

Superpozicija modalnih odgovora spektralne analize

Kalman, Tanja; Sigmund, Vladimir

Source / Izvornik: **Tehnički vjesnik, 2007, 14, 17 - 24**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:133:098988>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

[Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek](#)



dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SUPERPOZICIJA MODALNIH ODGOVORA SPEKTRALNE ANALIZE

Tanja Kalman, Vladimir Sigmund

Prethodno priopćenje

Modalna analiza je standardna metoda linearne seizmičke analize konstrukcija. Superpozicija pojedinih tonova nije standardizirana i postoje različite preporuke za primjenu pojedinih metoda. U radu su diskutirani rezultati vršnih dinamičkih odgovora numeričkih modela armirano-betonske okvirne konstrukcije s ispunama (s i bez torzionih formi osciliranja) opterećeni spektrom odgovora i vremenskim zapisom reprezentativnih potresa. Uspoređeni su rezultati dobiveni s tri metode modalne superpozicije: ABS, SRSS i CQC s pripadajućim vrijednostima dobivenim vremenskim zapisom potresa radi utvrđivanja točnosti uporabljenih kombinacijskih pravila. Analizirani su rezultati za sve modele i metode superpozicije te su date preporuke za primjenu pojedinih metoda.

Ključne riječi: spektralna analiza, vremenski odgovor, metode superpozicije, kombinacije modalnih odgovora

Superposition of Modal Responses in Spectral Analysis

Preliminary notes

Modal analysis is a standard method for a structure earthquake response analysis. The combination of various response modes is not standardized and there are three most often used methods of modal superposition: ABS, SRSS and CQC. Exact results of seismic response are obtained by time history analysis, we using a set of representative earthquakes. In order to evaluate the validity of different superposition methods, were defined building models that cover a broad range of interest regarding stiffness (and its distribution along the height and in floor) and their response time histories were analyzed for a set of ground motions that represent soft and stiff ground. The suggestions for everyday use were outlined.

Keywords: spectral analysis, time history, model structures, response combination rules

1

Uvod

Introduction

Jedna od najvažnijih primjena teorije dinamike konstrukcija u građevinarstvu je odgovor konstrukcija pri djelovanju potresa. Za dobivanje odgovora konstrukcije često se za opterećenje potresom koristi zapis ubrzanja tla u ovisnosti o vremenu (eng. time history). Odgovori konstrukcije u takvom slučaju opterećenja daju referentne vrijednosti, ali u funkciji vremena.

Druga metoda pomoću koje se direktno određuju vršni odgovori konstrukcije je spektar odgovora (eng. response spectra). Spektar odgovora se dobiva iz zapisa potresa akceleracije u vremenu i predstavlja vršni odgovor svih mogućih linearnih sustava s jednim stupnjem slobode izloženih određenoj komponenti potresnog opterećenja i prikazuje funkciju vršnog odgovora (akceleracije, brzine ili pomaka) u ovisnosti o prirodnom periodu T ili frekvenciji f . Svaki takav prikaz ima fiksnu vrijednost koeficijenta prigušenja.

Pri opterećenju građevine spektrom odgovora dobivaju se približne vrijednosti vršnog odgovora jer kombinacija modalnih odgovora uzima u obzir vršne vrijednosti odgovora za pojedine oblike ne vezujući se za vremenski korak u kojem su vršne vrijednosti nastale. Ovakva metoda smatra se dostatno točnom za inženjersku primjenu ukoliko određena kombinacija modalnih odgovora daje dostatno referentne vrijednosti.

U radu će se izvršiti usporedba kombinacija spektralne analize (ABS, SRSS, CQC) s analizom zapisa potresa u funkciji vremena koja daje referentne

vrijednosti odgovora za promatrani potres.

2

Modalna analiza i odgovori konstrukcije u ovisnosti o vremenu

Modal Analysis and Time History Responses

Modalna analiza je dinamička analiza linearnih sustava s N stupnjeva slobode koja se zasniva na metodi razvijanja po vlastitim oblicima ili tonovima. Ova metoda je primjenjiva ako je vremenska ovisnost sila pobude svih masa ista ili razmjerno ista što u slučaju potresnog opterećenja zadovoljava traženi uvjet.

