Provjera koncepta projekta konstrukcije tornja Westgate B

Barišić, Marin

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:232529

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split







SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Marin Barišić

Split, 2015.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Marin Barišić

Provjera koncepta projekta konstrukcije tornja WESTGATE B

Diplomski rad

Split, 2015.

Provjera koncepta projekta konstrukcije tornja WESTGATE B

Sažetak:

Predmet diplomskog rada je provjera koncepta projekta konstrukcije tornja WESTGATE B - verzija od 26 etaža. Primjenom višemodalne spektralne analize N2 metode naguravanja, nelinearno elastičnog odgovora u vremenu.

Ključne riječi:

konstrukcija, profil vjetra, periodi osciliranja, N2 metoda, ADRS format, dinamička analiza u vremenu, histereza

Checking the project concept of the tower structure WESTGATE B

Abstract:

The subject of thesis is to examine the concept of the project of construction of the tower Westgate B -version of 26 floors. By applying the modal spectral analysis, the methods of pushing N2, non-linear elastic response in time.

Keywods:

construction, profile of wind load, periods of oscillation, pushover N2 method, ADRS format, time history analysis, hysteresis

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ:	**DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	Marin Barišić
BROJ INDEKSA:	480
KATEDRA:	**Katedra za Teoriju konstrukcija**
PREDMET:	Dinamika konstrukcija i potresno inženjerstvo

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Provjera globalnog stanja mehaničke otpornosti i stabilnosti tornja WESTGATE B

Opis zadatka:
Predmet diplomskog rada je provjera koncepta projekta konstrukcije tornja WESTGATE B -verzija od 26 etaža. Provedbom linearnih i nelinearnih dinamičkih analiza. Primjenom višemodalne spektralne analize N2 metode naguravanja, nelinearno elastičnog odgovora u vremenu.

U Splitu, 18.03.2015.

Voditelj Diplomskog rada:

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

1. SADRŽAJ

1. SADRŽAJ 1
2. UVOD 3
3. TEHNIČKI OPIS 4
3.1. Opći podaci 4
3.2. Elementi nosive konstrukcije 7
3.2.1. Temelji 7
3.2.2. Stupovi 7
3.2.3. Grede 7
3.2.4. Zidovi 7
3.2.5. Međukatne konstrukcije 7
3.2.6. Kosi spregnuti nosači 7
4. ANALIZA OPTEREĆENJA 8
4.1. Stalna opterećenje 8
4.2. Promjenjivo opterećenje 9
4.2.1. Pokretno opterećenje 9
4.2.2. Vjetar 9
5. REZNE SILE KARAKTERISTIČNE ETAŽE 12
5.1. Uvod 12
5.2. Rezne sile ploča 12
5.3. Rezne sile stupova 14
5.4. Rezne sile greda 16
6. POTRESNO OPTEREĆENJE 18
6.1. Uvod 18
7. REZULTATI MODALNE ANALIZE 20
7.1. Prikaz rezultata 20
8. NELINEARNA STATIČKA METODA POSTUPNOG NAGURAVANJA 23
8.1. Uvod 23
9. REZULTATI NELINEARNE METODE POSTUPNOG NAGURAVANJA 26
9.1. Prikaz rezultata 26
10. NELINEARNO ELASTIČNA METODA ODGOVORA U VREMENU 33

10.1. Uvod *33*
11. REZULTATI NELINEARNO ELASTIČNE METODE ODGOVORA U VREMENU **34**
11.1. Prikaz rezultata *34*
11.1.1. Mexico city 34
11.1.2. Hollywood Storage 38
11.1.3. El Centro 42
11.1.4. Northridge, Santa Monica 46
11.1.5. San Fernando 50
11.1.6. Loma Prieta 54
11.1.7. Taft Lincoln School 58
12. ZAKLJUČAK **62**
13. PRILOZI **64**
13.1. Popis tablica *64*
13.2. Popis crteža *64*
13.3. Popis literature *67*

2. UVOD

Predmet diplomskog rada je provjera koncepta projekta konstrukcije tornja WESTGATE B - verzija od 26 etaža. Promatrana opterećenja na objekt su: vjetar, potres, vlastita težina, dodatno stalno, promjenjivo opterećenje te snijeg. Primarni fokus rada je na provjeri djelovanja ekstremnog vjetra na konstrukciju, zbog visine objekta od 100m. Nelinearnom statičkom metodom postupnog naguravanja, konstruiran je profil vjetra, radi ocjene maksimalnog pomaka vrha konstrukcije i ukupne posmične sile na bazu. Za komparaciju se koristi nelinearno elastični dinamički odgovor u vremenu. Uz navedeno, je dodatno izvršena linearna analiza, kao i linearna spektralna višemodalna analiza. Usporedba rezultata dana je na kraju ovoga rada.

3. TEHNIČKI OPIS

3.1. Opći podaci

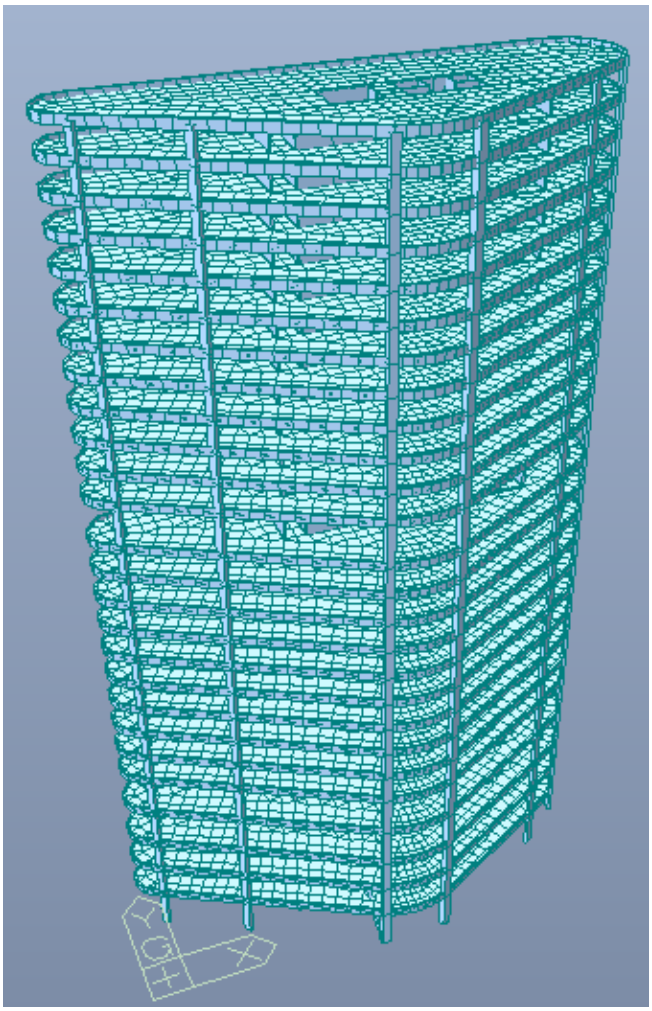
Toranj WESTGATE B, građevina od dvadeset šest nadzemnih etaža različite visine, te šest podzemnih etaža također po visini različitih nalazi se na području grada Splita. Ukupna bruto tlocrtna površina građevine iznosi 32 723 m², veći dio površine zauzima nadzemni dio sa 22 645 m^2. Dok bruto površina podzemnih etaža iznosi 10 078 m^2. Objekt je tlocrtno i visinski nepravilnog oblika.

Nosivu konstrukciju nadzemnih i podzemnih etaža promatrane građevine možemo podijeliti na vertikalnu i horizontalnu. Nadzemne etaže od vertikalne nosive konstrukcije prvensteno posjeduju zidni sustav tj. krutu jezgru i stupove sve od armiranog betona. Kao i horizontalni nosivi sustav tj. međukatnu konstrukciju komponiranu od greda i ploča od armiranog betona. Isto vrijedi za nosivi sustav podzemnih etaža , manje bruto površine, ali individualno veće od nadzemnih etaža.

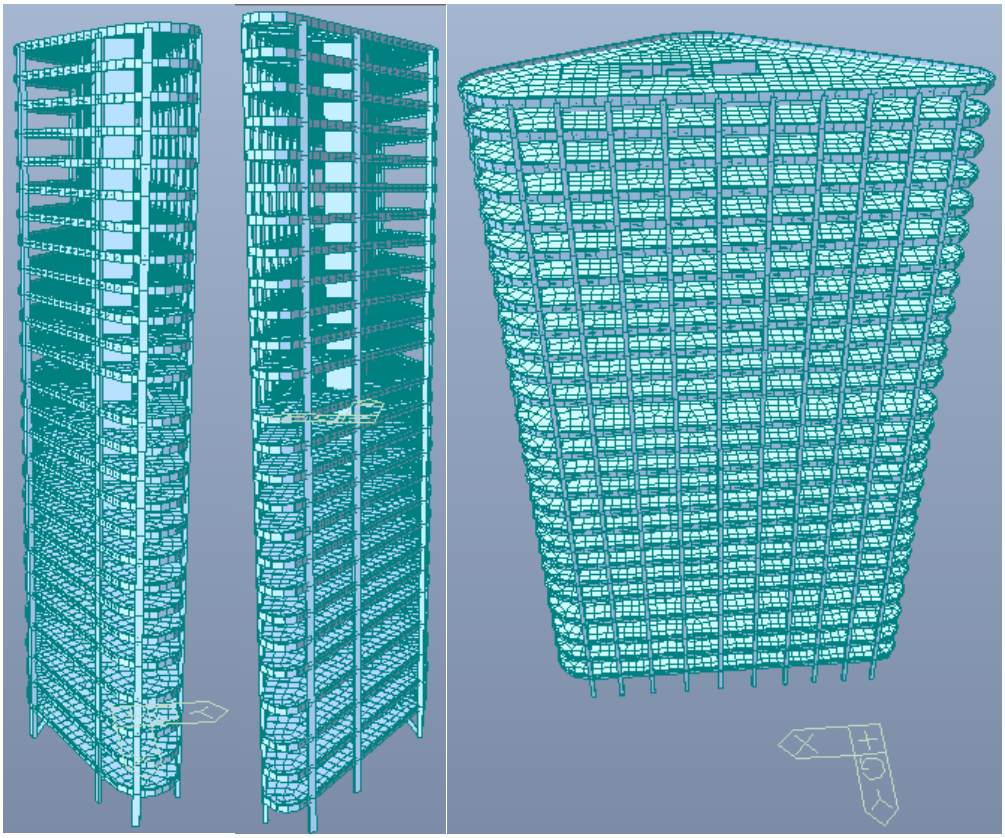
Debljina zidova varira od 40 cm na podzemnih etažama i početnim nadzemnim, preko 30 i 20 cm na preostalim etažama. Ujedno mijenja se i vrijednost klase betona od C30/37 do C50/40 za vertikalne nosive elemente tj. zidove i stupove. Dok klasa betona za ploče iznosi C25/30, a za grede C30/37. Korištena armatura je B 500B

Lokacija građevina je na području grada Splita, stoga prema važećim propisima spada u I područje opterećenja vjetrom sa osnovnom brzinom vjetra od 30 m/s te u opterećenja snijegom sa karakterističnom vrijednošću opterećenja na tlu od 0,50 kN/m. Računsko ubrzanje tla prema karti iz HRN EN 1998-1:2012/NA za GSN s povratnim periodom od 475 god, iznosi 0,22 a_g, a za GSU s povratnim periodom od 95 god. iznosi 0,12 a_g. Promatramo nadzemni dio konstrukcije.

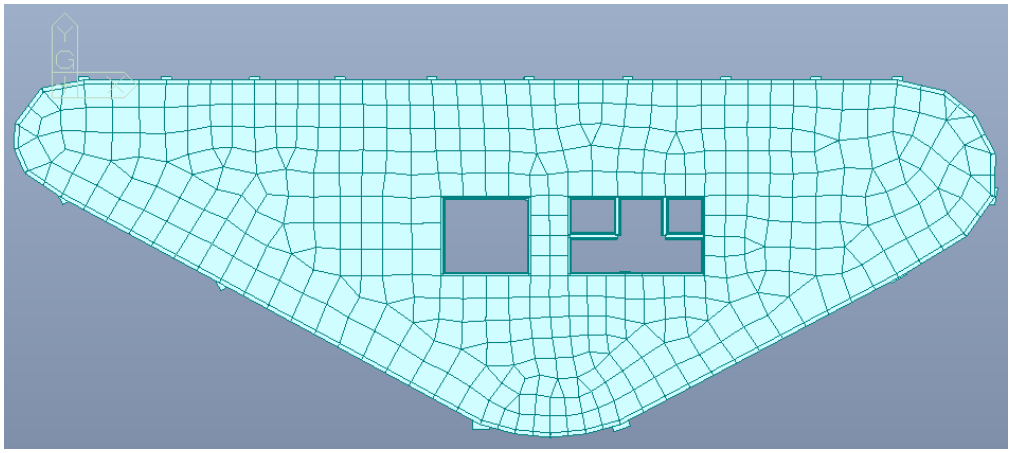
Za preuzimanje opterećenja vjetrom, kao najkritičnijeg opterećenja dane građevine služi sustav armirano-betonskih zidova, taj isti sustav preuzima potresnu silu uslijed računskog ubrzanja a_g. Temeljno tlo je dobrih fizičko-mehaničkih karakteristika sa dopuštenim naprezanjem od 1 MPa, stoga uslijed visine objekta i zadanih opterećenja temeljna ploča je debljine 60cm lokalno ojačano na 80 do 100 cm, klase betona C 25/30, armature B 500 B. Računalni proračuni izvršeni su na računalnim programima: "Midas Gen 2015" i "Scia Engineer 2014"



Slika 3.1. Perspektivni prikaz konstrukcije Sjever



Slika 3.2. Perspektivni prikaz konstrukcije Istok-Zapad



Slika 3.3. Tlocrt karakteristične etaže

3.2. Elementi nosive konstrukcije

3.2.1. Temelji

Stupovi i zidovi temelje se na temeljnoj ploči. Temeljna ploča se izvodi iz betona klase C25/30 i armira armaturnim šipkama i mrežama B 500B. Zaštitni sloj betona iznosi 5 cm.

3.2.2. Stupovi

Stupovi su pravokutnog poprečnog presjeka. Izvode se iz betona klase od C30/37 do C50/40, armiraju armaturnim šipkama B 500B. Zaštitni sloj betona iznosi 3 cm.

3.2.3. Grede

Grede se izvode iz betona klase C 30/37 i armiraju armaturnim šipkama B 500B. Nalaze se na nadzemnom dijelu građevine. Dimenzija su 1,0 x 0,25 (m). Zaštitni sloj betona iznosi 2 cm.

3.2.4. Zidovi

Zidovi se izvode iz betona klase od C 30/37 do C 50/40 armiraju armaturnim šipkama i mrežama B 500B. Širina zidova na podzemnim etažama je 40 cm, a na nadzemnim je 40, 30 i 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 zidove, stupove i grede. Debljina međukatne konstrukcije je 20cm. Izvode se od betona klase C 25/30 i armirane su armaturnim mrežama B 500B.

3.2.6. Kosi spregnuti nosači

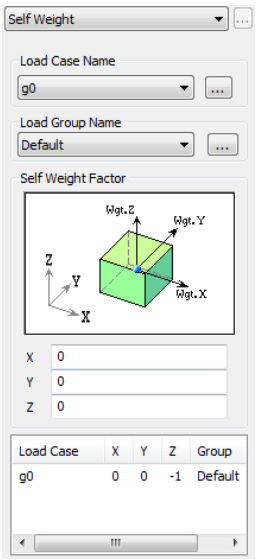
Kosi spregnuti nosači sastoje je se od betona klase C 30/37 do C 50/60, čeličnog lima, čeličnog profila, kao i od vilica i armaturnih šipki.

4. ANALIZA OPTEREĆENJA

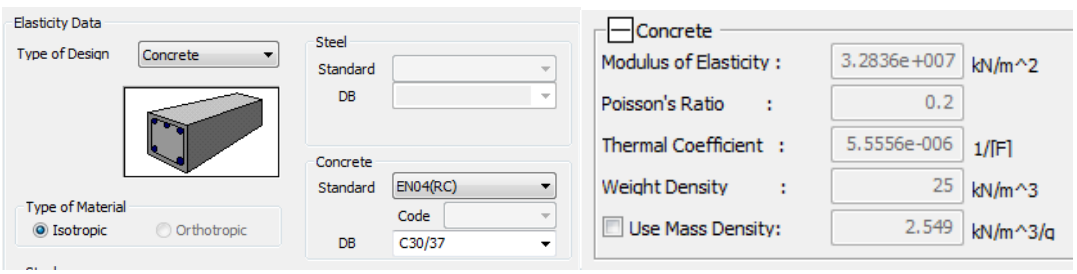
4.1. Stalna opterećenje

Od stalnih opterećenja imamo vlastitu težinu i dodatno stalno opterećenje.

Vlastita težina automatski je proračunata u računalnom programu



Slika 4.1. Zadavanje vlatite težine



Slika 4.2. Svojstva betona

Dodatno stalno opterećenje uzeto je u iznosu od 2 kN/m^2. U kome su uključeni slojevi poda i dodatni vertikalni teret na etažama promatrane konstrukcije.

4.2. Promjenjivo opterećenje

4.2.1. Pokretno opterećenje

Za pokretno opterećenje u koje je uključeno opterećenje snijegom, odabrana je vrijednost od 2 kN/m^2 za podne etaže i krov.

4.2.2. Vjetar

Toranj Westgate B nalazi se na području grada Splita, na lokaciji koja je većim dijelom nezaštićena od djelovanja vjetra i smještena je na nadmorskoj visini do 100.0 m.n.m.

Djelovanje vjetra na promatranu građevinu određeno je prema HRN EN 1991-1-4 – Djelovanje vjetra.

Vjetar kao opterećenje na konstrukciju sastoji se od stalne i promjenjive odnosno turbulentne komponente.

Za izračun ukupnog pritiska vjetra o površine objekta potrebno je prvo odrediti temeljnu vrijednost osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$ tj. karakterističnu 10-minutnu srednju brzinu vjetra s vjerojatnosti prebačaja p=2% u jednoj godini $v_{b,0} = 30\,m/s$.

Koja služi kao polazna vrijednost za određivanje osnovne brzine vjetra v_b.

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0};\ c_{dir} = 1; c_{season} = 1;\ v_{b,0} = 30\,m/s \Rightarrow \quad v_b = 30\,m/s$$

Gdje su C_{dir} i C_{season} faktor smjera, odnosno faktor godišnjeg doba.

Srednja brzina vjetra v_m određuje se iz osnovne brzine vjetra v_b, uz faktore hrapavosti terena i vertikalne razvedenosti.

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

$c_r(z)$ - faktor hrapavosti terena

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \qquad k_r = 0{,}19\left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07}$$

$$k_r = 0{,}19\left(\frac{0.01}{0.05}\right)^{0.07} = 0.169$$

k_r -faktor terena ovisan o duljini hrapavosti z_0

z_0 -duljina hrapavosti

$z_{0,II} = 0.05m$ -faktor vertikalne razvedenosti

$z_{\min}$ -najmanja visina određena u tablici

$z_{\max} = 200m$

$c_0(z)$ - faktor vertikalne razvedenosti

$c_0(z) = 1.0$ - faktor vertikalne razvedenosti prema HRN EN 1991-1-4 Dodatak A

Turbulencijom vjetra uzima se u obzir promjenjivi dio opterećenja vjetra i računa se po formuli:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)};$$

$k_I = 1.0$ -prema HRN EN 1991-1-4:2012/NA

$c_0(z) = 1.0$ -faktor vertikalne razvedenosti

z_0 -duljina hrapavosti ovisno o kategoriji terena

Tablica 4.1. Kategorije terena preuzeto iz HRN EN 1991-1-4

Kategorija terena		z_0 [m]	z_{min} [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezera ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivene zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

Izraz za računanje pritiska od vjetra pri vršnoj brzini:

$$q_p(z) = \left[1 + 7I_v(z)\right]\frac{1}{2}\rho v_m^2(z)$$

Za vertikalne zidove tlak vjetra na vanjske površine se određuje preko izraza:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

Za vertikalne zidove tlak vjetra na unutarnje površine se određuje preko izraza:

$$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi}$$

$c_{pe} = 0.8$-koeficijent tlaka za vanjski tlak

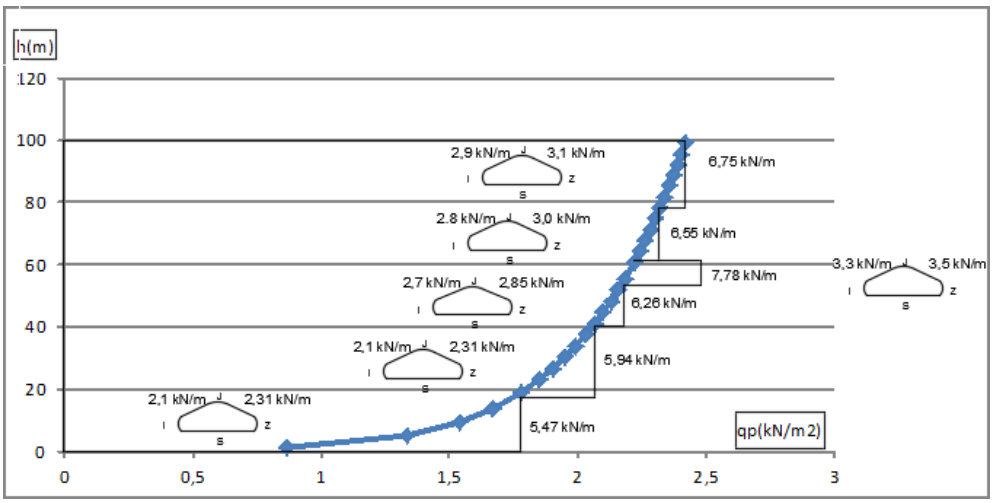
$c_{pi} = -0.5$ -koeficijent tlaka za unutarnji tlak

Vrijednosti faktora hrapavosti $c_r(z)$ za različite visine građevine, kao i srednje brzine $v_m(z)$, turbulencije vjetra $I_v(z)$ i tlaka vjetra pri vršnoj brzini $q_p(z)$ date su u tablici

Tablica 4.2. Vrijednosti tlaka pri vršnoj brzini

h(m)	Vm(m/s)	Qp(kN/m^2)
1	23,4	866,3
5,10	31,7	1337,4
9,5	34,9	1540,0
13,9	36,8	1670,1
19	38,4	1780,5
23,1	39,4	1851,1
26,7	40,2	1904,3
30,3	40,8	1951,2
33,9	41,4	1993,4
37,5	41,9	2031,6
41,1	42,4	2066,6
44,7	42,8	2098,9
48,3	43,2	2128,9
51,9	43,5	2156,9
55,5	43,9	2183,2
60,7	44,4	2218,5
64,2	44,6	2240,7
67,7	44,9	2261,9
71,2	45,2	2282,1
74,7	45,4	2301,3
78,2	45,6	2319,8
81,7	45,8	2337,5
85,2	46,1	2354,5
88,7	46,3	2370,9
92,2	46,5	2386,8
95,7	46,7	2402,1
99,2	46,7	2416,8

Tlak vjetra na vertikalne zidove zadajemo u razini etaža promatrane građevine na šest različitih razina, koje proizlaze iz krivulje tlaka vjetra. Opterećenja vjetrom na razini etaža dobiju se množenjem odgovarajuće razine tlaka vjetra sa utjecajnom širinom pojedine etaže. Kao što je prikazano na slici



Slika 4.3. Vrijednosti opterećenja vjetom

5. REZNE SILE KARAKTERISTIČNE ETAŽE

5.1. Uvod

Rezne sile elemenata karakteristične etaže proračunati su primjenom računalnog programa Scia Engineer 2014. Za dimenzioniranje ploče na GSN korištena je kombinacija:

1.35G0 + 1.35G1 + 1.5Q,

a na GSU kombinacija:

1.0G0 + 1.0G1 + 1.0Q

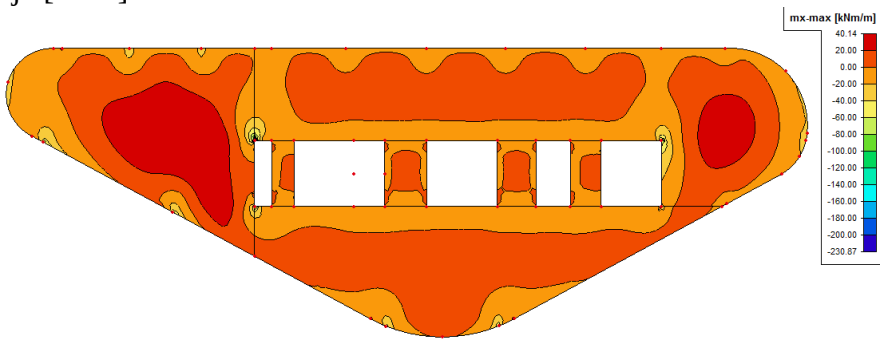
Stupovi su dimenzionirani na anvelopu opterećenja, kao i grede, dok su im progibi kontrolirani na GSU kombinacija:

1.0G0 + 1.0G1 + 1.0Q

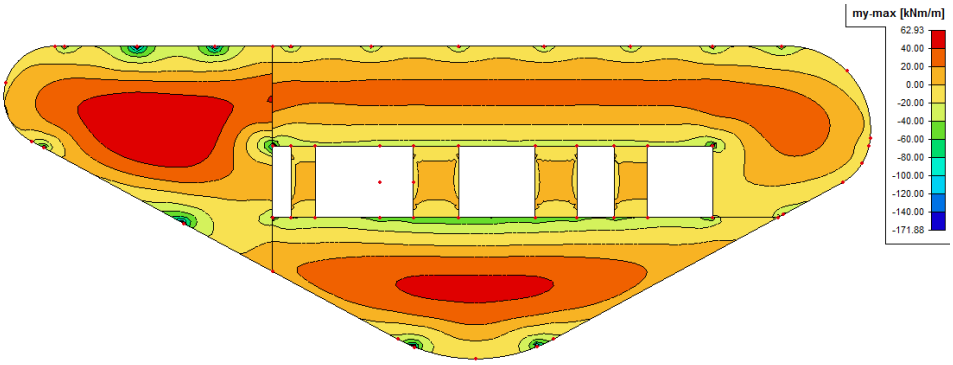
5.2. Rezne sile ploča

GSN

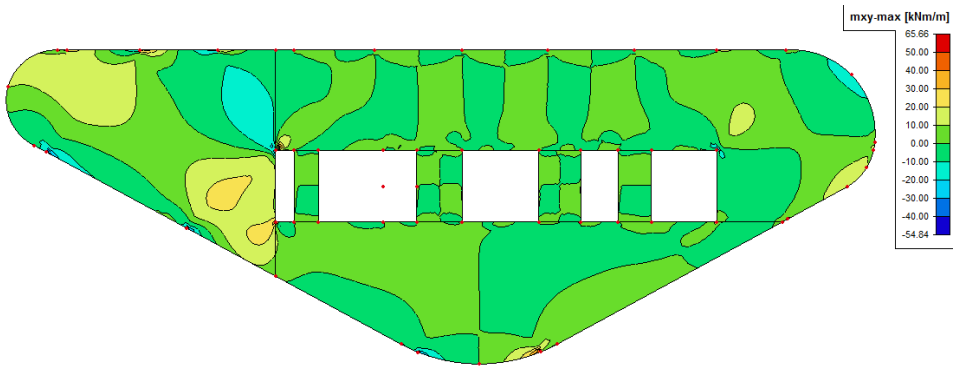
Momenti savijanja [kNm]



Slika 5.1. Moment savijanja m_x

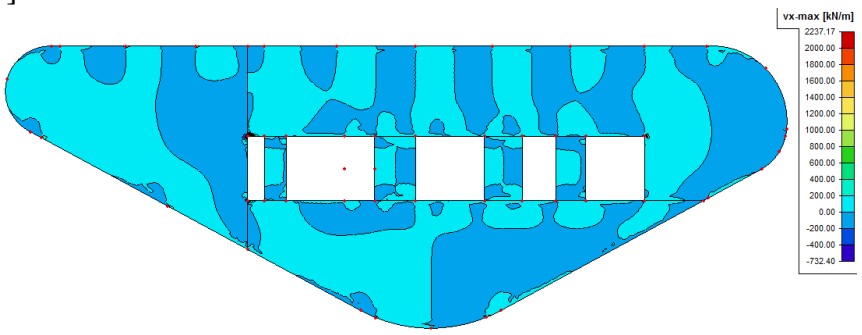


Slika 5.2. Moment savijanja m_y

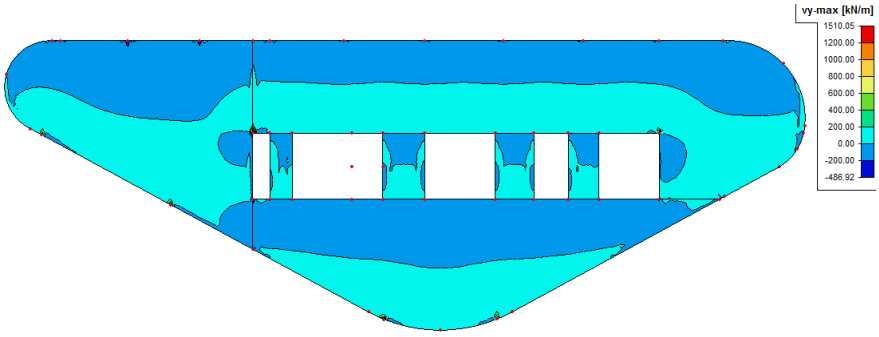


Slika 5.3. Moment savijanja m_{xy}

Poprečne sile[kN]

