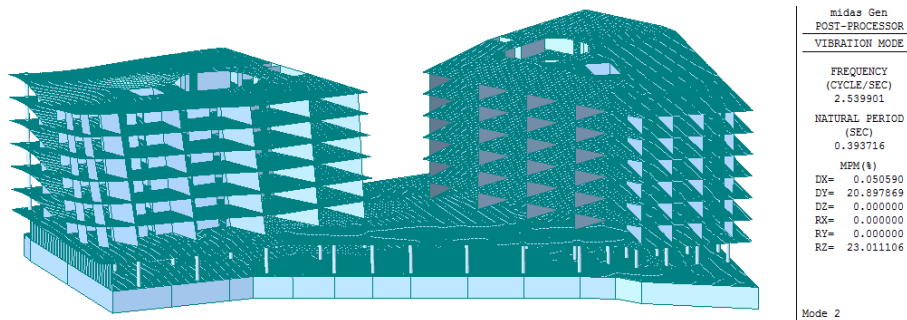
Crtež 5.2. Prikaz frekvencija i perioda konstrukcije

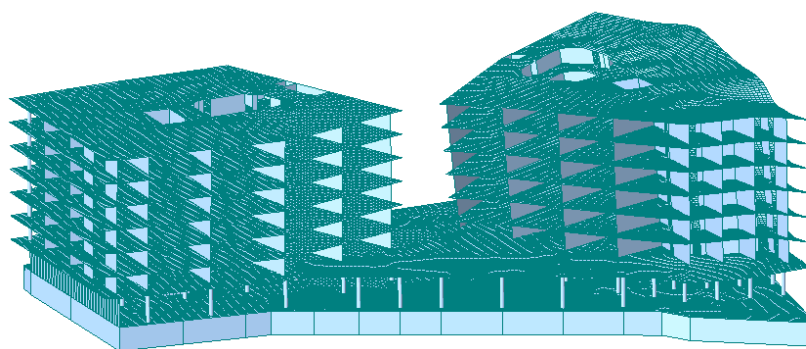
MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT												
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)
1	28.4419	28.4419	0.2093	0.2093	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	10.5876	10.5876
2	0.0525	28.4945	20.8939	21.1032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	22.9855	33.5730
3	5.0638	33.5582	22.2142	43.3175	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	24.4626	58.0356
4	27.7042	61.2624	6.8215	50.1390	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.7349	59.7705
5	0.0032	61.2656	5.5014	55.6404	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.5790	61.3495
6	3.2572	64.5228	8.1454	63.7858	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3730	61.7225
7	14.2416	78.7645	0.1871	63.9728	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.7477	65.4703
8	1.3995	80.1639	14.7828	78.7556	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5493	66.0196
9	1.6105	81.7744	1.3880	80.1436	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.4136	71.4332
10	1.4244	83.1988	3.2393	83.3829	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	10.4487	81.8819
11	4.5351	87.7339	0.7234	84.1063	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9884	82.8703
12	0.5390	88.2729	5.5304	89.6368	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4339	83.3042
13	0.9464	89.2193	0.7511	90.3879	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7.4695	90.7738
14	0.0177	89.2370	0.4267	90.8146	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1189	90.8926
15	0.0144	89.2514	0.0827	90.8973	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0989	90.9915

Crtež 5.3. Prikaz sudjelujućih masa po modovima



Crtež 5.4. Prvi vlastiti oblik

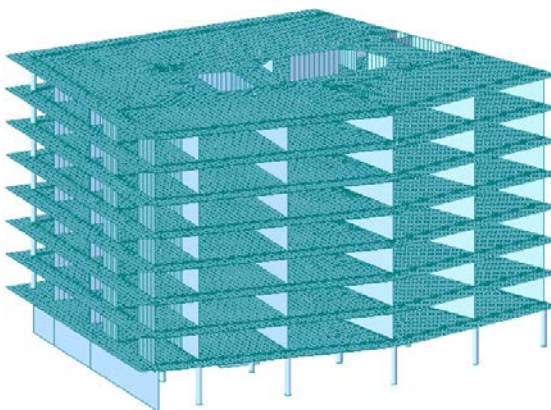
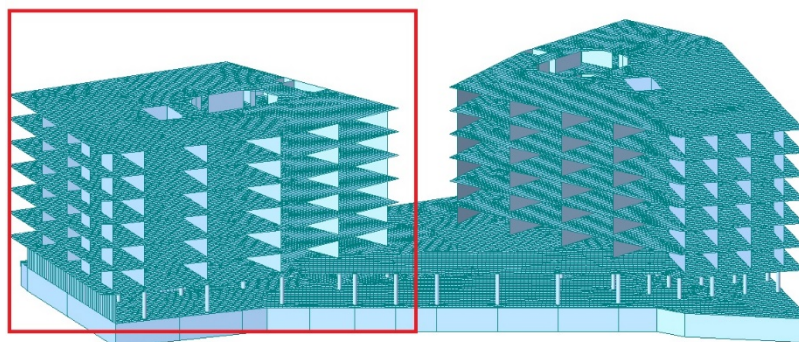


Crtež 5.5. Drugi vlastiti oblik

midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY	(CYCLE/SEC)
	3.109394
NATURAL PERIOD	(SEC)
	0.321606
	MEM(%)
DX=	5.069303
DY=	22.216128
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	24.454962
Mode 3	

Crtež 5.6. Treći vlastiti oblik

Zbog raspoložive računalne opreme, nismo u mogućnosti obaviti daljnje potrebne proračune, te ćemo u nastavku ovog rada promatrati samo dio modela, odnosno samo prvi toranj sa pripadajućim prizemljem.

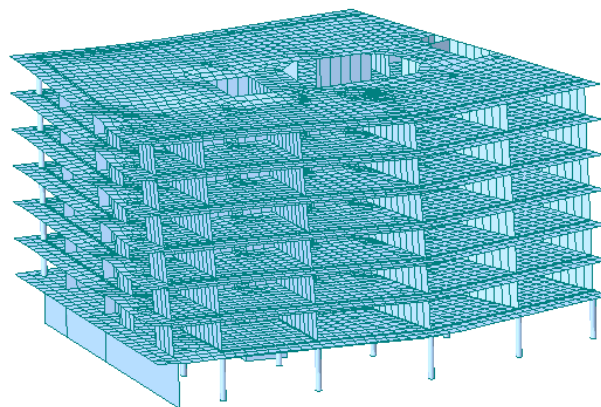
Crtež 5.7. prvi toranjCrtež 5.8. prvi toranj

Node	Mode	ux	uy	uz	Rx
<b>EIGENVALUE ANALYSIS</b>					
	Mode No	Frequency		Period	Tolerance
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
	1	19.2675	3.0665	0.3261	3.3666e-091
	2	24.8850	3.9606	0.2525	2.5477e-085
	3	42.0163	6.6871	0.1495	1.0574e-076
	4	78.3340	12.4672	0.0802	3.6345e-065
	5	99.0339	15.7617	0.0634	4.3014e-061
	6	142.4213	22.6670	0.0441	7.1861e-054
	7	153.4361	24.4201	0.0409	2.6304e-053
	8	197.5140	31.4353	0.0318	3.7430e-049
	9	227.0200	36.1314	0.0277	4.0452e-046
	10	262.6468	41.8015	0.0239	1.4165e-044

Crtež 5.9. Prikaz frekvencija i perioda konstrukcije

MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT												
Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)	MASS(%)	Sum(%)
1	15.6774	15.6774	24.2697	24.2697	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	28.0324	28.0324
2	52.6639	68.3413	16.3358	40.6056	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.1346	29.1669
3	2.4601	70.8014	30.2113	70.8168	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	42.6076	71.7745
4	11.7413	82.5428	3.5105	74.3274	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.6565	76.4310
5	7.4395	89.9823	9.4572	83.7845	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.0923	79.5232
6	0.1491	90.1314	6.3076	90.0922	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	9.6315	89.1547
7	3.9689	94.1004	3.7343	93.8265	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4339	89.5886
8	2.7953	96.8957	1.6124	95.4389	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.3859	91.9746
9	0.3379	97.2336	0.6927	96.1316	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.3962	93.3708
10	0.0378	97.2714	2.6615	98.7931	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5073	93.8781

Crtež 5.10. Prikaz sudjelujućih masa po modovima



```

midas Gen
POST-PROCESSOR
VIBRATION MODE

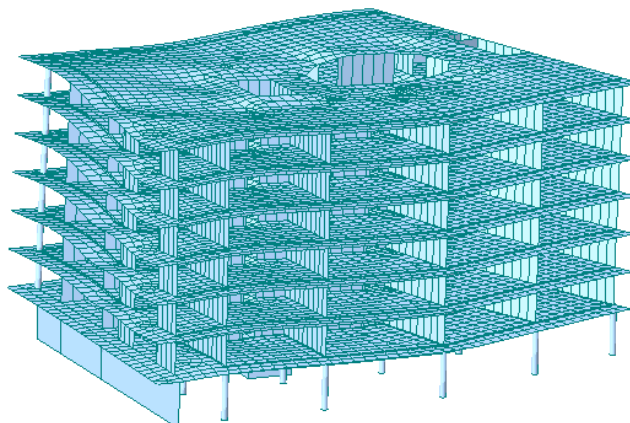
FREQUENCY
(CYCLE/SEC)
3.066517

NATURAL PERIOD
(SEC)
0.326103

MPM(%)
DX= 15.677379
DY= 24.269744
DZ= 0.000000
RX= 0.000000
RY= 0.000000
RZ= 28.032358

Mode 1
    
```

Crtež 5.11. Prvi vlastiti oblik



```

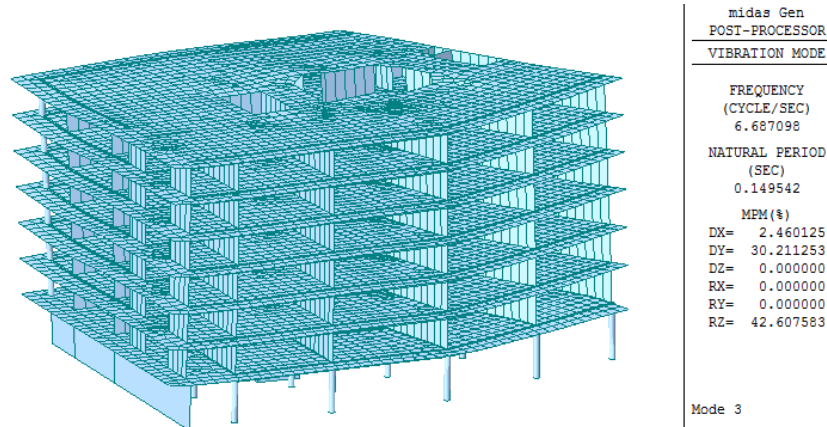
midas Gen
POST-PROCESSOR
VIBRATION MODE

FREQUENCY
(CYCLE/SEC)
3.960563

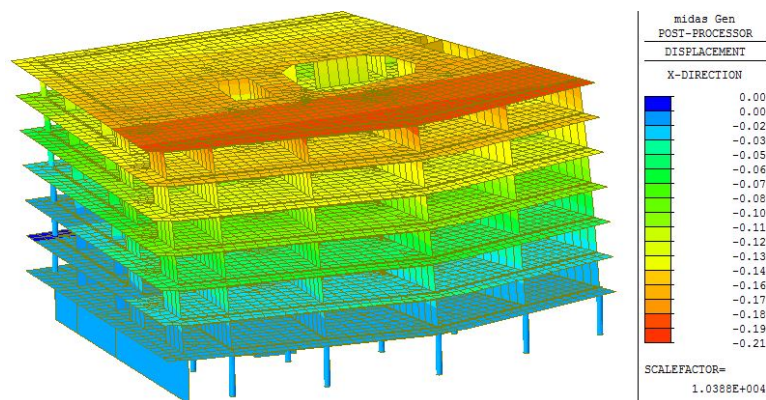
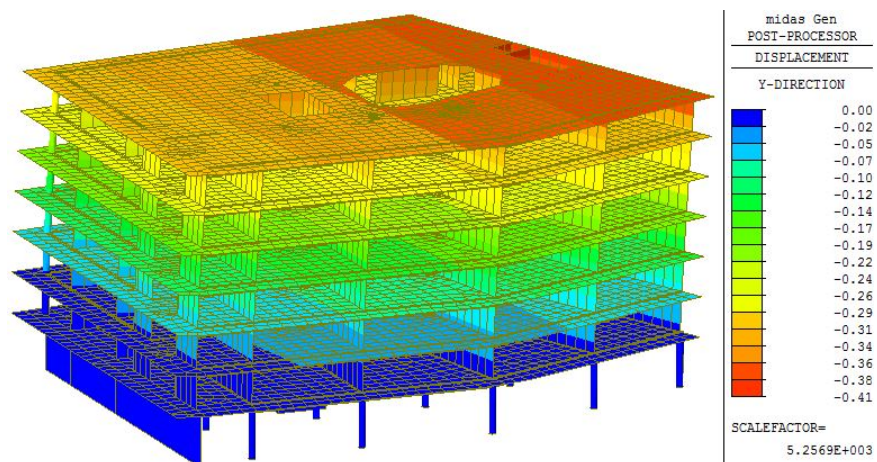
NATURAL PERIOD
(SEC)
0.252489

MPM(%)
DX= 52.663936
DY= 16.335850
DZ= 0.000000
RX= 0.000000
RY= 0.000000
RZ= 1.134566

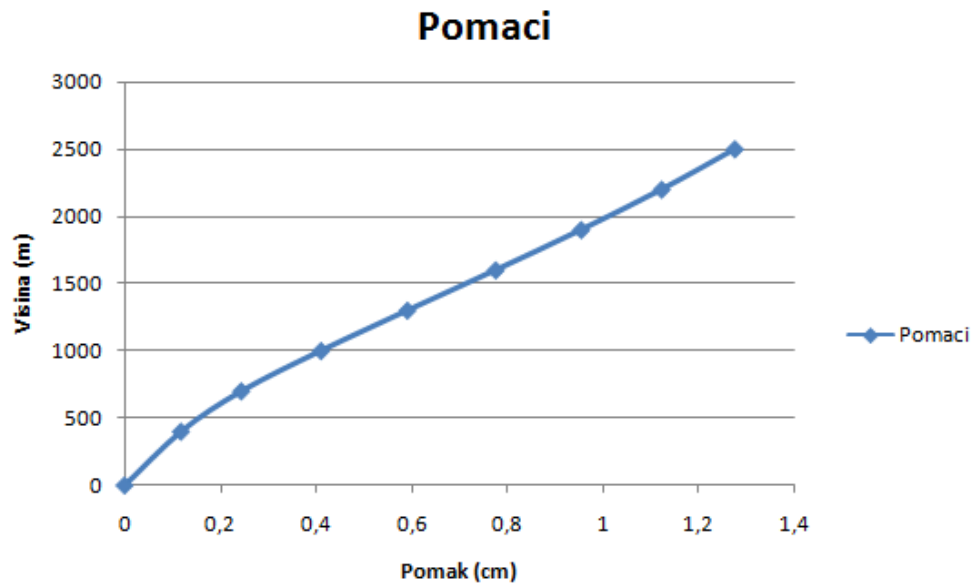
Mode 2
    
```

*Crtež 5.12. Drugi vlastiti oblik**Crtež 5.13. Treći vlastiti oblik*

Pomak konstrukcije za GSU kod povratnog perioda od 95 godina i za računsko ubrzanje tla od  $a_g=0.12g$  i za faktor ponašanja  $q=1,0$ .

*Crtež 5.14. Pomak u x smjeru (cm)*



Crtež 5.15. Pomak u y smjeru (cm)Crtež 5.16. Prikaz pomaka (cm)

## 5.2. Dimenzioniranje nosivih elemenata prema kapacitetu nosivosti

### 5.2.1. Dimenzioniranje AB ploča

#### Ploča prizemlja

Dimenzije ploče:

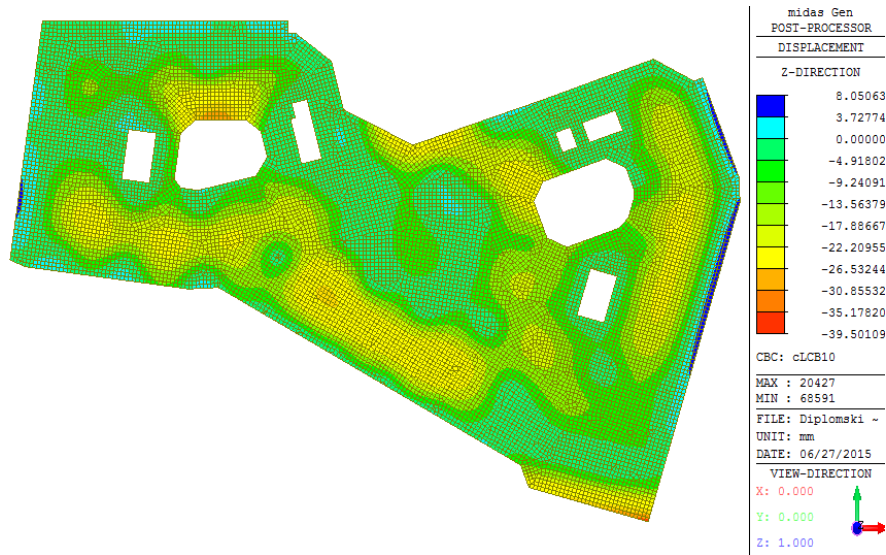
$$h=25\text{cm}$$

$$d_1=3\text{cm}$$

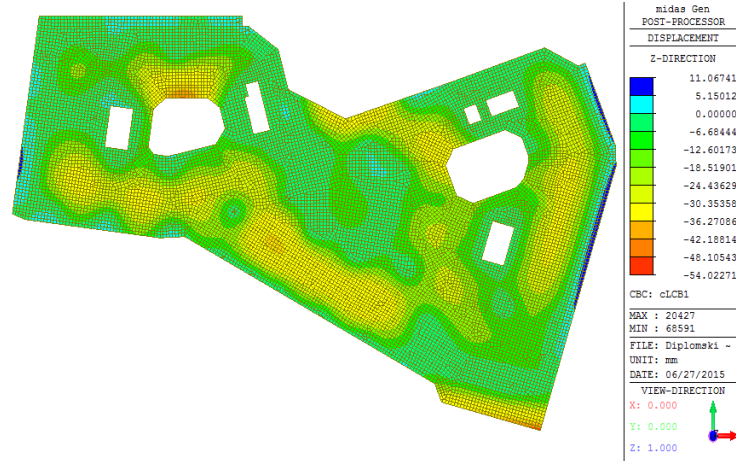
$$d = h - d_1 = 25 - 3 = 22\text{cm}$$

Ploča je dimenzionirana prema EC2. Za kontrolu progiba koristi se kombinacija

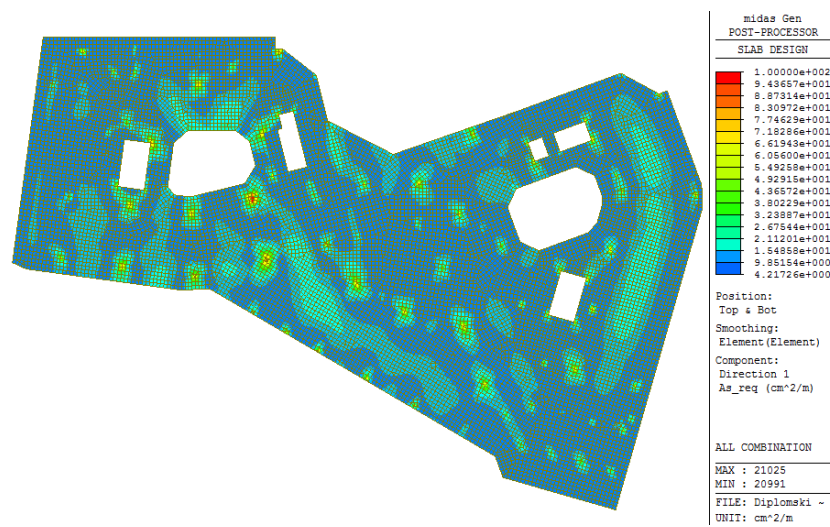
$GSU (1,0g_0+1,0\Delta g)$ , a za dimenzioniranje armature kombinacija  $GSN (1,35g_0+1,35\Delta g+1,5q)$ .