Rješenje problema svodi se na rješavanje matrične diferencijalne jednadžbe:

$$[m] \cdot \{\ddot{u}\} + [c] \cdot \{\dot{u}\} + [k] \cdot \{u\} = \{p(t)\}, \quad (1)$$

gdje je:

$[m]$ - dijagonalna matrica masa

$[k]$ - puna matrica krutosti

$\{\ddot{u}\}$, $\{\dot{u}\}$, $\{u\}$ - vektori ubrzanja, brzine i pomaka kata

$\{p(t)\}$ - opterećenje.

Dijagonalizacijom matrice prigušenja i matrice krutosti rastavlja se diskretan sustav s N stupnjeva slobode na N nezavisnih diskretnih sustava od kojih je svaki s jednim stupnjem slobode. Ovakvo rastavljanje se naziva modalna analiza.

Da bi se izvršila dijagonalizacija matrica c i k

uvodi se transformacija koordinata:

$$\{u\} = [\Phi] \cdot \{Y\}, \tag{2}$$

gdje je:

$\{u\}$ - vektor prvobitnih generaliziranih (nepoznatih) koordinata
 $[\Phi]$ - matrica transformacije čiji su stupci proporcionalni vektorima vlastitih oblika
 $\{Y\}$ - vektor normalnih koordinata.

Primjenom osobine ortogonalnosti masa, krutosti i prigušenja

$$\Phi_n^T \cdot m \cdot \Phi_j = 0; \Phi_n^T \cdot k \cdot \Phi_j = 0; \Phi_n^T \cdot c \cdot \Phi_j = 0; \tag{3}$$

$$n \neq j.$$

i uvođenjem oznaka za generaliziranu masu M_n , generaliziranu krutost K_n , generaliziranu silu $P_n(t)$ i generalizirano prigušenje C_n za ton n :

$$M_n = \Phi_n^T \cdot m \cdot \Phi_n; K_n = \Phi_n^T \cdot k \cdot \Phi_n; P_n(t) = \Phi_n^T \cdot p(t); \tag{4}$$

$$C_n = \Phi_n^T \cdot c \cdot \Phi_n.$$

dobiva se diferencijalna jednadžba koja se odnosi na n -ti oblik osciliranja diskretnog sustava sa N stupnjeva slobode, sljedećeg oblika:

$$M_n \cdot \ddot{Y}_n + C_n \cdot \dot{Y}_n + K_n \cdot Y_n = P_n(t), \quad n = 1, 2, \dots, N. \tag{5}$$

Modalna diferencijalna jednadžba za ton n (5) vrijedi i u slučaju potresa pri čemu je:

$$P_n(t) = \Phi_n^T \cdot p_{ef} = -\Phi_n^T \cdot m \cdot \ddot{u}_g(t) \cdot I, \tag{6}$$

gdje je:

p_{ef} - vanjske efektivne sile jednake produktu katnih masa i ubrzanja podloge

$\ddot{u}_g(t)$ - ubrzanje temeljnog tla (podloge)

I - jedinični vektor stupac.

S obzirom da je matrica masa dijagonalna može se pisati:

$$\Phi_n^T \cdot m \cdot I = \sum_{j=1}^N m_j \cdot \Phi_{nj} = L_n. \tag{7}$$

Vrijednost L_n predstavlja faktor učešća ili participacije, odnosno iznos s kojim n -ti ton učestvuje u prijenosu seizmičkog opterećenja. Ovaj faktor se smanjuje s povećanjem broja tona jer je doprinos viših tonova

u prijenosu seizmičkog opterećenja znatno manji zbog malih vrijednosti pomaka viših vlastitih oblika.