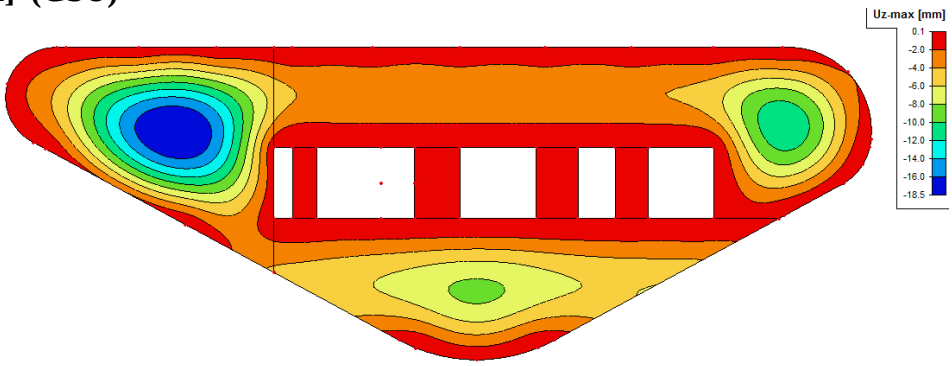


Slika 5.4. Poprečna sila v_x



Slika 5.5. Poprečna sila v_y

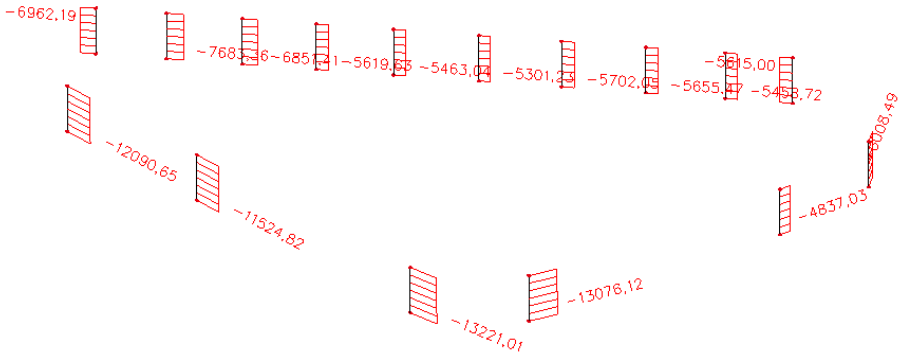
Progibi [mm] (GSU)



Slika 5.6. Vertikalni progibi u_z

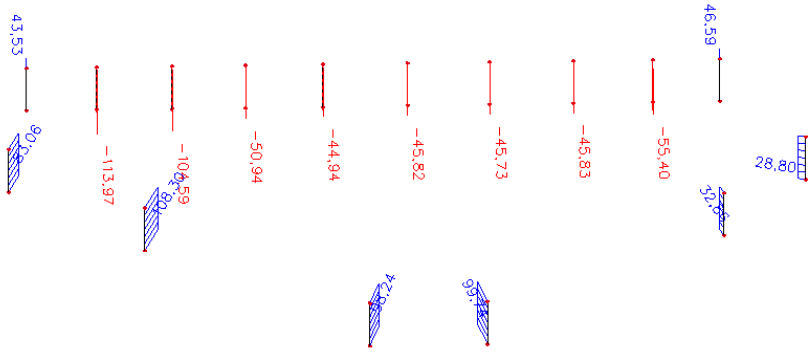
5.3. Rezne sile stupova

Uzdužna sila [kN]

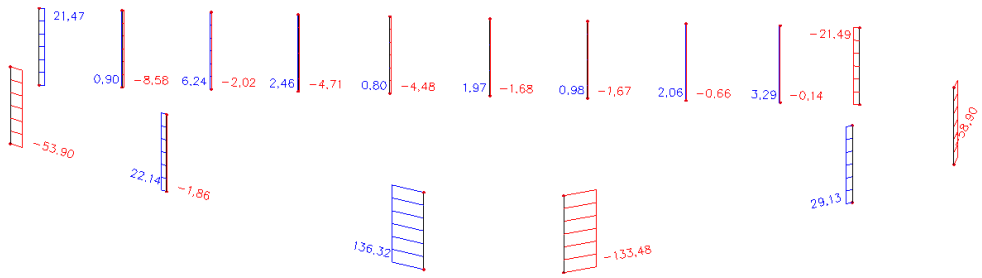


Slika 5.7. Uzdužna sila N

Poprečne sile [kN]

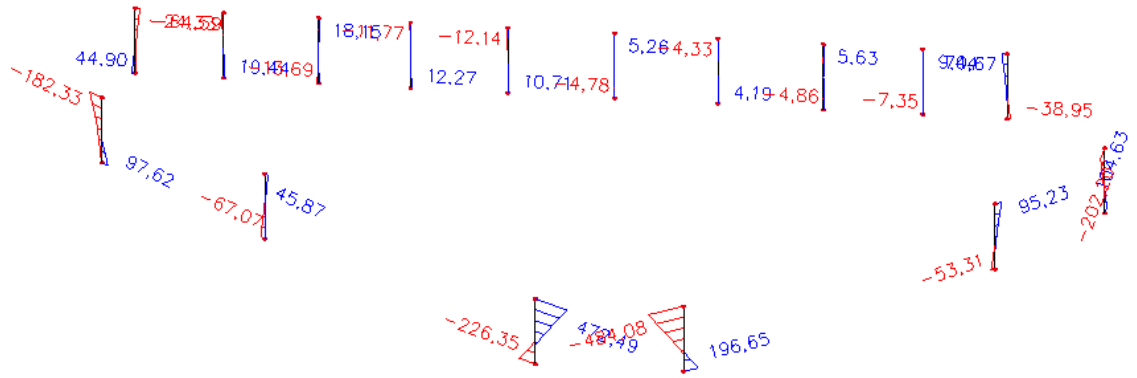


Slika 5.8. Poprečna sila V_y

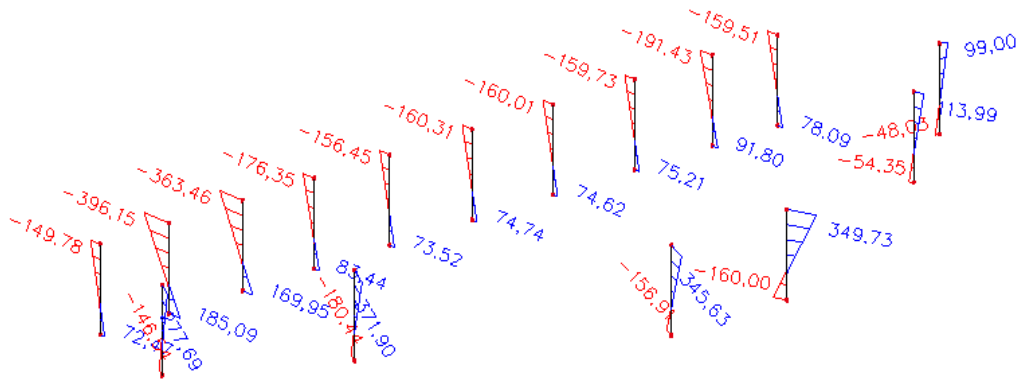


Slika 5.9. Poprečna sila V_z

Momenti savijanja [kNm]



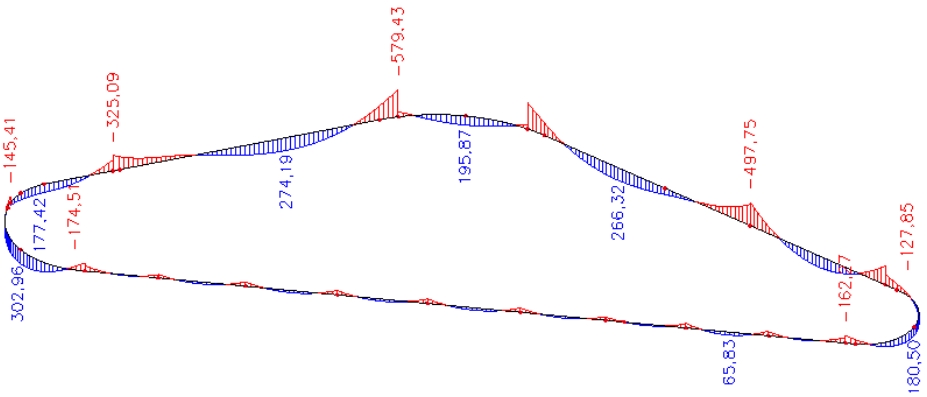
Slika 5.10. Moment savijanja M_y



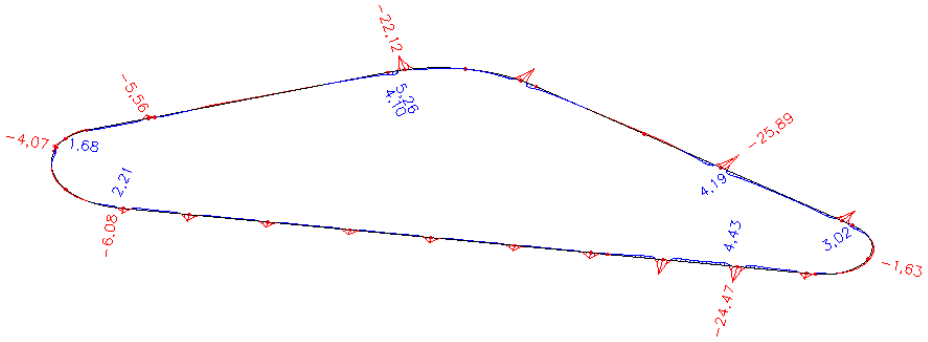
Slika 5.11. Moment savijanja M_z

5.4. Rezne sile greda

Momenti savijanja [kNm]

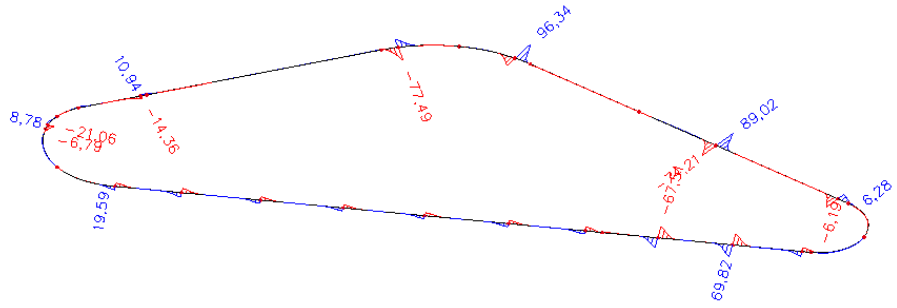


Slika 5.12. Moment savijanja M_y

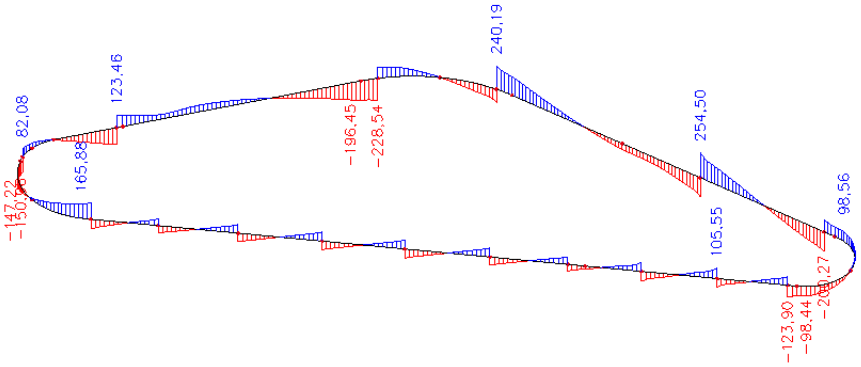


Slika 5.13. Moment savijanja M_z

Poprečne sile [kN]

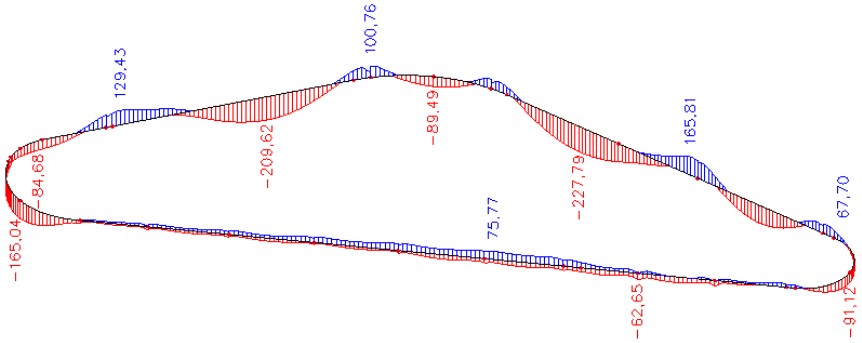


Slika 5.14. Poprečna sila V_y



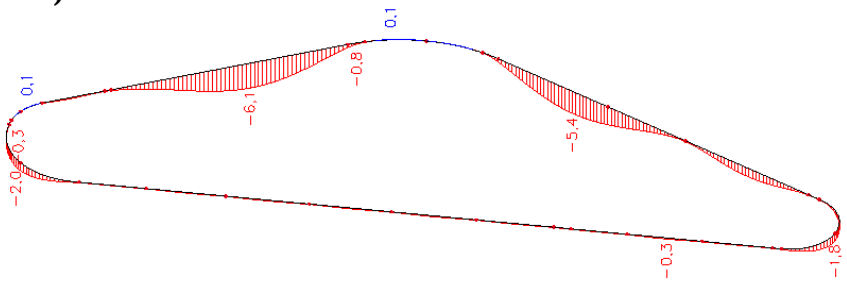
Slika 5.15. Poprečna sila V_z

Uzdužna sila [kN]



Slika 5.16. Uzdužna sila N

Progibi [mm] (GSU)



Slika 5.17. Vertikalni progibi u_z

6. POTRESNO OPTEREĆENJE

6.1. Uvod

Uslijed vjerojatnosti potresnog opterećenja na području grada Splita računsko ubrzanje tla za GSN sa povratnim periodom od 475 godina i vjerojatnosti pojave od 10 iznosi a_g=0,22g. Dok za GSU sa povratnim periodom od 95 godina i vjerojatnosti pojave od 10% iznosi a_g=0,12g. Pritom se smatra da je životni vijek promatrane građevine za GSN 50 godina, a za GSU 10 godina.

Za potrebe proračuna potresnog opterećenja promatramo horizontalnu komponentu ubrzanja tla. Odnosno konstruiramo proračunski spektar horizontalnog ubrzanja tla, dobiven iz horizontalnog elastičnog spektra ubrzanja tla, tipa I definiranog propisima. Koji predstavlja spektar maksimalnog odgovora JS za dano prigušenje, u ovom slučaju od 5%. Korigirajući ga preko faktora ponašanja q_0 i k_w, gdje faktor q_0 predstavlja osnovnu mjeru apsorpcije seizmičke energije date građevine, a k_w oblik prevladavajućeg sloma konstrukcije. Pomnoženi daju faktor ponašanja q, koji diktira promjenu vršnih vrijednosti horizontalnog proračunskog spektra u odnosu na horizontalni elastični spektar ubrzanja tla i mjera je sposobnosti nelinearnog ponašanja građevine.

Konstrukcija promatrane građevine svrstava se u klasu DCM, stoga vrijednost faktora q_0 za promatrani konstruktivni sustav tj. sustav nepovezanih zidova iznosi

$$q_0 = 3.0\alpha_0 / \alpha_1$$

$\alpha_0 / \alpha_1 = 1.0$ -zidni sustavi sa samo dva nepovezana zida

α_1 -množitelj horizontalnog seizmičkog djelovanja pri pojavi prvog plastifikacijskog zgloba

α_0 -množitelj horizontalnog seizmičkog djelovanja pri pojavi mehanizma

,faktor k_W računa se za oba pravca po formuli:

$$k_W = 0.5 \le (1+\alpha_0)/3 \le 1$$

$\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum L_{wi}$ -prevladavajući geometrijski omjer zidova

h_{wi} -visina zida

L_{wi} -duljina zida

Za smjer x iznosi: $k_W = 1.0$, kao i za smjer y: $k_W = 1.0$

Iz čega slijedi da je faktor ponašanja q jednak za oba smjera i iznosi:

$$q = q_0 \cdot k_W = 3.0 \cdot 1.0 = 3.0$$

Prema HRN EN 1998-1, sustav treba imati dovoljnu torzijsku krutost, što se postiže zadovoljavanjem kriterija:

$$e_{0,x} \le 0,30 \cdot r_s \qquad r_s \ge \mathrm{l_s}$$

,gdje je:

$e_{0,x}$ -udaljenost između središta krutosti i središta masa mjerena uzduž osi x, okomito na smjer proračuna

r_s -drugi korijen omjera torzijske krutosti i bočne krutosti u smjeru y -polumjer torzije

$\mathrm{l_s}$ -polumjer inercije mase stropa u tlocrtu ,odnosno drugi korijen omjera polarnog momenta tromosti mase kata u tlocrtu s obzirom na središte masa kata i mase kata

7. REZULTATI MODALNE ANALIZE

7.1. Prikaz rezultata

Za horizontalno računsko ubrzanje a_g=0,22g primjenom linearne višemodalne spektralne analize za 20 modova odnosno tonova osciliranja dobiveni su periodi osciliranja konstrukcije:

Tablica 7.1. Periodi modova konstrukcije

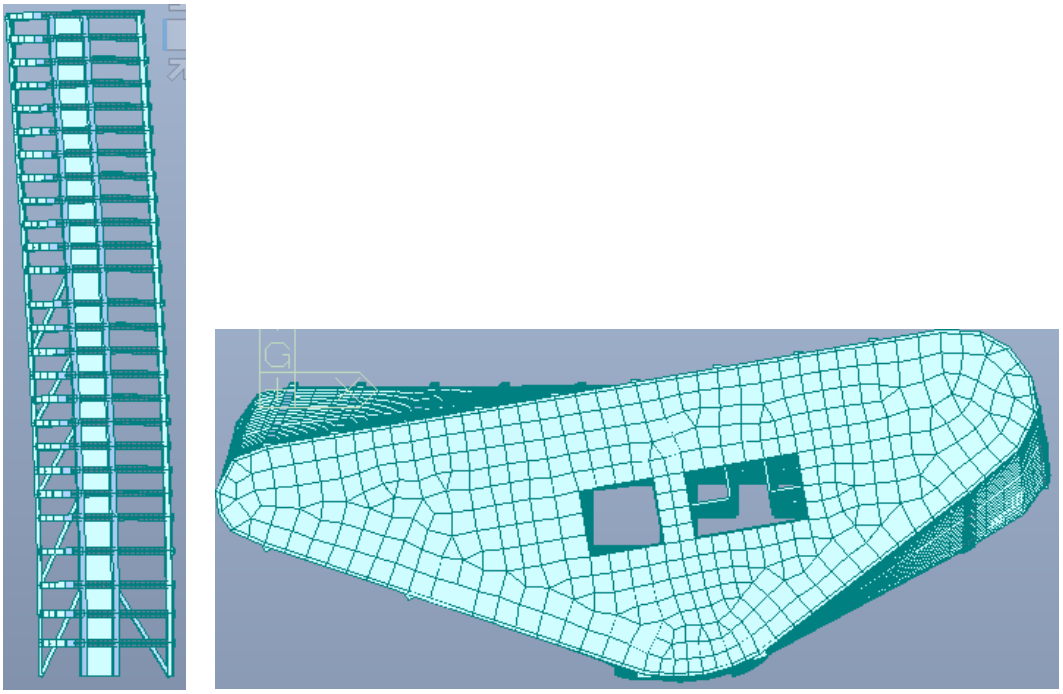
EIGENVALUE ANALYSIS					
	Mode No	Frequency		Period	Tolerance
		(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
	1	3.8873	0.6187	1.6164	4.7022e-016
	2	6.9033	1.0987	0.9102	1.4910e-016
	3	10.3619	1.6492	0.6064	2.6471e-016
	4	15.7057	2.4996	0.4001	1.1522e-016
	5	20.1673	3.2097	0.3116	5.5904e-016
	6	30.9274	4.9222	0.2032	4.7538e-012
	7	34.5279	5.4953	0.1820	3.0510e-009
	8	37.9130	6.0340	0.1657	1.6070e-006
	9	39.1808	6.2358	0.1604	1.3629e-005
	10	41.3098	6.5747	0.1521	8.1231e-004
	11	41.8507	6.6607	0.1501	6.9097e-004
	12	42.3032	6.7328	0.1485	6.7486e-004
	13	42.4380	6.7542	0.1481	1.1086e-004
	14	42.4991	6.7639	0.1478	1.0746e-004
	15	42.6431	6.7869	0.1473	8.0255e-005
	16	42.6792	6.7926	0.1472	2.7864e-005
	17	42.6951	6.7951	0.1472	1.1270e-004
	18	42.7413	6.8025	0.1470	3.0885e-005
	19	42.8350	6.8174	0.1467	6.9350e-005
	20	42.9187	6.8307	0.1464	3.7351e-005

Kao i ukupna aktivirana masa konstrukcije

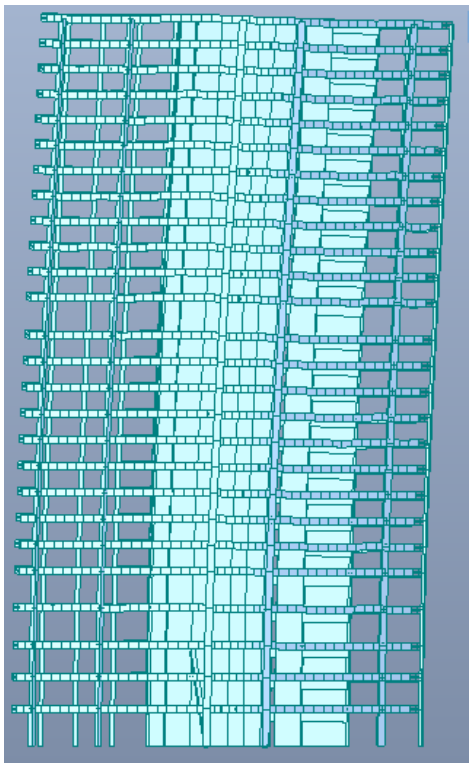
Tablica 7.2. Aktivirana masa po modovima

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	0.0029	0.0029	63.2574	63.2574	0.0052	0.0052	0.2190	0.2190	0.0000	0.0000	0.1407	0.1407
2	2.4063	2.4092	0.0527	63.3101	0.0005	0.0056	0.0076	0.2266	0.0186	0.0186	73.2102	73.3509
3	63.5234	65.9326	0.0108	63.3209	0.0005	0.0061	0.0001	0.2267	1.4317	1.4503	2.3736	75.7245
4	0.0041	65.9367	18.7906	82.1114	0.0108	0.0169	0.1402	0.3669	0.0012	1.4516	0.0947	75.8192
5	0.0537	65.9904	0.3327	82.4442	0.0034	0.0203	0.0236	0.3904	0.0833	1.5349	11.3946	87.2138
6	0.8484	66.8388	0.0846	82.5288	21.2358	21.2561	2.8841	3.2746	33.2247	34.7595	0.1235	87.3373
7	0.2863	67.1251	2.7940	85.3228	0.1583	21.4144	0.0429	3.3175	0.4550	35.2146	2.0616	89.3989
8	0.4187	67.5438	3.4391	88.7620	3.9019	25.3163	0.0020	3.3195	2.4319	37.6465	1.9809	91.3797
9	14.0391	81.5829	0.2787	89.0406	9.7492	35.0655	0.0207	3.3402	4.9827	42.6291	0.0024	91.3821
10	0.0358	81.6187	0.0114	89.0521	0.9706	36.0360	3.8217	7.1619	6.6838	49.3129	0.0004	91.3825
11	1.1862	82.8049	0.0769	89.1289	15.3019	51.3380	25.5711	32.7330	1.3462	50.6592	0.0597	91.4423
12	0.2531	83.0580	0.0047	89.1337	2.3505	53.6884	1.9200	34.6530	0.1928	50.8520	0.0068	91.4490
13	0.0052	83.0632	0.0002	89.1339	0.0130	53.7014	0.0265	34.6795	0.0158	50.8678	0.0002	91.4492
14	0.0087	83.0719	0.0000	89.1339	0.1811	53.8825	0.0000	34.6796	0.0371	50.9048	0.0000	91.4492
15	0.0157	83.0877	0.0000	89.1339	0.3242	54.2067	0.0112	34.6907	0.1028	51.0077	0.0000	91.4492
16	0.0054	83.0931	0.0000	89.1339	0.1016	54.3083	0.0004	34.6911	0.0866	51.0942	0.0007	91.4499
17	0.0019	83.0950	0.0000	89.1339	0.0927	54.4010	0.0537	34.7448	0.0158	51.1101	0.0000	91.4499
18	0.0010	83.0960	0.0000	89.1339	0.0084	54.4094	0.0054	34.7502	0.0050	51.1151	0.0005	91.4504
19	0.0081	83.1041	0.0002	89.1341	0.0572	54.4666	0.0214	34.7716	0.0007	51.1158	0.0000	91.4505
20	0.0042	83.1083	0.0001	89.1341	0.1021	54.5686	0.0026	34.7742	0.0355	51.1513	0.0001	91.4505

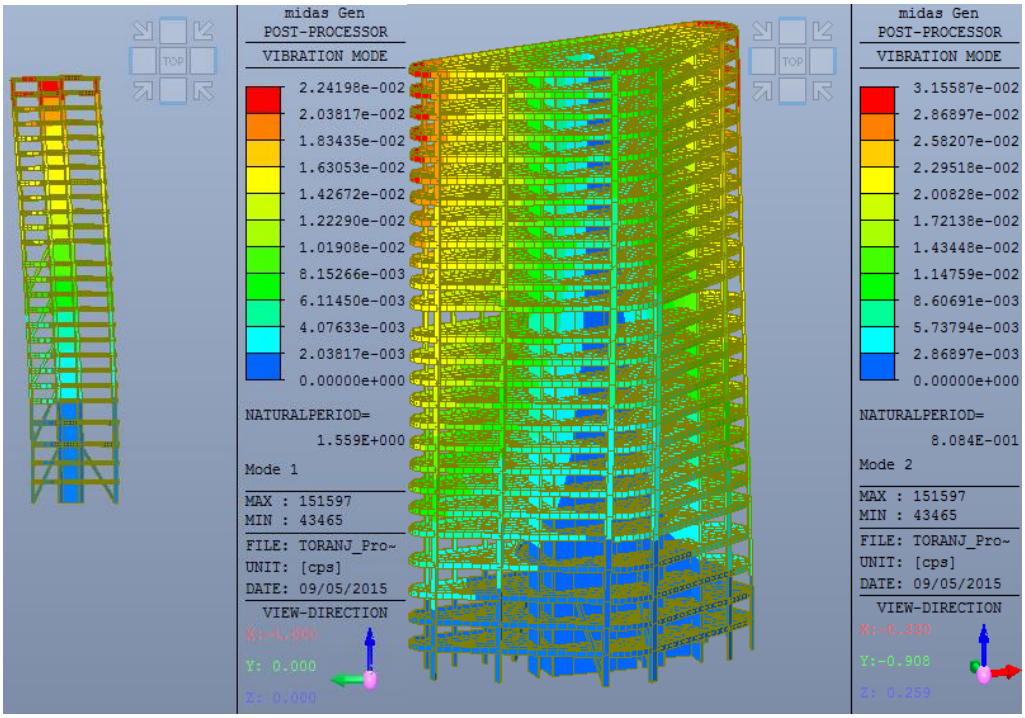
Zbog zahtjeva aktivacije mase u x i y smjeru od 90 % u seizmička opterećenja S_x i S_y skaliraju se sa faktorima 1.1 za S_x, odnosno 1.0 za S_y



Slika 7.1. I i II. vlastiti vektor –smjer y



Slika 7.2. III. vlastiti vektor –smjer x



Slika 7.3. Prikaz pomaka u y i x smjeru

8. NELINEARNA STATIČKA METODA POSTUPNOG NAGURAVANJA

8.1. Uvod

Nelinearna statička metoda postupnog naguravanja je metoda u kojoj su prisutna vertikalna i horizontana opterećenja, pritom su vertikalna opterećenja prvensveno gravitacijska i konstantne vrijednosti , dok su horizontalna linearno rastuća. Horizontalna opterećenja se mogu zadati u obliku perioda konstrukcije, normaliziranih perioda ili prema profilu vjetra.

Osnova metode naguravanje je transformicijajednadžbe gibanja višestupnjevnog sustava u jednadžbu gibanja ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava:

$$m^* \ddot{D}^* + F^* = -m^* a_g$$

,gdje $m^* \ddot{D}^*$ predstavlja unutarnje sile sustava uslijed deformiranja, F^* unutarnje sile uslijed vanjskog statičkog opterećenja, $-m^* a_g$ inercijalne sile sustava uslijed gibanja podloge,

$$m^* = \sum m_i \Phi_i$$

m_i - masa i-tog kata; Φ_i , - pripadni vlastiti oblik,

Ukupnu masu kata čine: vlastite težine kata, dolazi dodatno stalno i promjenjivo opterećenje pomnoženo sa koeficijentom 0.3.

$$D^* = \frac{D}{\Gamma}$$

, gdje je D pomak vrha konstrukcije višestupnjevnog sustava, Γ fakor transformacije, jednak za pomak i za poprečnu silu.

$$F^* = \frac{V}{\Gamma}$$

V -poprečna sila u razini temelja promatranog višestupnjevnog sustava

$$\Gamma = \frac{m_i^*}{\sum m_i \Phi_i^2}$$

Zatim se određuje idealizirani odnos elasto-plastična sila-pomak iz krivulje ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava.

$$d_y^* = 2\left(d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$$

, gdje je d_y^* pomak pri pojavi prve plastifikacije ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava, d_m^* a pomak pri pojavi mehanizma plastifikacije.

F_y^* Je sila pri kojoj nastupa plastifikacija ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava, a E_m^* stvarna deformacijska energija do formiranja plastičnog mehanizma.