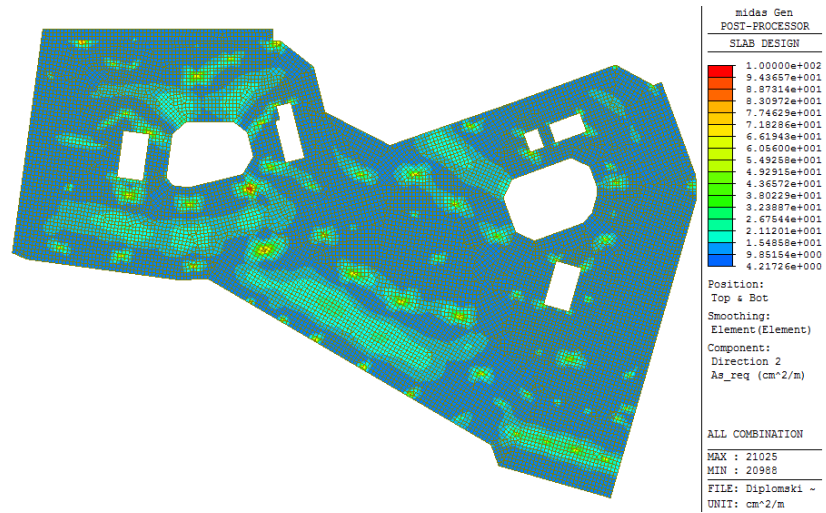
*Crtež 5.17. Pomaci na ploči prizemlja kombinaciju opterećenja GSU (mm)*



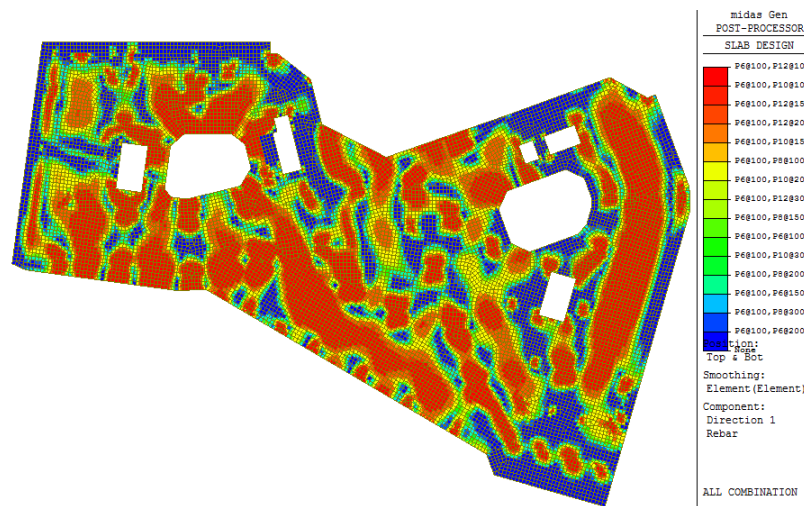
*Crtež 5.18. Pomaci na ploči prizemlja kombinaciju opterećenja GSN (mm)*



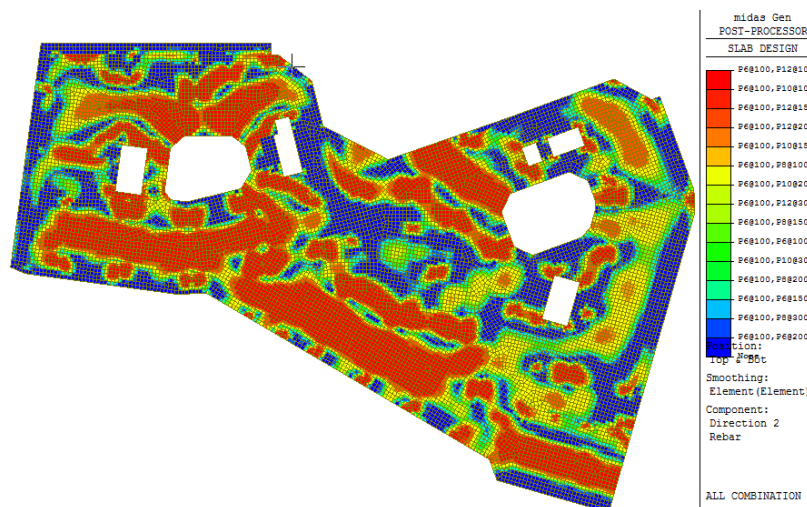
*Crtež 5.19. Potrebna površina armature za x smjer (cm<sup>2</sup>/m)*



Crtež 5.20. Potrebna površina armature y smjer (cm<sup>2</sup>/m)



Crtež 5.21. Prikaz armature x smjer



Crtež 5.22. Prikaz armature y smjer

### Ploča prvog tornja

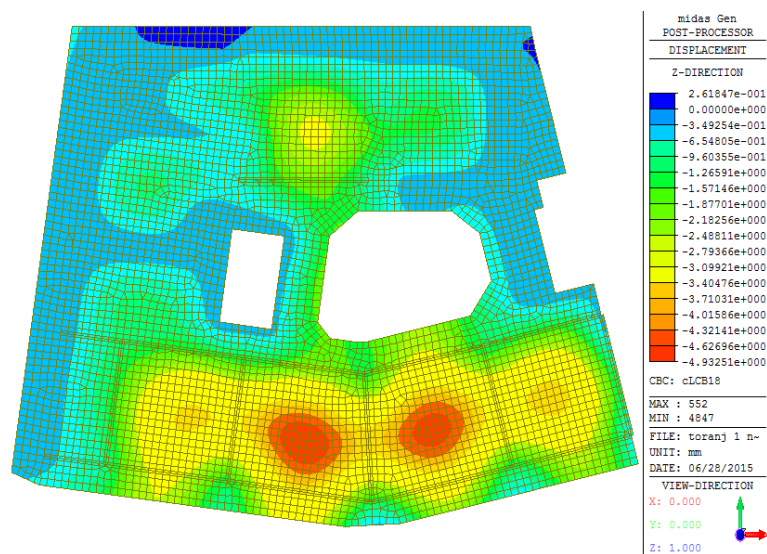
Dimenzije ploče:

$$h=25\text{cm}$$

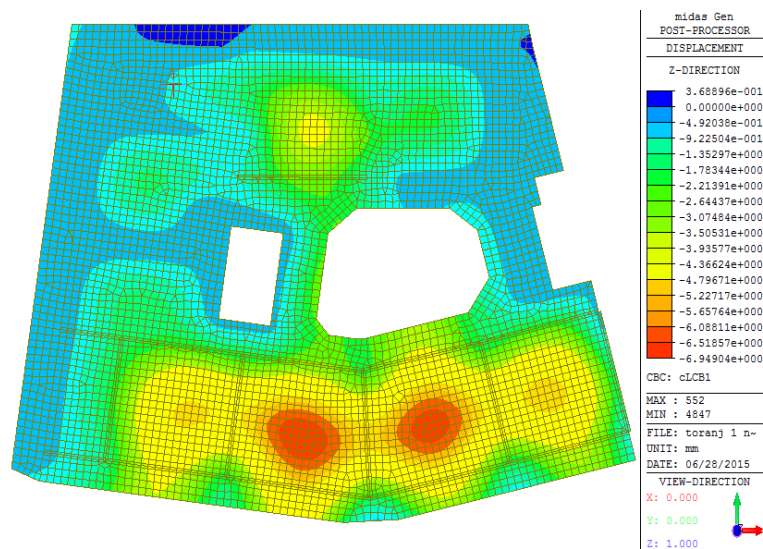
$$d_1=3\text{cm}$$

$$d = h - d_1 = 25 - 3 = 22\text{cm}$$

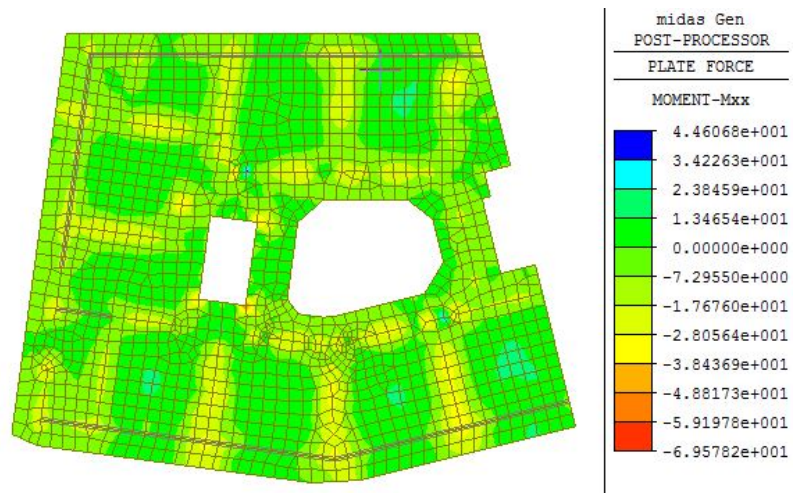
Ploča je dimenzionirana prema EC2. Za kontrolu progiba koristi se kombinacija  $GSU$  ( $1,0g_o+1,0\Delta g$ ), a za dimenzioniranje armature kombinacija  $GSN$  ( $1,35g_o+1,35\Delta g+1,5q$ ).



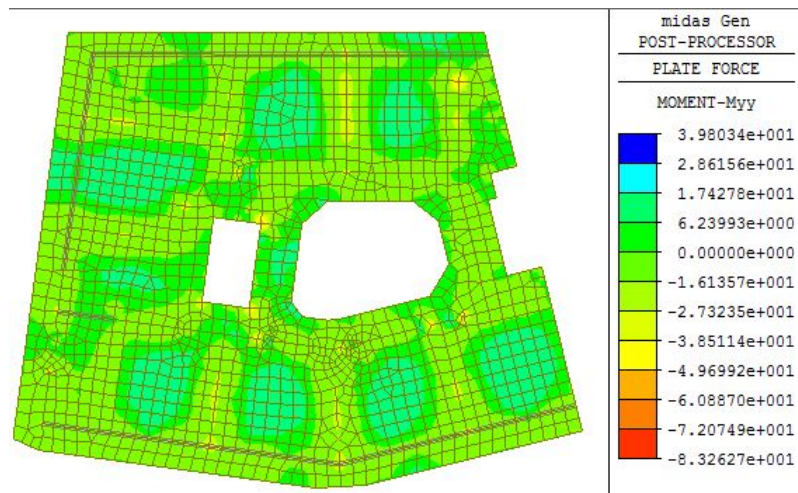
*Crtež 5.23. Pomaci na ploči kata kombinaciju opterećenja GSU (mm)*



*Crtež 5.24. Pomaci na ploči kata kombinaciju opterećenja GSN (mm)*

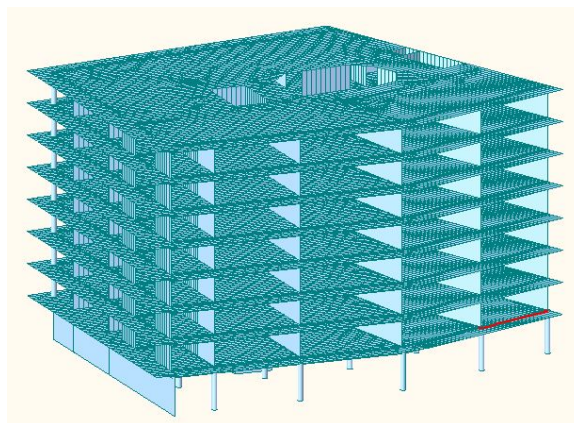


*Crtež 5.25. Prikaz momenta  $M_{xx}$  za GSN (kNm)*



*Crtež 5.26. Prikaz momenta  $M_{yy}$  za GSN (kNm)*

### 5.3. Dimenzioniranje AB greda

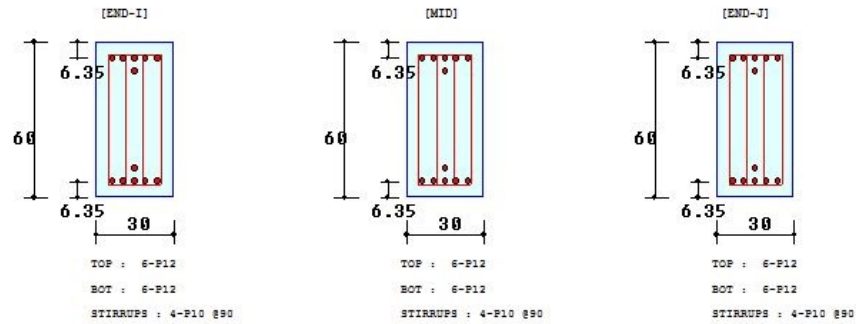


*Crtež 5.27. Prikaz karakteristične grede*

## 1. Design Information

Design Code : Eurocode2:04 Unit System : kN, cm  
 Material Data :  $f_{ck} = 3$ ,  $f_{yk} = 40$ ,  $f_{yw} = 40$  kN/cm<sup>2</sup>  
 Section Property 30\*60

## 2. Section Diagram



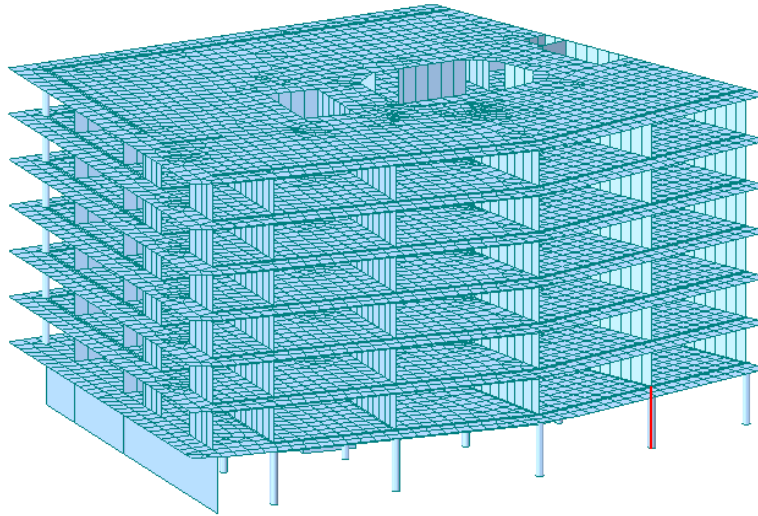
## 3. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	6	6	6
Moment ( $M_{Ed}$ )	7478.48	9383.00	10335.26
Factored Strength ( $M_{Rd}$ )	12106.07	12106.07	12106.07
Check Ratio ( $M_{Ed}/M_{Rd}$ )	0.6177	0.7751	0.8537
Neutral Axis ( $x/d$ )	0.1162	0.1162	0.1162
(+) Load Combination No.	6	6	6
Moment ( $M_{Ed}$ )	3263.11	2583.82	5167.63
Factored Strength ( $M_{Rd}$ )	12106.07	12106.07	12106.07
Check Ratio ( $M_{Ed}/M_{Rd}$ )	0.2695	0.2134	0.4269
Neutral Axis ( $x/d$ )	0.1162	0.1162	0.1162
Required Rebar Top ( $A_{s\_top}$ )	6.5171	6.5171	6.5171
Required Rebar Bot ( $A_{s\_bot}$ )	6.5171	6.5171	6.5171

## 4. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	8	8	8
Factored Shear Force ( $V_{Ed}$ )	67.83	67.83	67.83
Shear Strength by Conc. ( $V_{Rdc}$ )	72.08	72.08	72.08
Shear Strength by Rebar. ( $V_{Rds}$ )	579.51	579.51	579.51
Required Shear Reinf. ( $A_{sw}$ )	32.7250	32.7250	32.7250
Required Stirrups Spacing	4-P10 @90	4-P10 @90	4-P10 @90
Shear Ratio by Conc	0.9411	0.9411	0.9411
Shear Ratio by ( $V_{Rds}$ ; $V_{Rdmax}$ )	0.1170	0.1170	0.1170
Check Ratio	0.9411	0.9411	0.9411

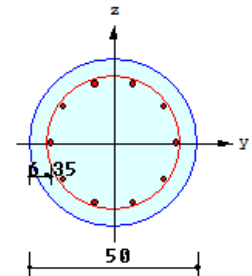
## 5.4. Dimenzioniranje stupova



*Crtež 5.28. Prikaz karakterističnog stupa*

### 1. Design Condition

Design Code : Eurocode2:04                      UNIT SYSTEM : kN, cm  
 Member Number : 3  
 Material Data :  $f_{ck} = 3$ ,  $f_{yk} = 40$ ,  $f_{yw} = 40$  kN/cm<sup>2</sup>  
 Column Height : 400 cm  
 Section Property stup (No : 3)  
 Rebar Pattern : 10 - 0 - P16                       $A_{st} = 20.106$  cm<sup>2</sup>      ( $\rho_{st} = 0.010$ )



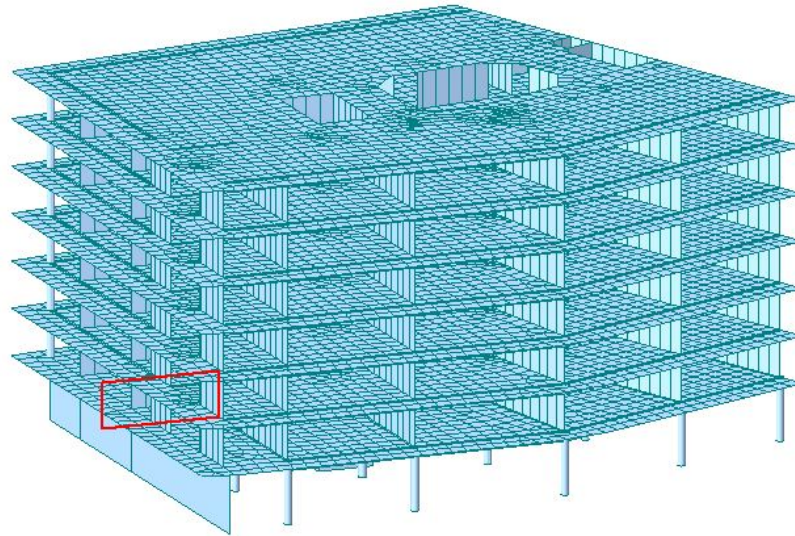
### 2. Applied Loads

Load Combination : 7      AT (J) Point  
 $N_{Ed} = 2923.99$  kN     $M_{Edy} = 3404.64$  kN-cm     $M_{Edz} = 7717.08$  kN-cm  
 $M_{Ed} = \text{SQRT}(M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2) = 8434.74$  kN-cm

### 3. Axial Forces and Moments Capacity Check

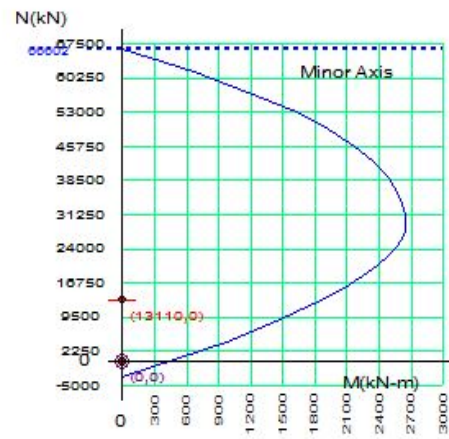
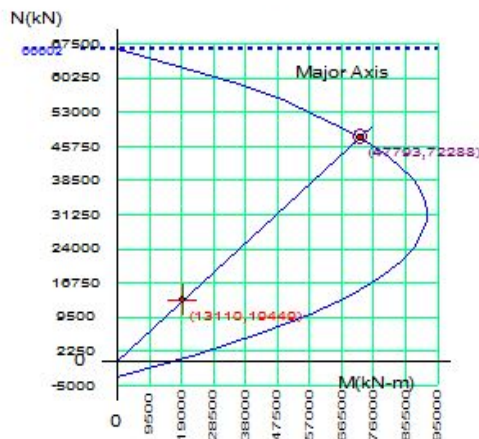
Concentric Max. Axial Load  $N_{Rdmax} = 4197.44$  kN  
 Axial Load Ratio       $N_{Ed}/N_{Rd} = 2923.99 / 3660.69 = 0.799 < 1.000$  ..... 0.K  
 Normalized Axial Load Ratio  $N_{Ed} / 0.65 = 0.000 / 0.650 = 0.000 < 1.000$  ..... 0.K  
 Moment Ratio               $M_{Ed}/M_{Rd} = 8434.74 / 10597.3 = 0.796 < 1.000$  ..... 0.K  
                                   $M_{Edy}/M_{Rdy} = 3404.64 / 4249.82 = 0.801 < 1.000$  ..... 0.K  
                                   $M_{Edz}/M_{Rdz} = 7717.08 / 9707.87 = 0.795 < 1.000$  ..... 0.K

### 5.5. Dimenzioniranje zidova



Crtež 5.29. Karakteristični zid

#### 4. M-N Interaction Diagram



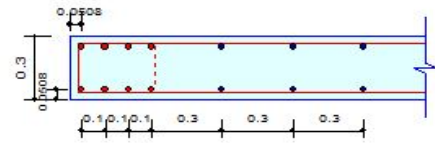
#### 5. Shear Force Capacity Check

Applied Shear Strength	$V_{Ed}$	= 1629.62 kN (Load Combination : 44)
Shear Ratio by Conc	$V_{Ed}/V_{Rdc}$	= 1629.62 / 2083.67 = 0.7821
Shear Ratio by ( $V_{Rds}$ ; $V_{Rdmax}$ )	$V_{Ed}/V_{Rds}$	= 1629.62 / 5230.14 = 0.312
Shear Ratio	$V_{Ed}/V_{Rd}$	= 0.782 < 1.000 ..... O.K
(Asw-H_req = 0.00196 m <sup>2</sup> /m, P10 @80)		



## 1. Design Condition

Design Code : Eurocode2:04  
 Unit System : kN, m  
 Wall ID : 12 (Wall Mark : wM0012)  
 Story : 1F (Height = 4 m)  
 Material Data :  $f_{ck} = 30000$ ,  $f_{yk} = 400000$ ,  $f_{yw} = 400000$  KPa  
 Wall Dim. (Length\*Thk) : 10.6362\*0.3 m  
 Vertical Rebar : P12 @300 ( $A_{sV} = 0.00075$  m<sup>2</sup>/m)  
 End Rebar : 8-P10 @100



## 2. Applied Loads

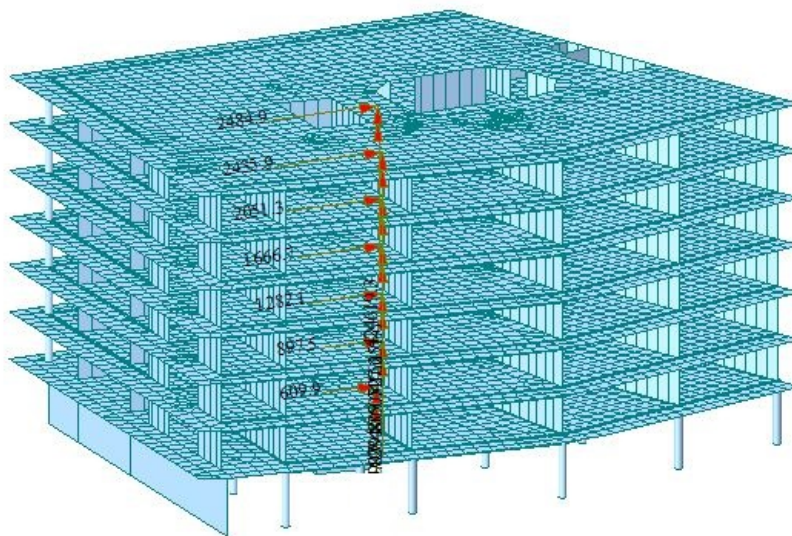
Load Combination : 38  
 $N_{Ed} = 13110.2$  kN  
 $M_{Edy} = 19449.2$ ,  $M_{Edz} = 0.00000$  kN-m