Prema tome u slučaju opterećenja silama potresa modalna jednadžba (5) poprima oblik:

$$\ddot{Y}_n + 2 \cdot \xi_n \cdot \omega_n \cdot \dot{Y}_n + \omega_n^2 \cdot Y_n = -\frac{L_n}{M_n} \cdot \ddot{u}_g(t), \tag{9}$$

$$n = 1, 2, \dots, N.$$

Rješenje ove diferencijalne jednadžbe dano je u poznatoj formi Duhamelovog integrala iz kojeg se dobiva modalni pomak $Y_n(t)$:

$$Y_n(t) = -\frac{L_n}{M_n} \cdot \frac{1}{\omega_{nD}} \cdot \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) \cdot e^{-\xi_n \omega_n (t-\tau)} \cdot \sin[\omega_{nD}(t-\tau)] \cdot d\tau \tag{10}$$

$$J_n(t) = \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) \cdot e^{-\xi_n \omega_n (t-\tau)} \cdot \sin[\omega_{nD}(t-\tau)] \cdot d\tau. \tag{11}$$

Unutarnje sile u sustavu, poprečne katne sile i momenti, nastale prethodno dobivenim vrijednostima deformacija sustava, određuje se primjenom koncepta ekvivalentnih bočnih sila f . To su one sile koje primijenjene na sustav uzrokuju pomake.

Ukupna poprečna sila u razini temelja zgrade:

$$V_0(t) = -\sum_{n=1}^N \frac{L_n}{M_n} \cdot \frac{\omega_n^2}{\omega_{nD}} \cdot J_n. \tag{12}$$

Ukupni moment u razini temelja zgrade:

$$M_0 = -\sum_{n=1}^N \frac{L_n}{M_n} \cdot \frac{\omega_n^2}{\omega_{nD}} \cdot \{h_1 \quad h_2 \quad \dots \quad h_j \quad \dots \quad h_N\} \cdot m \cdot \Phi_n \cdot J_n \tag{13}$$

Odgovor konstrukcije (deformacija, unutarnje sile, naprezanja) na djelovanje potresa uzimajući u obzir zapis potresa u funkciji akceleracije tla jednak je zbroju pojedinačnih doprinosa svakog vlastitog oblika u jednom vremenskom koraku:

$$r(t) = r_1(t) + r_2(t) + \dots + r_n(t) + \dots + r_N(t). \tag{14}$$

3 Spektralna analiza Spectral Analysis

U slučaju opterećenja konstrukcije spektrom odgovora dobivenim iz zapisa potresa, pri analizi sustava s jednim stupnjem slobode vrijedi izraz:

$$u_{\max} = S_d = \frac{S_v}{\omega} = \frac{S_a}{\omega^2}, \tag{15}$$

gdje su:

S_d – spektralni pomak

S_v – spektralna pseudo brzina

S_a – spektralna pseudo akceleracija.

U modalnoj analizi ove veličine imaju sljedeće oznake u ovisnosti o pojedinim oblicima:

$$S_{dn} = S_d(\omega_n, \xi_n); S_{vn} = S_v(\omega_n, \xi_n); S_{an} = S_a(\omega_n, \xi_n), \\ n = 1, 2, \dots, N. \quad (16)$$

Modalni pomak u slučaju spektralne teorije ima maksimalnu vrijednost:

$$\bar{Y}_n = \frac{L_n}{M_n} \cdot S_{dn}. \quad (17)$$

Maksimalne vrijednosti presječnih sila u razini temelja:

$$\bar{V}_{0n} = \frac{L_n^2}{M_n} \cdot S_{an}; \quad \bar{M}_{0n} = \frac{L_n}{M_n} \cdot S_{an} \cdot \sum_{j=1}^N h_j \cdot m_j \cdot \Phi_{jn}, \\ n = 1, 2, \dots, N. \quad (18)$$

Maksimalni odgovor konstrukcije (deformacija, unutarnje sile, naprezanja) na djelovanje potresa, uzimajući u obzir spektar odgovora, jednak je kombinaciji maksimalnih pojedinačnih doprinosa svakog vlastitog oblika pri čemu se zanemaruju vremenski koraci u kojima su dosegnute maksimalne vrijednosti.

Kombinacije koje se koriste u spektralnoj analizi daju vrijednosti približne stvarnom odgovoru konstrukcije.

ABS – suma apsolutnih vrijednosti (eng. absolute sum) – modalna kombinacija koja pretpostavlja da sve vršne vrijednosti modalnih odgovora nastaju u istom vremenskom koraku, pri čemu je ukupni odgovor suma apsolutnih vrijednosti pojedinačnih vršnih odgovora tonova:

$$r_0 \leq \sum_{n=1}^N |r_{n0}|. \quad (19)$$

Ova kombinacija daje najveće moguće vrijednosti odgovora konstrukcije i zbog toga se rijetko koristi u inženjerskoj praksi.