Određujemo period ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava:

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* \cdot d_y^*}{F_y^*}}$$

Kao i ciljani pomak ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava u odnosu na elastični spektar ubrzanja:

$$\mathrm{d}_{\mathrm{et}}^* = S_e(T^*) \left[\frac{T^*}{2\pi} \right]^2$$

, gdje je $S_e(T^*)$ elastični spektar horizontalnog ubrzanja za period ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava od T^*

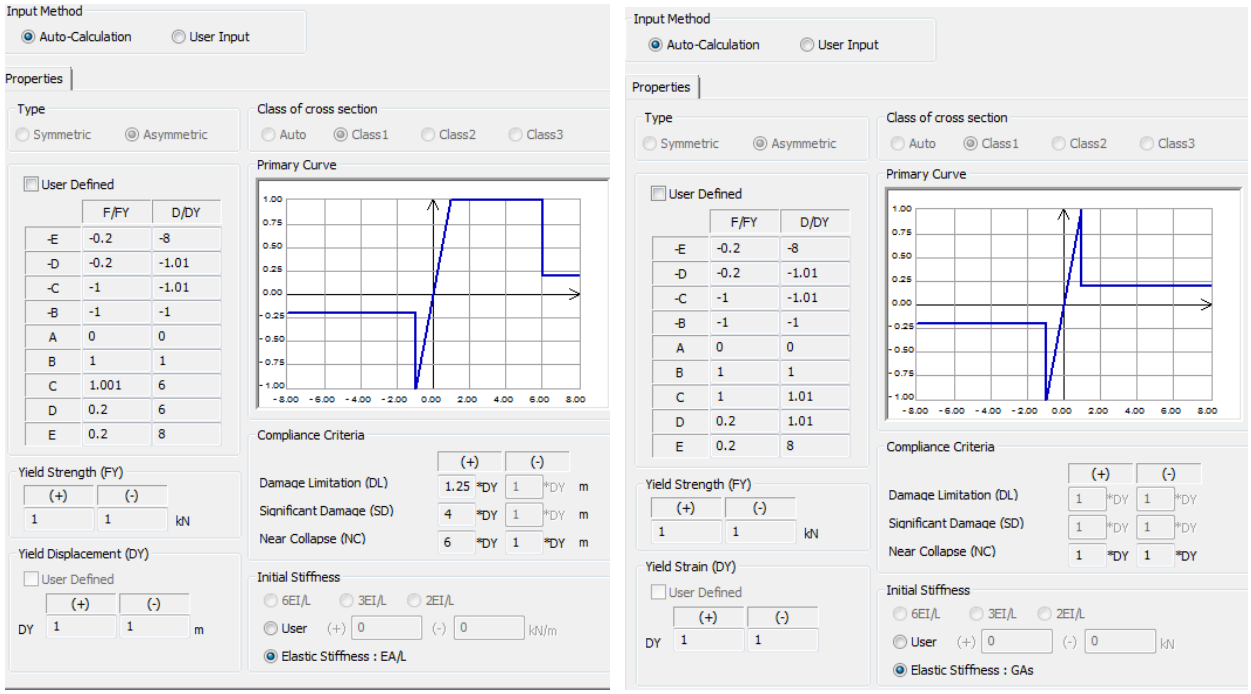
Za slučaj kada je $T^* \geq T_C$ tj. za srednje i duge periode vrijedi da je $\mathrm{d}_{\mathrm{et}}^* = \mathrm{d}_{\mathrm{t}}^*$

Slijedi određivanje ciljanog pomaka višestupnjevnog sustava preko ciljanog pomaka ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava:

$$d_t \geq \Gamma \cdot d_t^*$$

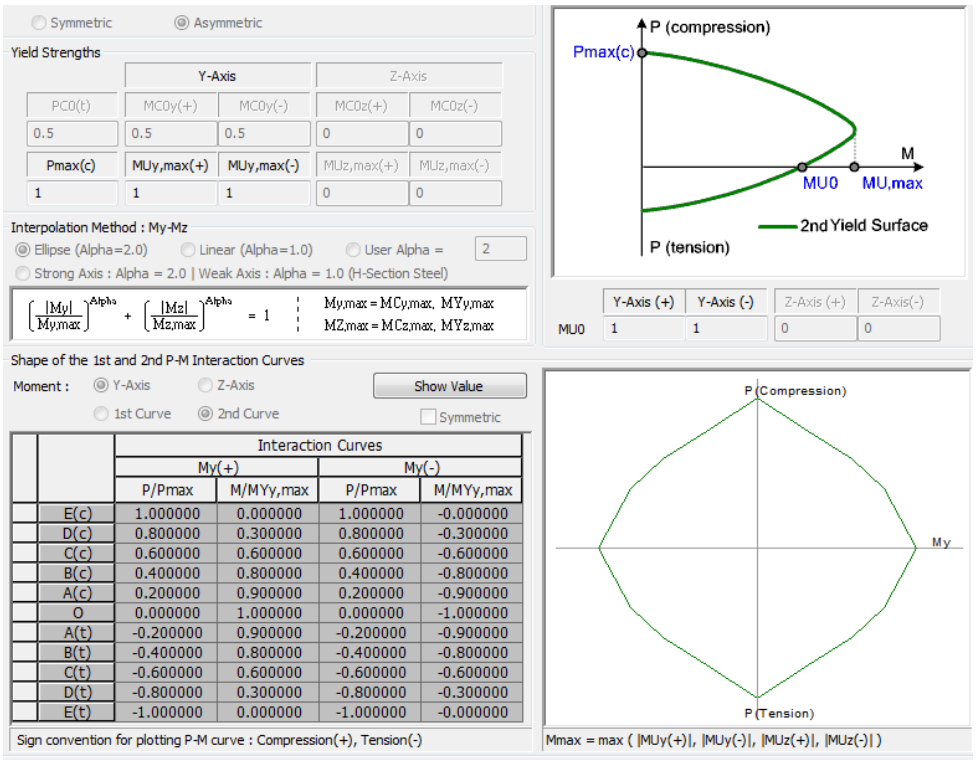
Proračun je proveden u računalnom programu Midas Gen 2015.

Svaka odabrana veličina F_x, F_z i M_y za praćenje svojstava konstrukcije ima unaprijed definiranu krivulju relativnog odnosa sila-pomak, koju računalni program automatski proračunava na osnovu karakteristika presjeka armiranog betona prema HRN EN 1992.



Slika 8.1. Krivulja ponašanja za uzdužnu i poprečnu silu

Za moment M_y prikazan je kapacitet nosivosti za interakciju uzdužne sile i momenta savijanja.

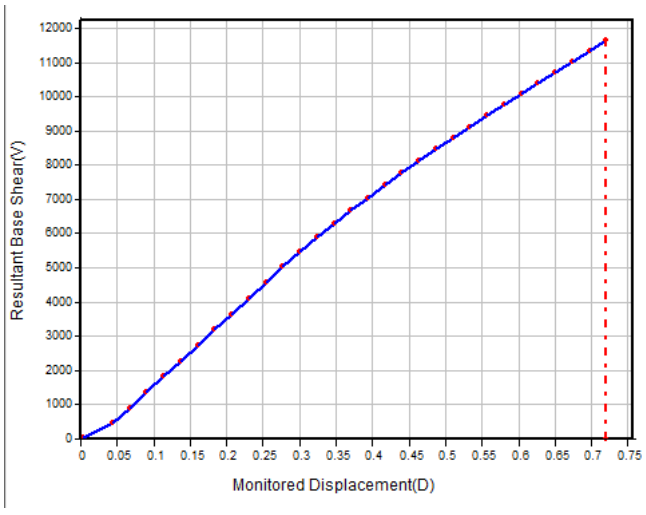


Slika 8.2. Krivulja kapaciteta nosivosti

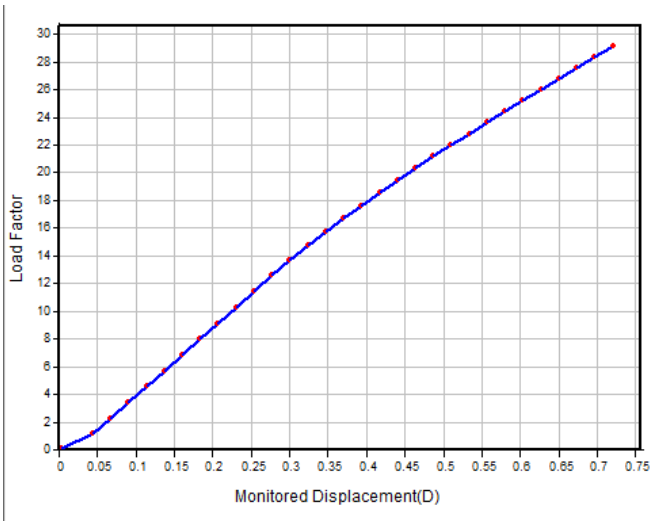
9. REZULTATI NELINEARNE METODE POSTUPNOG NAGURAVANJA

9.1. Prikaz rezultata

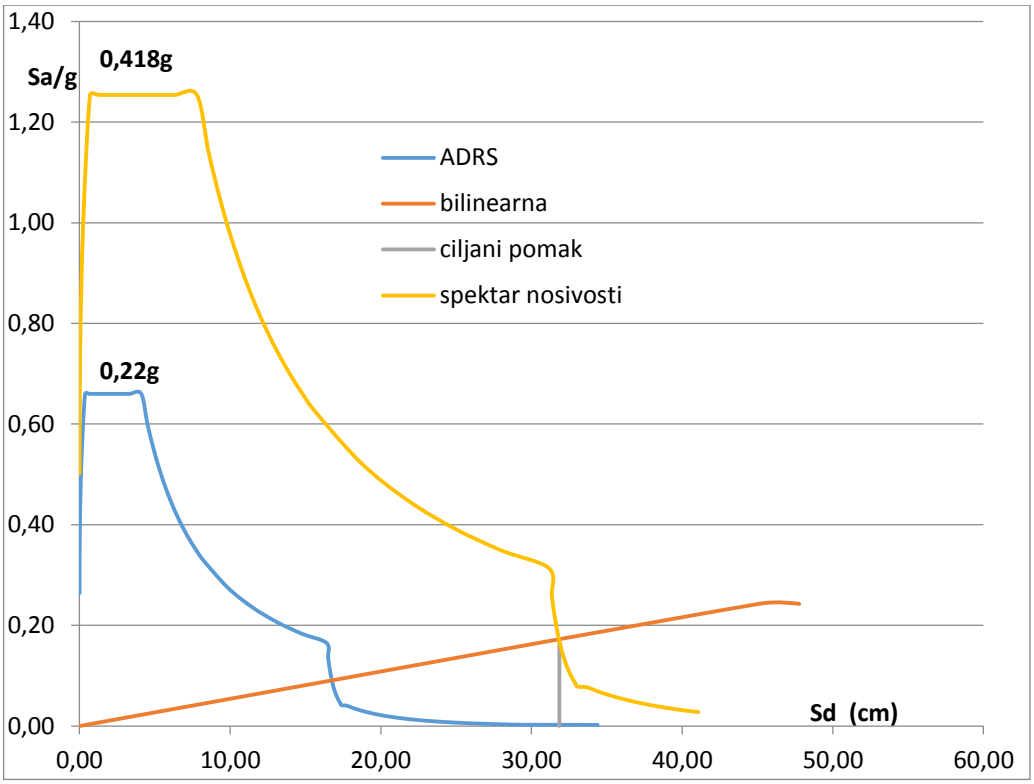
Rezultati nelinearne metode postupnog naguravanja prikazani su na slijedećim slikama



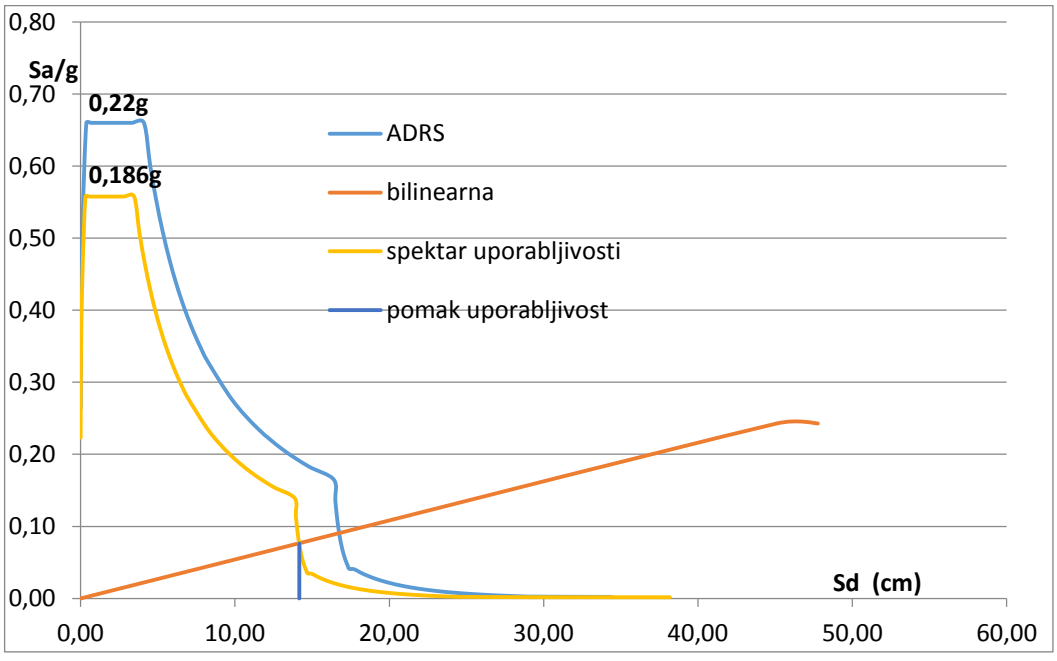
*SLIKA 9.1. Krivulja naguravnja za vjetar **wy***



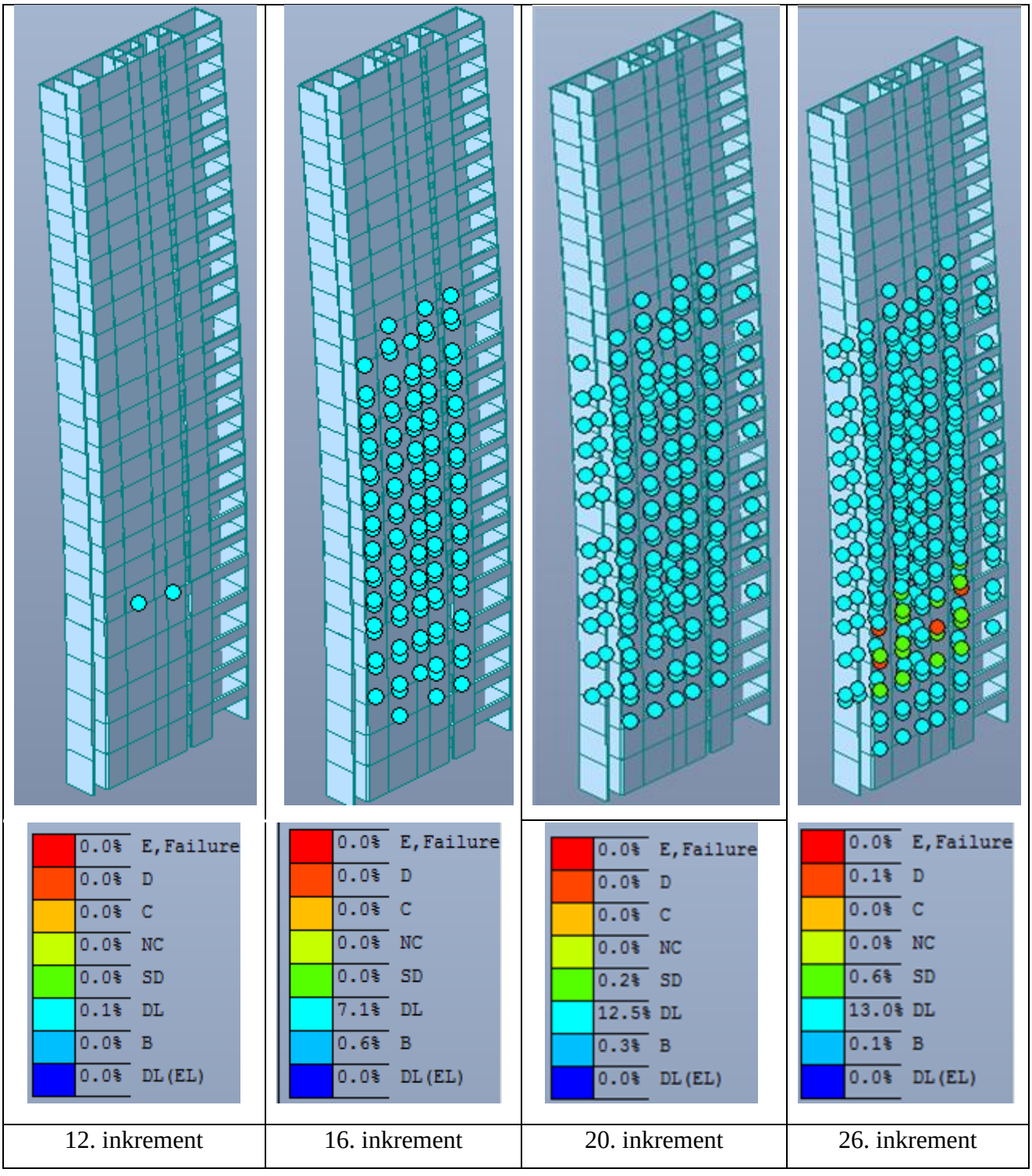
Slika 9.2. Krivulja faktora opterećenja za vjetar W_y



Slika 9.3. a_{gr} za GSN

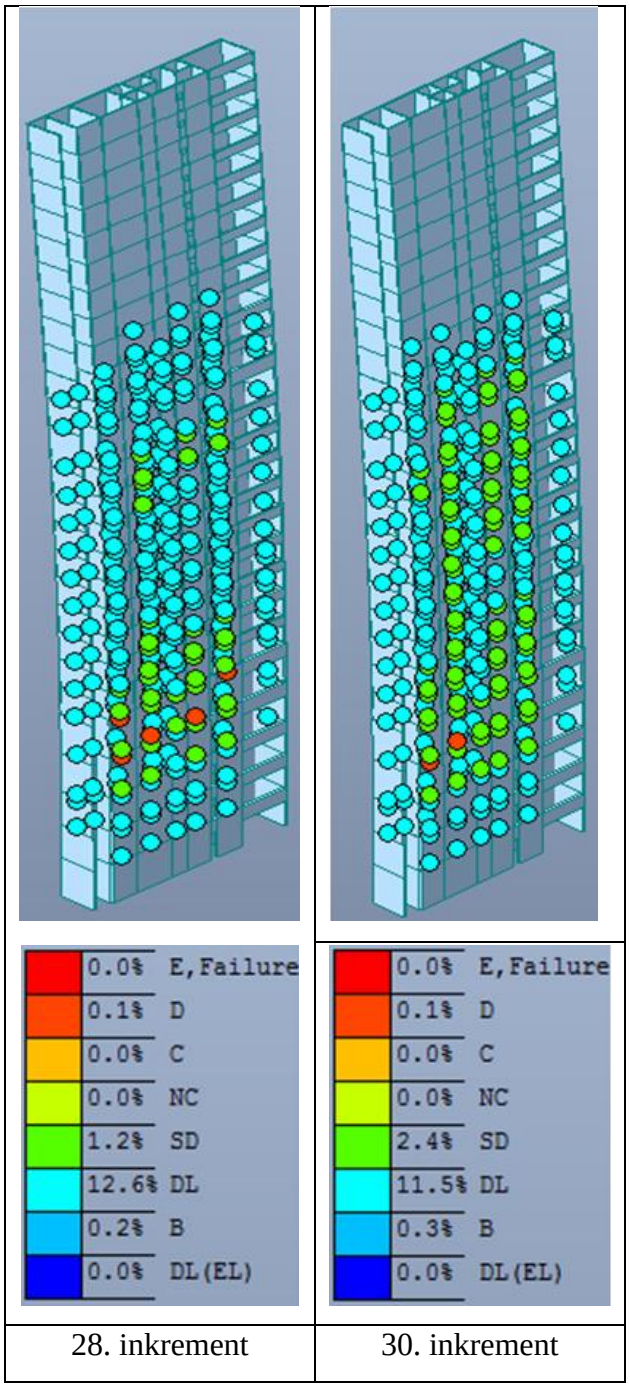


Slika 9.4. agr za GSU

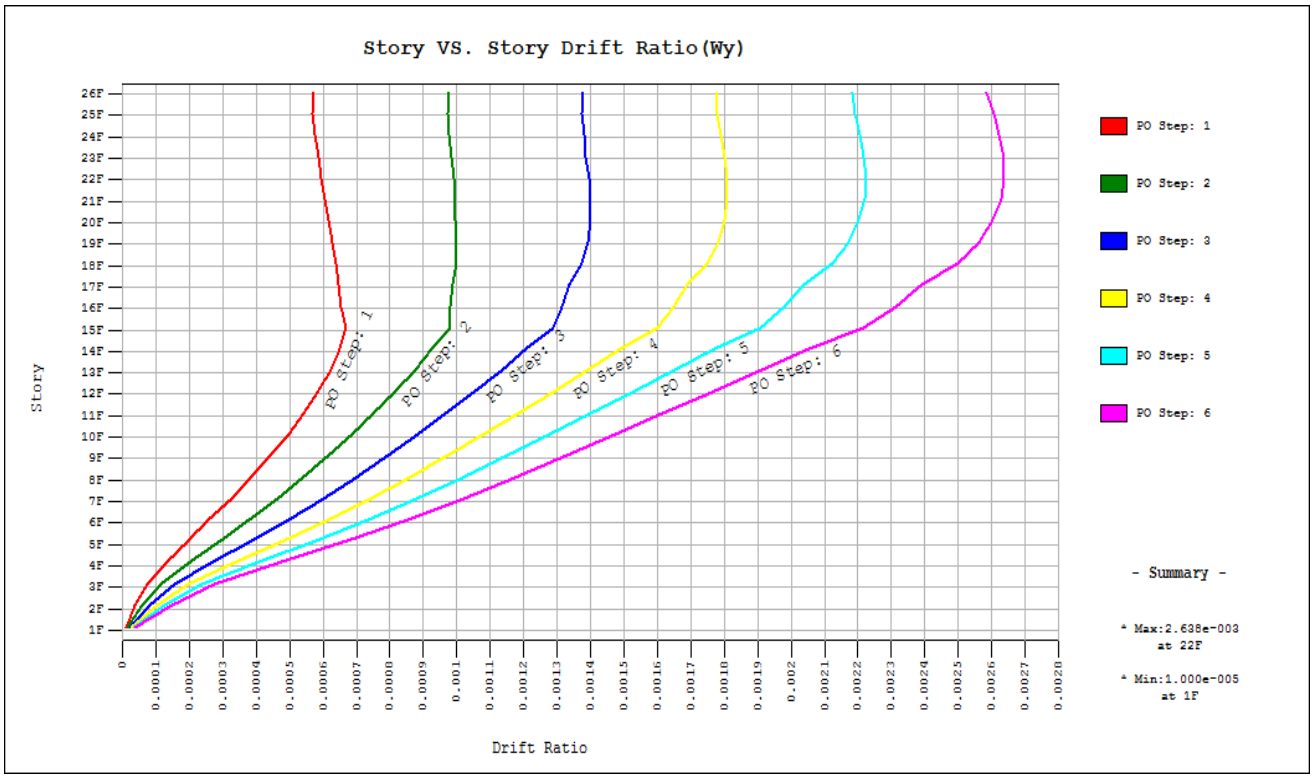


12. inkrement	16. inkrement	20. inkrement	26. inkrement

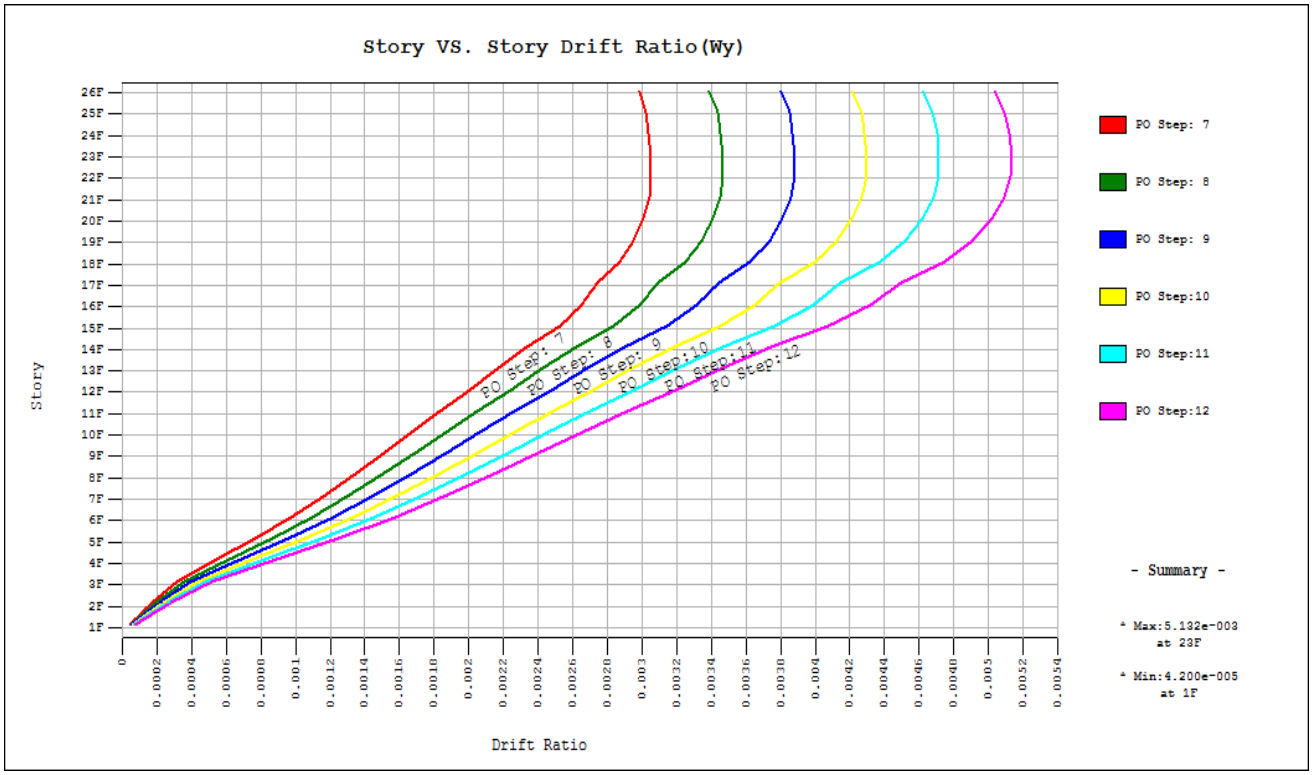
Slika 9.5. Prikaz plastifikacijskih zglobova-.inkrement 12.-26.



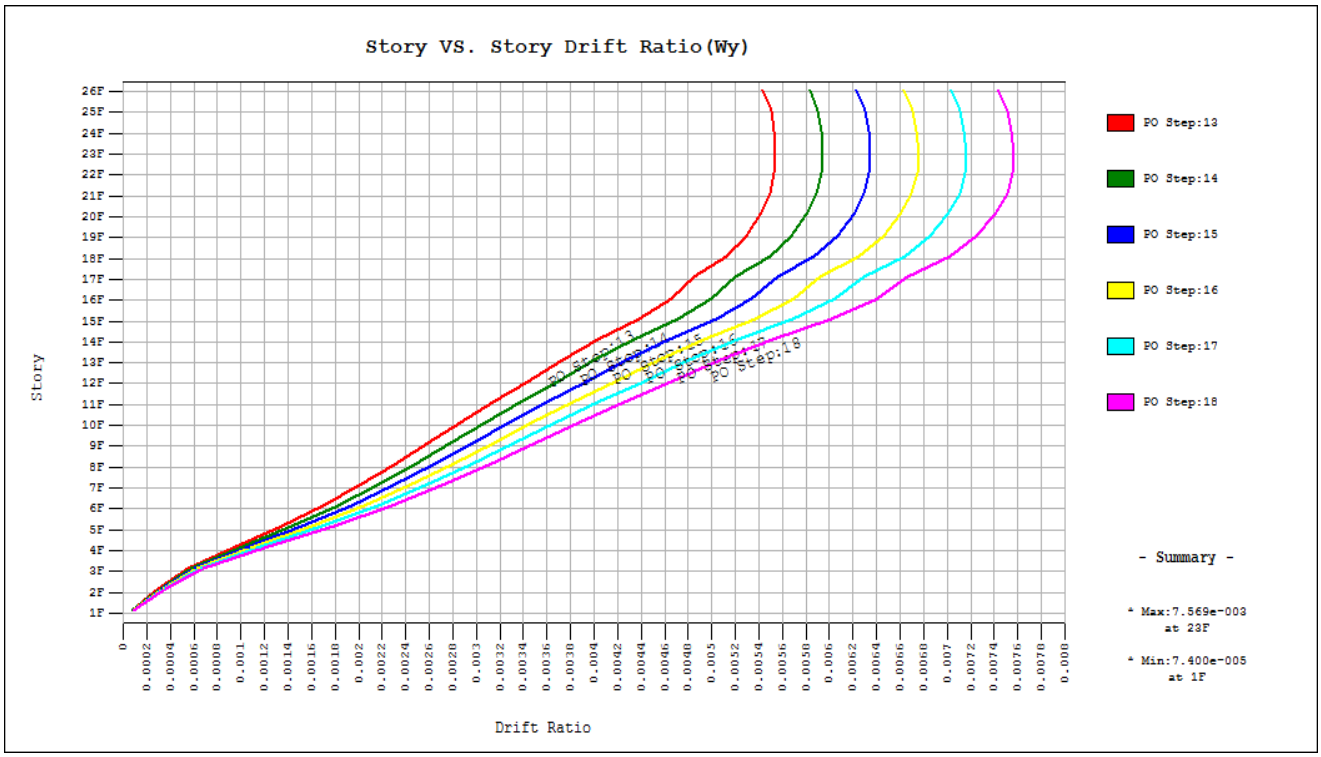
Slika 9.6. Prikaz plastifikacijskih zglobova-.inkrement 28.-30.