## 3. Axial Forces and Moments Capacity Check

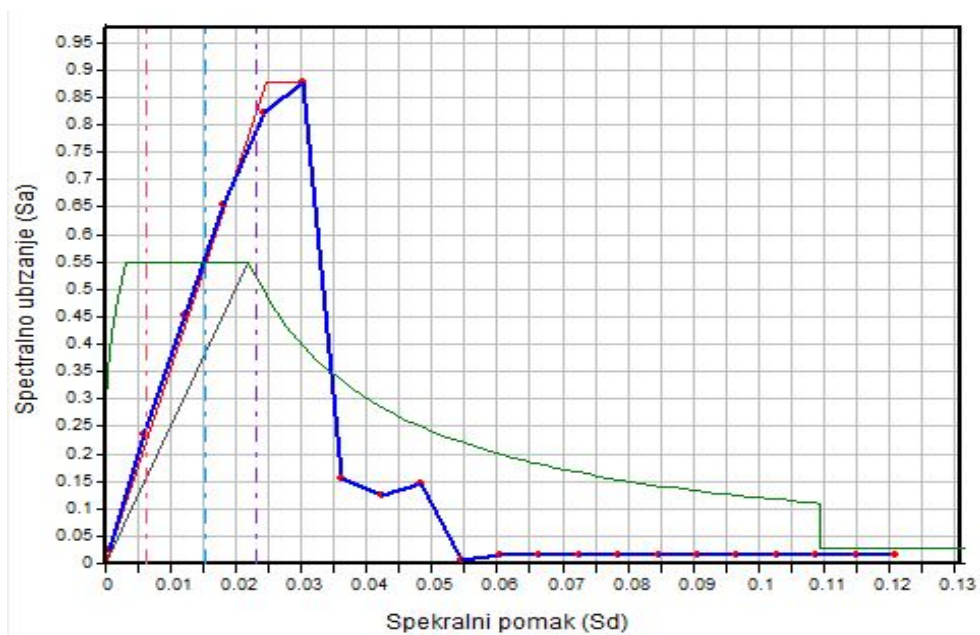
Concentric Max. Axial Load	$N_{Rdmax}$	= 66602.3 kN
Major Axis		
Design Axial Load Strength	$N_{Rdy}$	= 47793.2 kN
Axial Ratio	$N_{Ed}/N_{Rdy}$	= 0.274 < 1.000 ..... O.K
Design Moment Strength	$M_{Rdy}$	= 72288.3 kN-m
Moment Ratio	$M_{Edy}/M_{Rdy}$	= 0.269 < 1.000 ..... O.K
Minor Axis		
Design Axial Load Strength	$N_{Rdz}$	
Axial Ratio	$N_{Ed}/N_{Rdz}$	= 0.000 < 1.000 ..... O.K
Design Moment Strength	$M_{Rdz}$	
Moment Ratio	$M_{Edz}/M_{Rdz}$	= 0.000 < 1.000 ..... O.K

## 5.6. Rezultati metode postupnog naguarvanja (Pushover metode)

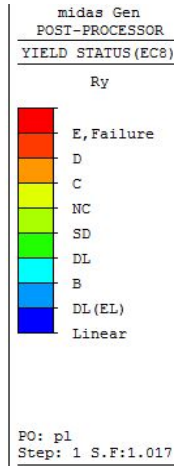
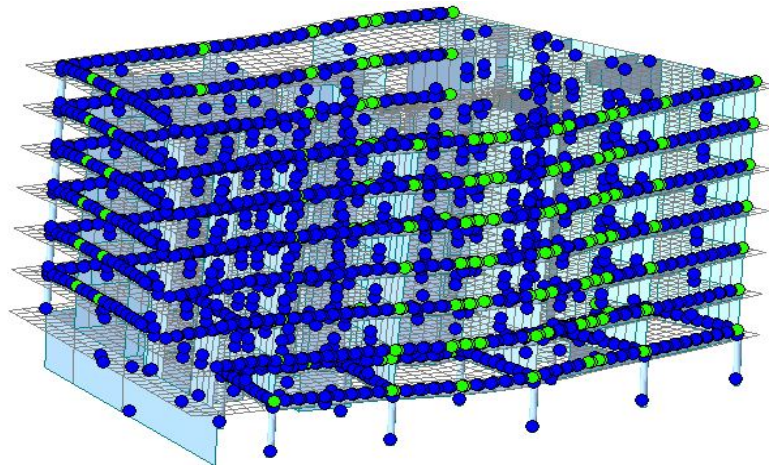
### 1. Opterećenje zadano preko linearnog bočnog opterećenja



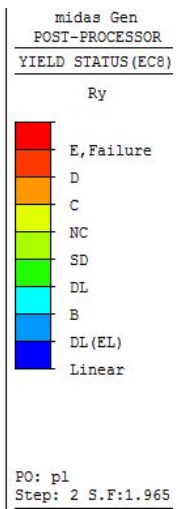
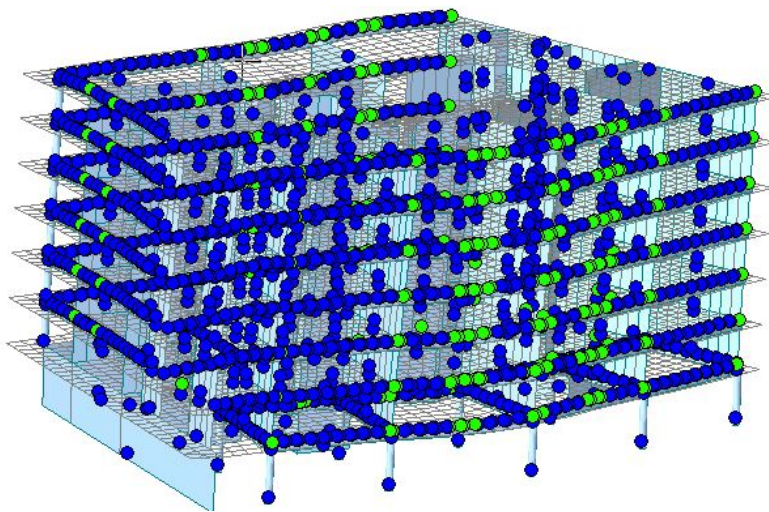
*Crtež 5.30. Prikaz raspodjele opterećenja*



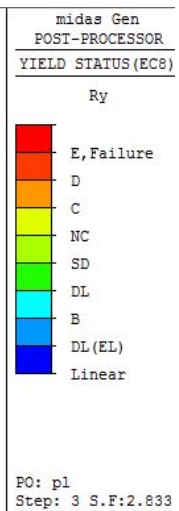
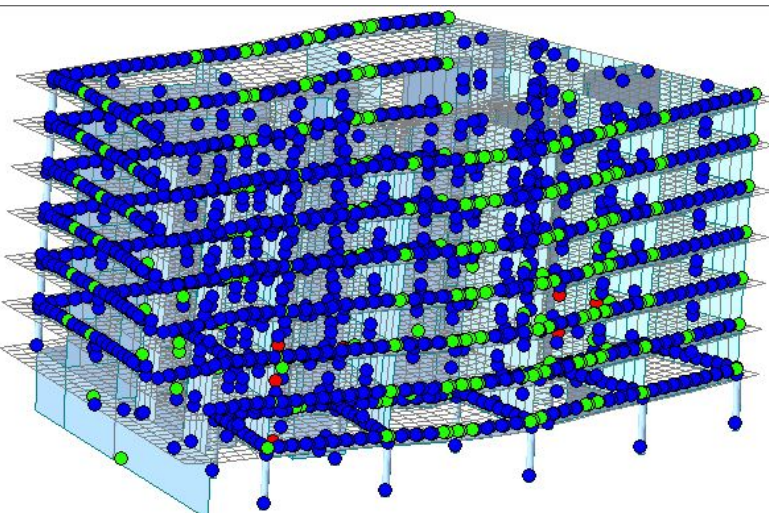
*Crtež 5.31. Graf spektralno ubrzanje/spektralni pomak*



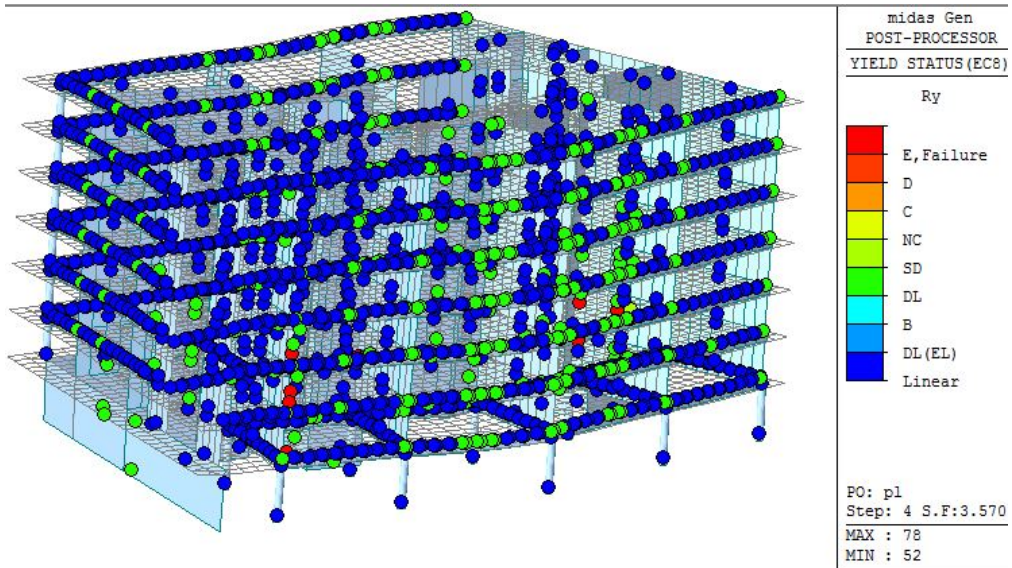
*Crtež 5.32. Prvi inkrement opterećenja*



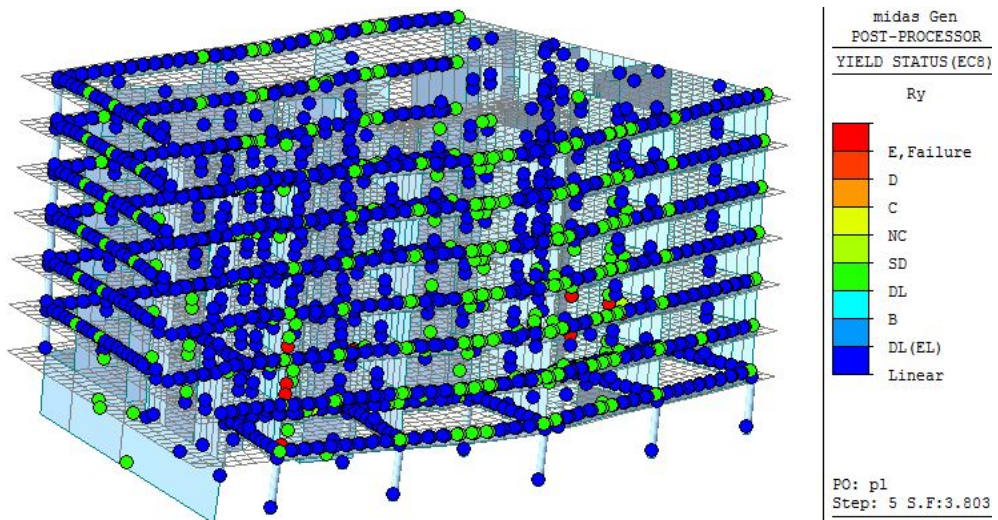
*Crtež 5.33. Drugi inkrement opterećenja*



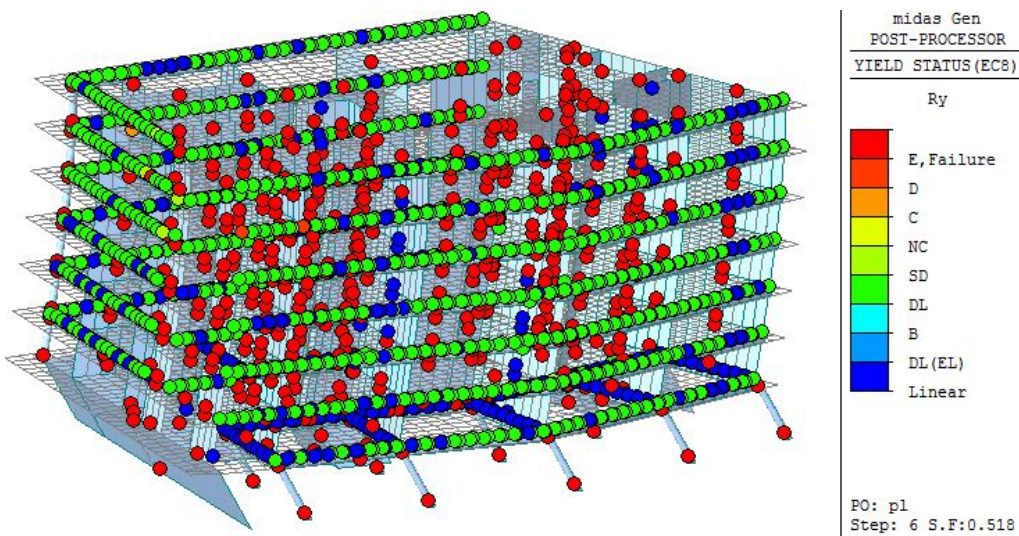
*Crtež 5.34. Treći inkrement opterećenja*



Crtež 5.35. Četvrti inkrement opterećenja



Crtež 5.36. Peti inkrement opterećenja



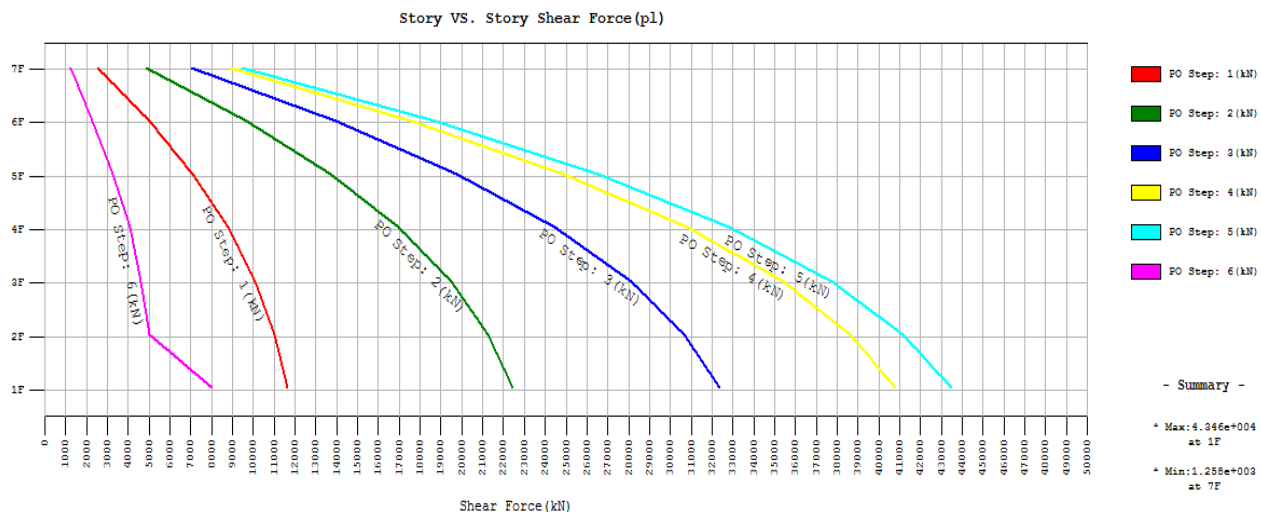
Crtež 5.37. Šesti inkrement opterećenja

DL(EL) – Elastično područje

DL – Ograničenje štete

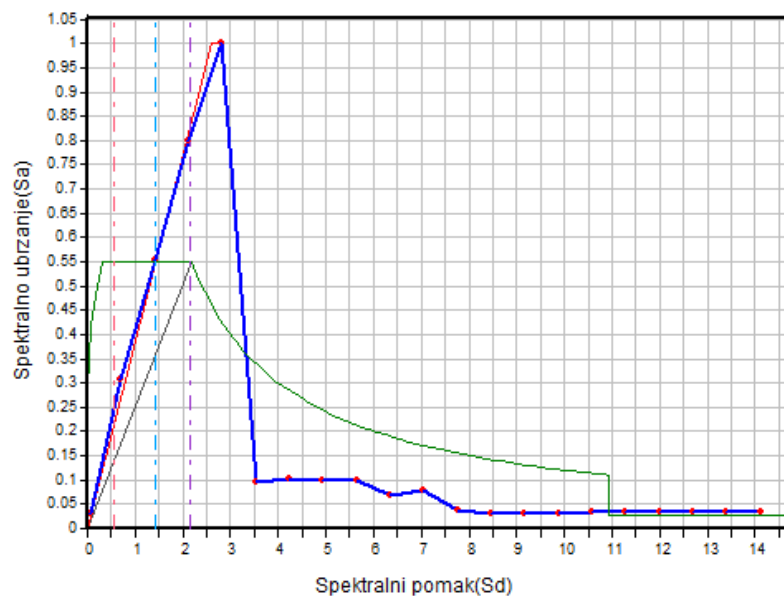
SD – Značajna oštećenja

NC – Blizu kolapsa konstrukcije

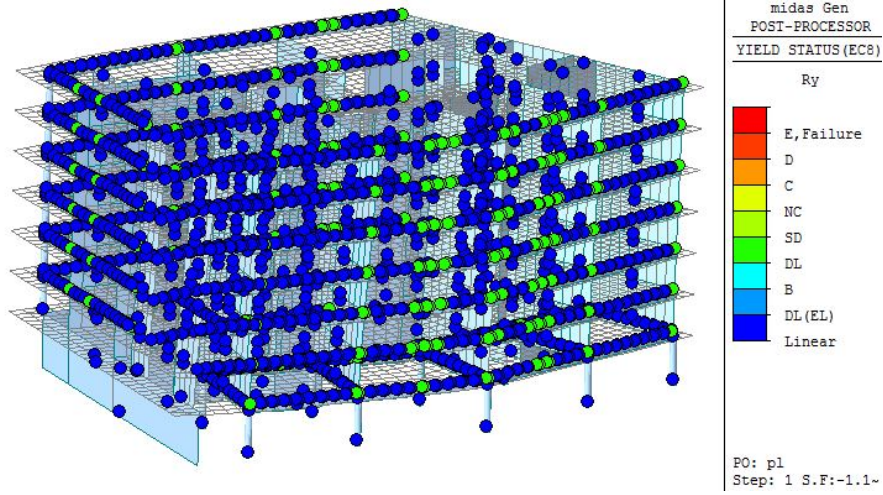


Crtež 5.38. Prikaz raspodjele poprečnih sila za pojedini inkrement opterećenja (kN)

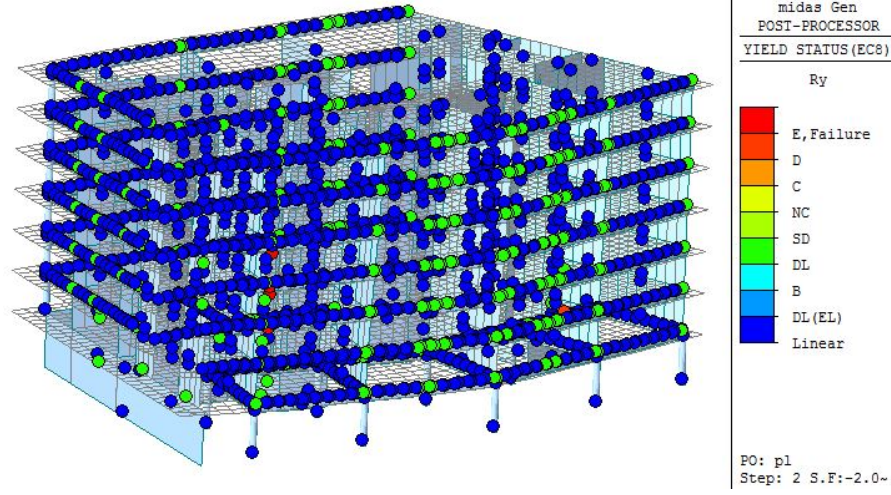
2. Opterećenje zadano koristeći oblik prvog tona konstrukcije



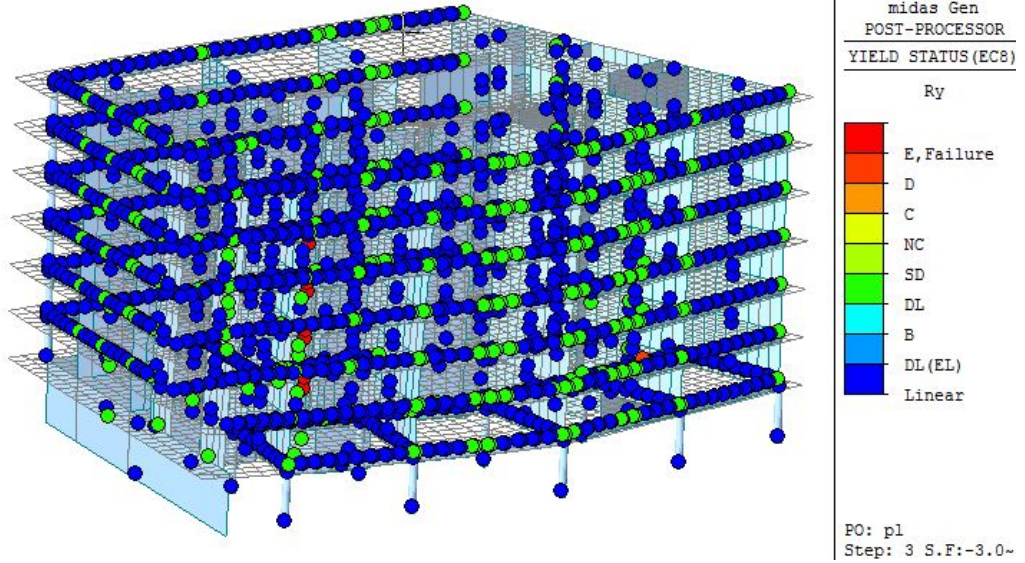
Crtež 5.39. Graf spektralno ubrzanje/spektralni pomak