SRSS – kvadratni korijen iz sume kvadrata (eng. square root of sum of squares) – modalna kombinacija koja kvadrira vršnu vrijednost svakog oblika. Korijen sume kvadrata tih vršnih vrijednosti daje ukupni odgovor:

$$r_0 \equiv \left(\sum_{n=1}^N r_{n0}^2 \right)^{1/2}. \quad (20)$$

Ova modalna kombinacija pretpostavlja da su maksimalne modalne vrijednosti statistički neovisne. Kako se radi o kvadratima vrijednosti svaka vršna vrijednost postaje pozitivna. U slučaju konstrukcija kod kojih je veliki broj prirodnih frekvencija gotovo identičan ova pretpostavka neće vrijediti i ova modalna kombinacija tada neće dati zadovoljavajuće vrijednosti ukupnog odgovora.

CQC – kompletna kvadratna kombinacija (eng. complete quadratic combination), predstavlja produkt vršnih vrijednosti i -tog i n -tog oblika i korelacijskog koeficijenta ρ_{in} za ta dva oblika. Korelacijski koeficijent varira između vrijednosti 0 i 1 i jednak je jediničnoj vrijednosti za $i = n$.

$$r_0 \equiv \left(\sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} \cdot r_{i0} \cdot r_{n0} \right)^{1/2} \quad (21)$$

Jednadžba (21) može se napisati i u sljedećem obliku:

$$r_0 \equiv \left(\sum_{n=1}^N r_{n0}^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} \cdot r_{i0} \cdot r_{n0} \right)^{1/2}; \quad i \neq n. \quad (22)$$

Jednadžba (22) predstavlja u prvoj sumi kombinaciju SRSS koja daje pozitivni član, s obzirom na to odgovor dobiven CQC kombinacijom može biti manji ili veći od odgovora dobivenim SRSS kombinacijom.

Korelacijski koeficijent prema Der Kiureghian-u:

$$\rho_{in} = \frac{8\sqrt{\zeta_i \zeta_n} (\beta_{in} \zeta_i + \zeta_n) \beta_{in}^{3/2}}{(1 - \beta_{in}^2)^2 + 4\zeta_i \zeta_n \beta_{in} (1 + \beta_{in}^2) + 4(\zeta_i^2 + \zeta_n^2) \beta_{in}^2}, \quad (23)$$

gdje je:

ζ - faktor prigušenja

$\beta_{in} = \frac{\omega_i}{\omega_n}$ - koeficijent odnosa vlastitih frekvencija i -tog i n -tog oblika.

Ukoliko postoji isti faktor prigušenja za sve tonove jednadžba (23) se pojednostavljuje i glasi:

$$\rho_{in} = \frac{8\zeta^2 (1 + \beta_{in}) \beta_{in}^{3/2}}{(1 - \beta_{in}^2)^2 + 4\zeta \beta_{in} (1 + \beta_{in})^2}. \quad (24)$$

Korelacijski koeficijent naglo se smanjuje ukoliko između dvije prirodne frekvencije ω_i i ω_n postoji velika razlika. To je naročito slučaj s konstrukcijama s malim prigušenjem. Za konstrukcije s dobro raspodijeljenim prirodnim frekvencijama korelacijski koeficijent se gubi pa kombinacijsko pravilo CQC prelazi u SRSS.

Kombinacijska pravila davati će zadovoljavajuće vrijednosti za potresne uzbude koje imaju širok opseg vlastitih frekvencija s dugačkim fazama visokih amplituda potresa, koje su nekoliko puta duže od prirodnih perioda konstrukcije i nisu premalo prigušene, odnosno modalne kombinacije neće biti pogodne za kratkotrajne impulsne harmonične potresne uzbude.

4 Numerički modeli Numerical Models

U numeričkom dijelu rada obrađeni su rezultati za pet modela pri čemu je svaki od njih bio opterećen s tri potresa (svaki u dvije horizontalne komponente), te su uspoređivani rezultati vremenskog odgovora i spektralne analize.

Pretpostavljen je koeficijent prigušenja kod svih

tonova od 2,5 % od kritičnog.