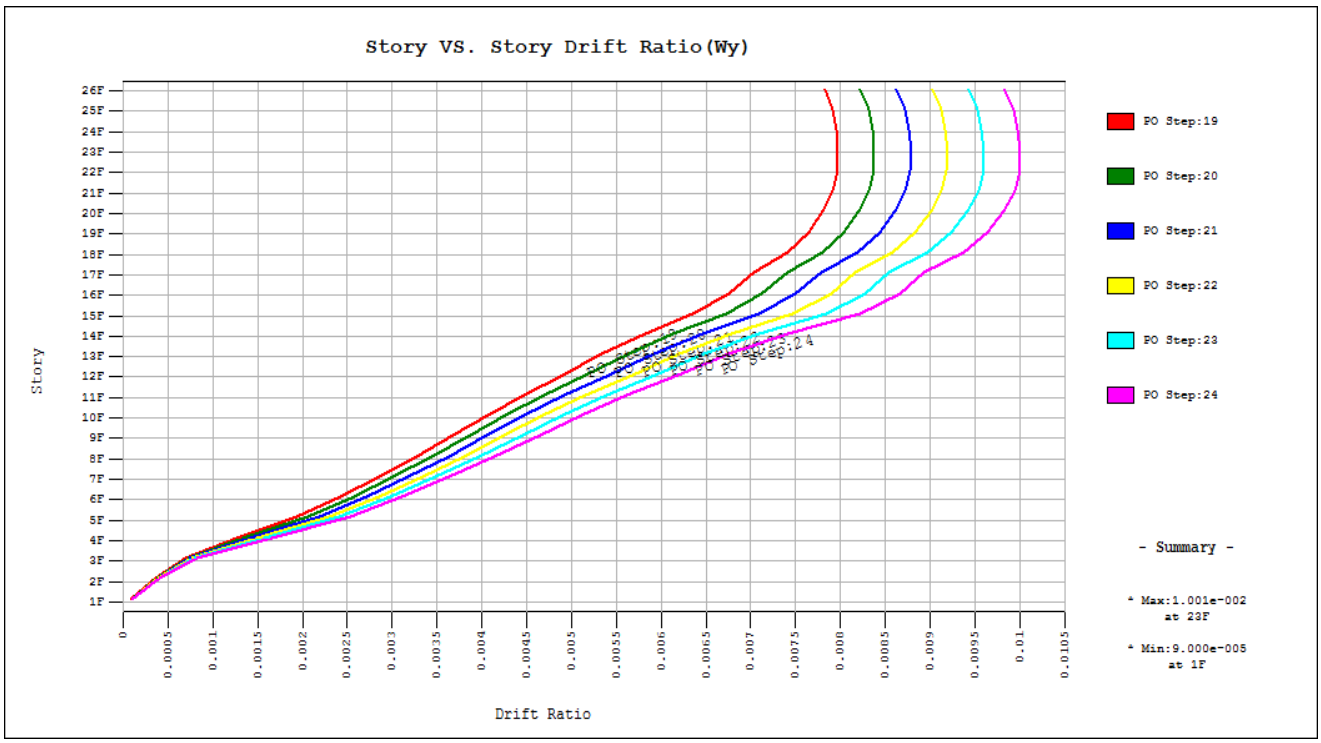
Slika 9.7. Prikaz relativnih pomaka etaža od 1. do 6.inkrementa



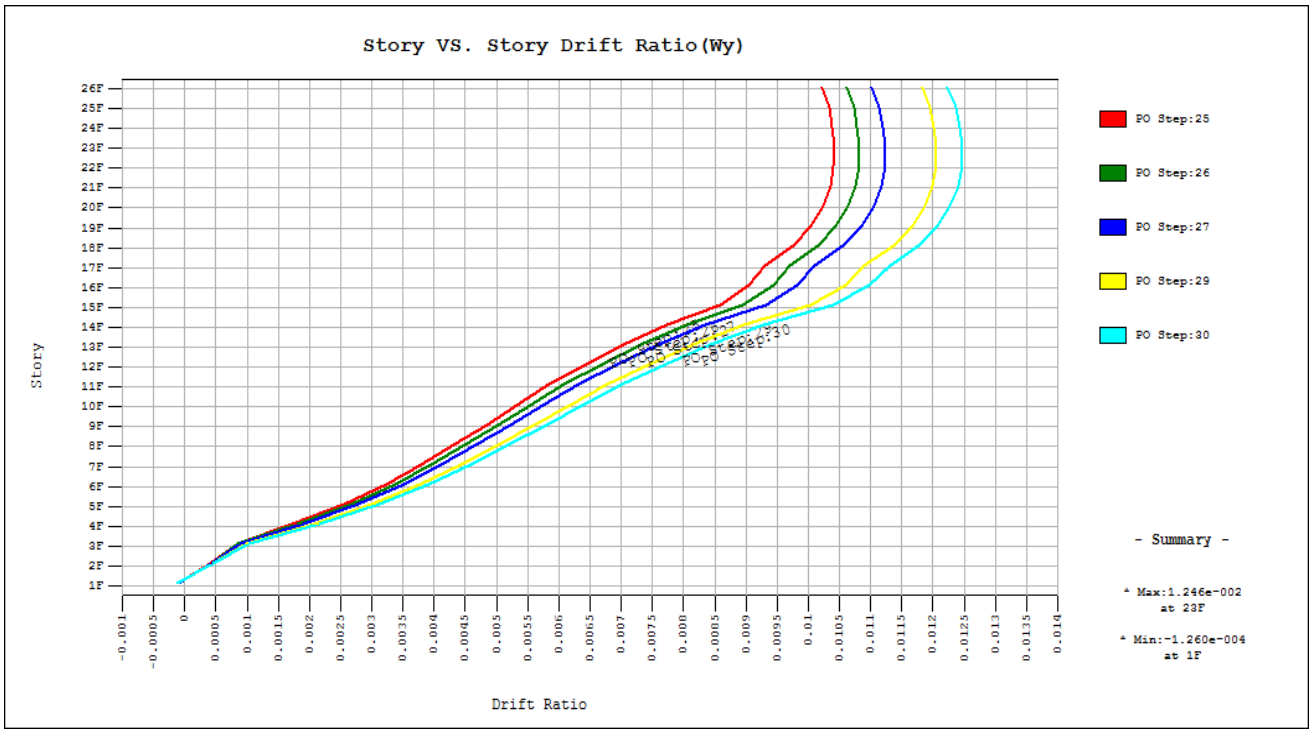
Slika 9.8. Prikaz relativnih pomaka etaža od 7. do 12.inkrementa



Slika 9.9. Prikaz relativnih pomaka etaža od 13. do 18.inkrementa



Slika 9.10. Prikaz relativnih pomaka etaža od 19. do 24.inkrementa



Slika 9.11. Prikaz relativnih pomaka etaža od 24. do 30.inkrementa

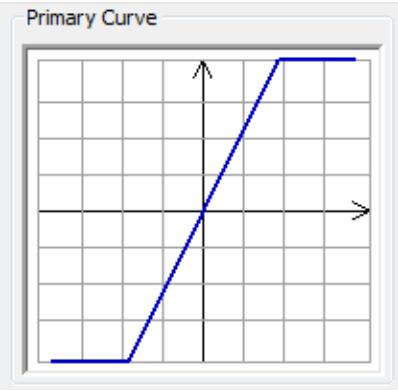
Na osnovu priloženih rezultata metode naguravanja ocijenjena je rezervna nosivosti promatrane konstrukcije iz krivulje naguravanja i faktora opterećenja. Ujedno pomoću ADRS formata je dobivena ekvivalentna razina potresnog ubrzanja za ciljani pomak dane konstrukcije odnosno spektar nosivosti, kao i spektar uporabljivosti.

10. NELINEARNO ELASTIČNA METODA ODGOVORA U VREMENU

10.1. Uvod

Nelinearna metoda odgovora u vremenu uzima u obzir nelinearno ponašanje veza elemenata konstrukcije, kao i nepoklapanje krivulja opterećenja i rasterećenja, odnosno cikličko ponašanje. U ovom primjeru upotrijebljen je histerezni model veze sila-deformacija. Proračun primjenom navedene metode obuhvaća rješavanje sustava algebarskih jednadžbi integriran po vremenu, za unaprijed određenu domenu vremena i konstrukcije, odnosno dijela konstrukcije koji se analizira. Dani sustav jednadžbi predstavlja gibanje višestupnjevnog sustava u vremenu. Pritom adekvatan odabir vremenskog koraka osigurava konvergenciju postupka. Zapis pobude može biti u obliku realnih akcelerograma tj. potresnih zapisa ili umjetnih akcelerograma. U ovom radu su korišteni zapisi realnih potresa, skalirani na računsko ubrzanje tla 0,22g.

Zadavanje svojstava histerezne petlje zidnim elementima sa pripadnim svojstvima bilinearne krivulje bez post-elastičnog očvršćivanja.



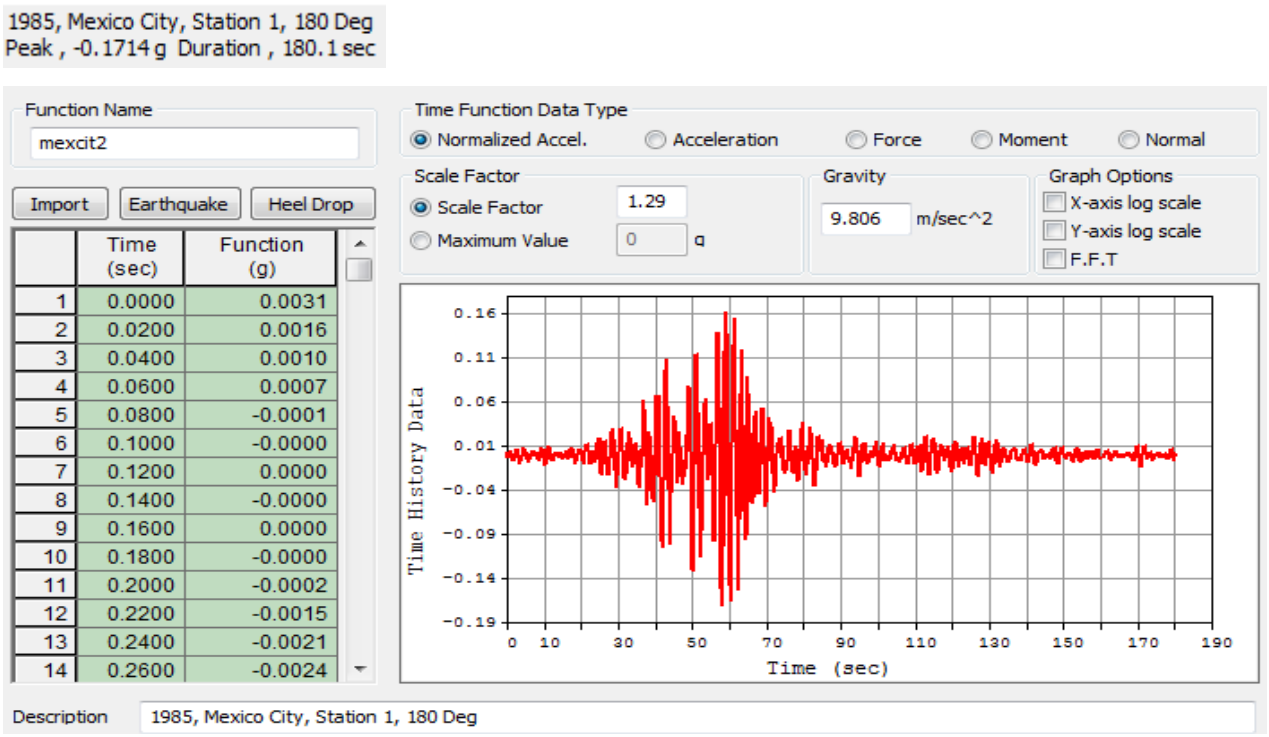
Slika 10.1. Bilinearna histerezna petlja za sile i momente

11. REZULTATI NELINEARNO ELASTIČNE METODE ODGOVORA U VREMENU

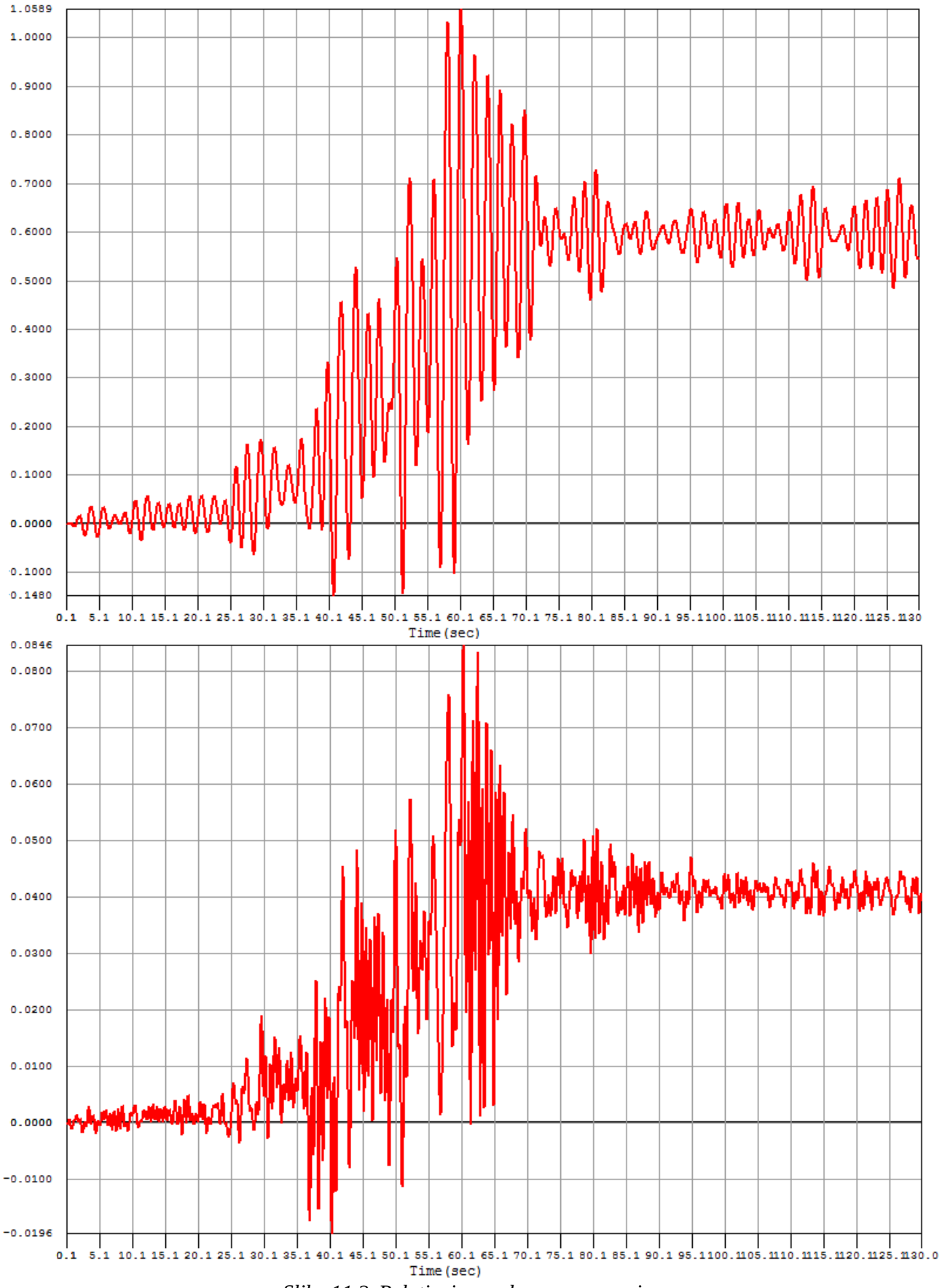
11.1. Prikaz rezultata

Rezulatati su prikazani za 7 skaliranih potresa sa pripadnim akcelerogramima i proračunskim veličinama

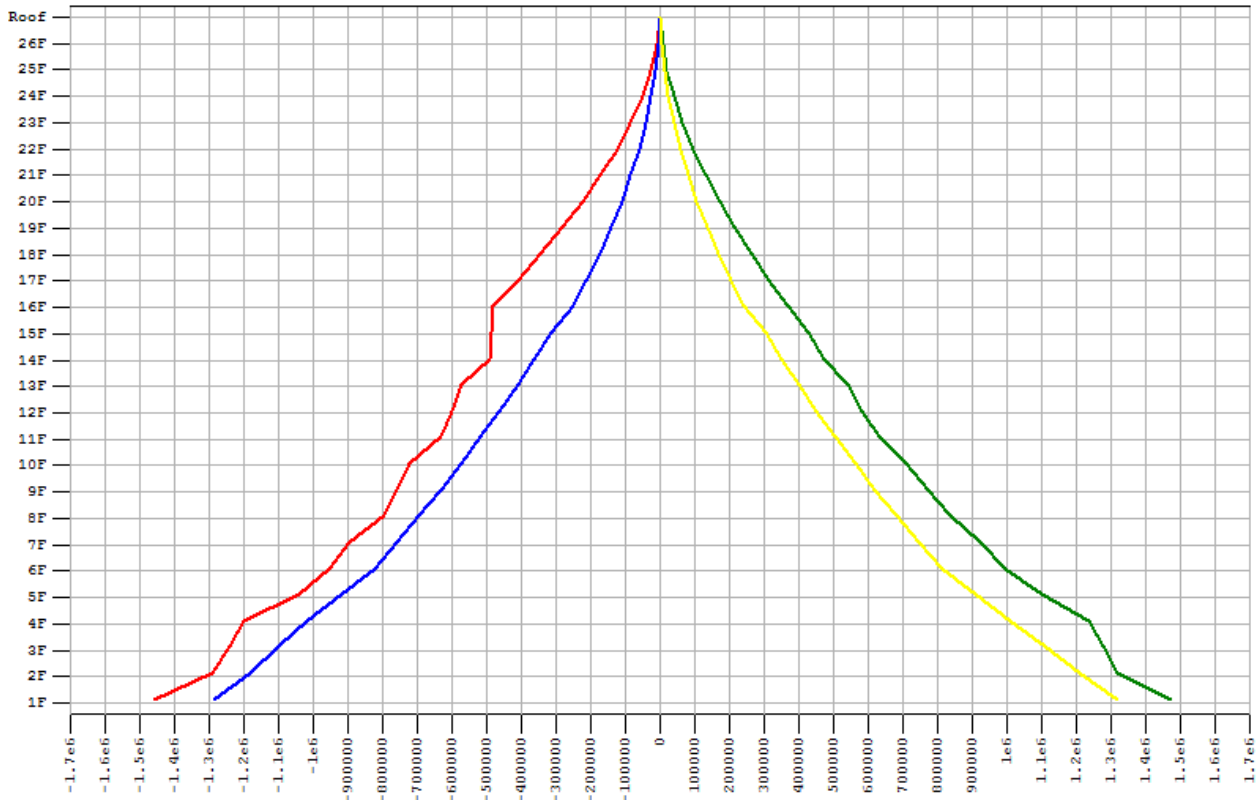
11.1.1. Mexico city



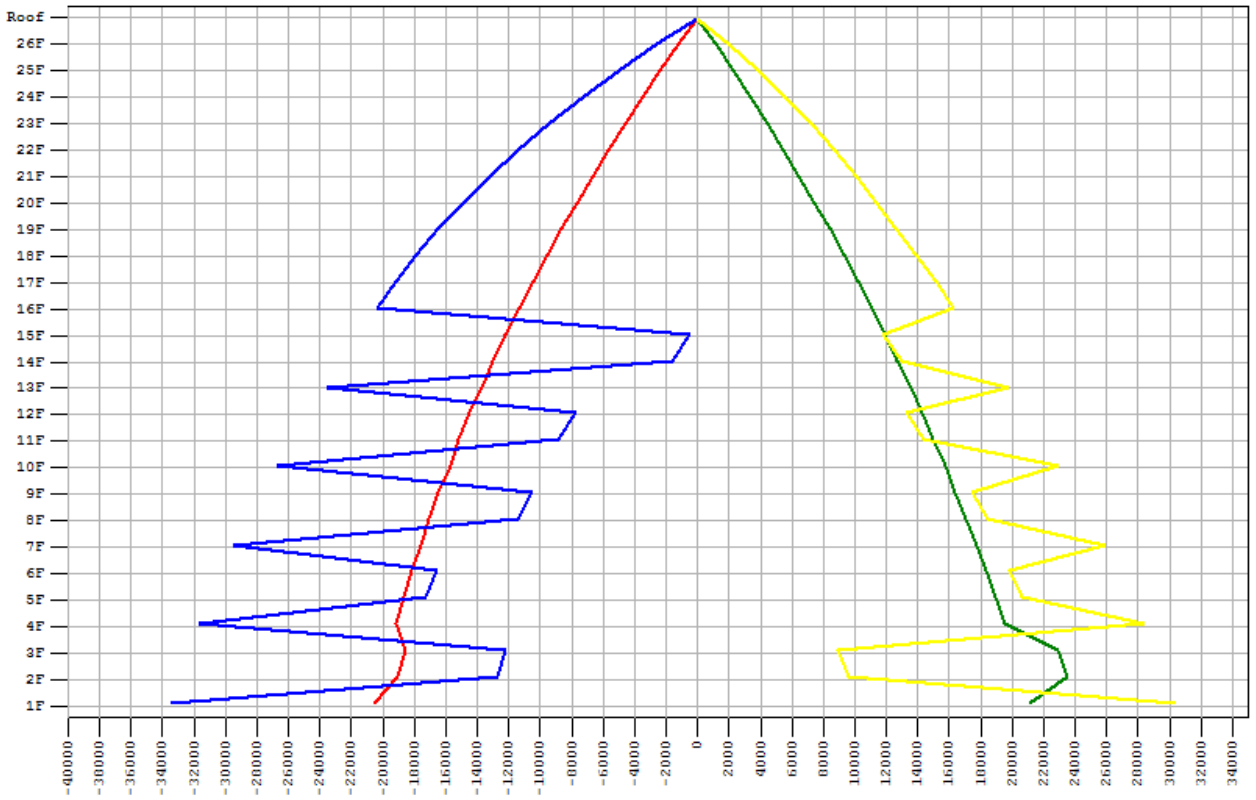
Slika 11.1. Skaliran potres Mexico City, Station 1



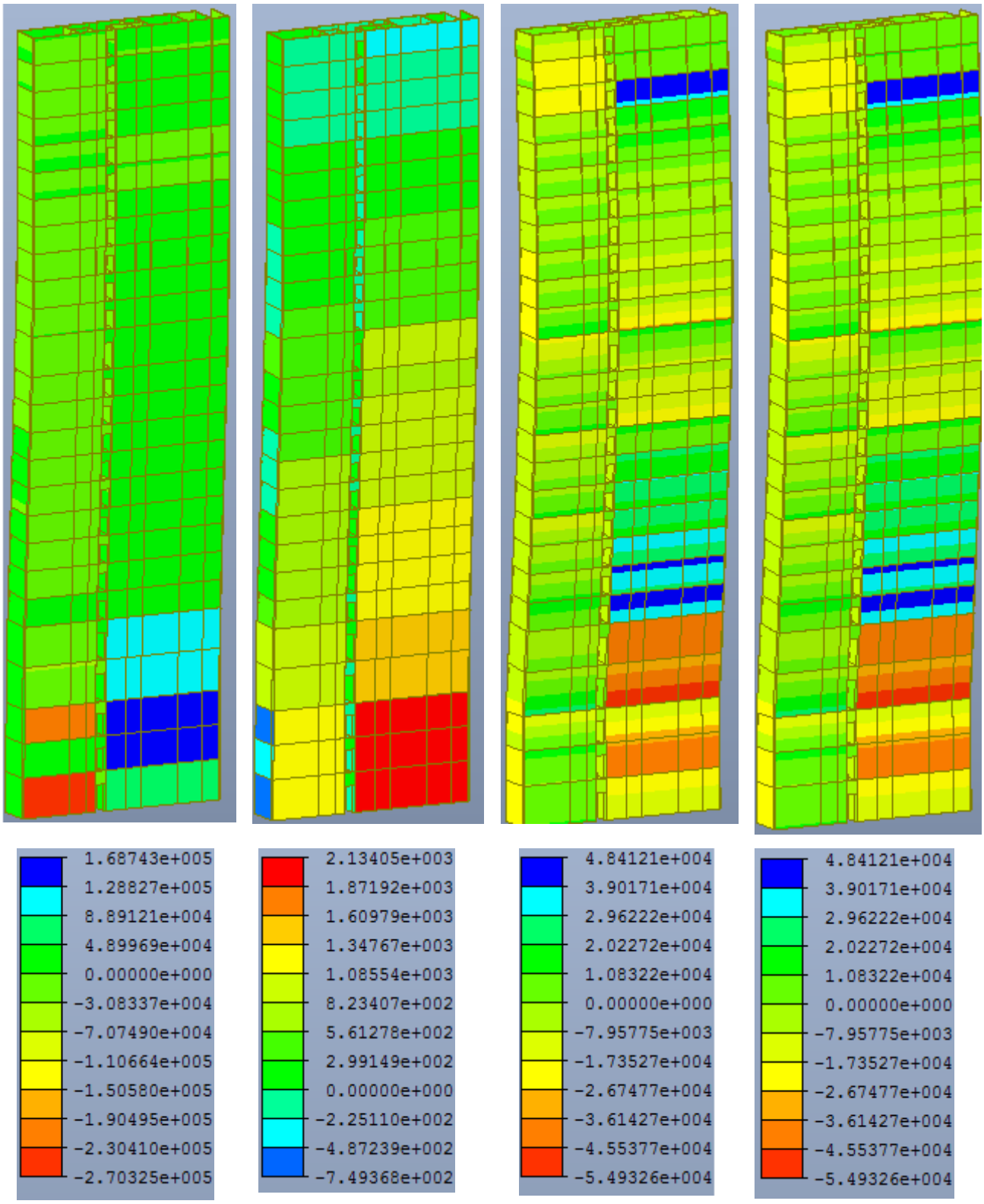
Slika 11.2. Relativni pomaku u cm-y,x smjer



Slika 11.3. Momenti savijanja x, y smjer [kNm]



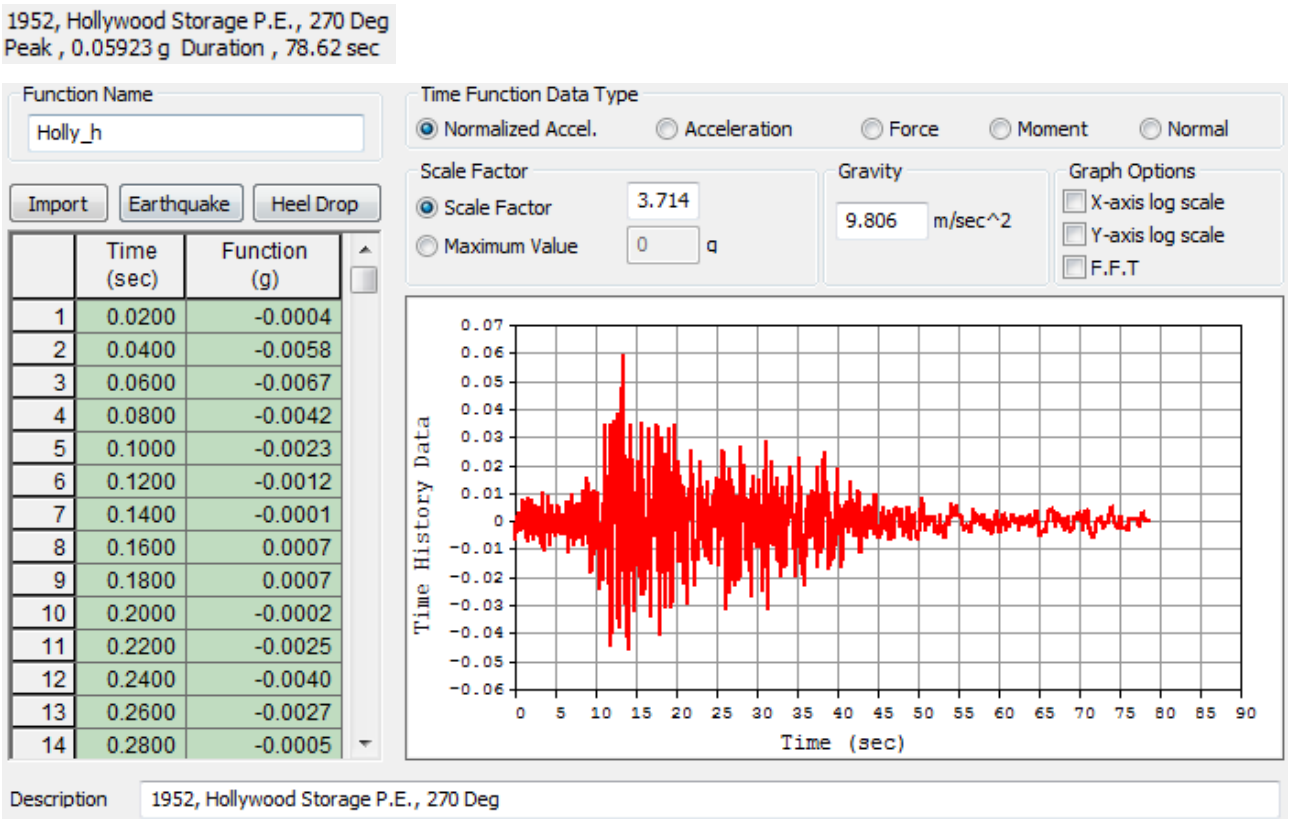
Slika 11.4. Sila uslijed posmika [kN]



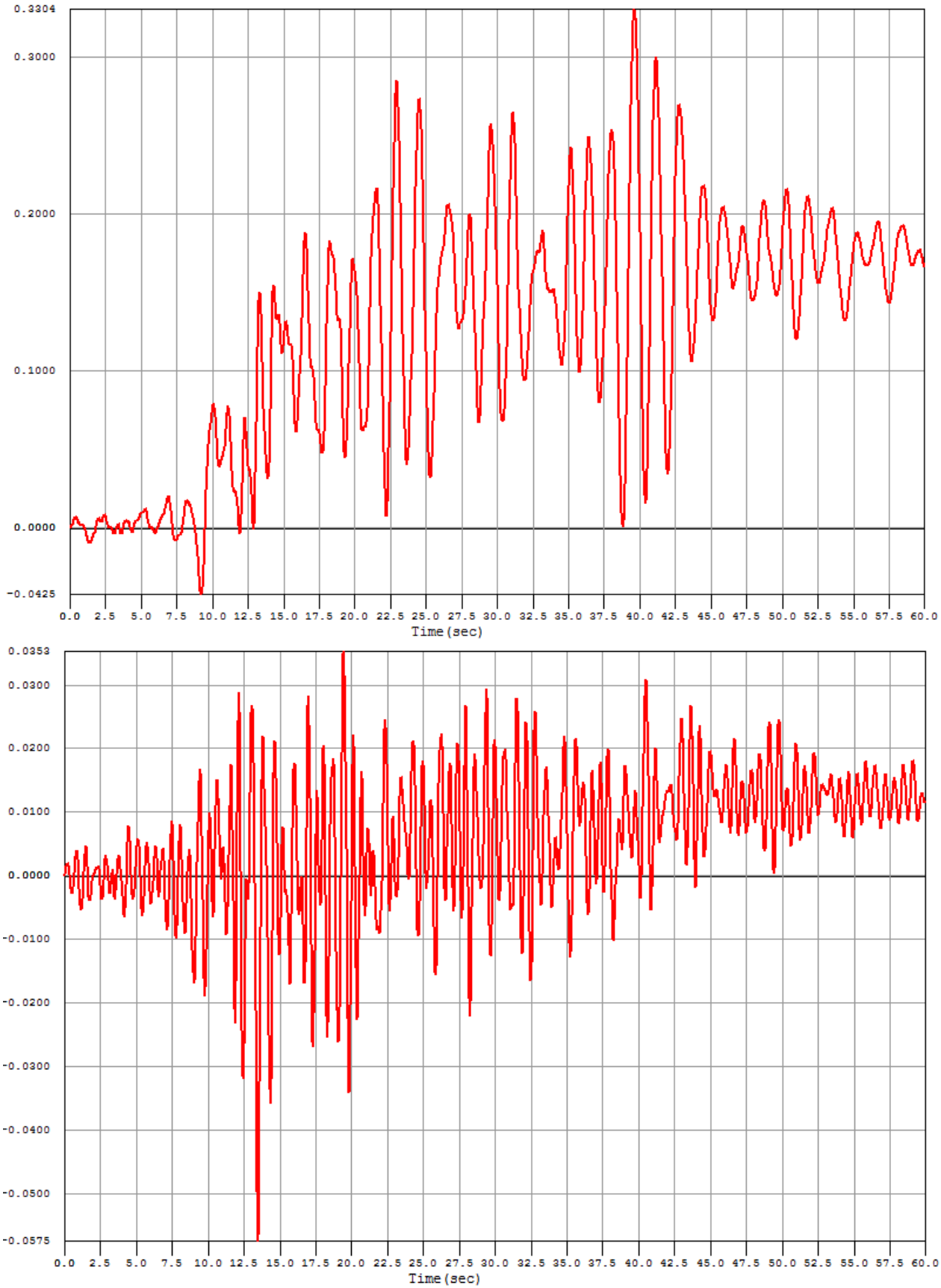
M_y, T=43,56s F_z, T=43,56s M_y, T=58,32s F_z, T=58,92s