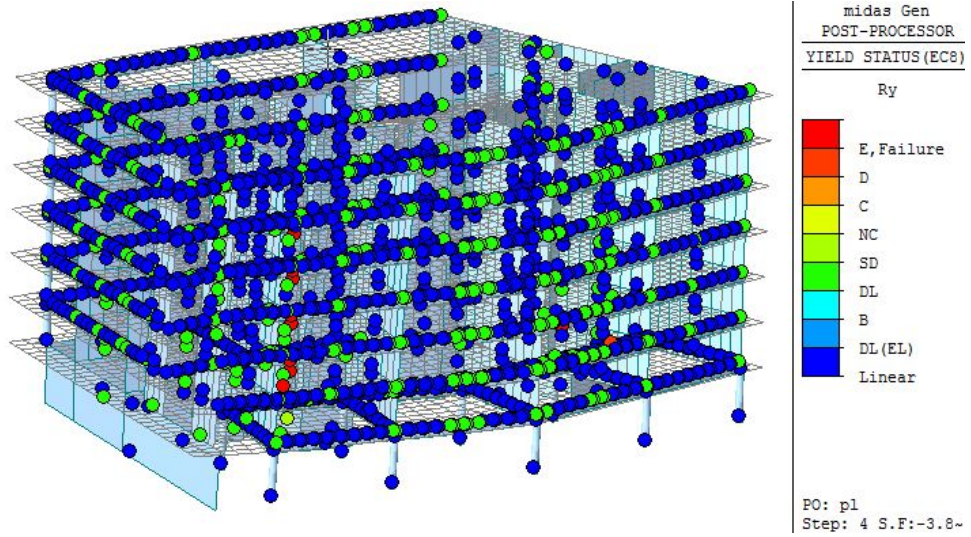
*Crtež 5.40. Prvi inkrement opterećenja*



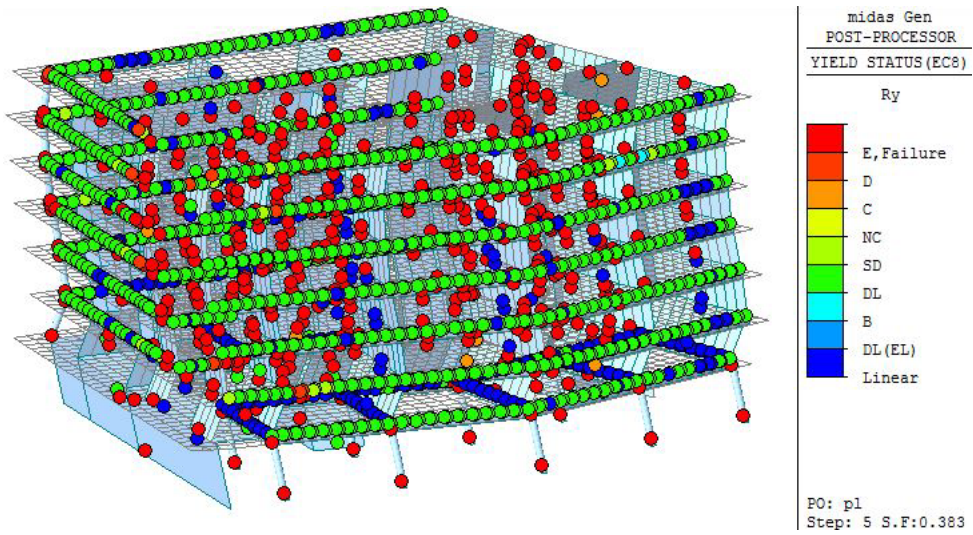
*Crtež 5.41. Drugi inkrement opterećenja*



*Crtež 5.42. Treći inkrement opterećenja*

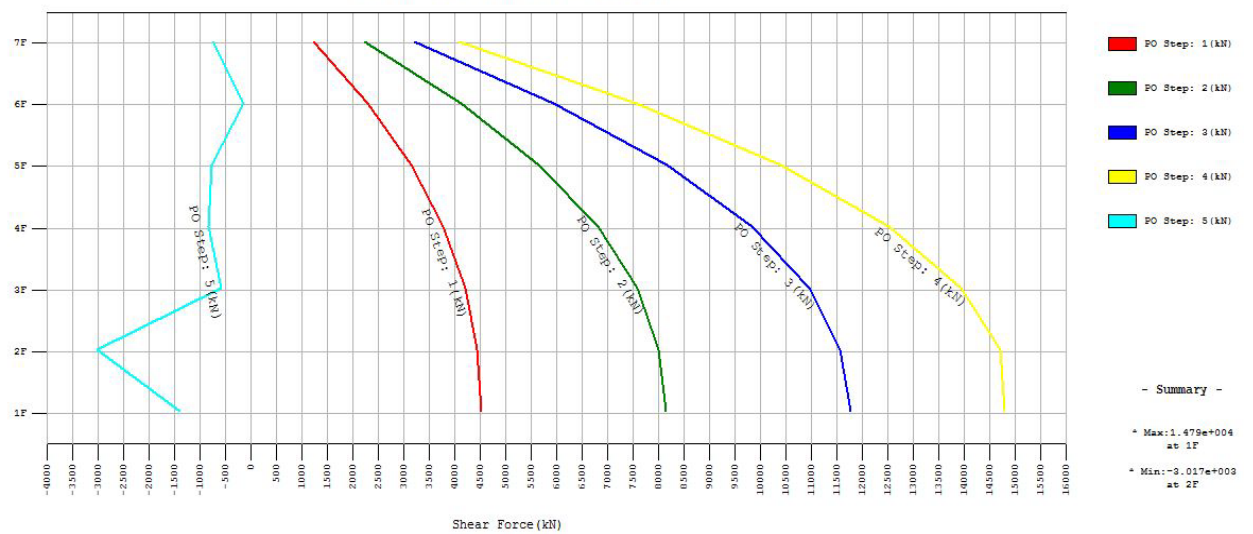


Crtež 5.43. Četvrti inkrement opterećenja



Crtež 5.44. Peti inkrement opterećenja

Story VS. Story Shear Force (pl)



Crtež 5.45. Prikaz raspodjele poprečnih sila za pojedini inkrement opterećenja (kN)

## 5.7. Rezultati nelinearne dinamičke metode (Time history analysis)

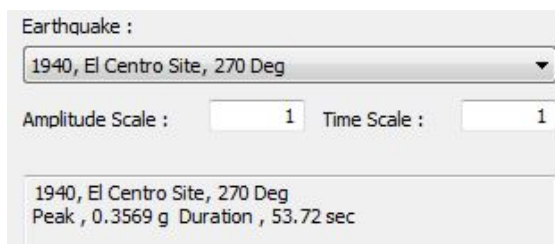
### 5.7.1. Korišteni akceleroگرامи u proračunu

Odabrani realni vremenski zapisi potresa su preuzeti iz arhive programa MidasGen.

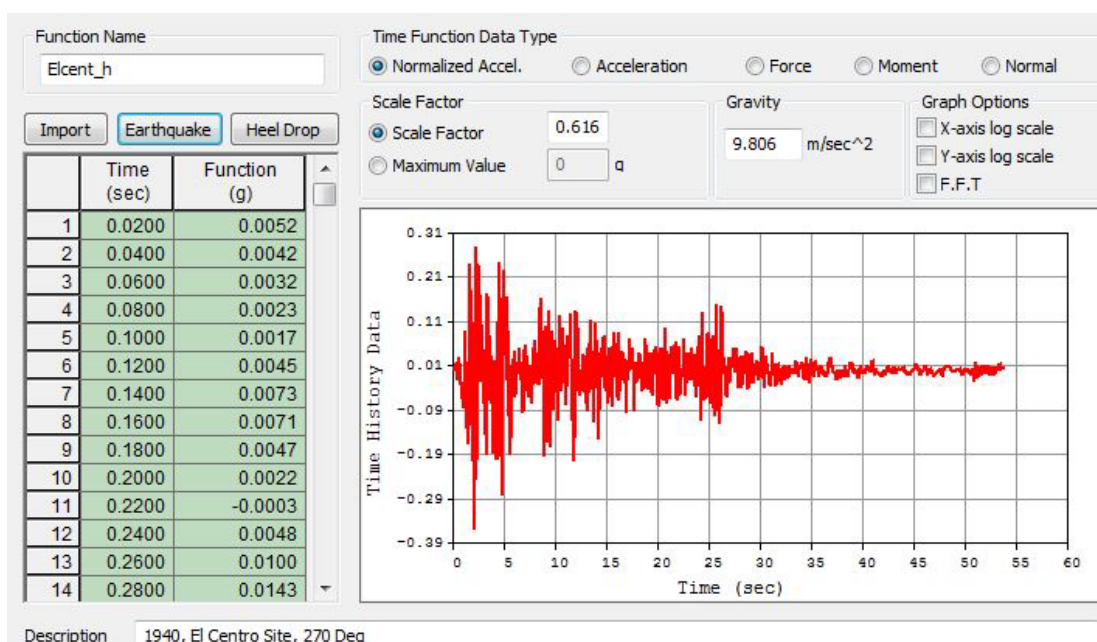
#### 1. El Centro Site

Maksimalno ubrzanje  $a_g=0,3569g$

Trajanje  $t=53,72s$



*Crtež 5.46. Potres El Centro Site*



*Crtež 5.47. Vremenski zapis potresa*

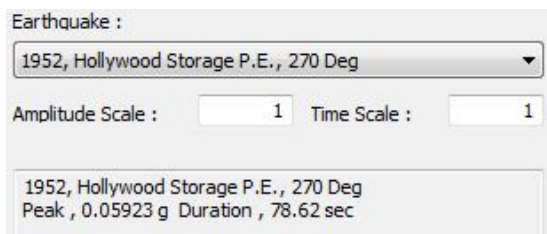
Prikazani potres ima maksimalno ubrzanje od  $a_g=0,3569g$  koje smo radi proračuna svodili na  $a_g=0,22g$ , tako da smo korišteni akceleroگرام množili koeficijentom 0,616.



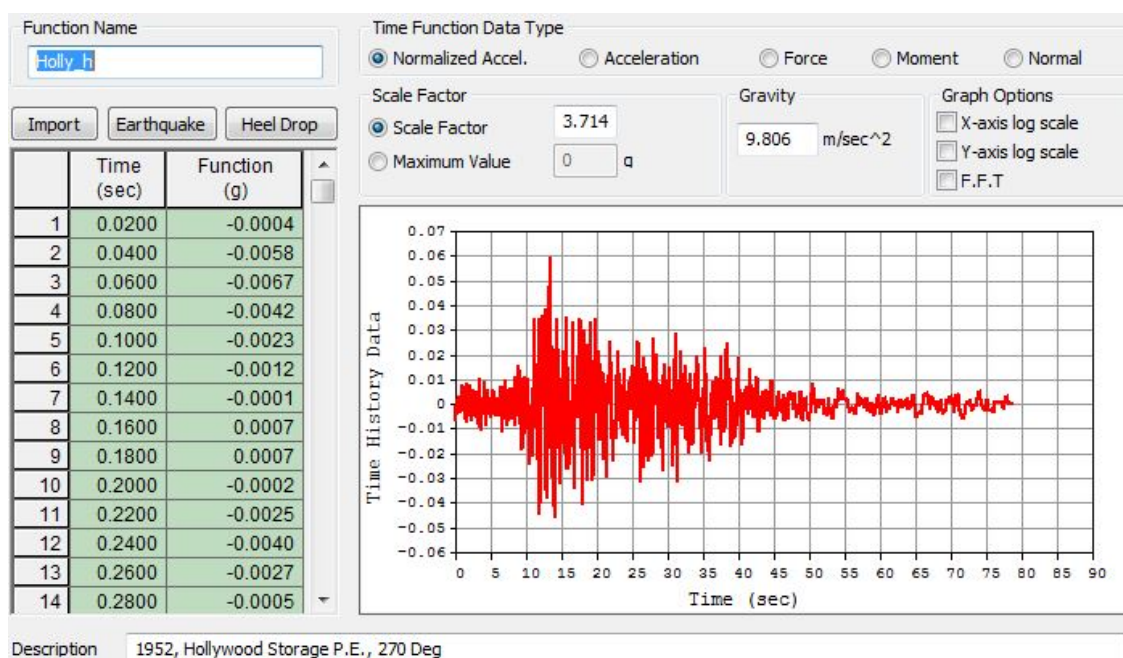
## 2. Potres Hollywood Storage

Maksimalno ubrzanje  $a_g=0,059g$

Trajanje  $t=78,62s$



*Crtež 5.48. Potres Hollywood Storage*



*Crtež 5.49. Vremenski zapis potresa*

Prikazani potres ima maksimalno ubrzanje od  $a_g=0,05923g$  koje smo radi proračuna svodili na  $a_g=0,22g$ , tako da smo korišteni akceleroگرام množili koeficijentom 3,714.

### 3. Potres James RD. El Centro

Maksimalno ubrzanje  $a_g=0,55g$

Trajanje  $t=37,82s$

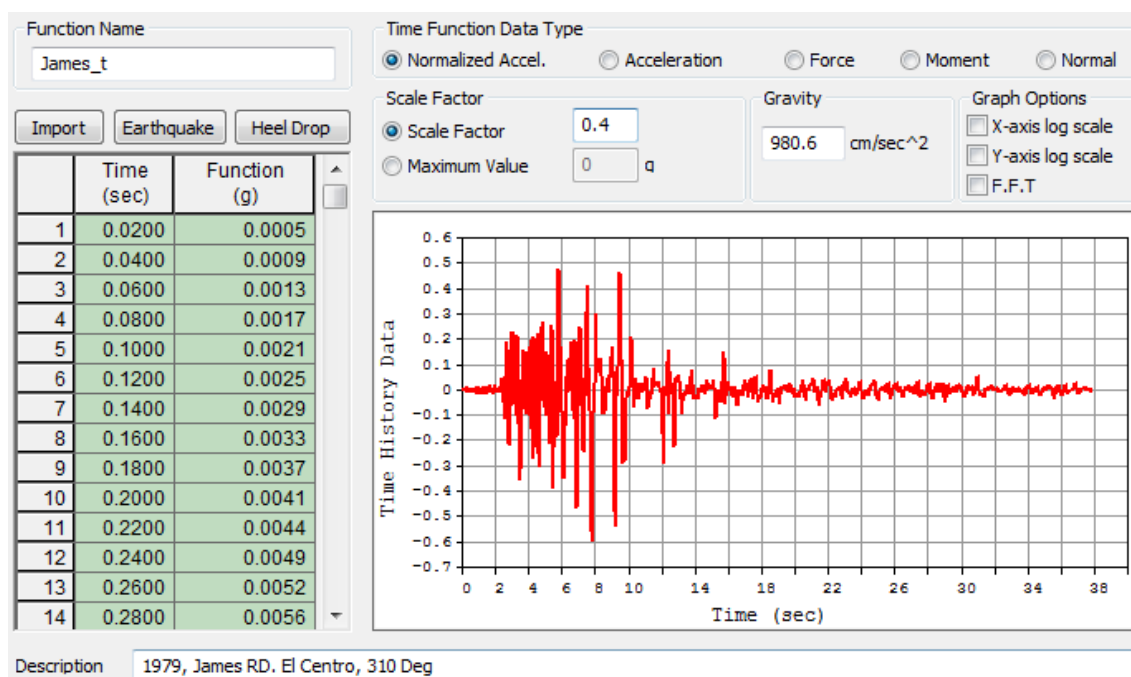
Earthquake :

1979, James RD. El Centro, 310 Deg

Amplitude Scale : 1 Time Scale : 1

1979, James RD. El Centro, 310 Deg  
Peak , -0.5502 g Duration , 37.82 sec

*Crtež 5.50. Potres James RD. El Centro*



*Crtež 5.51. Vremenski zapis potresa*

Prikazani potres ima maksimalno ubrzanje od  $a_g=0,55g$  koje smo radi proračuna svodili na  $a_g=0,22g$ , tako da smo korišteni akceleroگرام množili koeficijentom 0,4.

#### 4. Potres Loma Prieta

Maksimalno ubrzanje  $a_g=0,27g$

Trajanje  $t=39,98s$

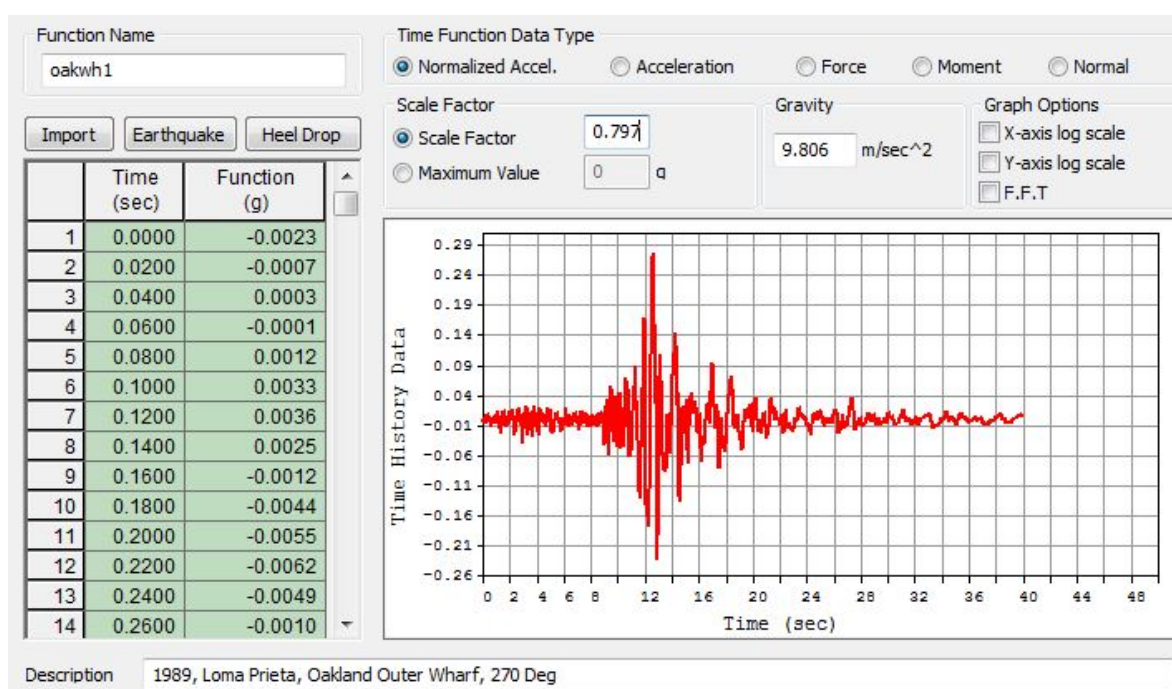
Earthquake :

1989, Loma Prieta, Oakland Outer Wharf, 270 Deg

Amplitude Scale : 1 Time Scale : 1

1989, Loma Prieta, Oakland Outer Wharf, 270 Deg  
Peak , 0.2759 g Duration , 39.98 sec

*Crtež 5.52. Potres Loma Prieta*



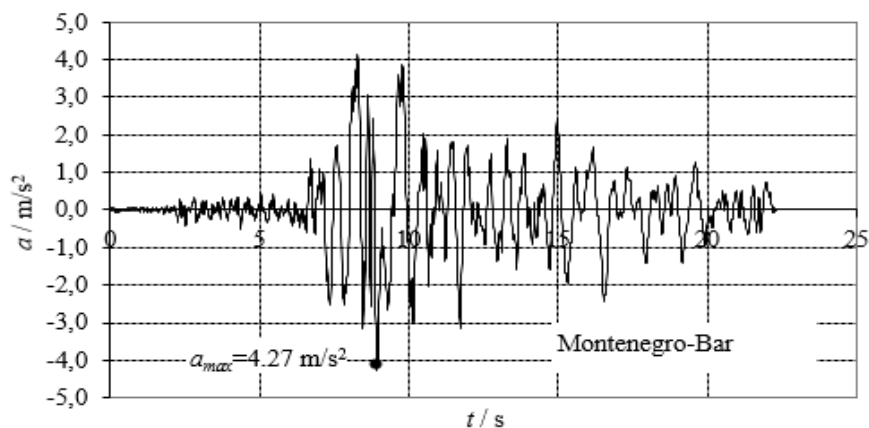
*Crtež 5.53. Vremenski zapis potresa*

Prikazani potres ima maksimalno ubrzanje od  $a_g=0,2759g$  koje smo radi proračuna svodili na  $a_g=0,22g$ , tako da smo korišteni akcelerogram množili koeficijentom 0,797.