Svih pet modela imaju iste tlocrtne dimenzije i visine etaža, kao i dimenzije konstruktivnih elemenata.

Model A je karakteristični armiranobetonski okvir, dok su modelima B i C dodane zidane ispune različito razmještene po tlorisu.

U modelu B1 je zidana ispuna raspoređena simetrično po tlorisu i visini zgrade, dok je u modelu B2 primjer iste raspodjele zidane ispune po tlorisu, ali s mekim prizemljem.

U modelu C1 ispuna je raspoređena nesimetrično po tlorisu, ali ima jednolik raspored ispuna po visini, dok u modelu C2 ispuna raspoređena nesimetrično po tlorisu i visini zgrade (prizemlje ima raspodjelu kako je prikazano u tablici 1, dok ostale etaže imaju raspodjelu ispune kao model C1).

Za numeričko modeliranje korišten je program ETABS ver. 9.1 [3].

Tablica 1. Prikaz geometrijskih i materijalnih karakteristika numeričkih modela
Table 1. Scheme of geometry and material characteristics of numerical models

| | | | GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE | | MATERIJALNE KARAKTERISTIKE |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------|---|
| M O D E L A | M O D E L L | M O D E L | ploča d (cm) | 18 | beton C30/37 $E=3,25 \times 10^7$ kN/m ² |
| | | D E L | greda b/h (cm) | 30/50 | |
| | | L | stup b/h (cm) | 50/50 | čelik RA 400/500 $E=2 \times 10^8$ kN/m ² |
| | | A | zid d (cm) | 20 | opeka $E=5 \times 10^6$ kN/m ² |
| | B1 | C1 | | | |
| | B2 | C2 | | | |

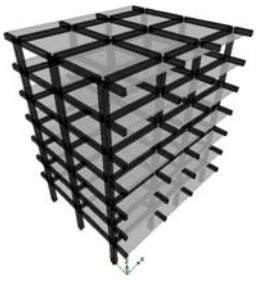
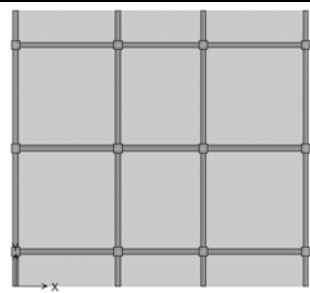
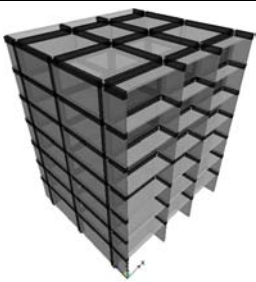
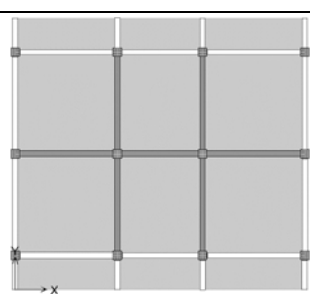
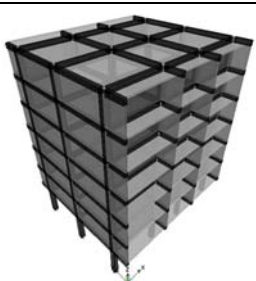
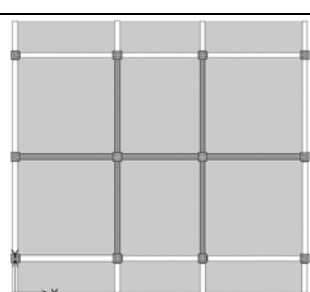
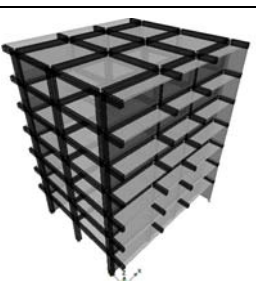
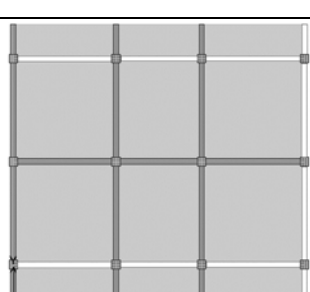
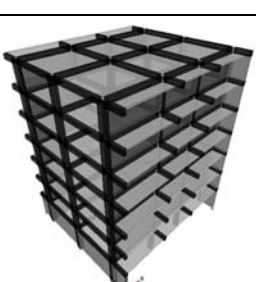
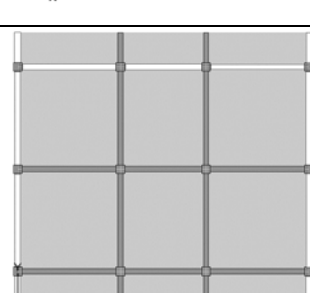
Pri numeričkom modeliranju potresnog opterećenja korištena su dva načina: zapis ubrzanja tla u vremenu i spektar odgovora za tri potresa u dvije horizontalne komponente. Za potresna opterećenja korišteni su zapisi potresa s intenzitetom koji odgovara IX. potresnoj zoni po MSK skali te s vrijednostima maksimalnih ubrzanja (0,3g - 0,45g). Frekventni sastav potresa