Slika 11.5. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak

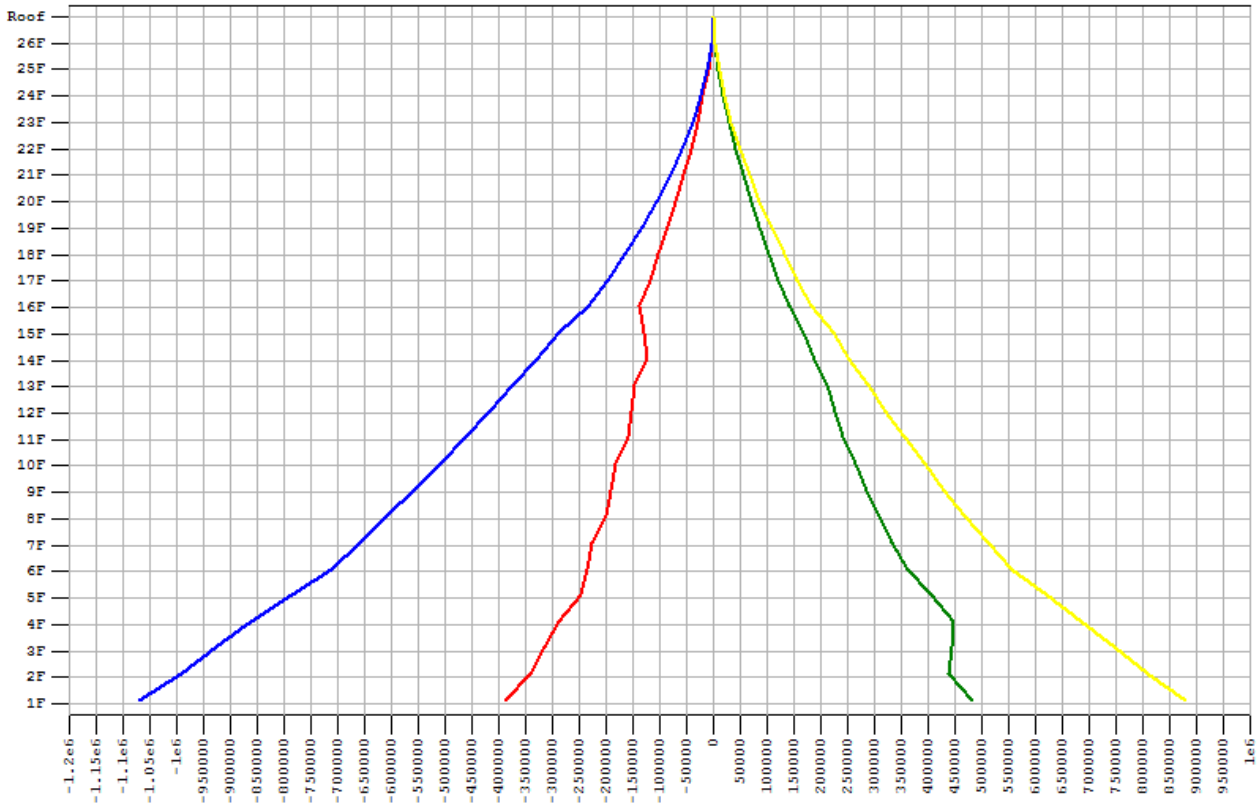
11.1.2. Hollywood Storage



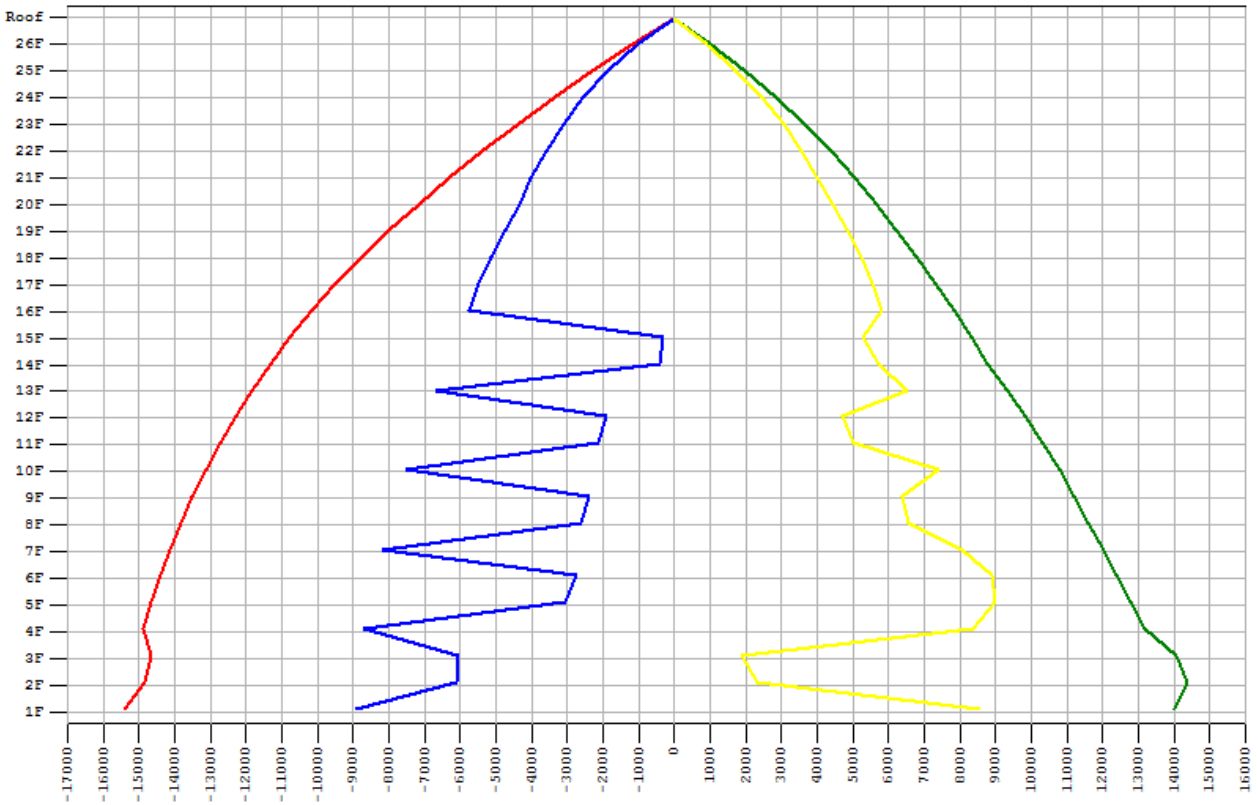
Slika 11.6. Skaliran potres Hollywood Storage



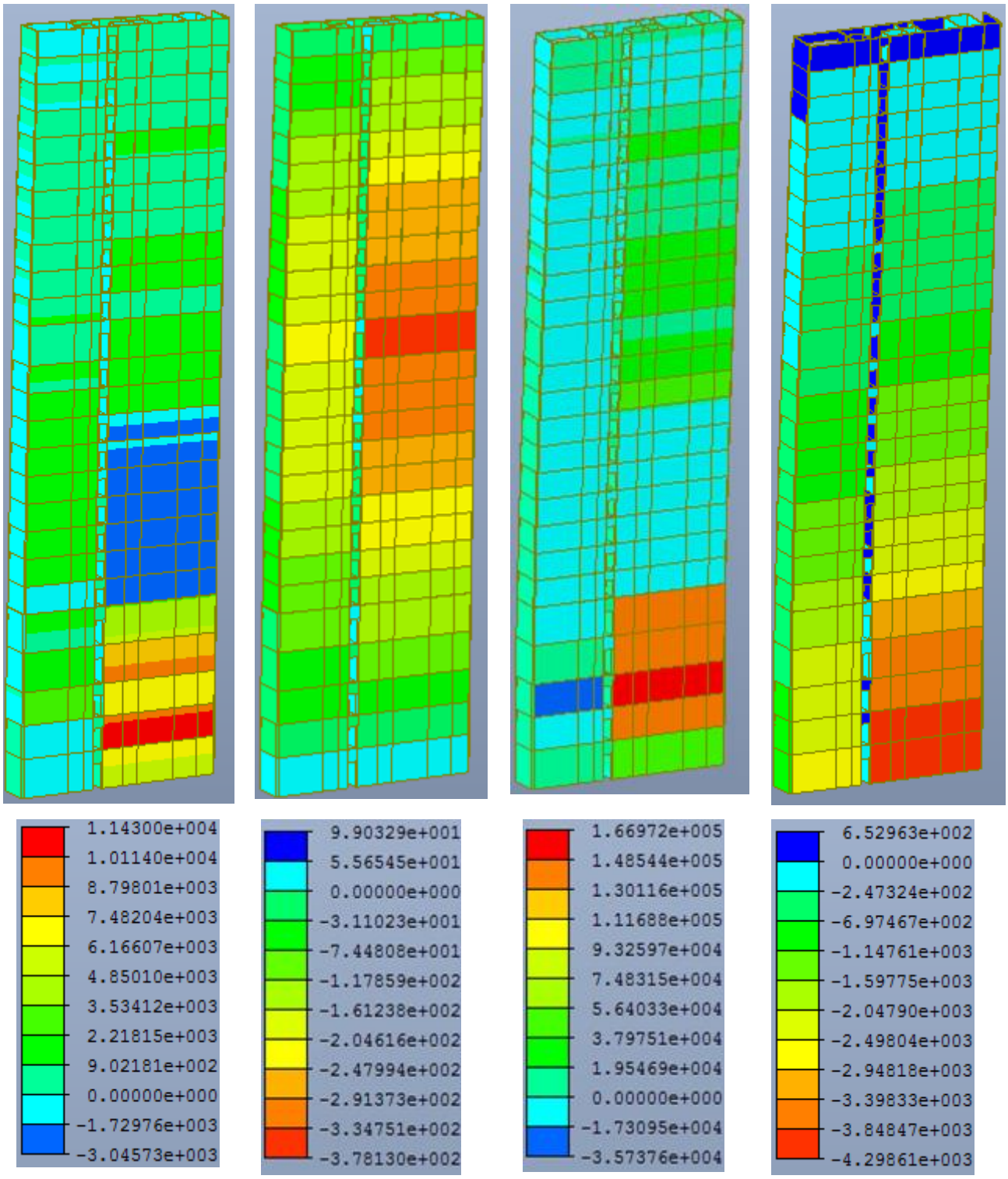
Slika 11.7. Relativni pomaku u cm-y,x smjer



Slika 11.8. Momenti savijanja x, y smjer [kNm]



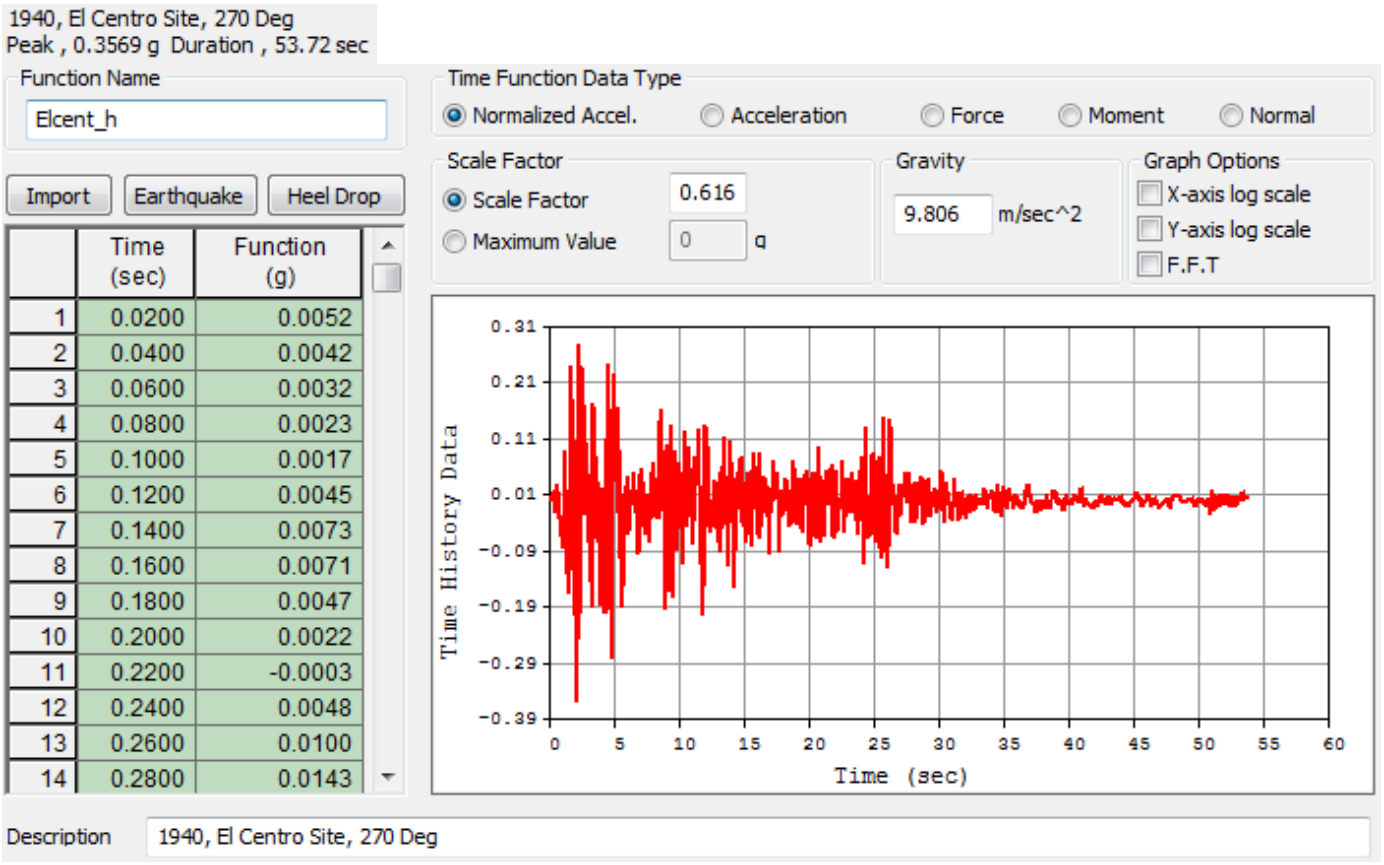
Slika 11.9. Sila uslijed posmika [kN]



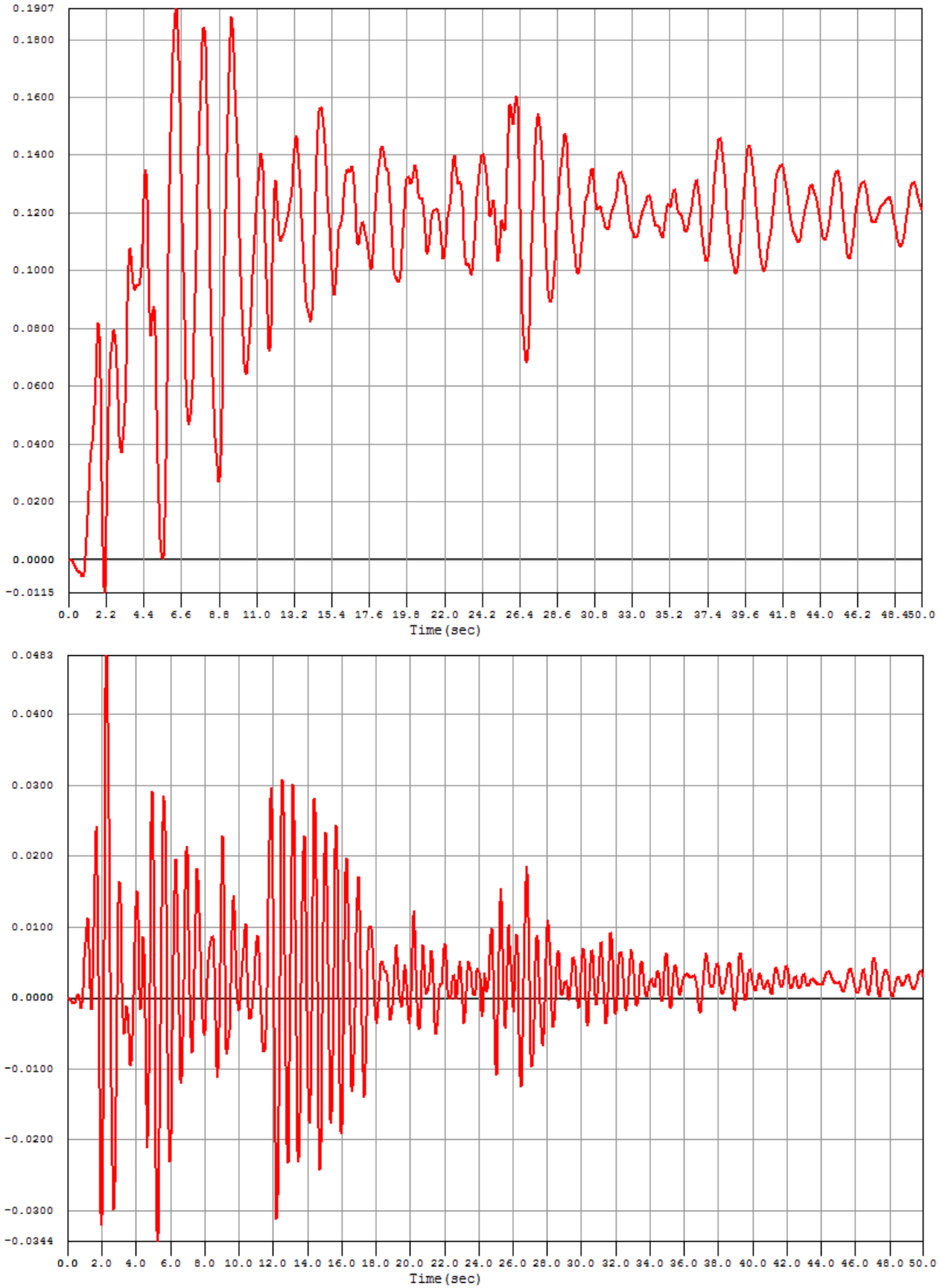
M_y, T=3,57s F_z, T=3,57s M_y, T=13,32s F_z, T=13,32s

Slika 11.10. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak

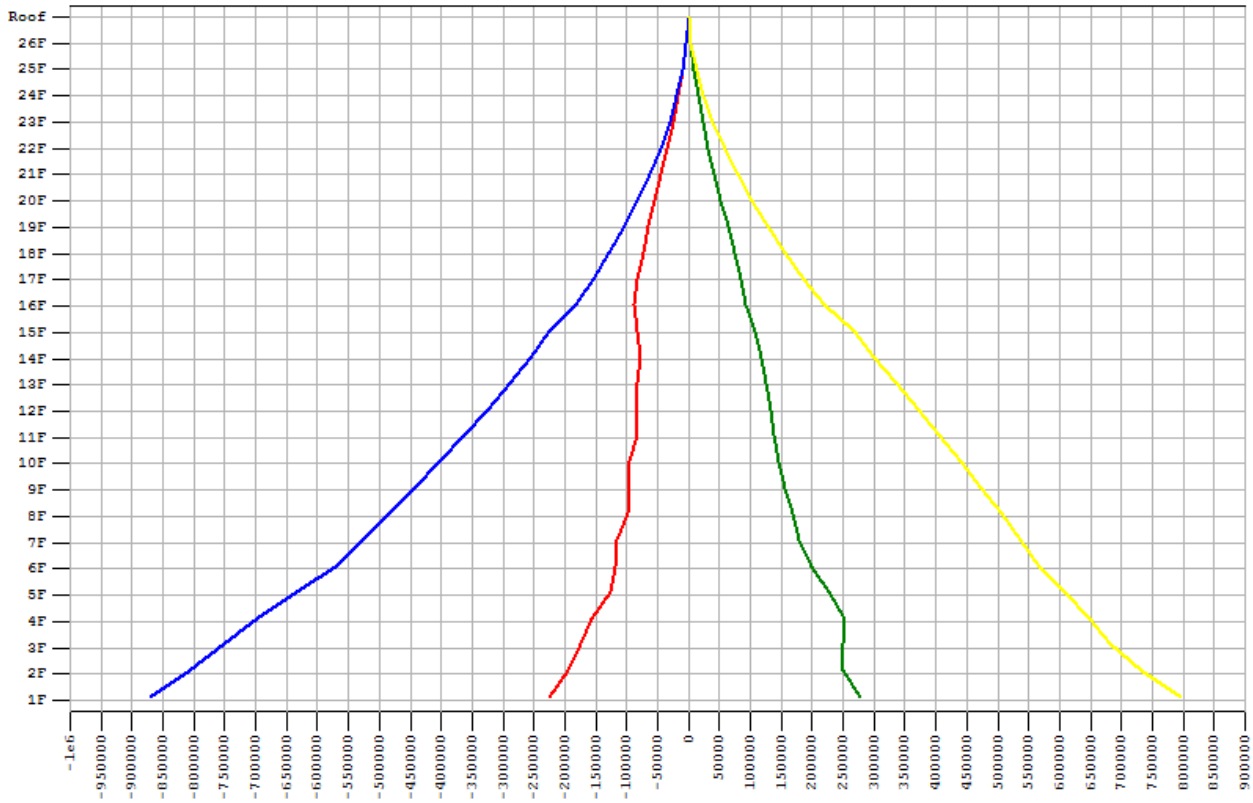
11.1.3. El Centro



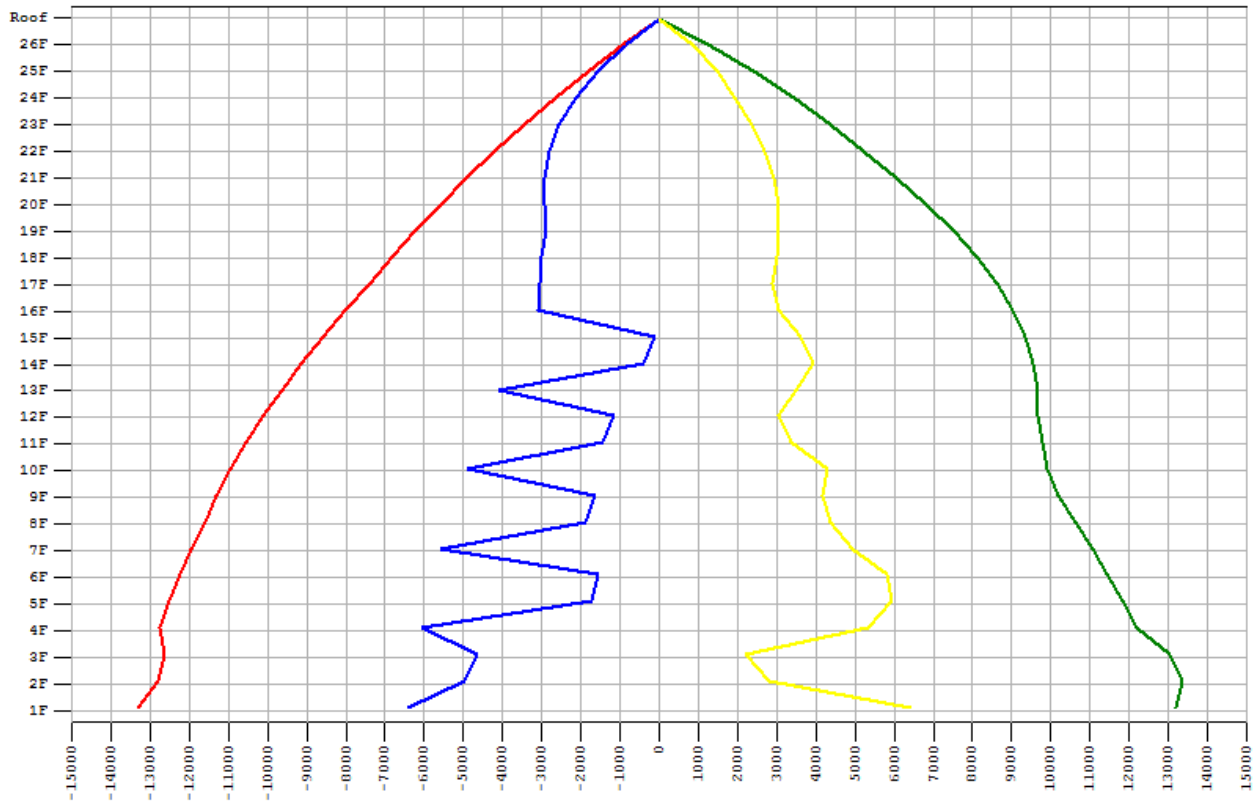
Slika 11.11. Skaliran potres El Centro



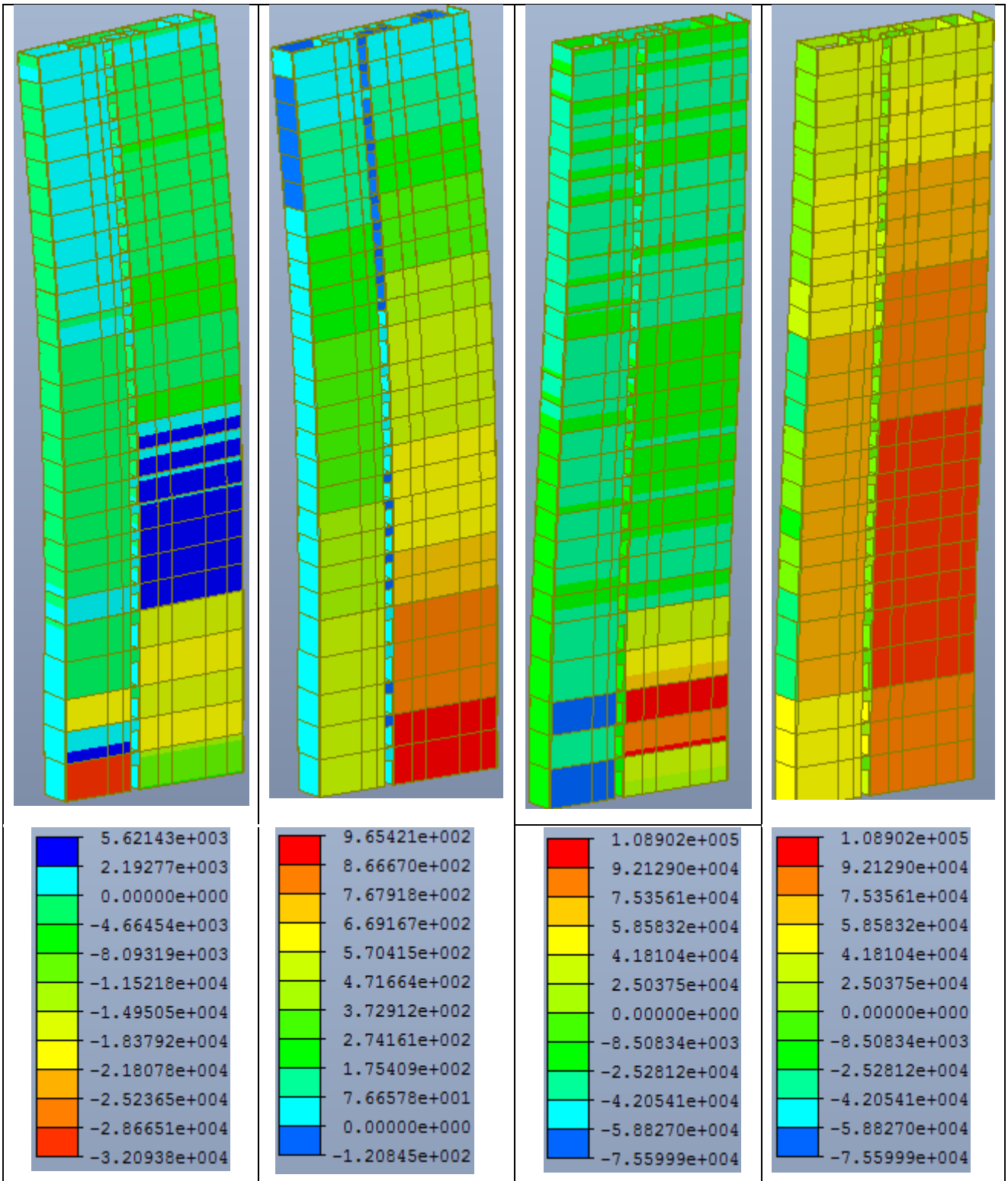
Slika 11.12. Relativni pomak u cm -y,x smjer



Slika 11.13. Momenti savijanja x, y smjer [kNm]