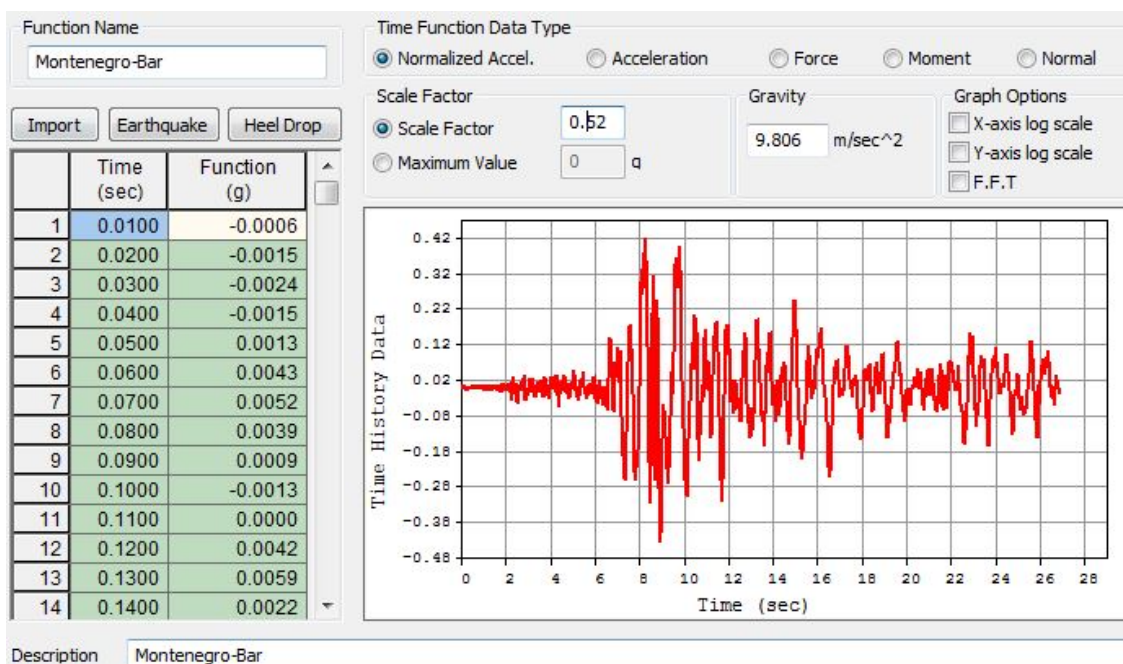
## 5. Potres Bar

Maksimalno ubrzanje  $a_g=0,435g$

Trajanje  $t=26,28s$



Crtež 5.54. Potres Bar



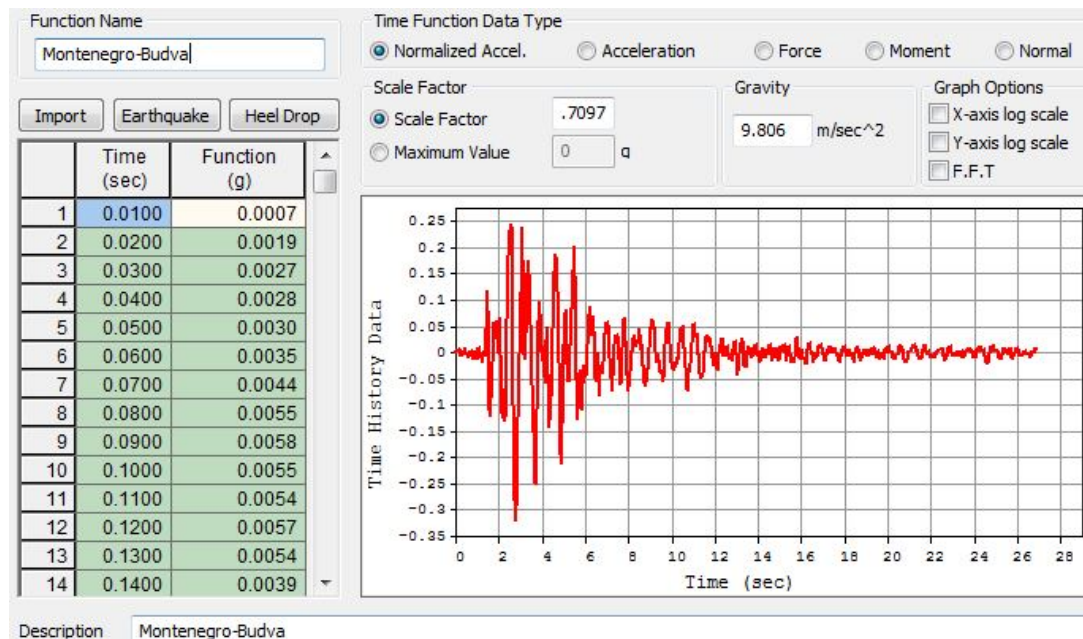
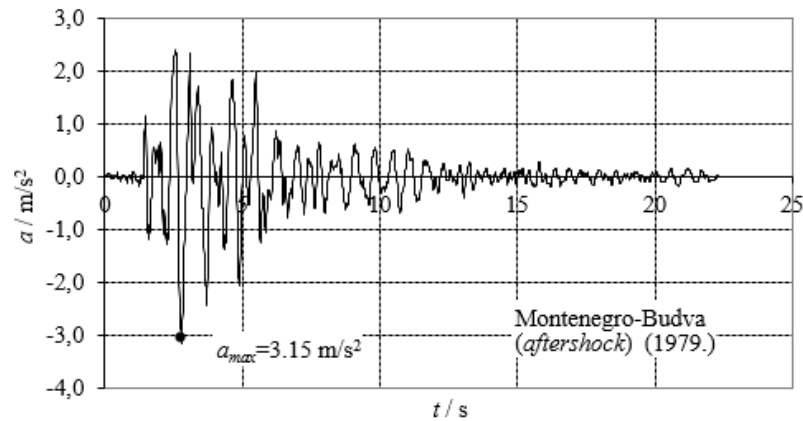
Crtež 5.55. Vremenski zapis potresa

Prikazani potres ima maksimalno ubrzanje od  $a_g=0,237g$  koje smo radi proračuna svodili na  $a_g=0,22g$ , tako da smo korišteni akcelerogram množili koeficijentom 0,93.

## 6. Potres Budva

Maksimalno ubrzanje  $a_g=0,321g$

Trajanje  $t=23,16s$

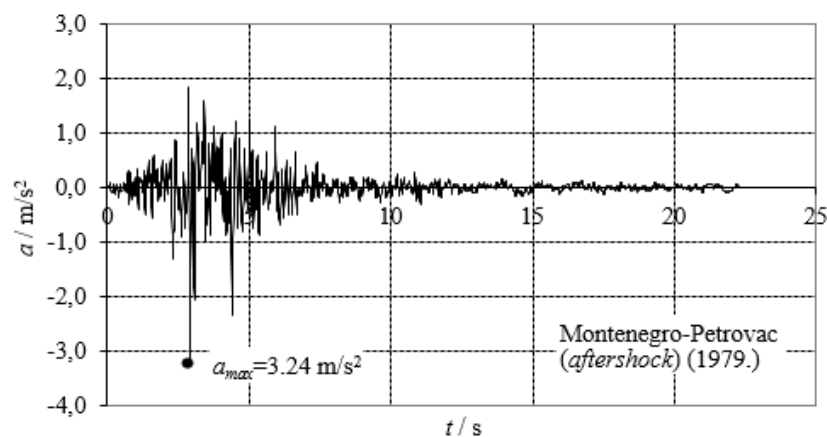


Prikazani potres ima maksimalno ubrzanje od  $a_g=0,2706g$  koje smo radi proračuna svodili na  $a_g=0,22g$ , tako da smo korišteni akceleroگرام množili koeficijentom 0,813.

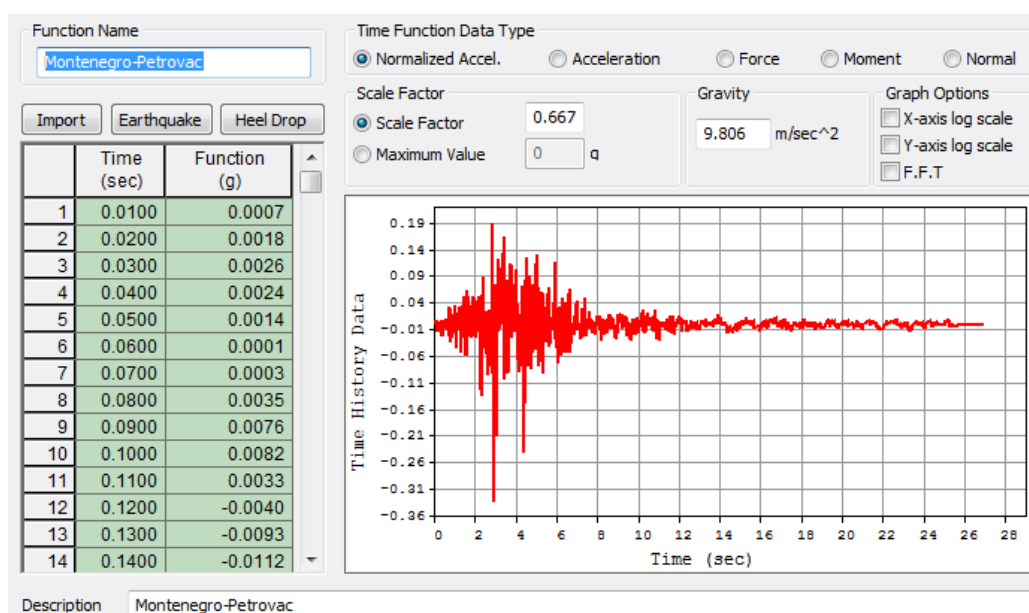
## 7. Potres Petrovac

Maksimalno ubrzanje  $a_g=0,33g$

Trajanje  $t=23,16s$



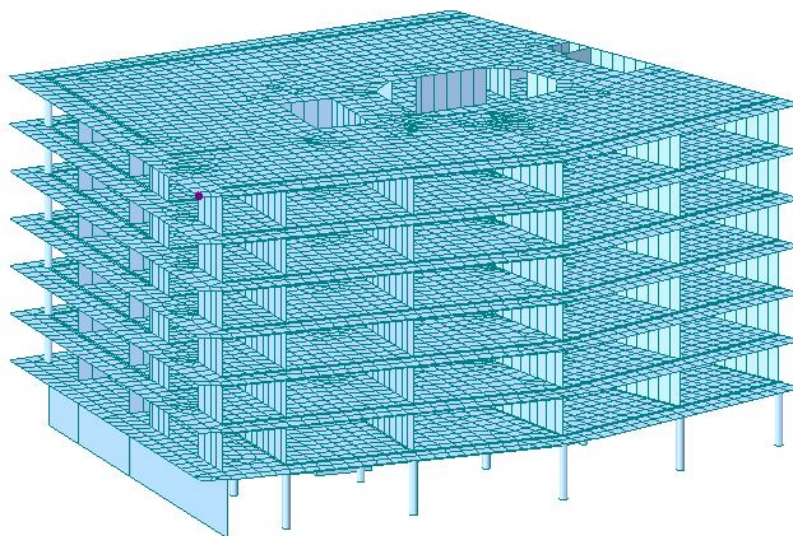
*Crtež 5.58. Potres Petrovac*



*Crtež 5.59. Vremenski zapis potresa*

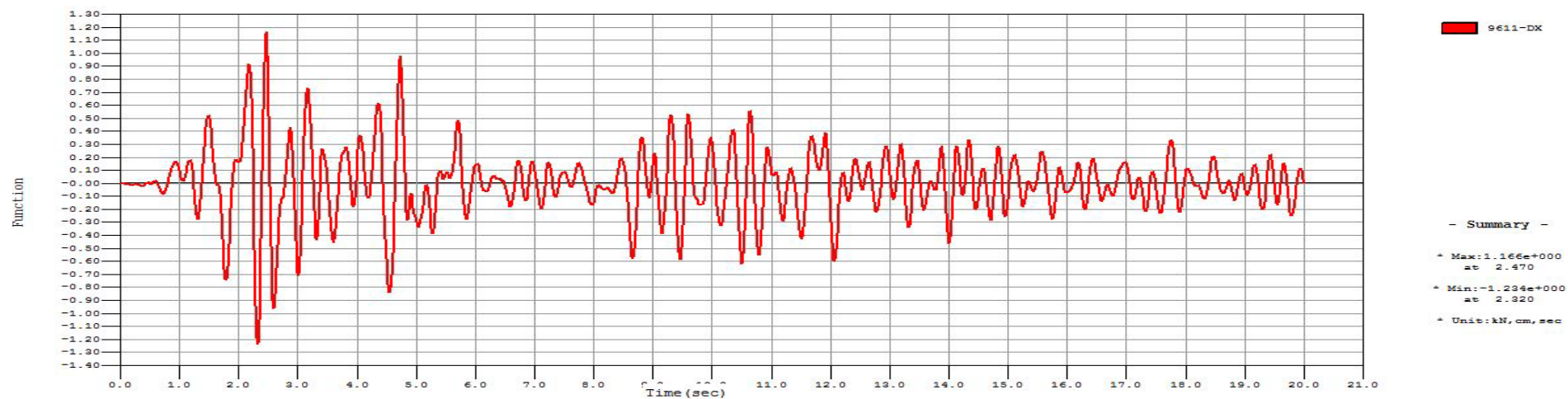
Prikazani potres ima maksimalno ubrzanje od  $a_g=0,1793g$  koje smo radi proračuna svodili na  $a_g=0,22g$ , tako da smo korišteni akcelerogram množili koeficijentom 1,227.

### 5.7.2. Rezultati proračuna

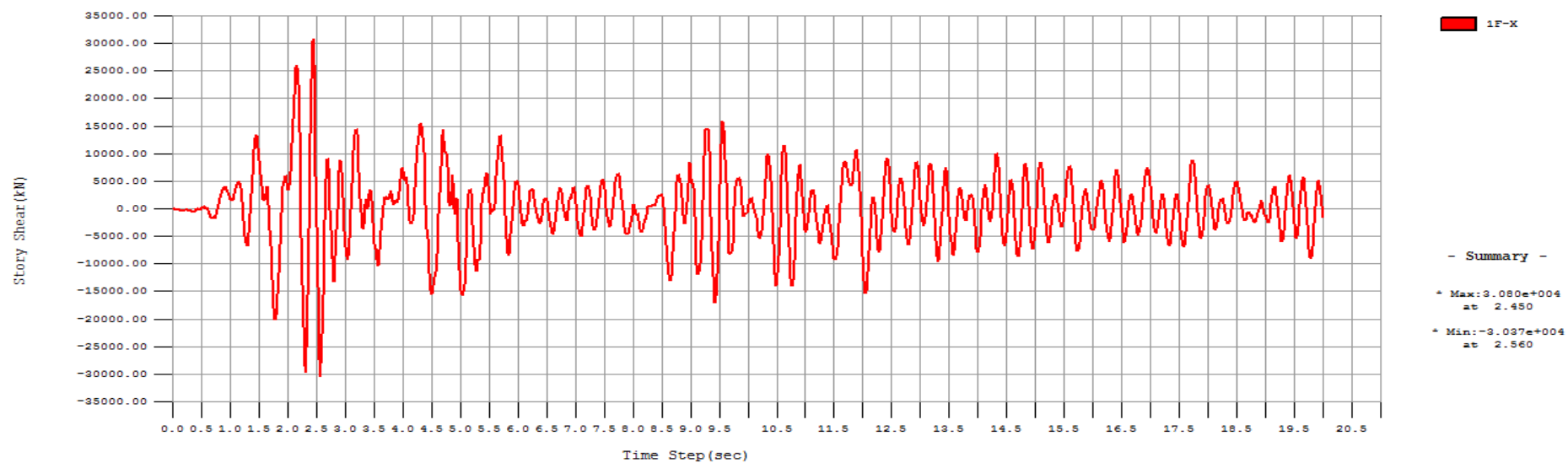


*Crtež 5.60. Prikaz promatranog čvora*

## 1. El Centro Site

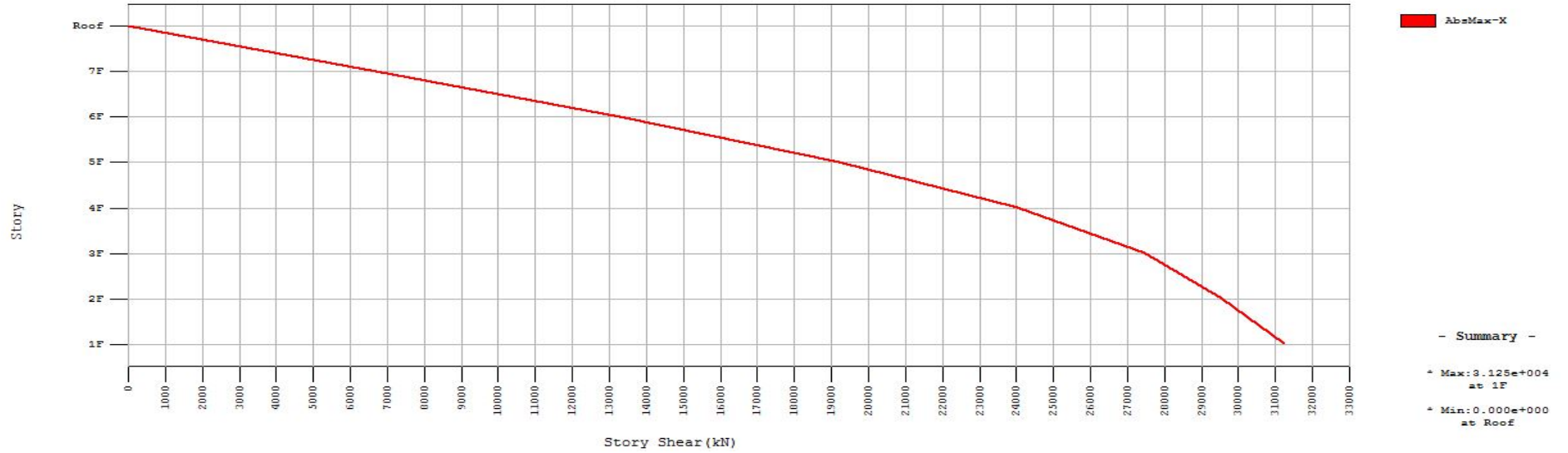


*Crtež 5.61. Pomak vrha zgrade (cm)*



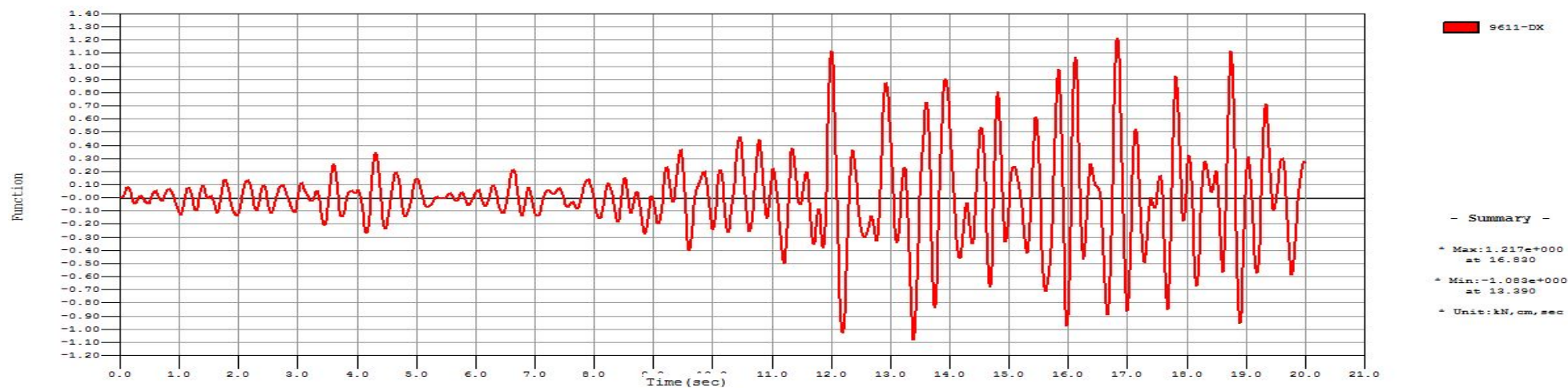
*Crtež 5.62. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN)*