je takav da pokriva područje od krutih do mekih tla, tj. pokrivaju projektno interesantno područje.

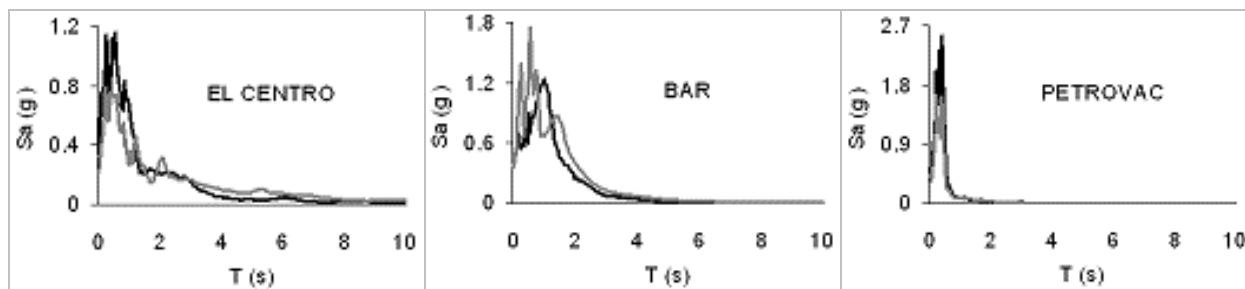
Smjer sjever-jug zadan je u smjeru x , a smjer istok-zapad u smjeru y globalnog koordinatnog sustava i istovremeno je zadavana pobuda u dva okomita smjera (smjer x sa 100 % vrijednosti i smjer y sa 30 % vrijednosti).

Tablica 2. Vršne vrijednosti potresa
Table 2. Peak values of earthquake

| | VREMENSKI ZAPIS | | SPEKTAR ODGOVORA | |
|-----------|-----------------|--------|------------------|--------|
| | X | Y | X | Y |
| EL CENTRO | 0,349g | 0,214g | 1,154g | 0,790g |
| BAR | 0,375g | 0,363g | 1,235g | 1,758g |
| PETROVAC | 0,484g | 0,341g | 2,556g | 1,644g |

| | PROSTORNI PRIKAZ | TLORIS |
|----------|---|--|
| MODEL A |  |  |
| MODEL B1 |  |  |
| MODEL B2 |  |  |
| MODEL C1 |  |  |
| MODEL C2 |  |  |

Slika 1. Prostorni prikazi i tlorisi modela s raspodjelom zidanih ispuna
 Fig. 1. 3D and ground plan scheme of models with distribution of wall filling



Slika 2. Spektri odgovora za oba horizontalna smjera: crna crta - X smjer i siva crta - Y smjer
 Fig. 2. Spectrums of answers for both horizontal directions: black line - X direction and grey line - Y direction

Tablica 3. Vrijednosti perioda za prvih šest tonova po modelima
 Table 3. Values of periods for the first six tones by models

| | Model A | Model B1 | Model B2 | Model C1 | Model C2 |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| OBLIK | T, s | T, s | T, s | T, s | T, s |
| 1 | 1,405 | 0,414 | 0,755 | 0,786 | 0,720 |
| 2 | 1,306 | 0,357 | 0,713 | 0,361 | 0,423 |
| 3 | 1,304 | 0,265 | 0,643 | 0,299 | 0,303 |
| 4 | 0,449 | 0,134 | 0,194 | 0,250 | 0,223 |
| 5 | 0,422 | 0,118 | 0,166 | 0,143 | 0,138 |
| 6 | 0,419 | 0,089 | 0,116 | 0,118 | 0,128 |