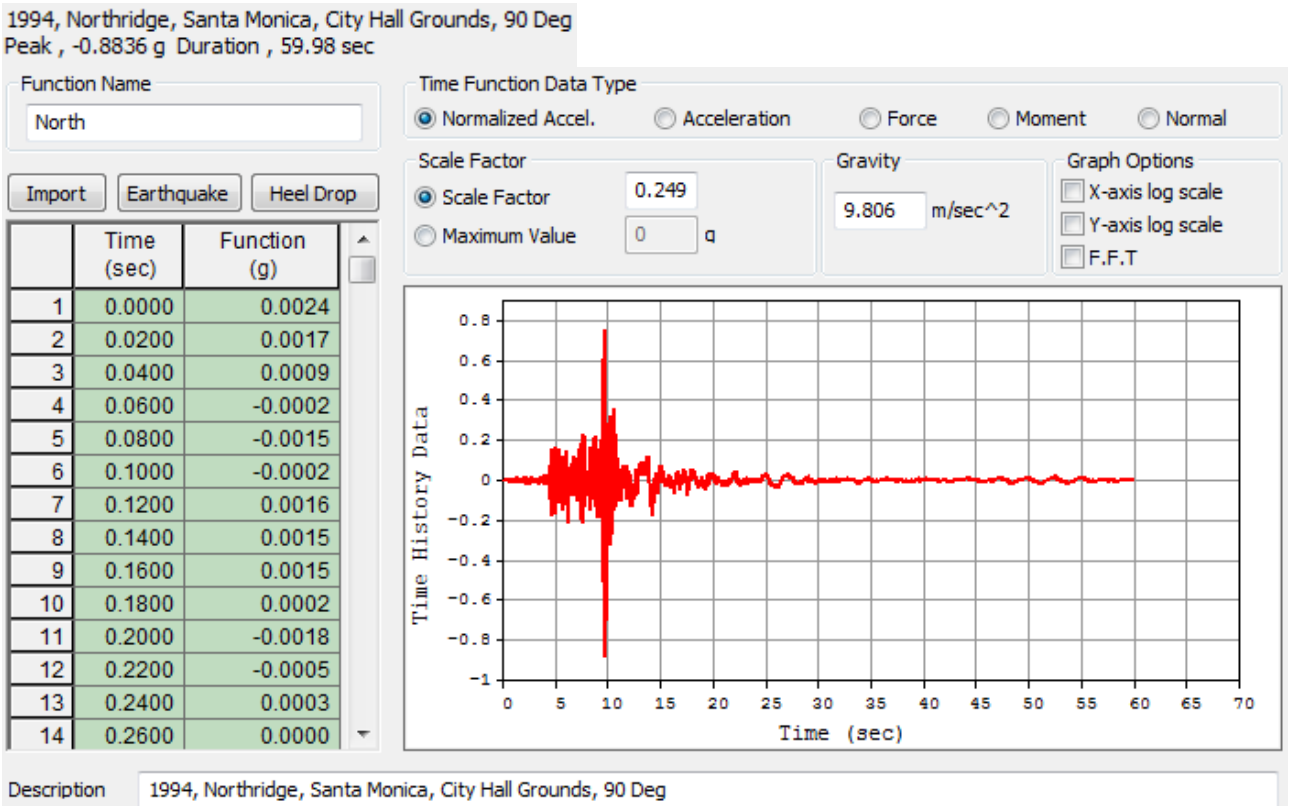
Slika 11.14. Sila uslijed posmika [kN]



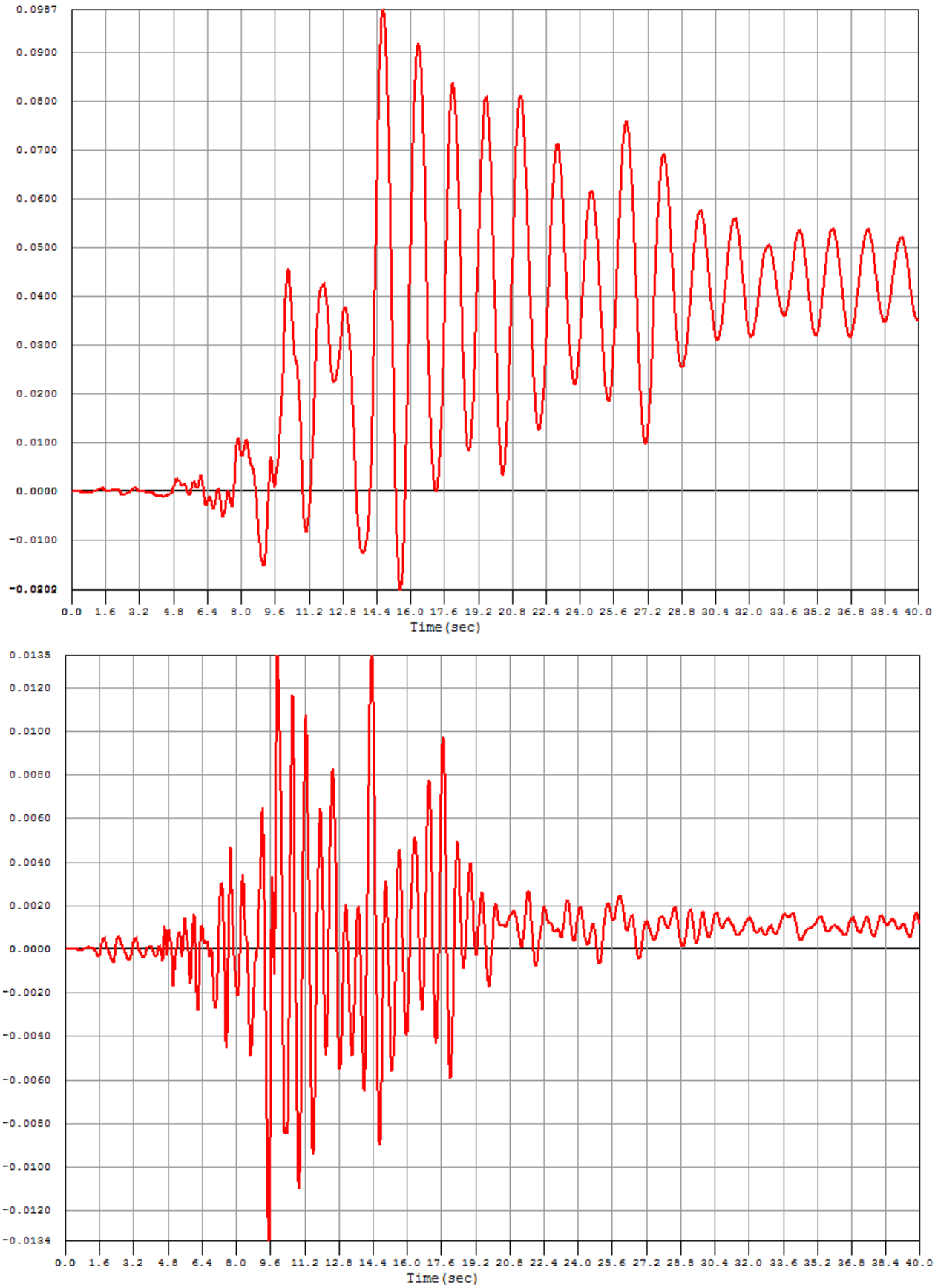
M_y, T=1,02s	F_z, T=1,02s	M_y, T=10,86s	F_z, T=10,86s

Slika 11.15. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak

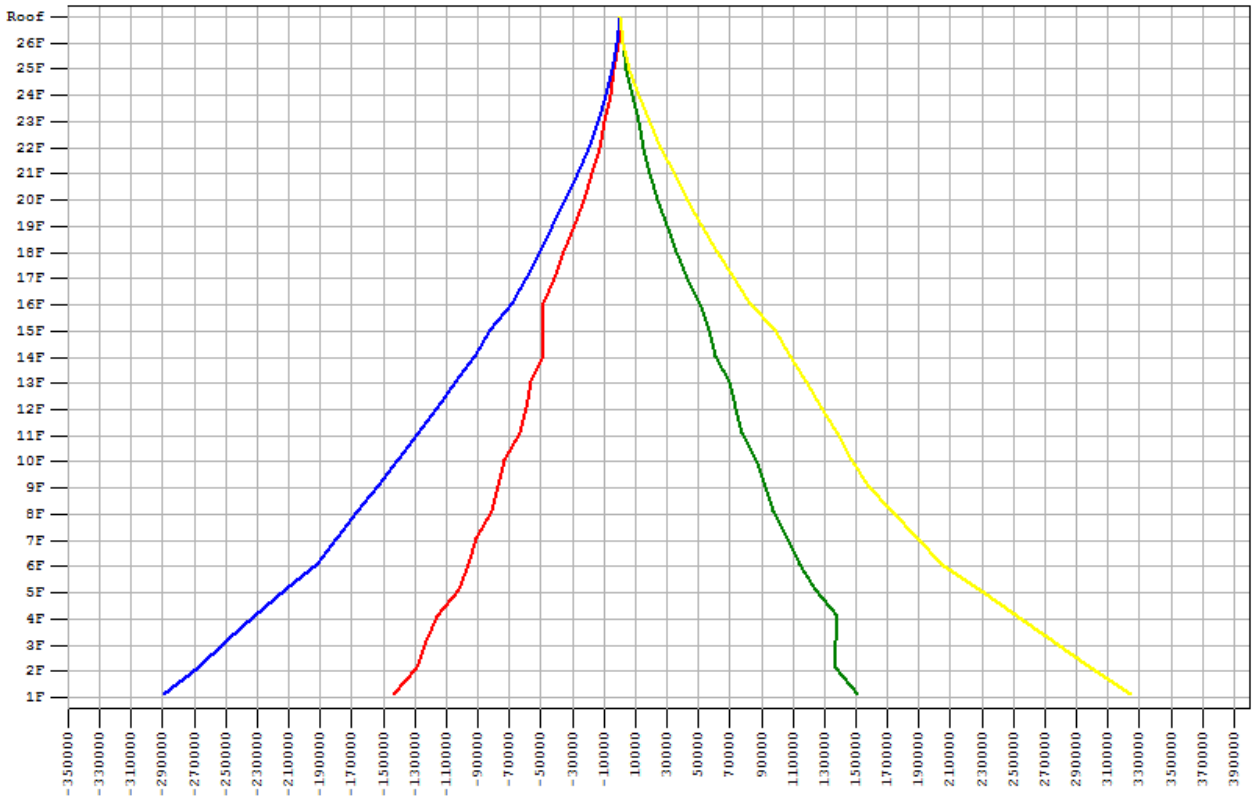
11.1.4. Northridge, Santa Monica



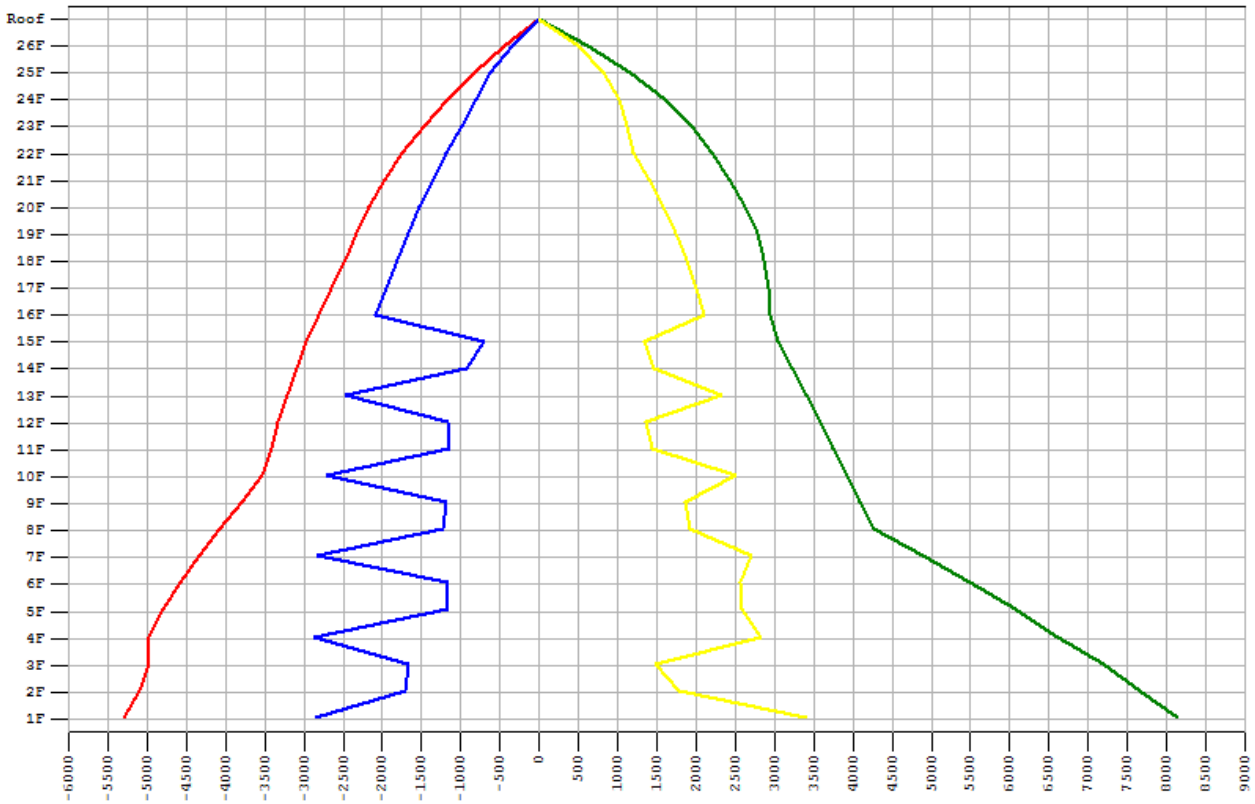
Slika 11.16. Skaliran potres Northridge, Santa Monica



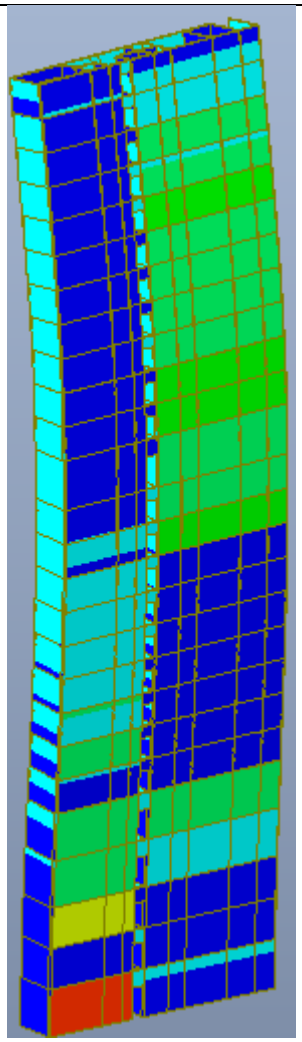
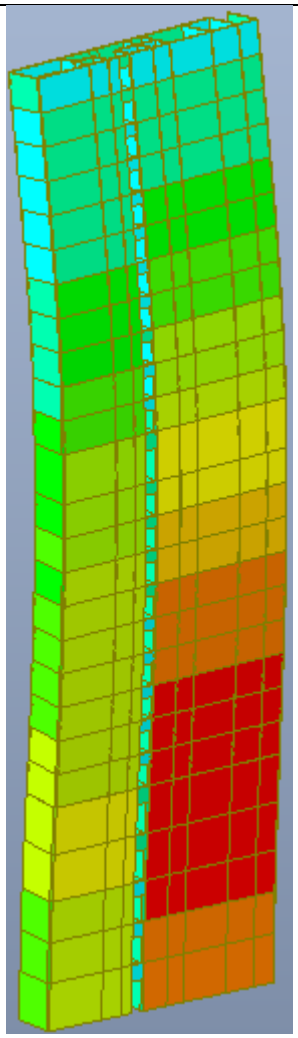
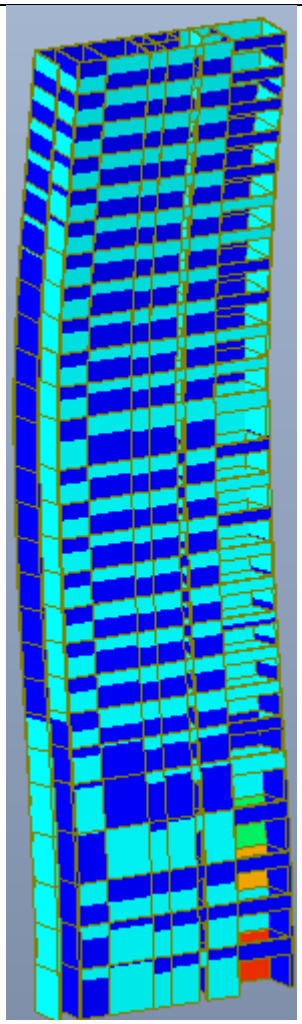
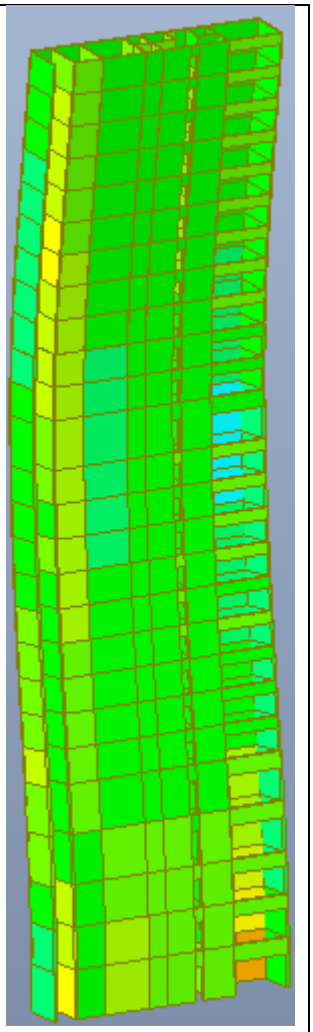
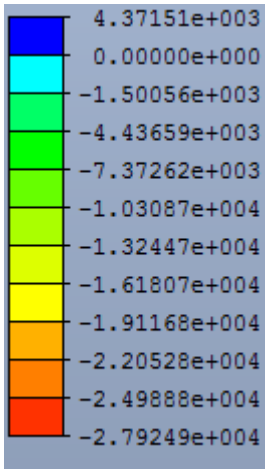
Slika 11.17. Relativni pomak u cm -y,x smjer

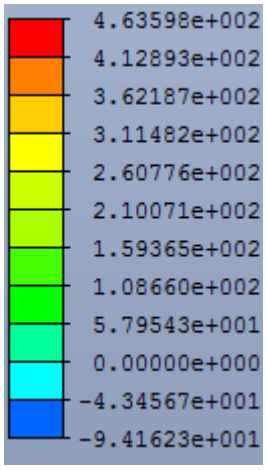


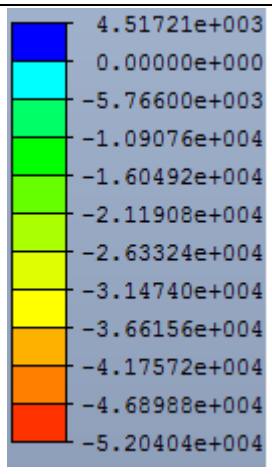
Slika 11.18. Momenti savijanja x, y smjer [kNm]

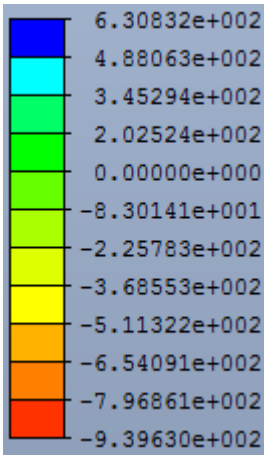


Slika 11.19. Sila uslijed posmika [kN]



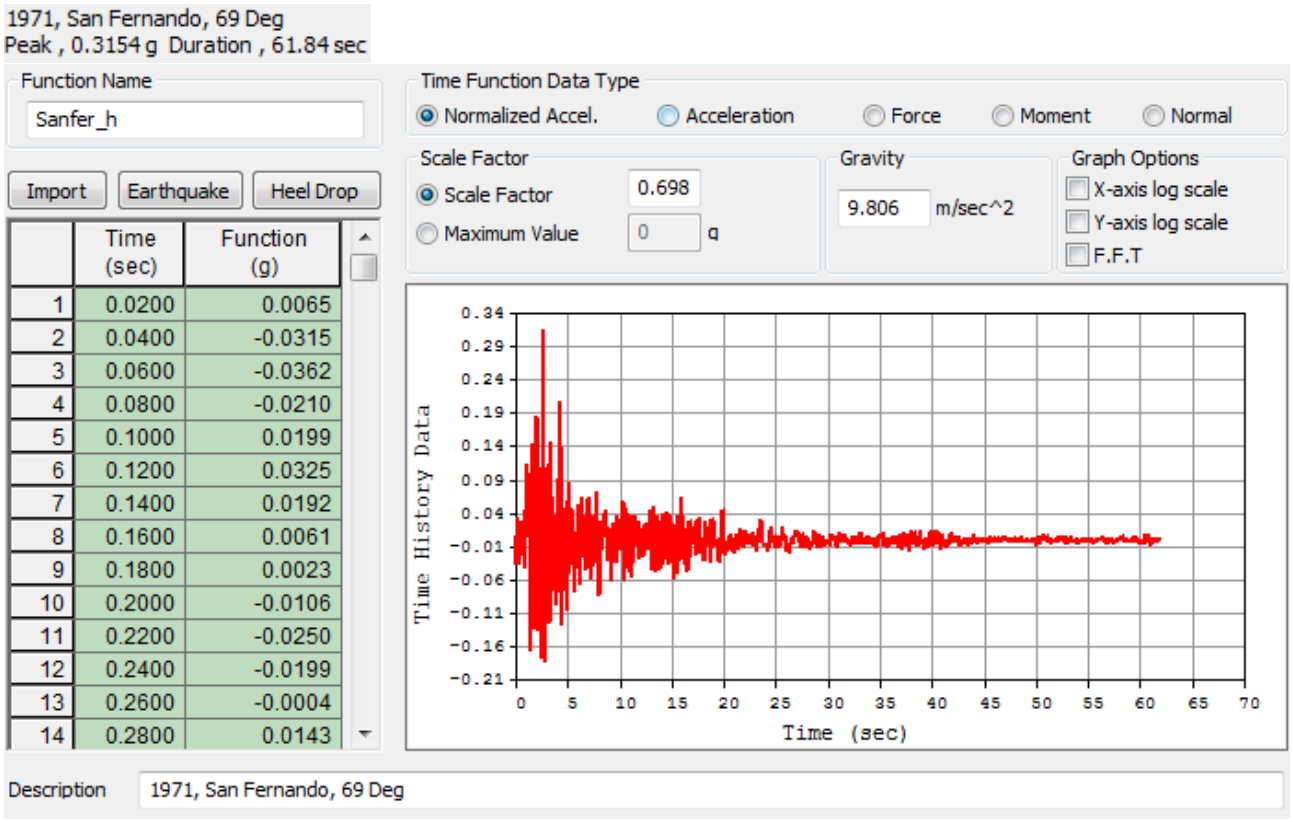




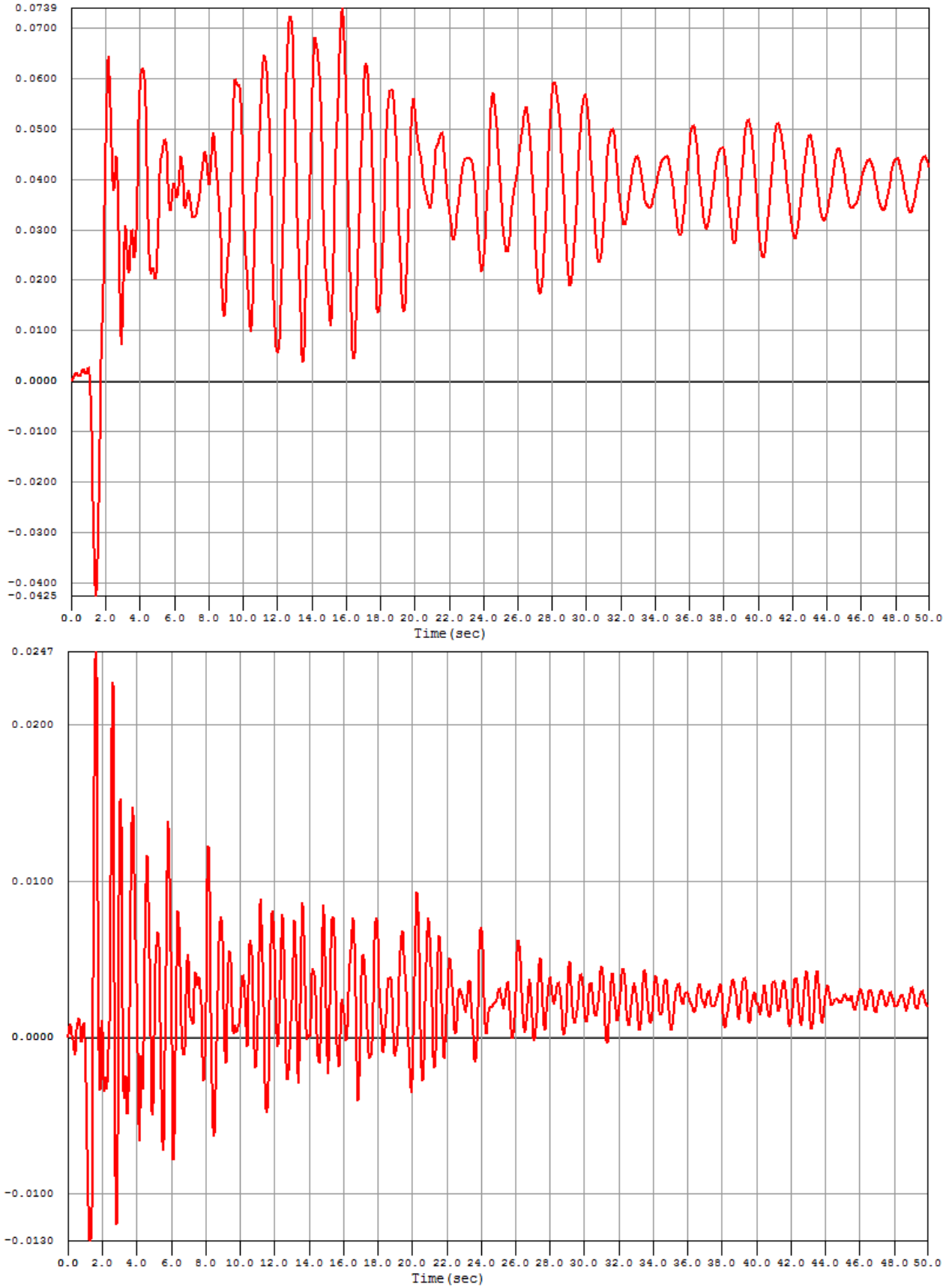
M_y, T=7,7s	F_z, T=7,7s	M_y, T=9,68s	F_z, T=9,68s

Slika 11.20. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak

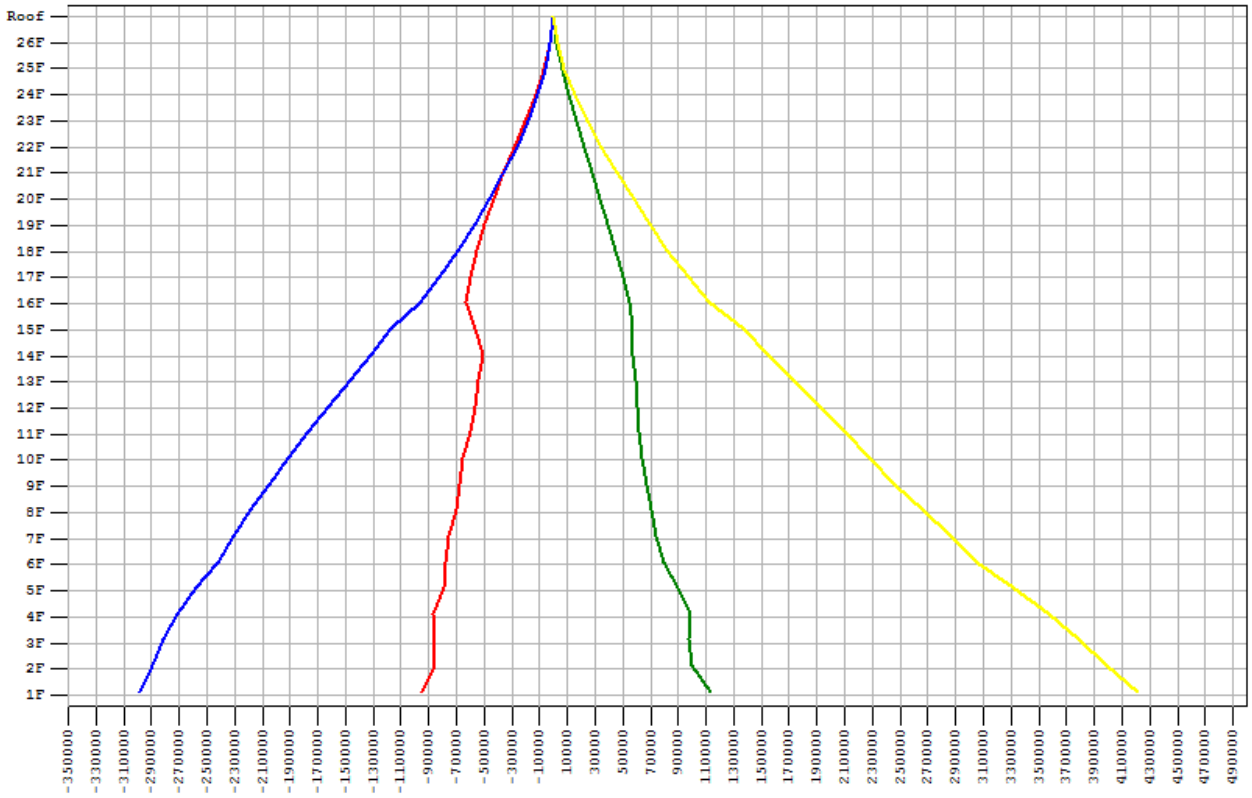
11.1.5. San Fernando



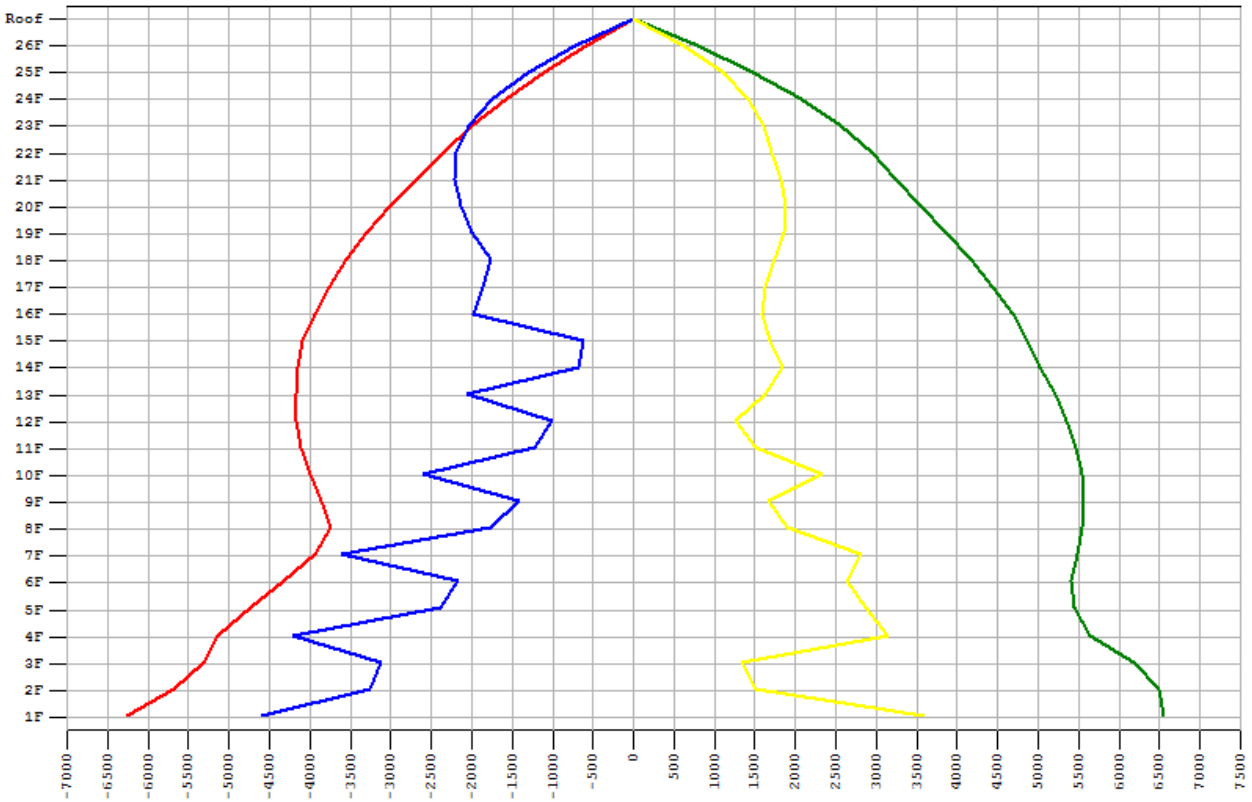
Slika 11.21. Skaliran potres San Fernando