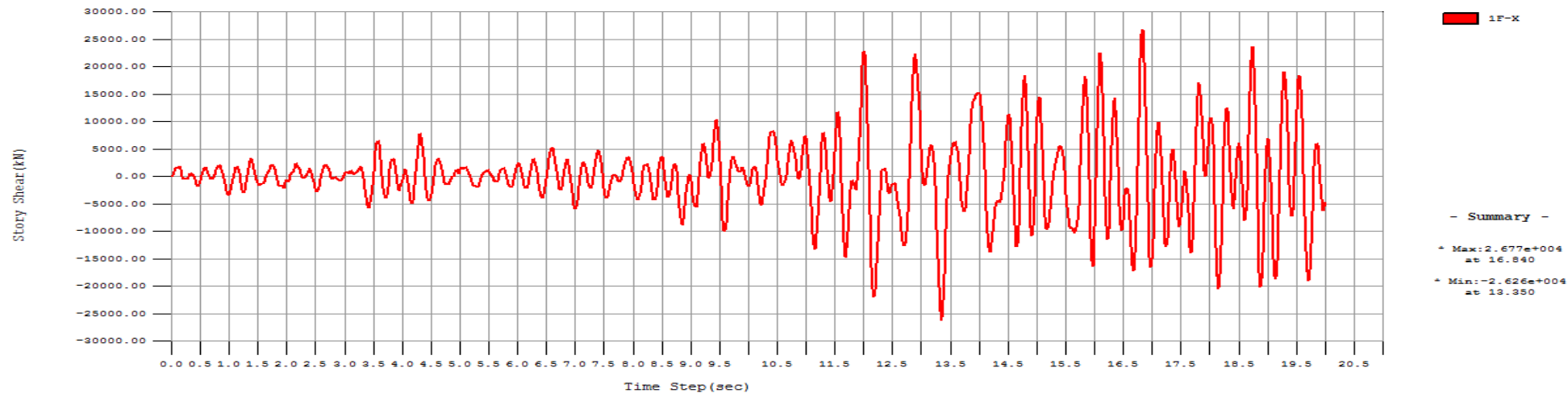


*Crtež 5.63. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama*

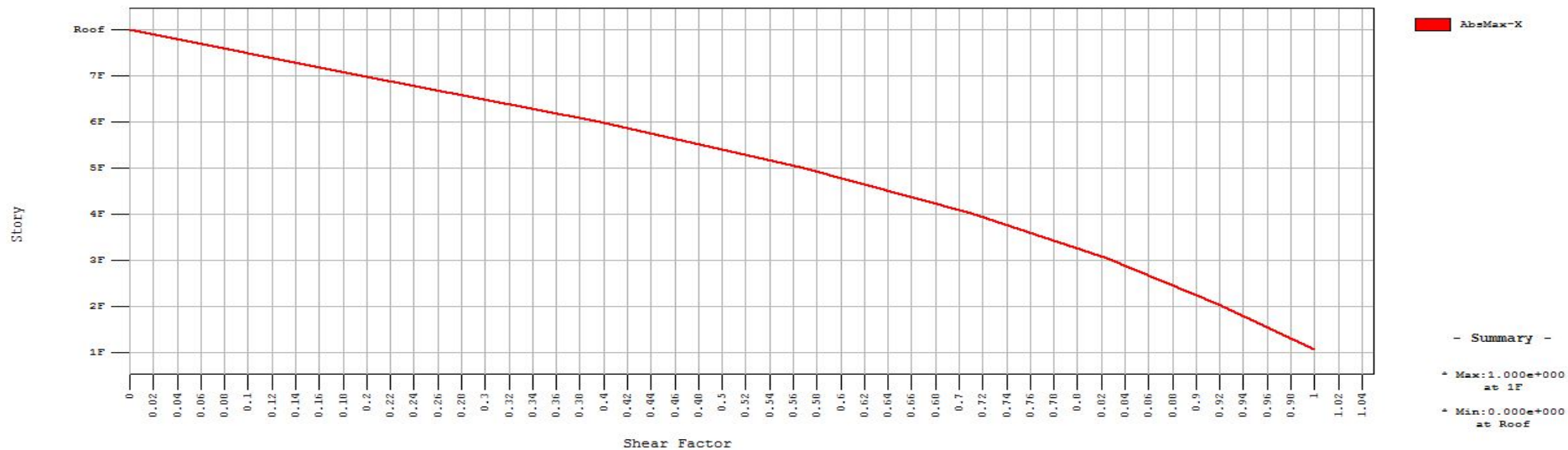
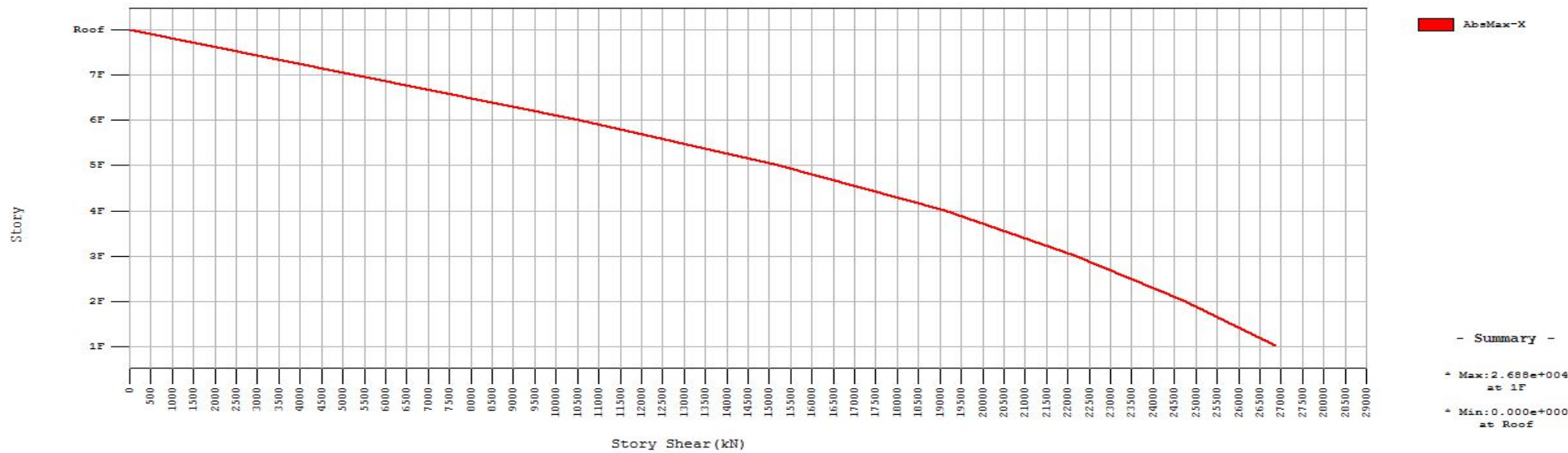
## 2. Potres Hollywood Storage



Crtež 5.64. Pomak vrha zgrade (cm)

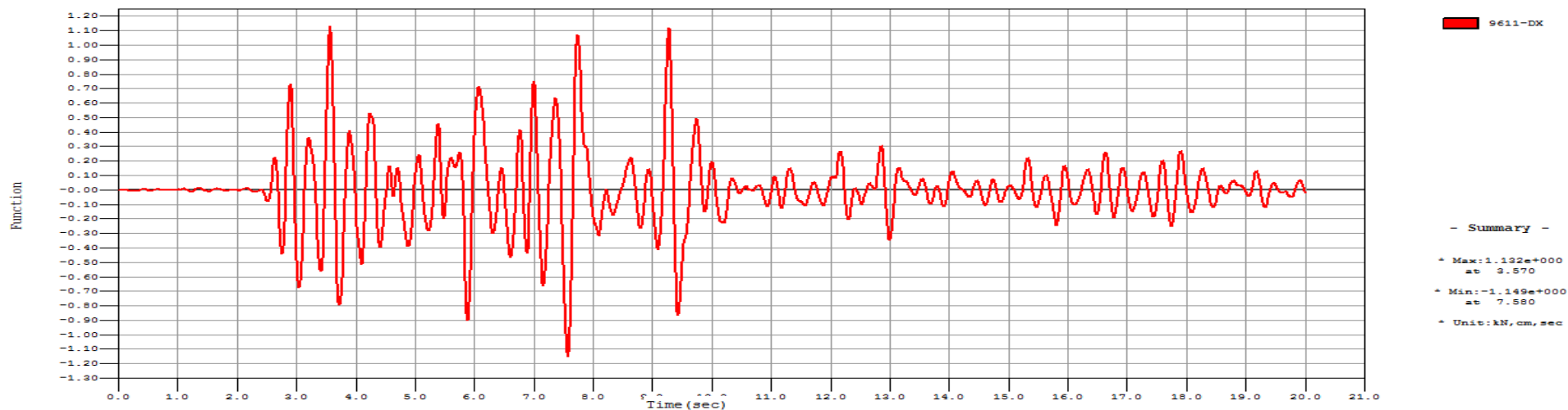


Crtež 5.65. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN)

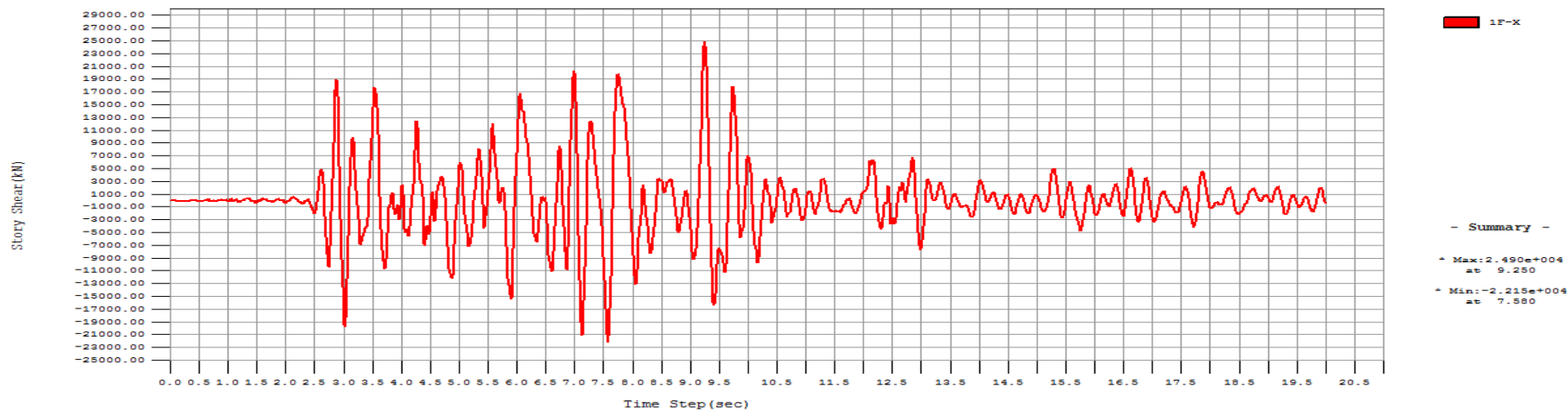


*Crtež 5.66. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama*

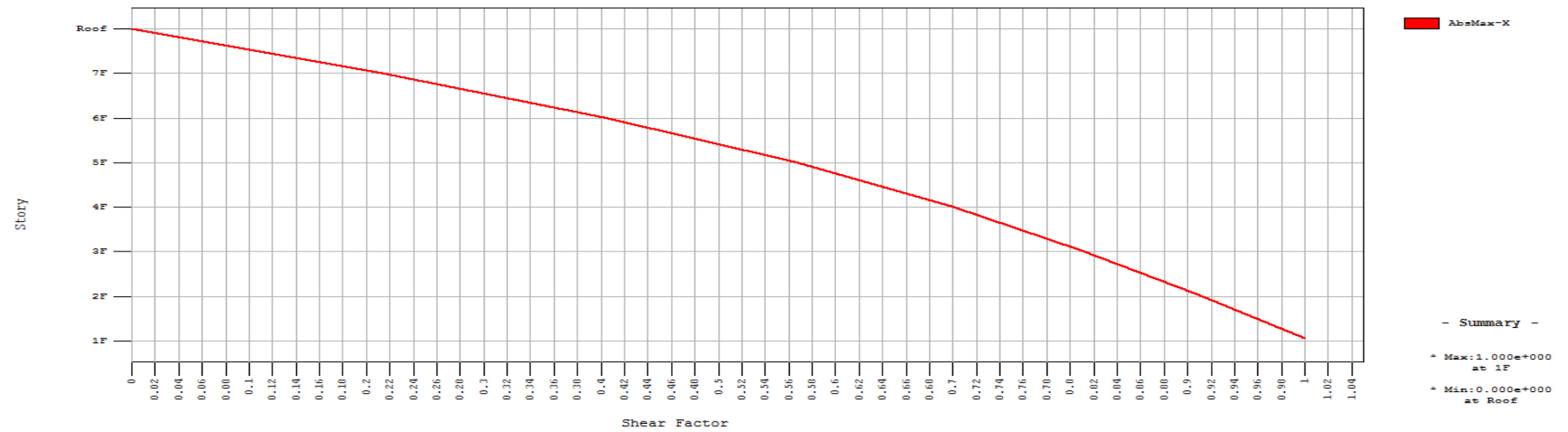
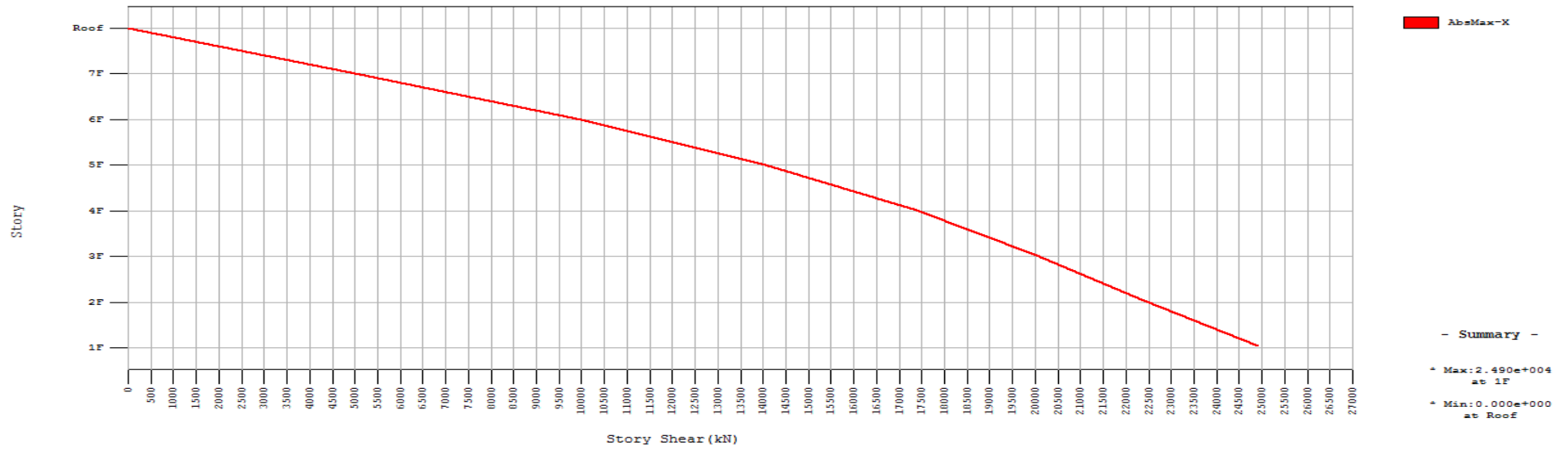
### 3. Potres James RD. El Centro



*Crtež 5.67. Pomak vrha zgrade (cm)*

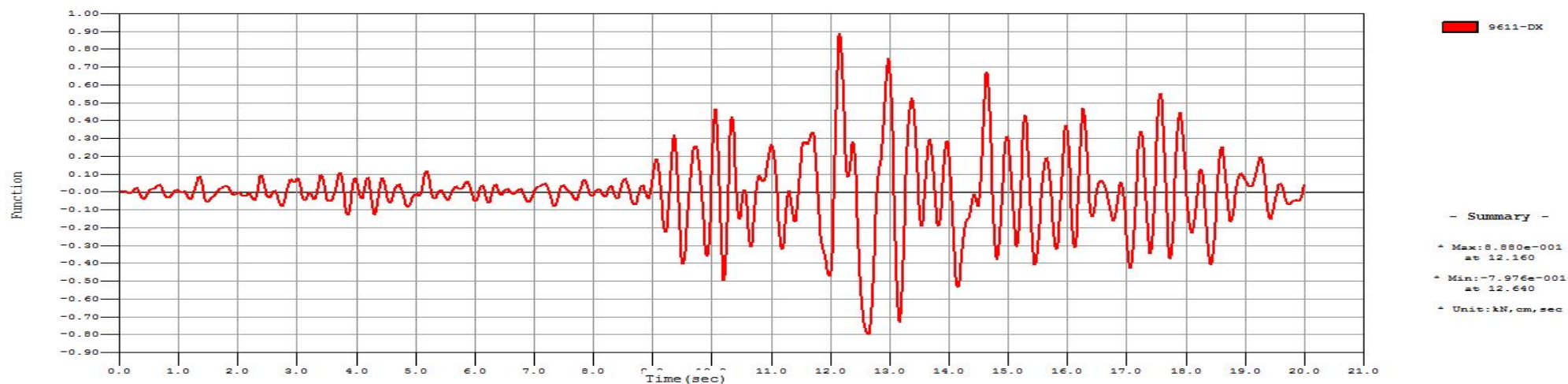


*Crtež 5.68. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN)*

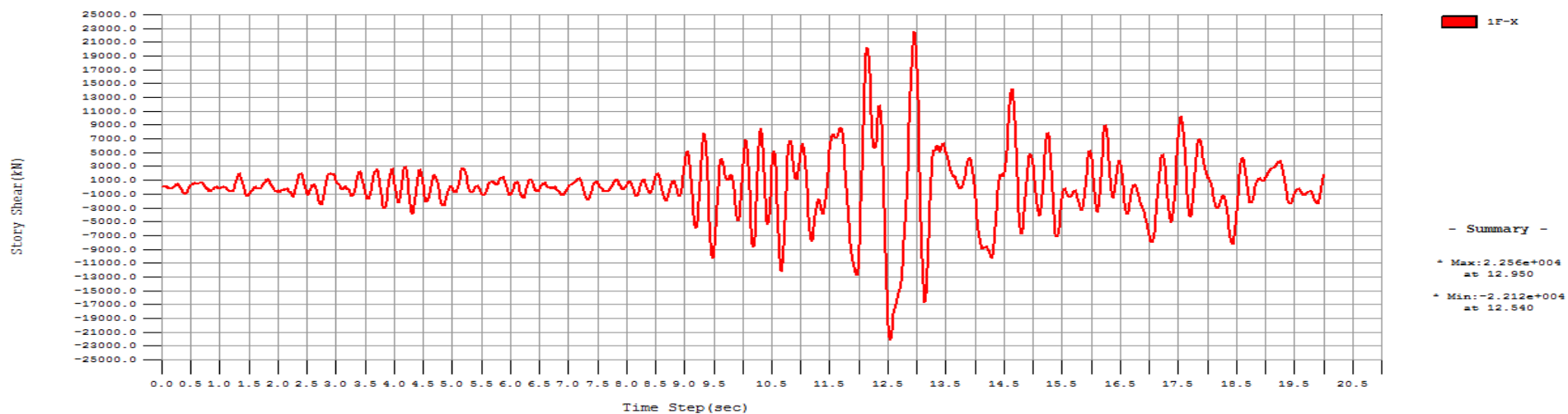


Crtež 5.69. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama

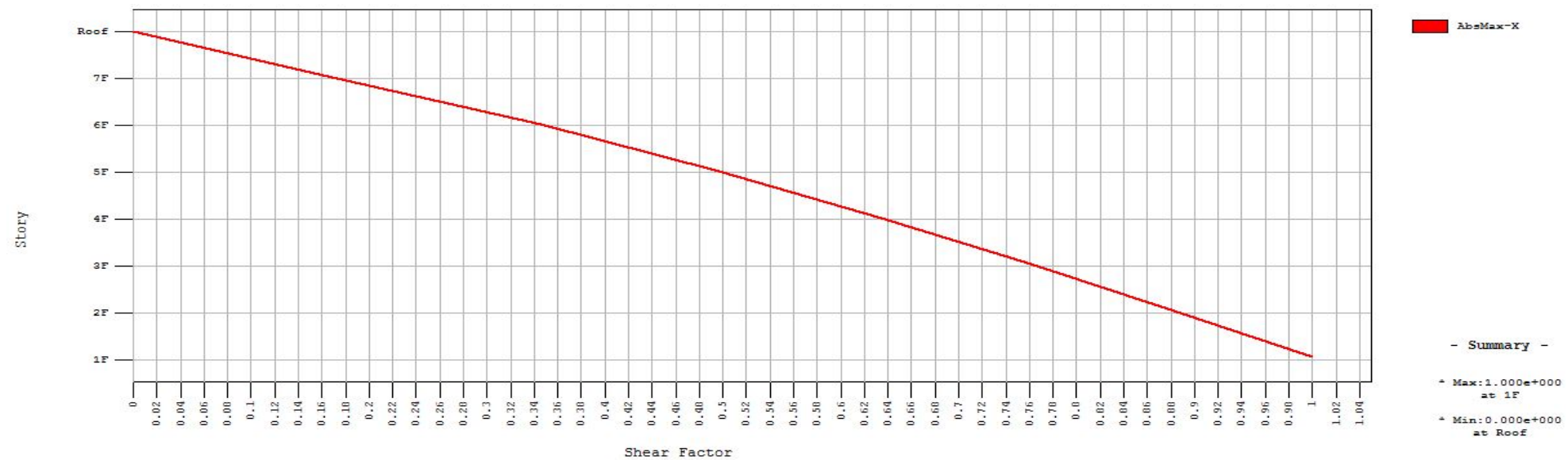
#### 4. Potres Loma Prieta



Crtež 5.70. Pomak vrha zgrade (cm)

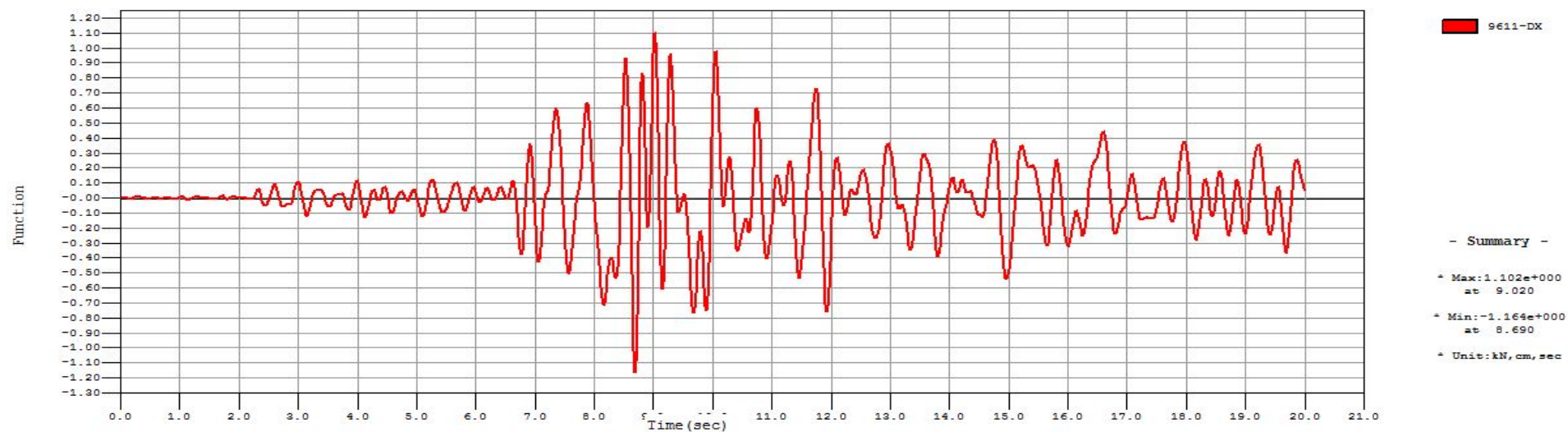


Crtež 5.71. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN)