5

Rezultati

Results

U obradi podataka uspoređeni su periodi pojedinih modela po tonovima i u analizi reakcija vrijednosti dobivene kombinacijama modalnih odgovora ABS, SRSS, CQC i točnih vrijednosti dobivenih analizom vremenskog zapisa potresa.

Prema vremenskoj analizi može se utvrditi koja će kombinacija dati točnije vrijednosti s obzirom na bliskost vrijednosti perioda dva uzastopna oblika konstrukcije. Ukoliko je vrijednost perioda drugog moda u odnosu na prethodni veća od 90 % prethodne ne preporuča se uporaba SRSS, nego CQC kombinacije.

Rezultati su se uspoređivali na osnovu vrijednosti poprečnih reakcija za oba horizontalna smjera i momenta torzije u rubnim stupovima modela. Prikaz usporednih vrijednosti po kombinacijama i potresima za model C1 vidljiv je na slici 3.

6

Zaključak

Conclusion

U radu je izvršena analiza pet modela istih tlocrtnih dimenzija i visina etaža, ali različitih krutosti po tlorisu i po visini što je utjecalo na vrijednosti prirodnih perioda, formi osciliranja te karakteristika odgovora.

Svi modeli su opterećeni potresima u vidu zapisa potresa u vremenu u dvije komponente te su tako

dobiveni rezultati dali reprezentativne vrijednosti.

Spektralna analiza i kombinacije modalnih odgovora za sve modele i potrese dale su dostatan raspon vrijednosti koje su uspoređene s reprezentativnima.

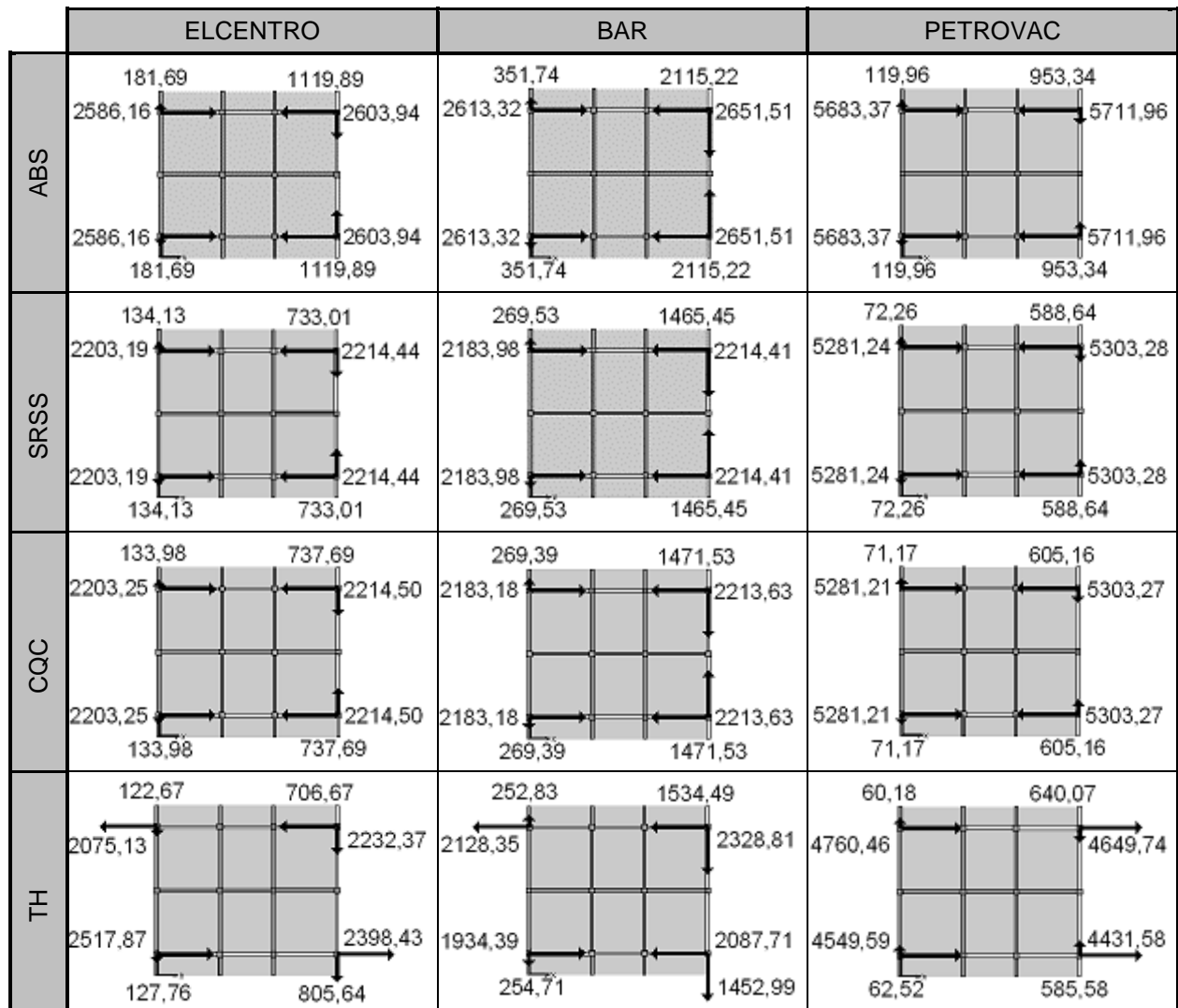
Metoda spektralne analize direktno daje idealizirane maksimalne vrijednosti odgovora konstrukcije potrebne za proračun, dok metoda s opterećenjem zapisom potresa u vremenu daje točne odgovore konstrukcije, ali u ovisnosti o vremenu.