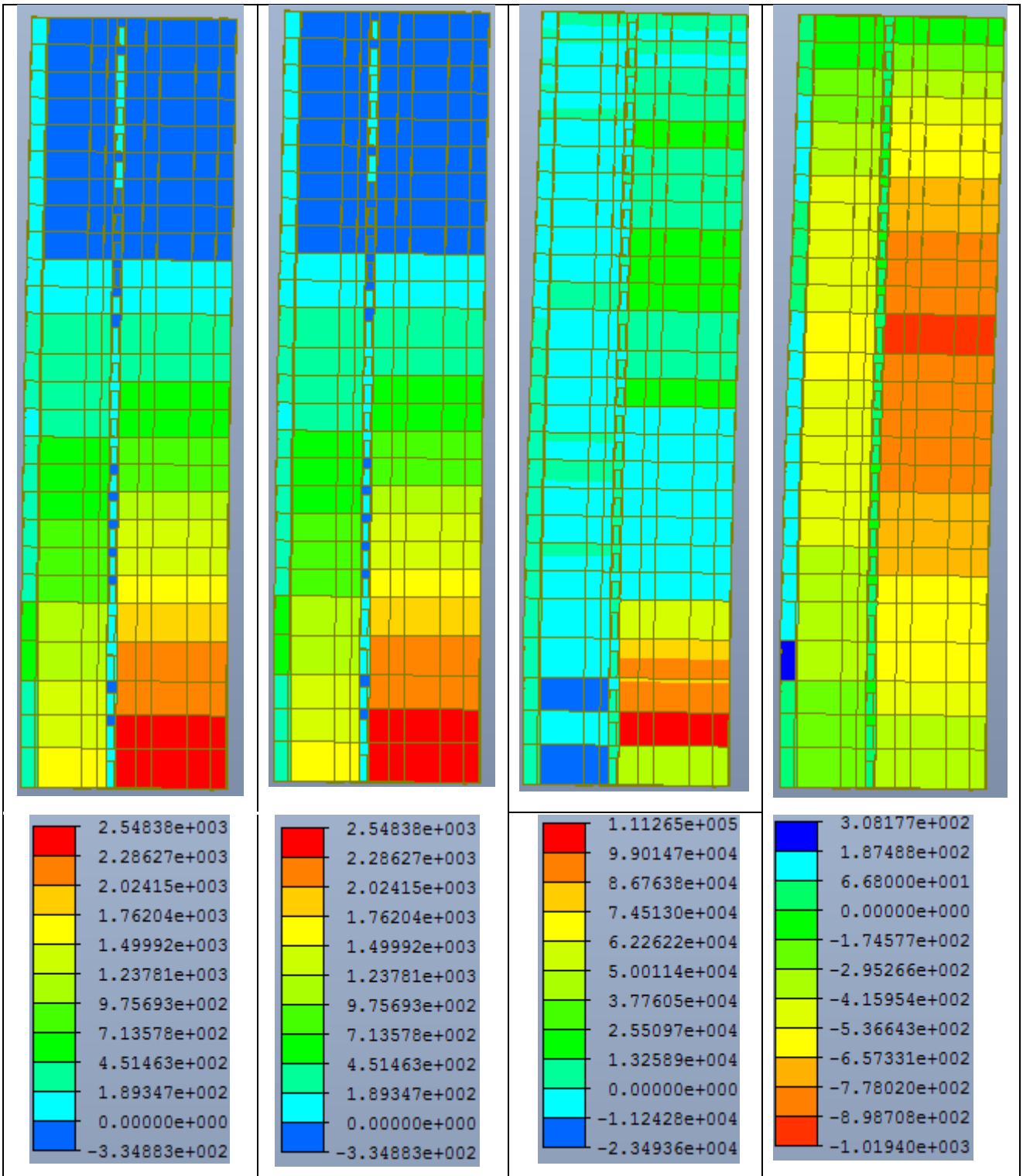
Slika 11.22. Relativni pomak u cm -y,x smjer



Slika 11.23. Momenti savijanja x, y smjer [kNm]



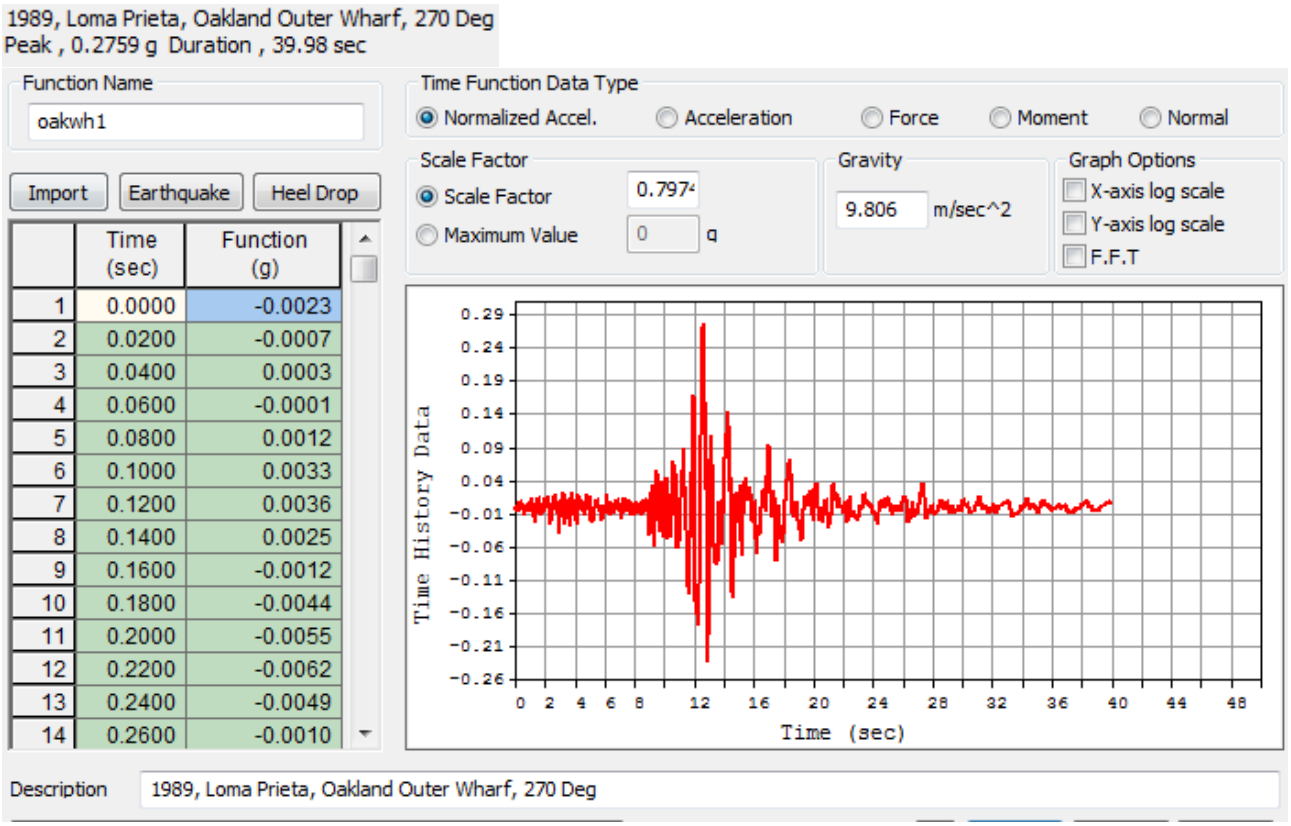
Slika 11.24. Sila uslijed posmika [kN]



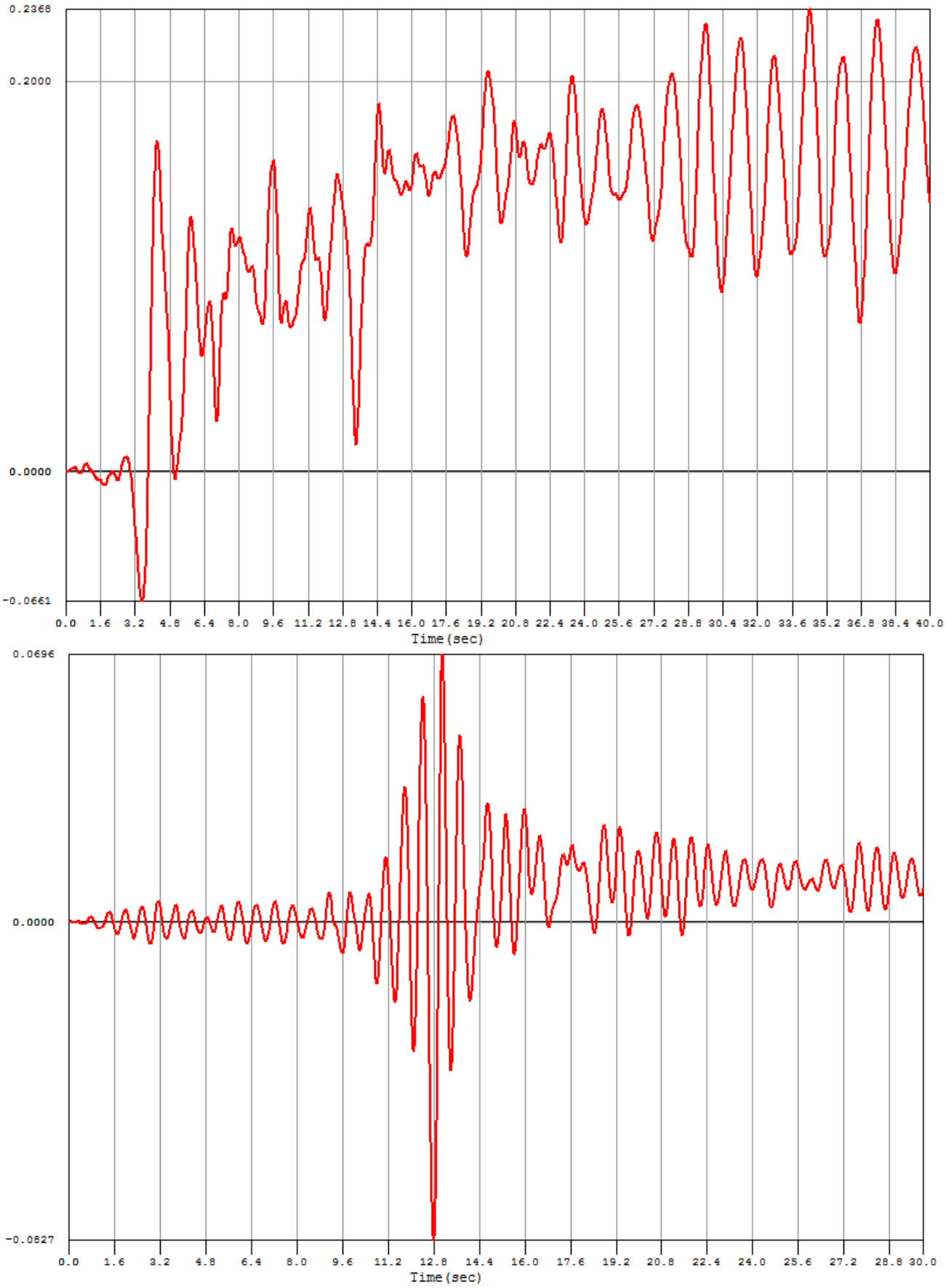
M_y, T=2,49s	F_z, T=2,49s	M_y, T=4,2s	F_z, T=4,2s

Slika 11.25. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak

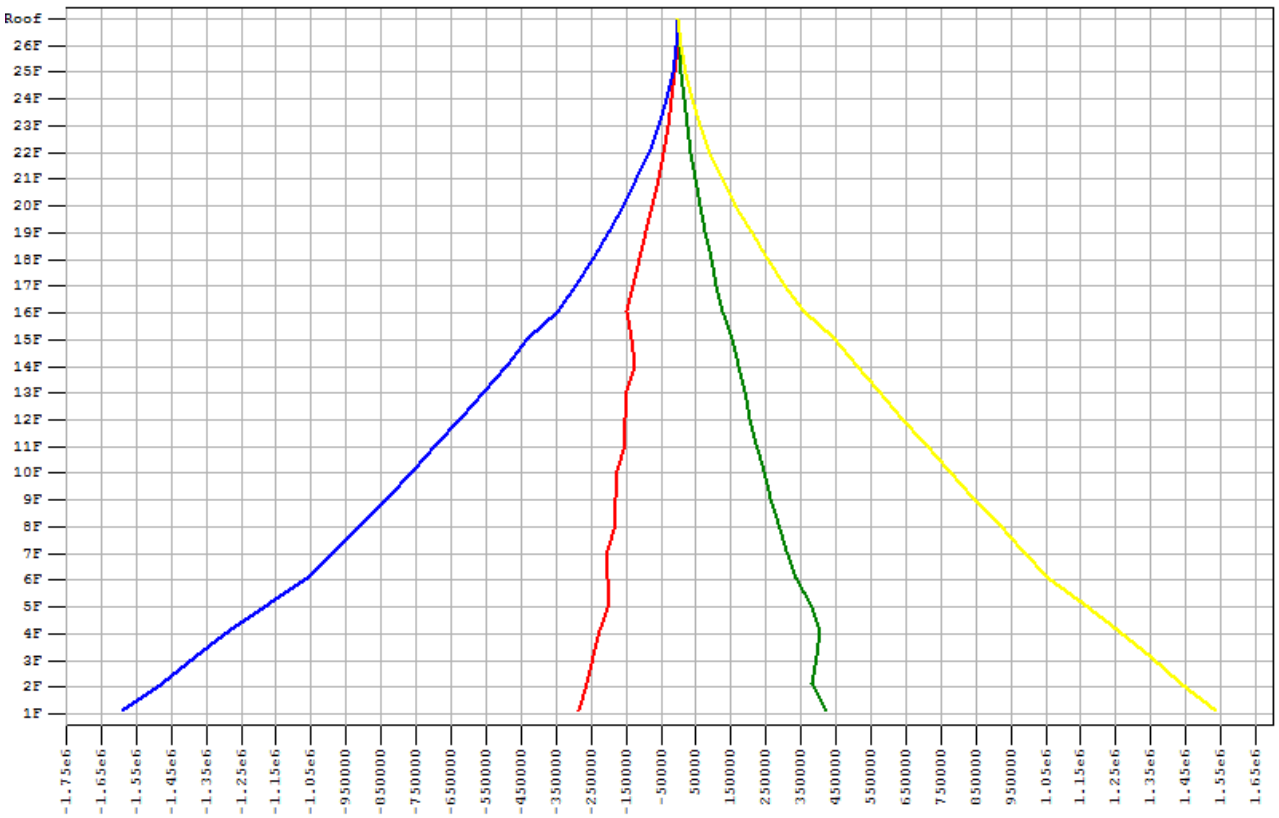
11.1.6. Loma Prieta



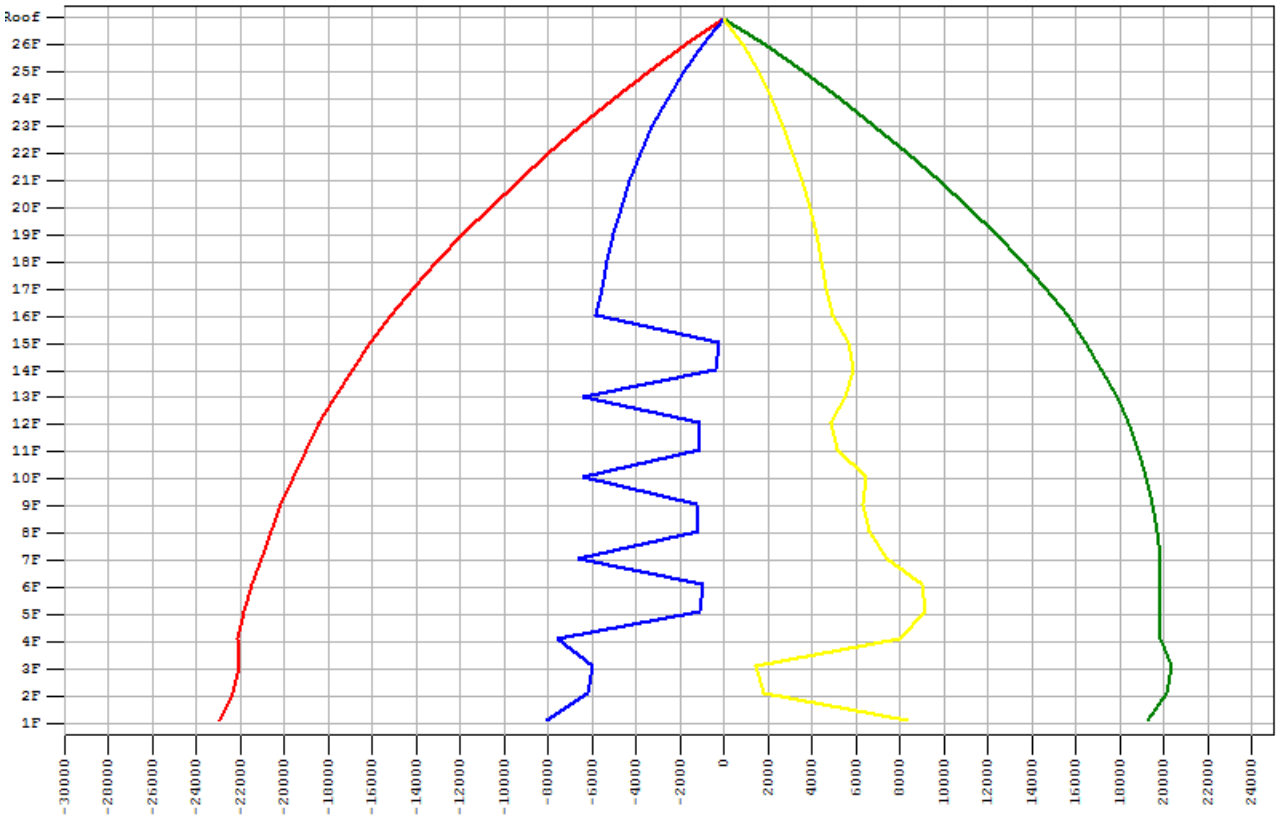
Slika 11.26. Skaliran potres Loma Prieta



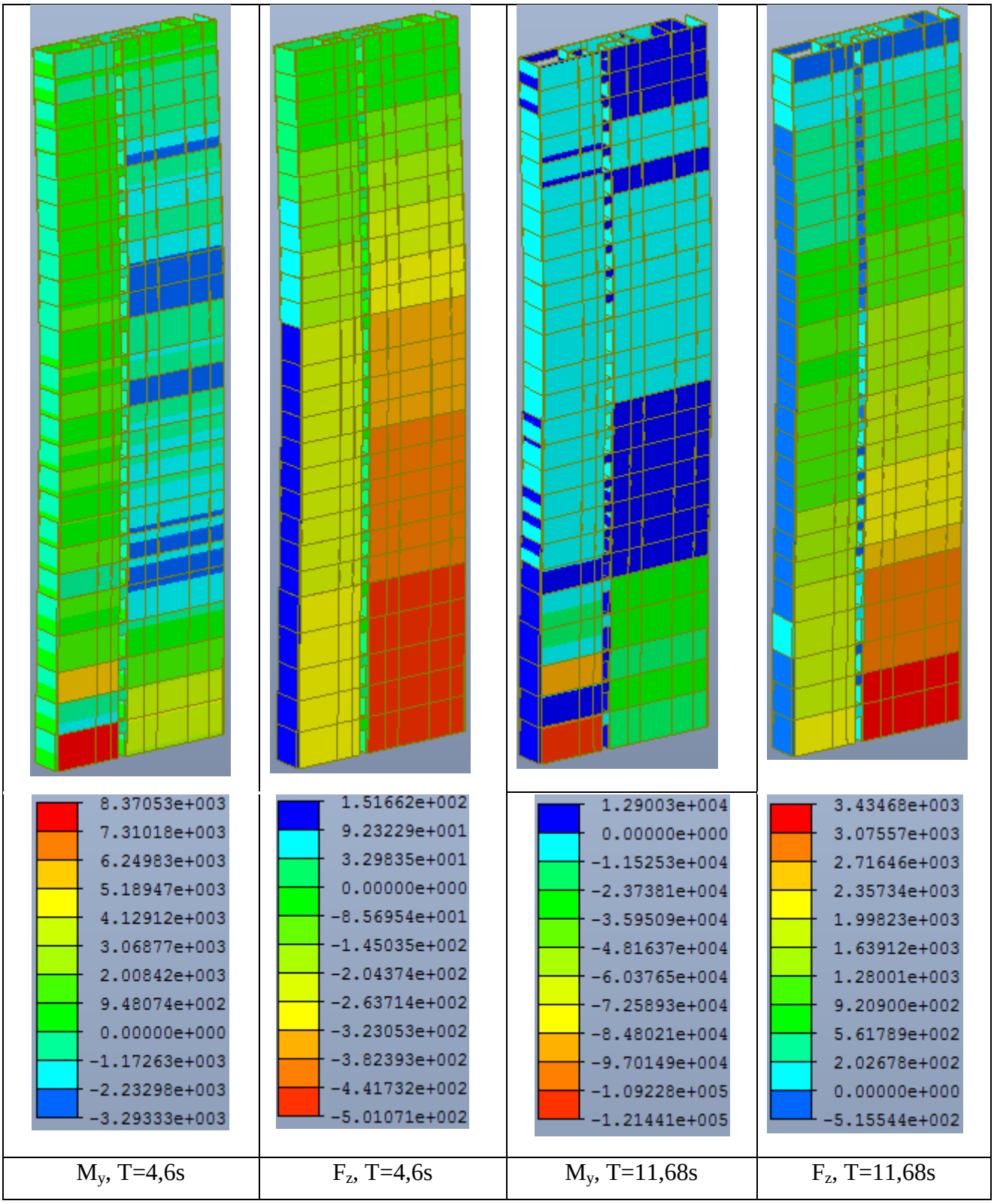
Slika 11.27. Relativni pomak u cm -y,x smjer



Slika 11.28. Momenti savijanja x, y smjer [kNm]



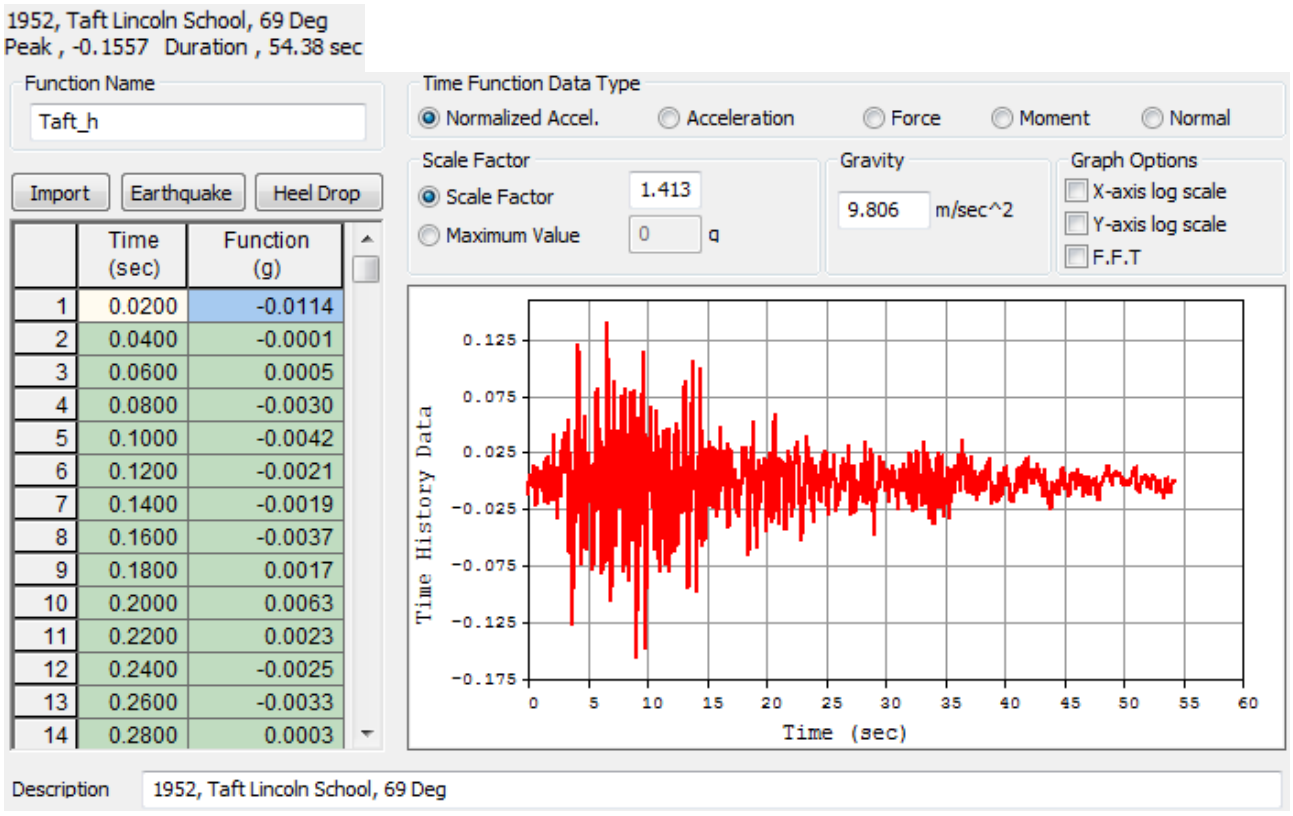
Slika 11.29. Sila uslijed posmika [kN]



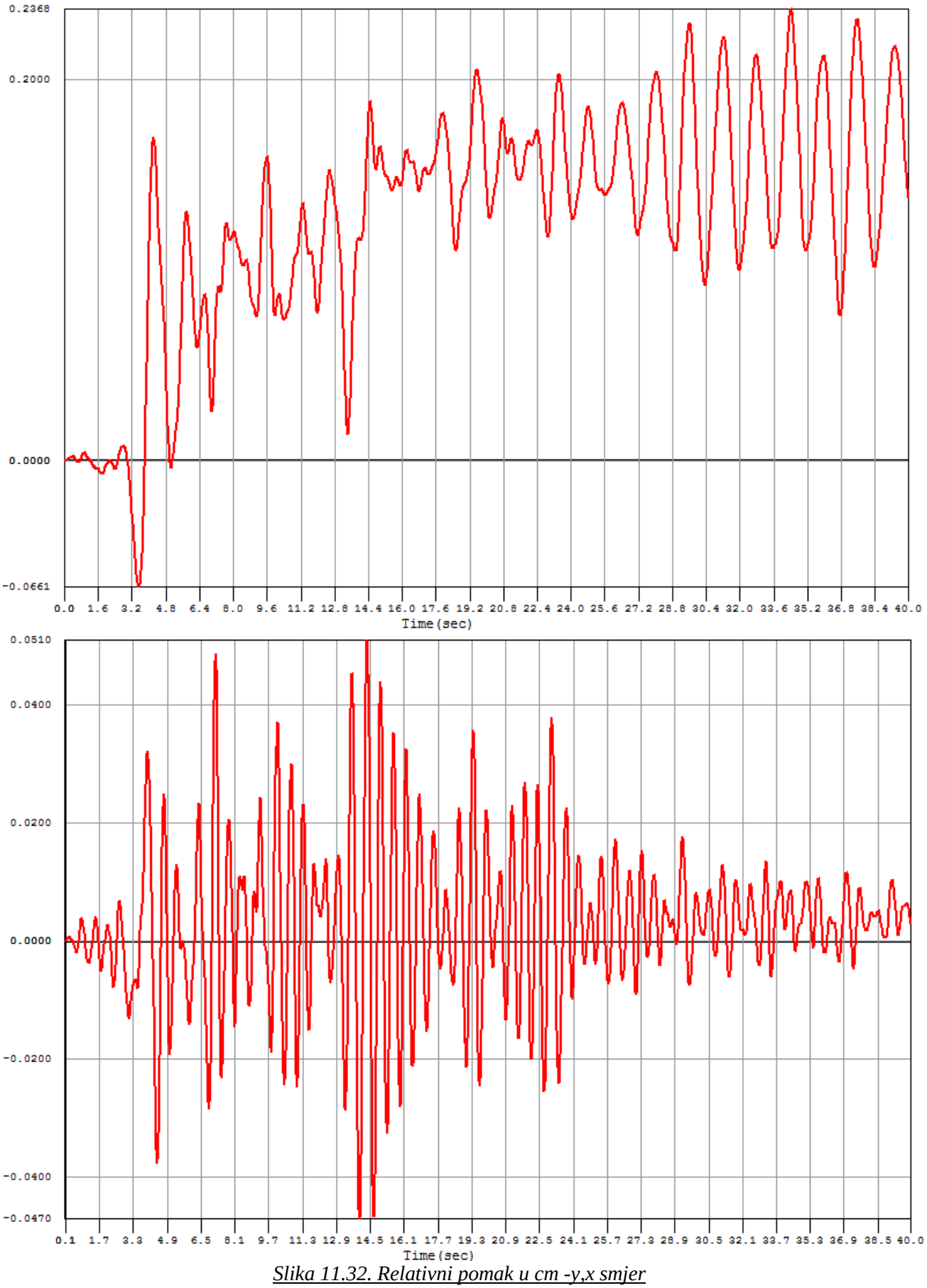
M_y, T=4,6s	F_z, T=4,6s	M_y, T=11,68s	F_z, T=11,68s