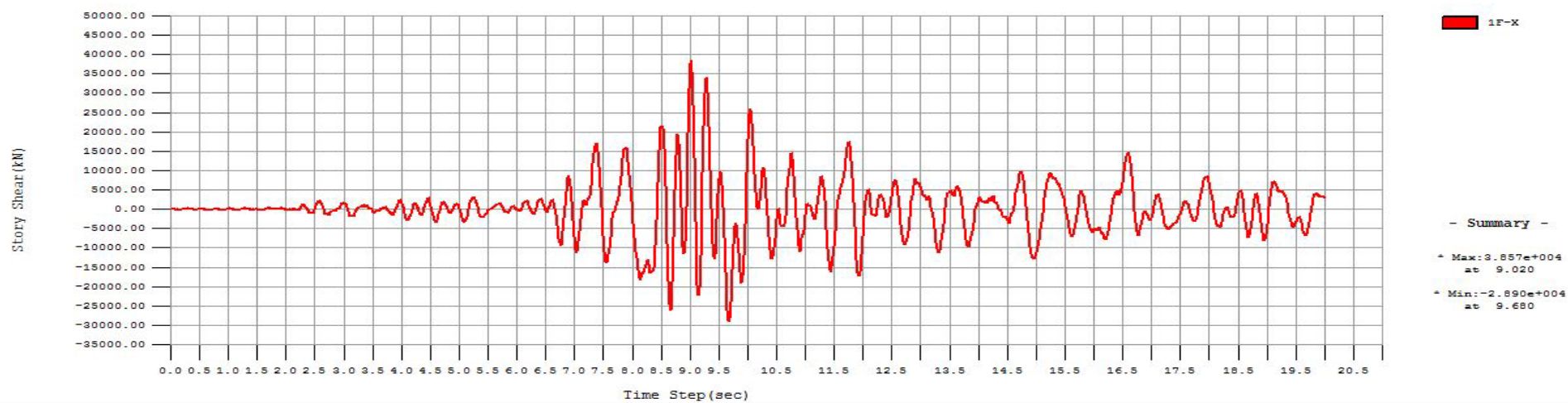


*Crtež 5.72. Prikaz raspodjele posmičnih sila po etažama*

## 5. Potres Bar

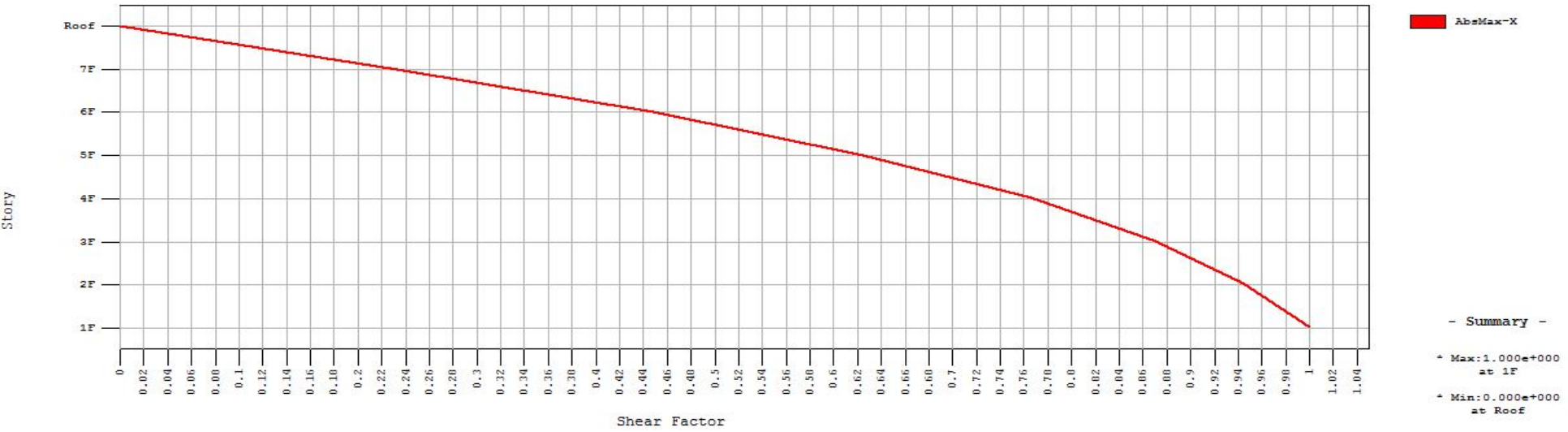


*Crtež 5.73. Pomak vrha zgrade (cm)*



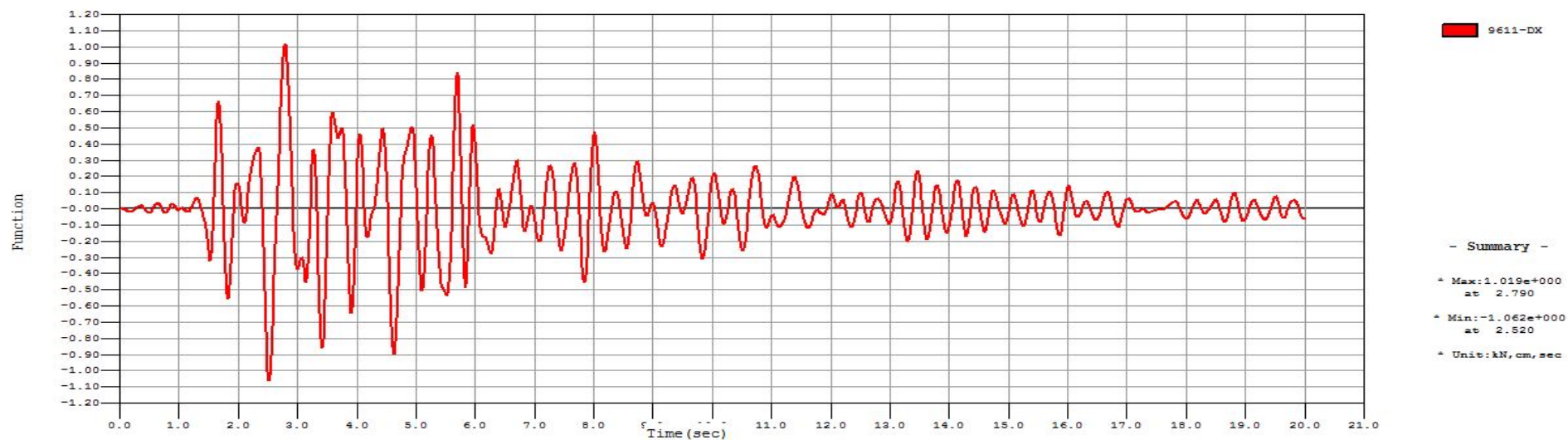
*Crtež 5.74. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN)*



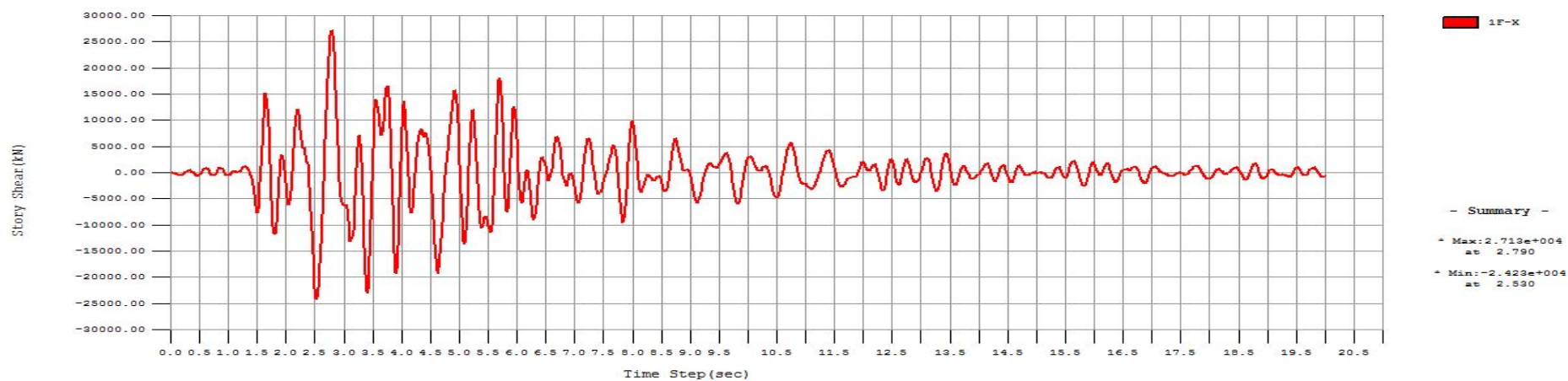


*Crtež 5.75. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama*

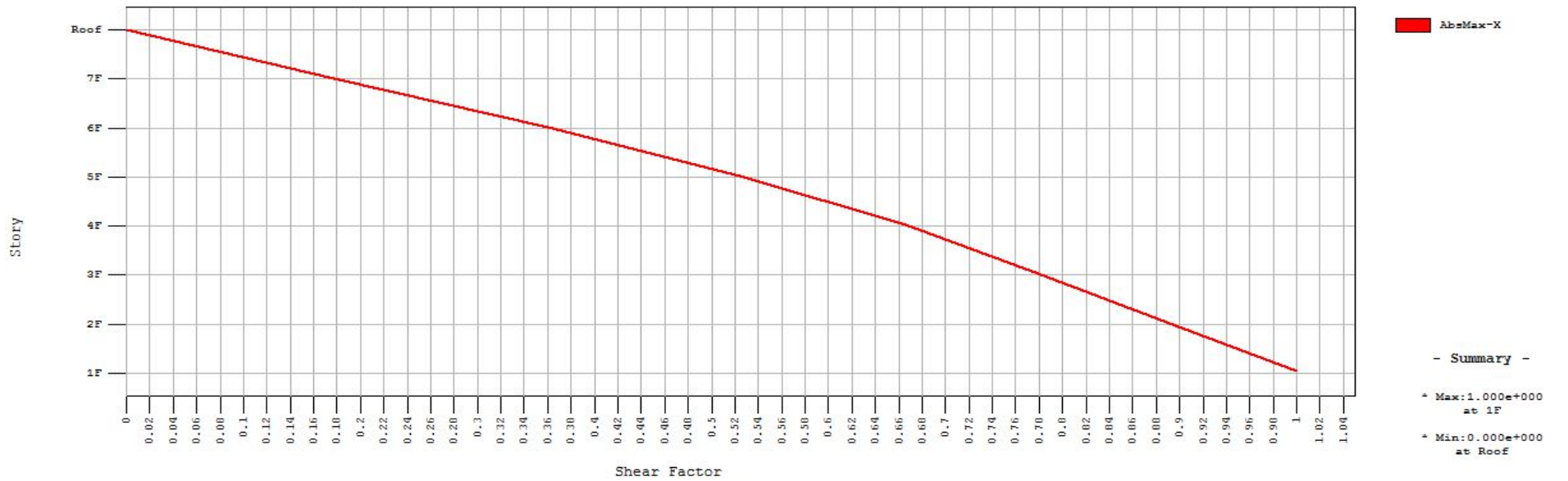
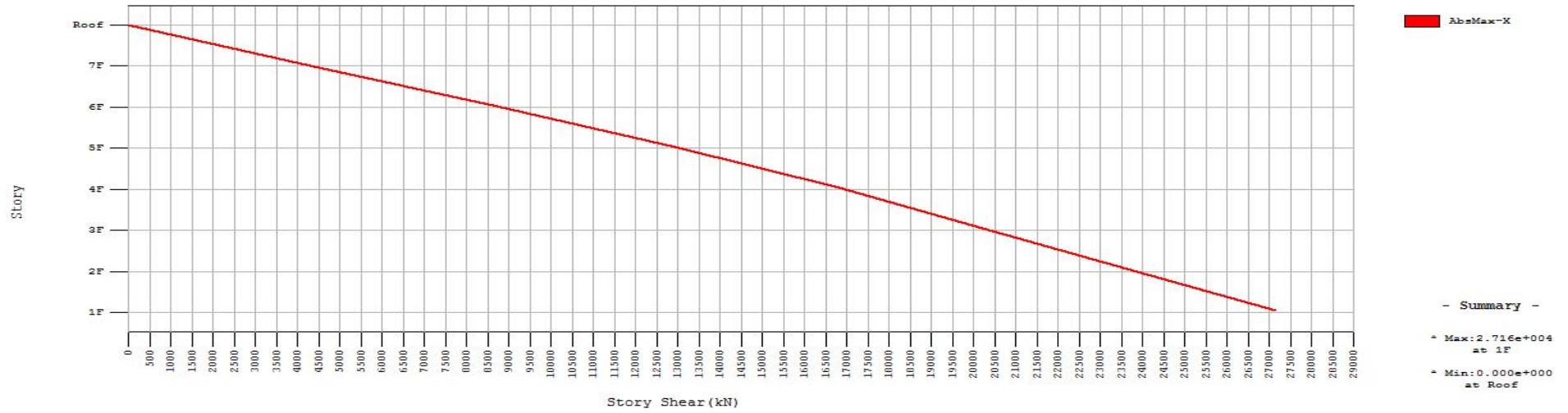
## 6. Potres Budva



Crtež 5.76. Pomak vrha zgrade (cm)

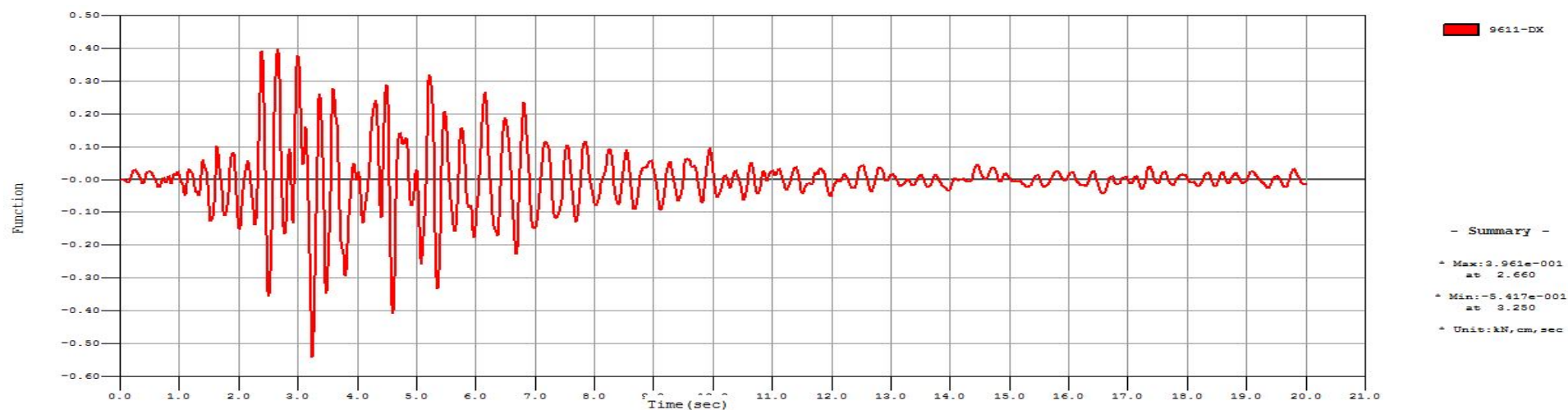


Crtež 5.77. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN)

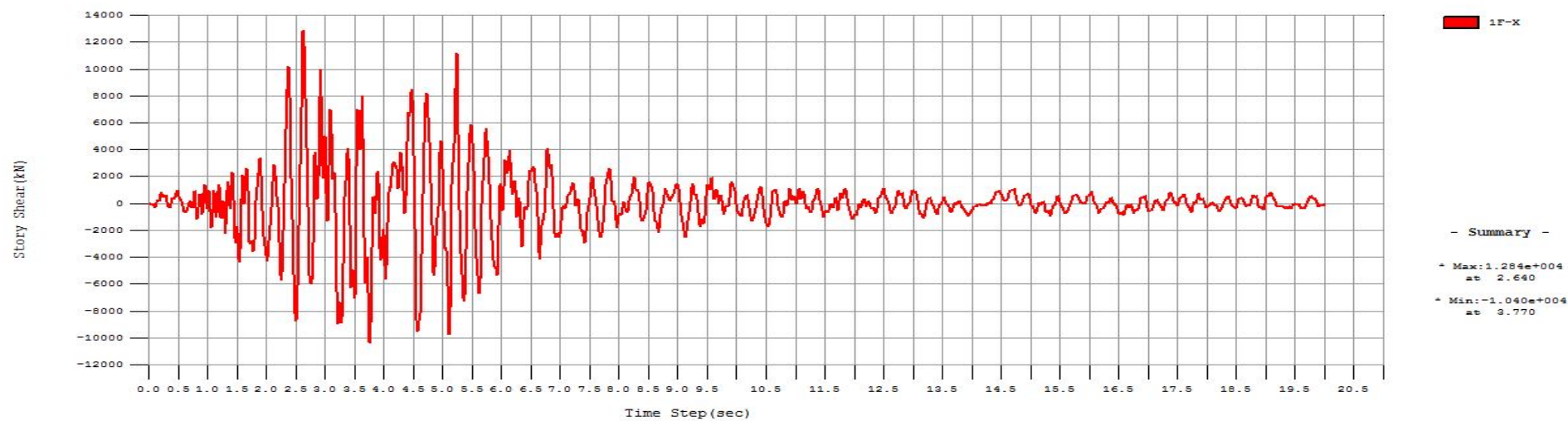


Crtež 5.78. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama

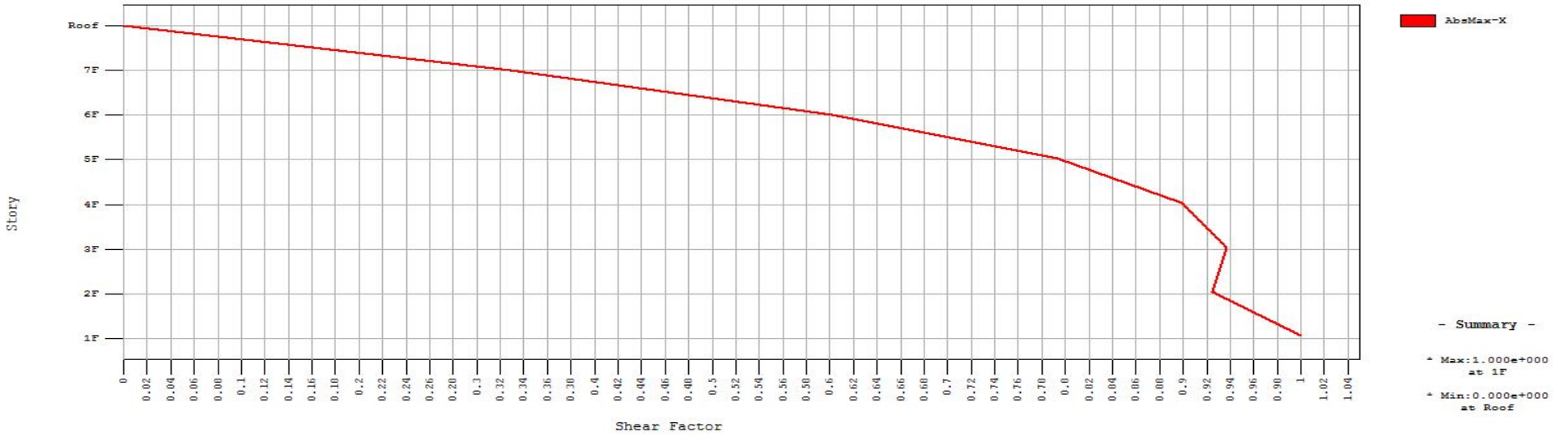
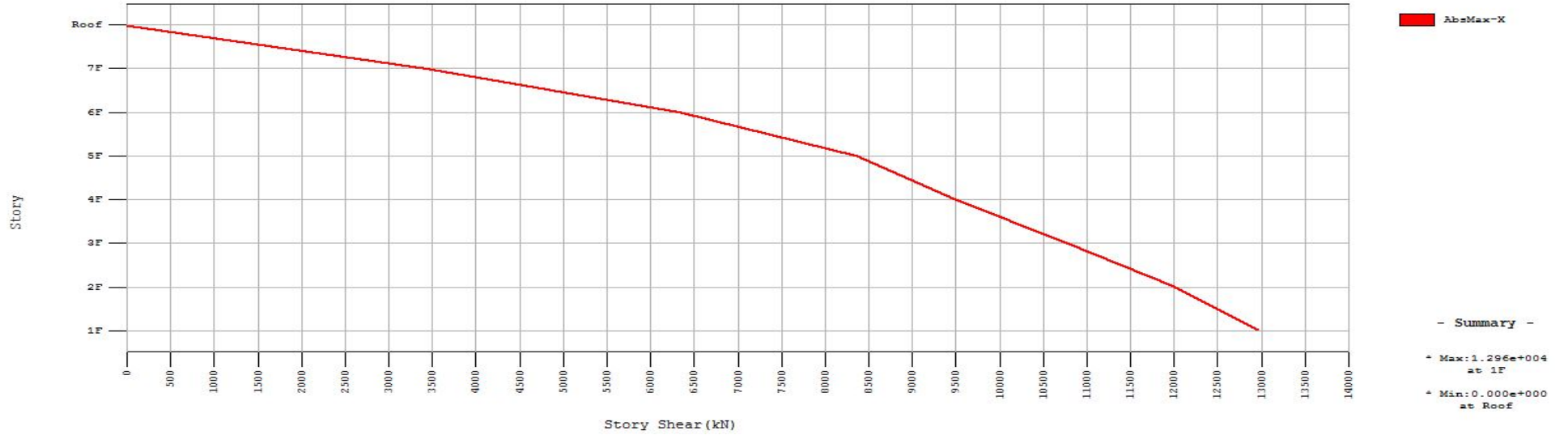
## 7. Potres Petrovac