Slika 11.30. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak

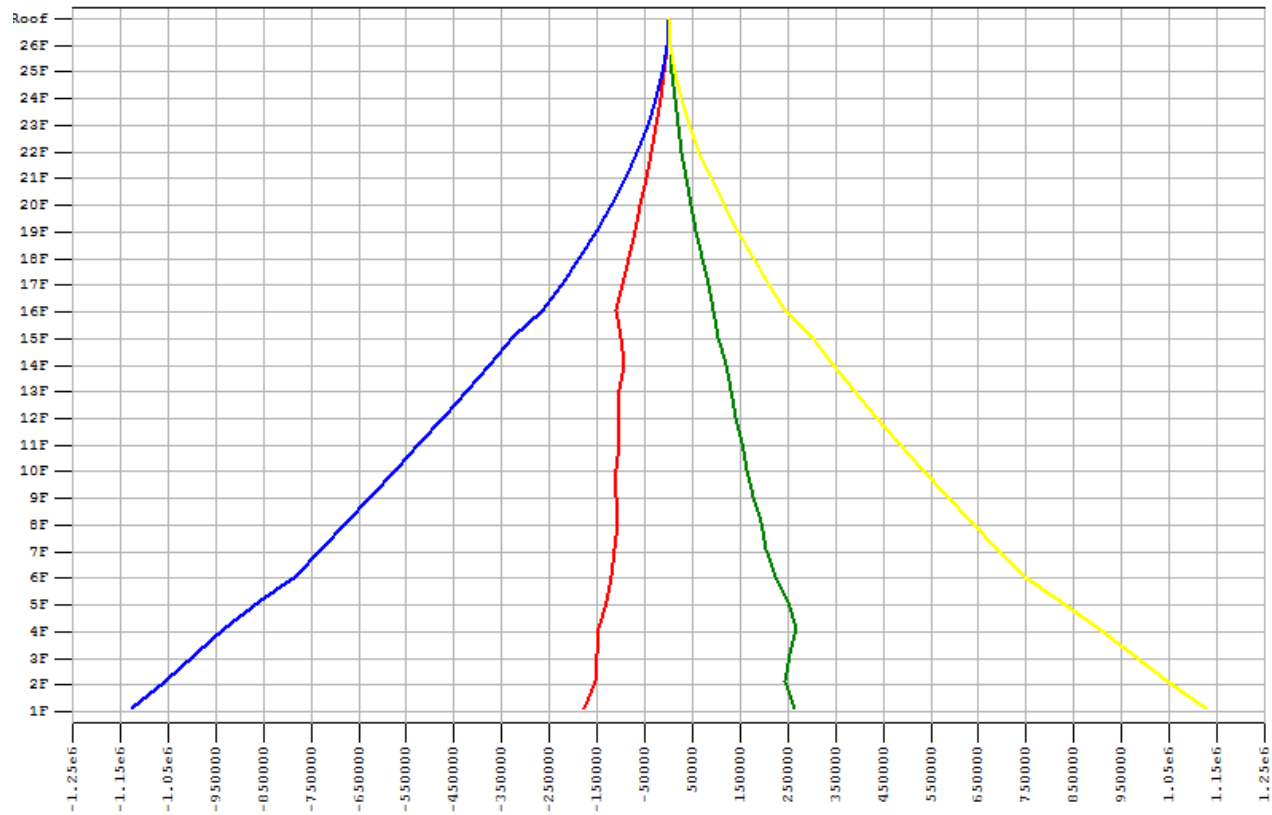
11.1.7. Taft Lincoln School



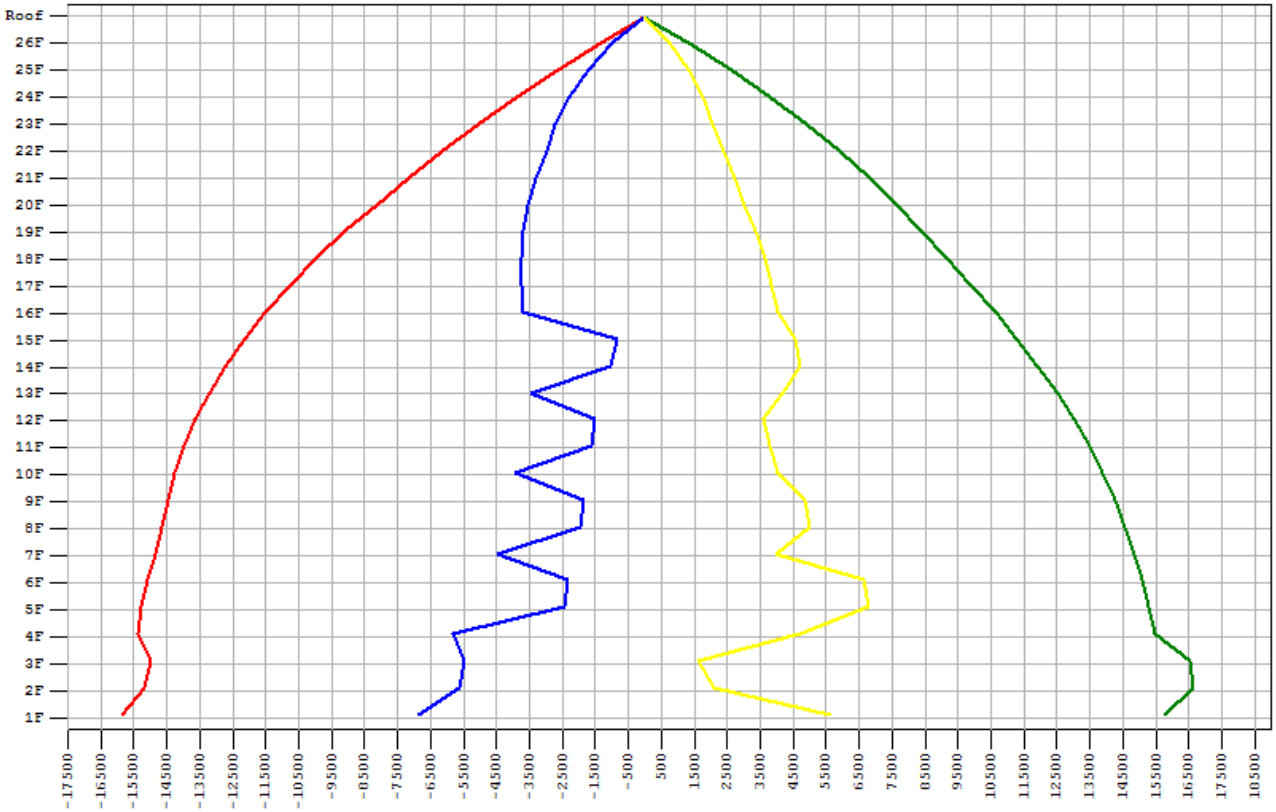
Slika 11.31. Skaliran potres Taft Lincoln School



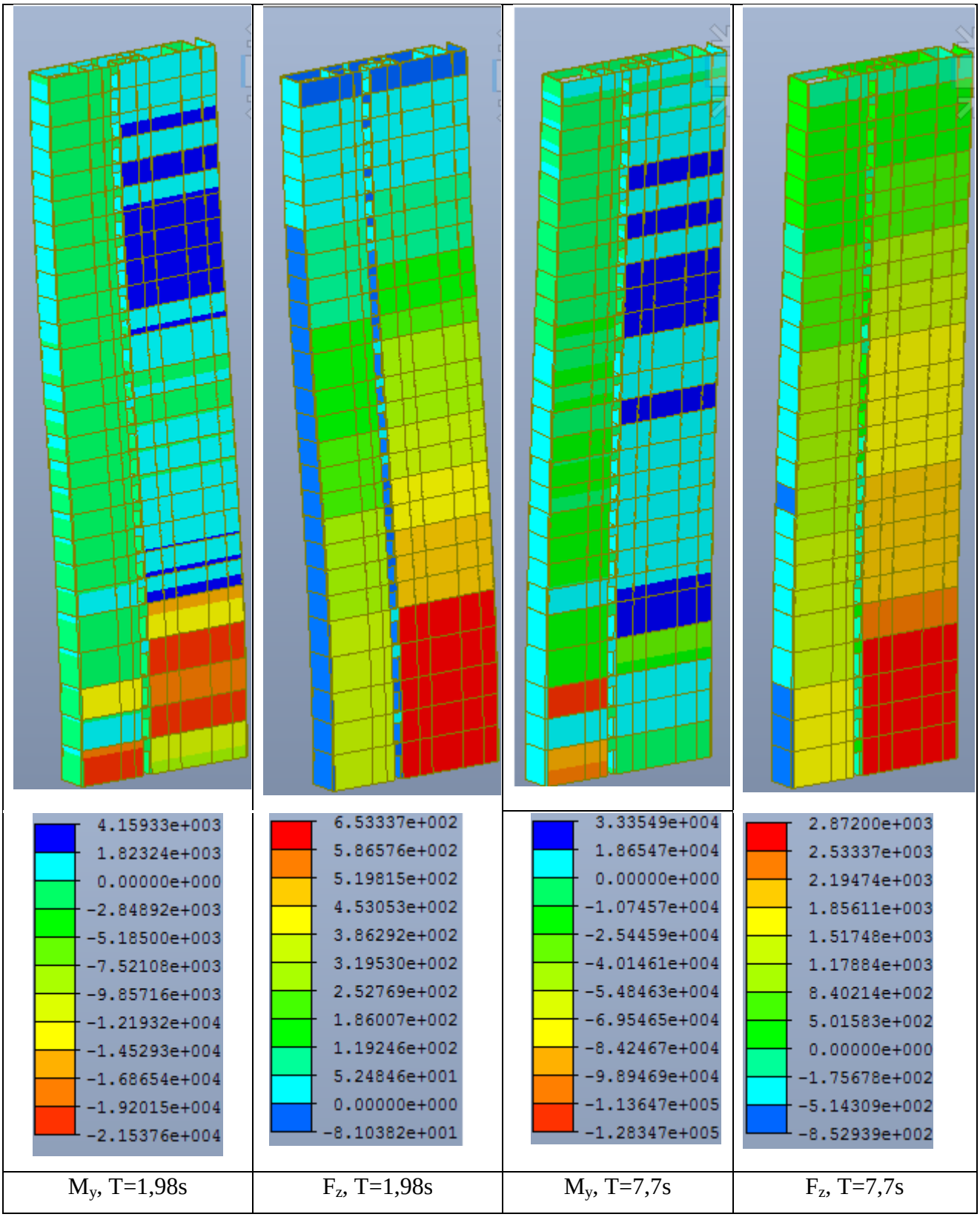
Slika 11.32. Relativni pomak u cm -y,x smjer



Slika 11.33. Momenti savijanja x, y smjer [kNm]



Slika 11.34. Sila uslijed posmika [kN]



M_y, T=1,98s	F_z, T=1,98s	M_y, T=7,7s	F_z, T=7,7s

Slika 11.35. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak

12. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenih rezultata analize tornja WESTGATE B nelinearnom metodom postupnog naguravanja, nelinearno elastičnom metodom odgovora u vremenu, kao i provjerom vlastitih vrijednosti modalnom analizom, izvršena je provjera koncepta predmetne građevine.

Rezultati modalne analize dali su karakteristične vlastite vrijednosti osciliranja konstrukcije, u kojoj osim translacijskih u x i y smjeru, značajnu ulogu imaju torzijske, zbog tlocrtnog oblika konstrukcije.

Na osnovu rezultata nelinearne metode postupnog naguravanja za najkritičnije opterećenje konstrukcije, vjetar Wy, smjera y, dobiveni su rezultati za krivulju naguravanja, sa slomnim pomakom od 0,72m, kritični faktor opterećenja, kao i zapis u ADRS formatu spektra nosivosti sa ekvivalentnim horizontalnim ubrzanjem od a_g=0,418g, spektra uporabljivosti sa ekvivalentnim horizontalnim ubrzanjem od a_g=0,186g i karakterističnu bilinearnu krivulju evivalentnog jednostupnjevnog sustava sa ciljanim pomakom dane konstrukcije od 31,85 cm.

Nelinearno elastičnim odgovorom konstrukcije u vremenu za 7 zapisa potresa dobiveni su relativni i apsolutni pomaci konstrukcije u x i y smjeru, momenti savijanja i poprečne sile po etažama, dijagrami momenata i poprečnih sila jezgre sustava za odabrane vremenske trenutke djelovanja potresa.

Za većinu potresa krući smjer na savijanje je x smjer stoga su za taj smjer očekivano veći momenti savijanja, a manji relativni pomaci, dok za y smjer vrijedi obrnuto.

Na veličinu poprečnih sila prvenstveno utječe međuetažni pomak, stoga za y smjer kao deformabilniji smjer, kod većine potresa očekivano su veće poprečene sile po etažama u odnosu na x smjer.

Tablica 12.1. Prikaz srednjih vrijednosti pomaka i sila na bazu

Zapisi 7 potresa:	Pomak dx (m)	Pomak dy (m)	Moment savijanja Mx (kNm)	Moment savijanja My (kNm)	Poprečna sila na bazu Vx (kN)	Poprečna sila na bazu Vy(kN)
Mexico City	1,06	0,08	1500000	1300000	21000	32800
Hollywood Storage	0,33	0,06	480000	1070000	15400	9000
El Centro	0,2	0,05	275000	870000	13300	6500
Northridge, Santa Monica	0,1	0,014	150000	330000	8100	3500
San Fernando	0,07	0,025	110000	420000	6500	4550
Loma Prieta	0,24	0,07	390000	1590000	23000	6000
Taft Lincoln School	0,24	0,47	260000	1140000	15800	6800
Srednja vrijednost:	0,32	0,11	452142,86	960000	14728,57	9878,57

Na osnovu priloženih rezultata analize konstrukcije tornja WESTGATE B pomoću navedenih metoda proračuna, zaključeno je da ovakav tlocrtni raspored predstavlja dobru osnovu za daljnje detaljne numeričke provjere.

13. PRILOZI

13.1. Popis tablica

Tablica 4.1. Kategorije terena preuzeto iz HRN EN 1991-1-4 ..... **10**
Tablica 4.2. Vrijednosti tlaka pri vršnoj brzini **11**
Tablica 7.1. Periodi modova konstrukcije **20**
Tablica 7.2. Aktivirana masa po modovima **21**
Tablica 12.1. Prikaz srednjih vrijednosti pomaka i sila na bazu **63**

13.2. Popis crteža

Slika 3.1. Perspektivni prikaz konstrukcije Sjever **5**
Slika 3.2. Perspektivni prikaz konstrukcije Istok-Zapad **6**
Slika 3.3. Tlocrt karakteristične etaže **6**
Slika 4.1. Zadavanje vlatite težine **8**
Slika 4.2. Svojstva betona **8**
Slika 4.3. Vrijednosti opterećenja vjetom **11**
Slika 5.1. Moment savijanja m_x **12**
Slika 5.2. Moment savijanja m_y **13**
Slika 5.3. Moment savijanja m_{xy} **13**
Slika 5.4. Poprečna sila v_x **13**
Slika 5.5. Poprečna sila v_y **13**
Slika 5.6. Vertikalni progibi u_z **14**
Slika 5.7. Uzdužna sila N **14**
Slika 5.8. Poprečna sila V_y **14**
Slika 5.9. Poprečna sila V_z **14**
Slika 5.10. Moment savijanja M_y **15**
Slika 5.11. Moment savijanja M_z **15**
Slika 5.12. Moment savijanja M_y **16**
Slika 5.13. Moment savijanja M_z **16**
Slika 5.14. Poprečna sila V_y **16**

Slika 5.15. Poprečna sila V_z 17
Slika 5.16. Uzdužna sila N 17
Slika 5.17. Vertikalni progibi u_z 17
Slika 7.1. I i II. vlastiti vektor –smjer y 21
Slika 7.2. III. vlastiti vektor –smjer x 22
Slika 7.3. Prikaz pomaka u y i x smjeru 22
Slika 8.1. Krivulja ponašanja za uzdužnu i poprečnu silu 25
Slika 8.2. Krivulja kapaciteta nosivosti 25
Slika 9.1. Krivulja naguravnja za vjetar wy 26
Slika 9.2. Krivulja faktora opterećenja za vjetar W_y 26
Slika 9.3. a_{gr} za GSN 27
Slika 9.4. agr za GSU 27
Slika 9.5. Prikaz plastifikacijskih zglobova-.inkrement 12.-26. 28
Slika 9.6. Prikaz plastifikacijskih zglobova-.inkrement 28.-30. 29
Slika 9.7. Prikaz relativnih pomaka etaža od 1. do 6.inkrementa 30
Slika 9.8. Prikaz relativnih pomaka etaža od 7. do 12.inkrementa 30
Slika 9.9. Prikaz relativnih pomaka etaža od 13. do 18.inkrementa 31
Slika 9.10. Prikaz relativnih pomaka etaža od 19. do 24.inkrementa 31
Slika 9.11. Prikaz relativnih pomaka etaža od 24. do 30.inkrementa 32
Slika 10.1. Bilinearna histerezna petlja za sile i momente 33
Slika 11.1. Skaliran potres Mexico City, Station 1 34
Slika 11.2. Relativni pomaku u cm-y,x smjer 35
Slika 11.3. Momenti savijanja x, y smjer [kNm] 36
Slika 11.4. Sila uslijed posmika [kN] 36
Slika 11.5. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak 37
Slika 11.6. Skaliran potres Hollywood Storage 38
Slika 11.7. Relativni pomaku u cm-y,x smjer 39
Slika 11.8. Momenti savijanja x, y smjer [kNm] 40
Slika 11.9. Sila uslijed posmika [kN] 40
Slika 11.10. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak 41
Slika 11.11. Skaliran potres El Centro 42
Slika 11.12. Relativni pomak u cm -y,x smjer 43
Slika 11.13. Momenti savijanja x, y smjer [kNm] 44
Slika 11.14. Sila uslijed posmika [kN] 44
Slika 11.15. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak 45
Slika 11.16. Skaliran potres Northridge, Santa Monica 46
Slika 11.17. Relativni pomak u cm -y,x smjer 47
Slika 11.18. Momenti savijanja x, y smjer [kNm] 48
Slika 11.19. Sila uslijed posmika [kN] 48
Slika 11.20. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak 49
Slika 11.21. Skaliran potres San Fernando 50
Slika 11.22. Relativni pomak u cm -y,x smjer 51
Slika 11.23. Momenti savijanja x, y smjer [kNm] 52
Slika 11.24. Sila uslijed posmika [kN] 52
Slika 11.25. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak 53
Slika 11.26. Skaliran potres Loma Prieta 54
Slika 11.27. Relativni pomak u cm -y,x smjer 55
Slika 11.28. Momenti savijanja x, y smjer [kNm] 56
Slika 11.29. Sila uslijed posmika [kN] 56

Slika 11.30. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak 57
Slika 11.31. Skaliran potres Taft Lincoln School 58
Slika 11.32. Relativni pomak u cm -y,x smjer 59
Slika 11.33. Momenti savijanja x, y smjer [kNm] 60
Slika 11.34. Sila uslijed posmika [kN] 60
Slika 11.35. Prikaz dijagrama momenata savijanja i poprečnh sile za odabrani trenutak 61
Slika 12.1 Plan pozicija 100
Slika 12.2 Plan pozicija-presjek

13.3. Popis literature

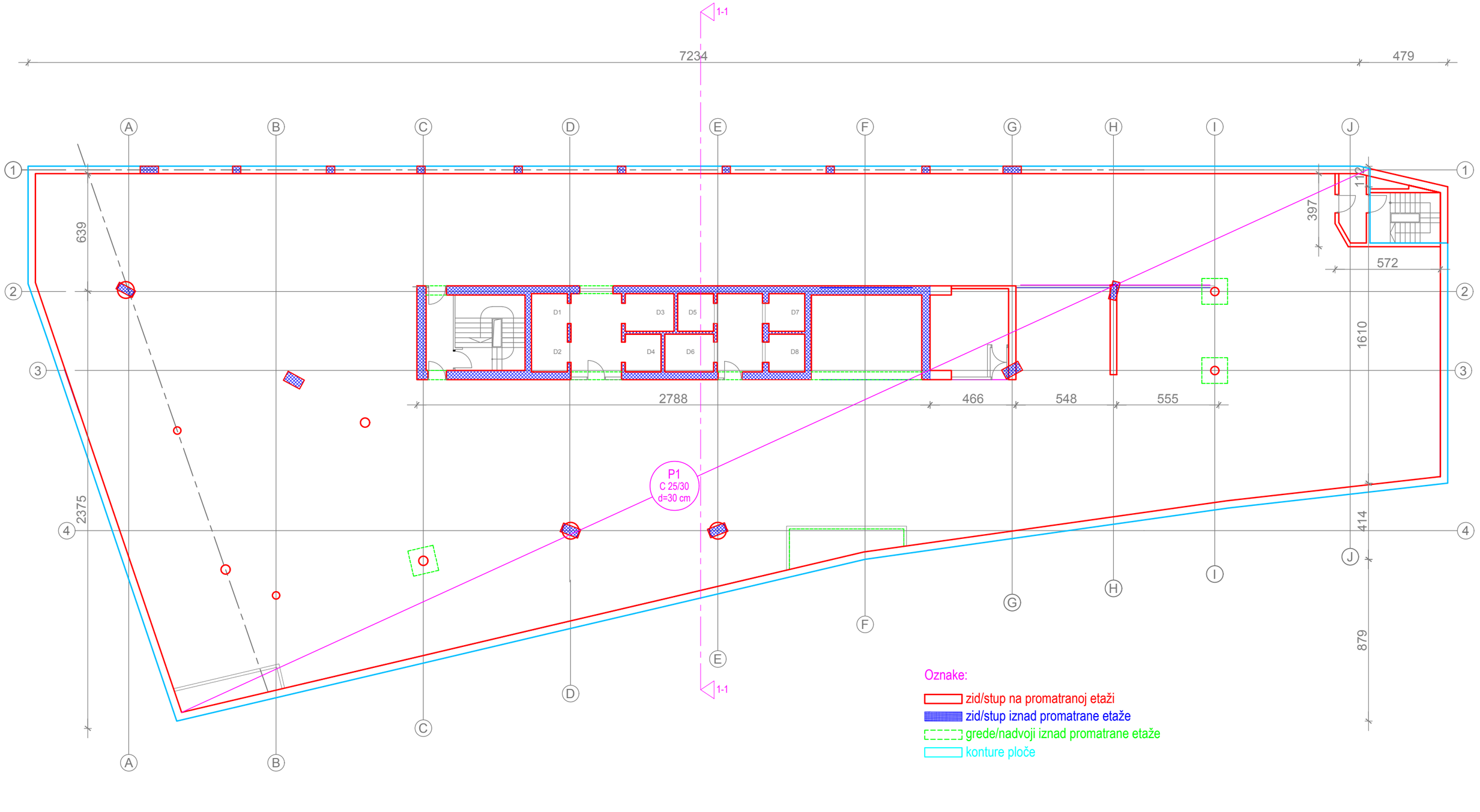
[1] HRN EN 1991.

[2] HRN EN 1992.

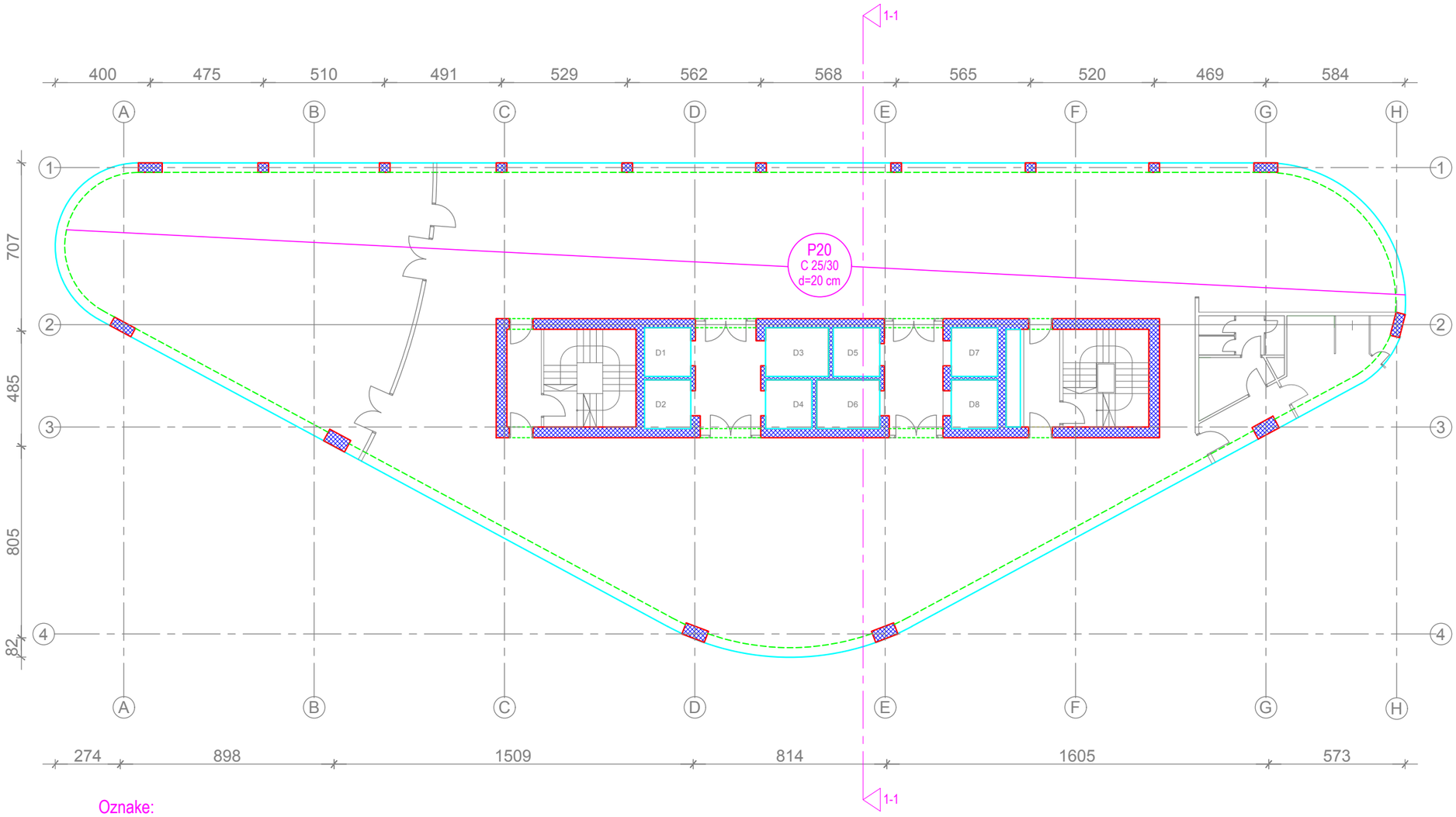
[3] HRN EN 1998.

[4] Ante Mihanović - Dinamika konstrukcija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu (1995).

[5] Eurocode 8: Seismic Design of Buildings Worked examples



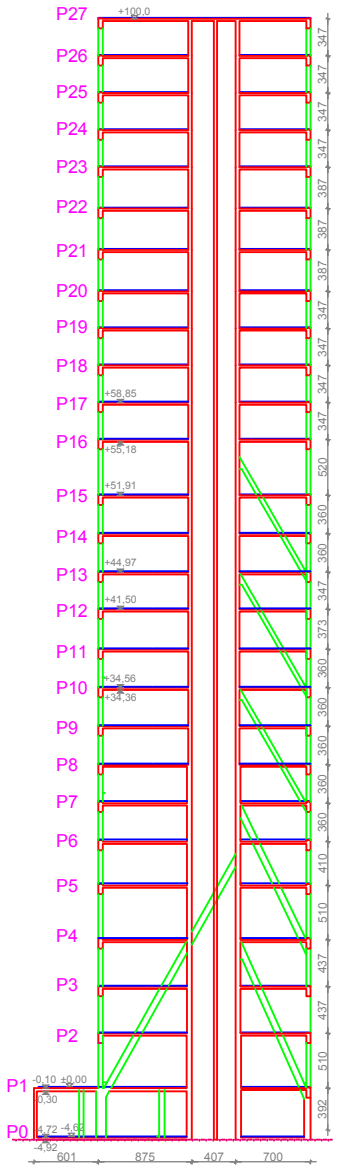
IZRADIO: Marin Barišić , broj indeksa: 480	
GRAĐEVINA: Toranj WESTGATE B	MJERILO 1:200
DIPLOMSKI RAD	18.09.2015.
PLAN POZICIJA P1	LIST 1



Oznake:

- zid/stup na promatranoj etaži
- zid/stup iznad promatrane etaže
- grede/nadvoji iznad promatrane etaže
- konture ploče

IZRADIO: Marin Barišić , broj indeksa: 480	
GRAĐEVINA: Toranj WESTGATE B	MJERILO 1:200
DIPLOMSKI RAD	18.09.2015.
PLAN POZICIJA P20	LIST 2



IZRADIO: Marin Barišić , broj indeksa: 480	
GRAĐEVINA: Toranj WESTGATE B	MJERILO 1:500
DIPLOMSKI RAD	18.09.2015.
PRESJEK 1-1	LIST 3