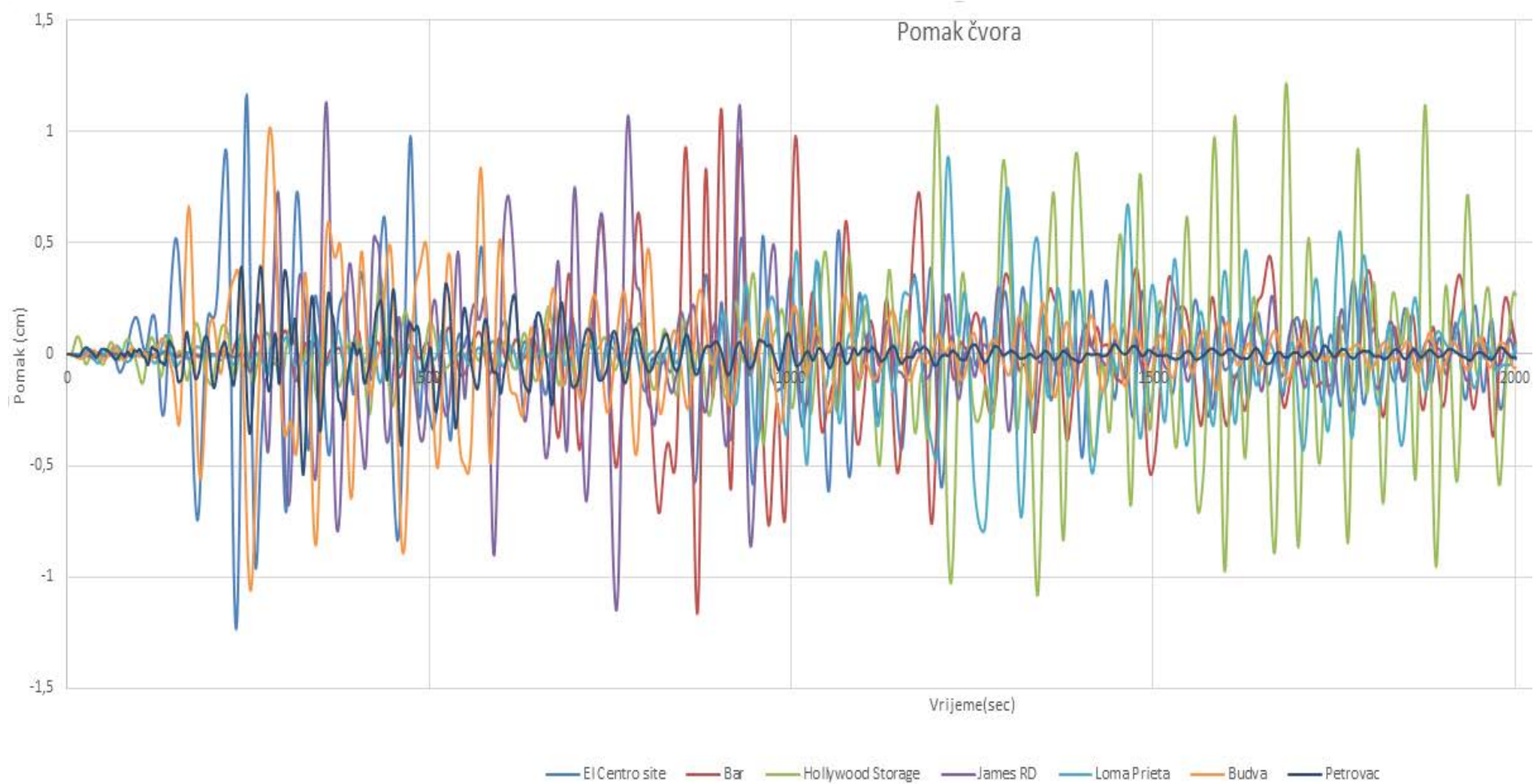
*Crtež 5.79. Pomak vrha zgrade (cm)*



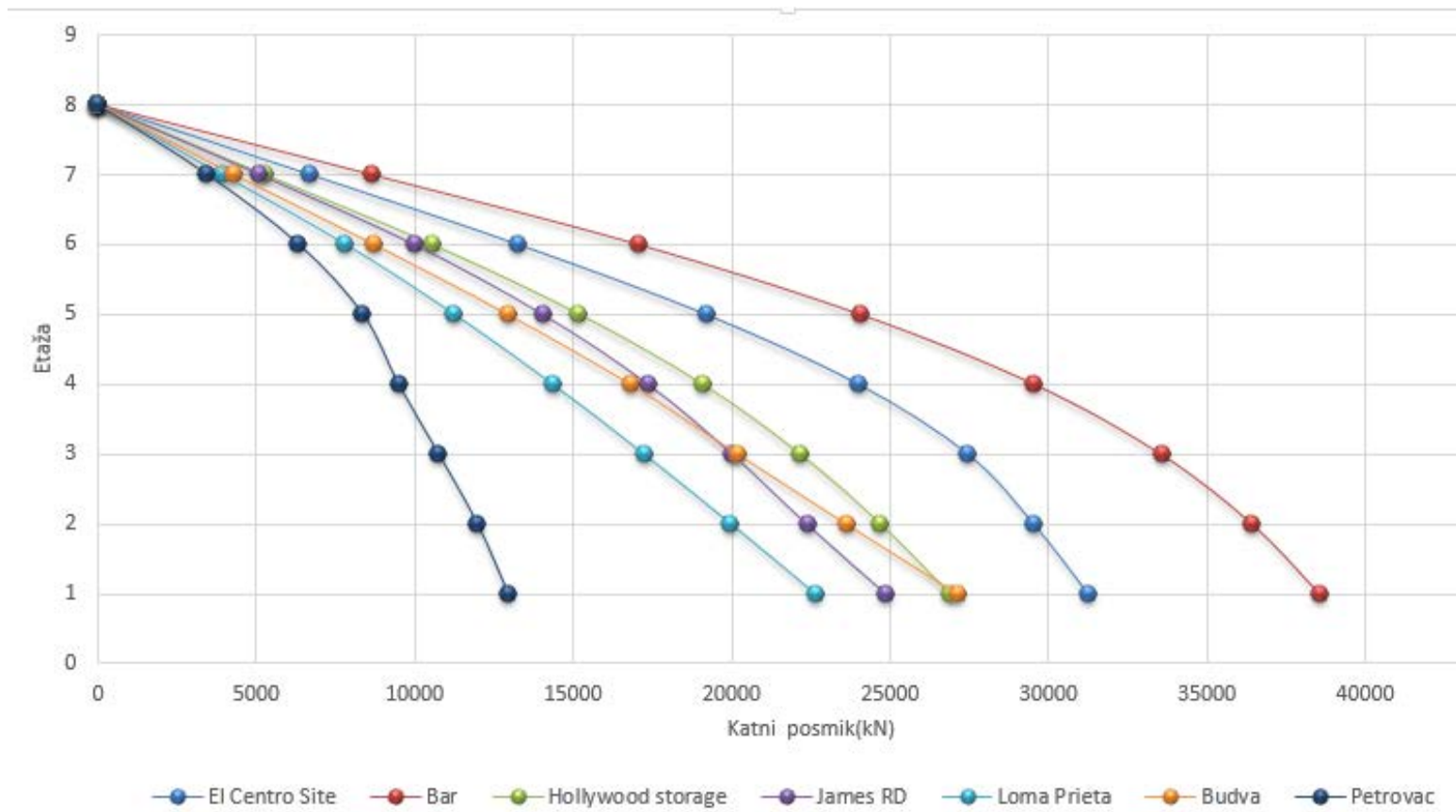
*Crtež 5.80. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN)*



*Crtež 5.81. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama*



*Crtež 5.82. Prikaz pomaka čvora svih potresa (cm)*



*Crtež 5.83. Katna posmična naprezanja (kN)*

## 6. ZAKLJUČAK

### 6.1. Usporedba rezultata po pojedinoj metodi

*Tablica 6.1. Prikaz rezultata*

Metoda	Pomak vrha konstrukcije (cm)	Ukupna poprečna sila u prizemlju (kN)
Modalna analiza	1,278	12083
Metoda naguravanja (Opterećenje zadano preko linearnog bočnog opterećenja)	1,272	32370
Metoda naguravanja (Ordinate iz prvog vlastitog vektora)	1,214	14790
Nelinearna dinamička metoda, potres El Centro	1,224	31250
Nelinearna dinamička metoda, potres Hollywood Storage	1,217	26880
Nelinearna dinamička metoda, potres James RD	1,132	24900
Nelinearna dinamička metoda, potres Loma Prieta	0,889	22640
Nelinearna dinamička metoda, potres Bar	1,102	38580
Nelinearna dinamička metoda, potres El Budva	1,019	27160
Nelinearna dinamička metoda, potres Petrovac	0,5417	12840
Srednja vrijednost zapisa u vremenu	1,018	26321

Prema provedenoj analizi i prikazanim rezultatima, možemo vidjeti da nam se dobiveni rezultati značajno razlikuju. Vidimo da kod proračuna linearnim metodama (u ovom radu modalne analize) dobivamo pomake vrha konstrukcije i posmičnu silu približno slične ostalim analizama. Pošto se ova metoda zasniva na reduciranim elastičnim spektrima odziva ubrzanja podloge, redukcija se



vrši koeficijentom faktora ponašanja  $q$ . Faktorom ponašanja se korigiraju rezultati dobiveni linearnom elastičnom analizom te se razmatra nelinearni odziv konstrukcije.

Mane ovog pristupa su:

- faktor ponašanja su preporučene vrijednosti i ne predstavljaju nužno konkretnu konstrukciju,
- kada ponašanje konstrukcije uđe u nelinearno područje, dolazi do preraspodjele sila i deformacija što nije obuhvaćeno faktorom ponašanja,
- mehanizam koji do sloma ne može se pretpostaviti elastičnom raspodjelom sila i deformacija,
- raspodjela i vrijednosti deformacija u neelastičnom području u pravilu nemaju nikakvu sličnost s onima u elastičnom području.

Kod nelinearnih statičkih metoda dobije se uvid u ponašanje konstrukcije i kontrolu oštećenja, što je moguće jedino uvođenjem nelinearne analize. Metoda N2 daje podatke o otpornosti i duktilnosti konstrukcije koji se ne mogu dobiti elastičnom analizom.

Iz priloženih rezultata, vidimo da rezultati pomaka međusobno ne odstupaju puno, dok vidimo velike razlike kod rezultata poprečnih sila. Rezultati metode N2 su prihvatljivo točni ako konstrukcija oscilira predominantno u prvom tonu, što u ovom slučaju nije zadovoljeno.

Nelinearni proračun uporabom vremenskih zapisa je najtočnija metoda, ali ujedno i najopsežnija te zahtjeva najviše vremena za analizu konstrukcija.

S realnim zapisima nije moguće postići potpunu kompatibilnost s propisanim spektrima, što ima za posljedicu veću varijaciju rezultata koja se može vidjeti iz priloženih rezultata.

## 7. PRILOZI

### 7.1. Popis tablica

Tablica 4.1. Slojevi krova.....	9
Tablica 4.2. Slojevi poda etaže .....	9
Tablica 4.3. Karakteristične vrijednosti opterećenja snijega na tlu.....	12
Tablica 4.4. Osnovna brzina vjetra .....	13
Tablica 4.5. Koeficijenti za proračun vjetra .....	14
Tablica 4.6. Tablica faktora važnosti zgrade .....	18
Tablica 4.7. Tablica tipova tla.....	19
Tablica 4.8. Vrijednosti parametara koje opisuju elastični spektar odziva tipa 1.....	19
Tablica 4.9. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja $q_0$ za sustave pravilne po visini .....	21
Tablica 6.1. Prikaz rezultata .....	75

### 7.2. Popis crteža

Crtež 3.1. Aksonometrijski prikaz konstrukcije.....	4
Crtež 3.2. Tlocrt garaže .....	4
Crtež 3.3. Tlocrt prizemlja .....	5
Crtež 3.4. Tlocrt 1. kata .....	5
Crtež 3.5. Tlocrt 1. tornja .....	5
Crtež 3.6. Tlocrt 2. tornja .....	5
Crtež 4.1. Svojstva betona.....	9
Crtež 4.2. Koeficijenti oblika .....	10
Crtež 4.3. Koeficijenta oblika opterećenja od snijega .....	11
Crtež 4.4. Karta područja za opterećenje snijega preuzeto iz HRN EN 1991.....	11
Crtež 4.5. Karta područja za opterećenje vjetra – preuzeto iz HRN EN 1991.....	13
Crtež 4.6. Dijagram ovisnosti kategorije terena i visine iznad terena .....	15

Crtež 4.7. Referentna visina $z_e$ ovisna o $h$ i $b$ - preuzeto iz HRN EN 1991-1-4 .....	15
Crtež 4.8. Preporučeni postupak određivanja koeficijenta vanjskog tlaka $c_{pe}$ za zgrade s opterećenom ploštinom između $1m^2$ i $10m^2$ – preuzeto iz HRN EN 1991-1-4 .....	15
Crtež 4.9. Potresna karta Hrvatske za povratno razdoblje 95 godina preuzeto iz HRN EN 1998.....	16
Crtež 4.10. Potresna karta Hrvatske za povratno razdoblje od 475 godina HRN EN 1998 .....	17
Crtež 4.11. Osnovni oblik elastičnog spektra odgovora za horizontalno seizmičko djelovanje preuzeto iz HRN EN 1998.....	17
Crtež 4.12. Proračunski spektar odziva - preuzeto iz HRN EN 1998.....	20
Crtež 4.13. Seizmičko ponašanje konstrukcije i odgovarajući faktori ponašanja $q$ – preuzeto iz [6] .....	21
Crtež 4.14. anvelopa momenata savijanja savojnih zidova (lijevo: zidni sustav, desno: dvojni sustav) – preuzeto iz HRN EN 1998.....	23
Crtež 4.15. Proračunska ovojnica poprečnih sila za vitke zidove dvojnih sustava – preuzeto iz HRN EN 1998 .....	23
Crtež 4.16. Ovijeni rubni element zida sa slobodnim rubom (gore: deformacije pri najvećoj ..... zakrivljenosti; dolje: presjek zida) – preuzeto iz HRN EN 1998 .....	25
Crtež 4.17. Minimalna debljina rubnih dijelova zida – preuzeto iz HRN EN 1998.....	25
Crtež 4.18. Deformacija slobodnog ruba zida i zida s pojasnicom – preuzeto iz HRN EN 1998 .....	26
Crtež 4.19. Usporedni prikaz krivulje postupnog guranja za tri pretpostavljena oblika pomaka: jednoliko (1), trokutasto (2), prvi oblik vibracija (3) – preuzeto iz [6] .....	29
Crtež 4.20. Krivulja kapaciteta (isprekidanom je crtom prikazana stvarna krivulja kapaciteta, a punom crtom bilinearna idealizacija) – preuzeto iz [6] .....	29
Crtež 4.21. Prikaz grafa krutosti čvora.....	30
Crtež 4.22. Prikaz dijagrama interakcije .....	30
Crtež 5.1. Prikaz projektnog spektra .....	31
Crtež 5.2. Prikaz frekvencija i perioda konstrukcije .....	32
Crtež 5.3. Prikaz sudjelujućih masa po modovima.....	32
Crtež 5.4. Prvi vlastiti oblik.....	32
Crtež 5.5. Drugi vlastiti oblik .....	33
Crtež 5.6. Treći vlastiti oblik .....	33
Crtež 5.7. prvi toranj .....	33
Crtež 5.8. prvi toranj .....	33

Crtež 5.9. Prikaz frekvencija i perioda konstrukcije .....	34
Crtež 5.10. Prikaz sudjelujućih masa po modovima.....	34
Crtež 5.11. Prvi vlastiti oblik.....	34
Crtež 5.12. Drugi vlastiti oblik .....	35
Crtež 5.13. Treći vlastiti oblik .....	35
Crtež 5.14. Pomak u x smjeru (cm).....	35
Crtež 5.15. Pomak u y smjeru (cm).....	36
Crtež 5.16. Prikaz pomaka (cm).....	36
Crtež 5.17. Pomaci na ploči prizemlja kombinaciju opterećenja GSU (mm).....	37
Crtež 5.18. Pomaci na ploči prizemlja kombinaciju opterećenja GSN (mm).....	37
Crtež 5.19. Potrebna površina armature za x smjer ( $\text{cm}^2/\text{m}$ ).....	37
Crtež 5.20. Potrebna površina armature y smjer ( $\text{cm}^2/\text{m}$ ).....	38
Crtež 5.21. Prikaz armature x smjer .....	38
Crtež 5.22. Prikaz armature y smjer .....	38
Crtež 5.23. Pomaci na ploči kata kombinaciju opterećenja GSU (mm) .....	39
Crtež 5.24. Pomaci na ploči kata kombinaciju opterećenja GSN (mm) .....	39
Crtež 5.25. Prikaz momenta $M_{xx}$ za GSN (kNm) .....	40
Crtež 5.26. Prikaz momenta $M_{yy}$ za GSN (kNm) .....	40
Crtež 5.27. Prikaz karakteristične grede .....	40
Crtež 5.28. Prikaz karakterističnog stupa .....	42
Crtež 5.29. Karakteristični zid.....	43
Crtež 5.30. Prikaz raspodjele opterećenja .....	45
Crtež 5.31. Graf spektralno ubrzanje/spektralni pomak.....	45
Crtež 5.32. Prvi inkrement opterećenja.....	46
Crtež 5.33. Drugi inkrement opterećenja .....	46
Crtež 5.34. Treći inkrement opterećenja .....	46
Crtež 5.35. Četvrti inkrement opterećenja .....	47
Crtež 5.36. Peti inkrement opterećenja.....	47
Crtež 5.37. Šesti inkrement opterećenja .....	47

Crtež 5.38. Prikaz raspodjele poprečnih sila za pojedini inkrement opterećenja (kN) .....	48
Crtež 5.39. Graf spektralno ubrzanje/spektralni pomak.....	48
Crtež 5.40. Prvi inkrement opterećenja.....	49
Crtež 5.41. Drugi inkrement opterećenja .....	49
Crtež 5.42. Treći inkrement opterećenja .....	49
Crtež 5.43. Četvrti inkrement opterećenja .....	50
Crtež 5.44. Peti inkrement opterećenja.....	50
Crtež 5.45. Prikaz raspodjele poprečnih sila za pojedini inkrement opterećenja (kN) .....	50
Crtež 5.46. Potres El Centro Site.....	51
Crtež 5.47. Vremenski zapis potresa .....	51
Crtež 5.48. Potres Hollywood Storage .....	52
Crtež 5.49. Vremenski zapis potresa .....	52
Crtež 5.50. Potres James RD. El Centro.....	53
Crtež 5.51. Vremenski zapis potresa .....	53
Crtež 5.52. Potres Loma Prieta .....	54
Crtež 5.53. Vremenski zapis potresa .....	54
Crtež 5.54. Potres Bar .....	55
Crtež 5.55. Vremenski zapis potresa .....	55
Crtež 5.56. Potres Budva .....	56
Crtež 5.57. Vremenski zapis potresa .....	56
Crtež 5.58. Potres Petrovac.....	57
Crtež 5.59. Vremenski zapis potresa .....	57
Crtež 5.60. Prikaz promatranog čvora .....	58
Crtež 5.61. Pomak vrha zgrade (cm).....	59
Crtež 5.62. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN) .....	59
Crtež 5.63. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama .....	60
Crtež 5.64. Pomak vrha zgrade (cm).....	61
Crtež 5.65. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN) .....	61
Crtež 5.66. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama .....	62

Crtež 5.67. Pomak vrha zgrade (cm).....	63
Crtež 5.68. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN) .....	63
Crtež 5.69. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama.....	64
Crtež 5.70. Pomak vrha zgrade (cm).....	65
Crtež 5.71. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN) .....	65
Crtež 5.72. Prikaz raspodjele posmičnih sila po etažama.....	66
Crtež 5.73. Pomak vrha zgrade (cm).....	67
Crtež 5.74. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN) .....	67
Crtež 5.75. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama.....	68
Crtež 5.76. Pomak vrha zgrade (cm).....	69
Crtež 5.77. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN) .....	69
Crtež 5.78. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama.....	70
Crtež 5.79. Pomak vrha zgrade (cm).....	71
Crtež 5.80. Prikaz poprečnih sila po prizemlju (kN) .....	71
Crtež 5.81. Prikaz raspodjele poprečnih sila po etažama.....	72
Crtež 5.82. Prikaz pomaka čvora svih potresa (cm) .....	73
Crtež 5.83. Katna posmična naprezanja (kN).....	74

### **7.3. Popis literature**

- [1] HRN EN 1998.
- [2] HRN EN 1992.
- [3] HRN EN 1991.
- [4] Ante Mihanović - Dinamika konstrukcija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu (1995).
- [5] Eurocode 8: Seismic Design of Buildings Worked examples
- [6] Mehmed Čaušević – Dinamika konstrukcija, Tehnička knjiga Zagreb 2010
- [7] Franko Petrić, Proračun srednje visoke AB zgrade prema HRN EN 1998-1 ,diplomski rad, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu.(2014).
- [8] Josip Šoše, Parametarska analiza potresne otpornosti AB okvira sukladno HRN EN 1998-1, diplomski rad, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu.(2015).