Vremenska analiza odgovora konstrukcije, koja daje točne vrijednosti odgovora u vremenu, omogućava usporedbu rezultata s različitim metodama modalnih kombinacija. Iz rezultata koji pokrivaju širok spektar frekvencija građevina od interesa (sa i bez utjecaja torzije), širok spektar pobuda (na mekim i krutim tlima) može se zaključiti o uporabivosti metoda:

SRSS kombinacija daje veće razlike u odnosu na stvarne točne vrijednosti odgovora u slučaju tonova s uzastopnim bliskim vrijednostima perioda. Takve razlike pokriva kombinacija CQC. U slučaju neregularnih konstrukcija u pravilu se javljaju frekvencije jednolike u paru tonova pa je preporučljivo koristiti CQC kombinaciju.

ABS kombinacija daje uvijek veće vrijednosti što je vidljivo i u provedenoj analizi s prosječnim povećanjem od oko 30 %, pa je kao moguća metoda kombinacije modalnih odgovora uporabljiva samo s ciljem ostajanja na strani sigurnosti.

CQC modalna kombinacija daje najmanja odstupanja od točnih vrijednosti kod svih razmatranih modela (u prosjeku oko 3 %) te se preporučuje kao najpouzdanija za inženjersku praksu.



Slika 3. Reakcije u rubnim stupovima po kombinacijama i potresima za model C1
 Fig. 3. Reaction forces in kerb-pillars by combinations and earthquakes for model C1

Tablica 4. Tablica rezultata srednjih vrijednosti po modelima i potresima u odnosu na jedinične vrijednosti dobivene vremenskim zapisom
 Table 4. Results of middle-values by models and earthquakes in relation to values obtained with time entry

| | | ABS | SRSS | CQC |
|----------|-----------|-------|-------|-------|
| MODEL A | EL CENTRO | 1,364 | 0,962 | 0,963 |
| | BAR | 1,252 | 1,058 | 1,059 |
| | PETROVAC | 1,526 | 0,951 | 0,954 |
| MODEL B1 | EL CENTRO | 1,200 | 0,961 | 0,962 |
| | BAR | 1,218 | 0,962 | 0,964 |
| | PETROVAC | 1,216 | 1,061 | 1,062 |
| MODEL B2 | EL CENTRO | 1,119 | 1,098 | 1,098 |
| | BAR | 1,060 | 1,046 | 1,046 |
| | PETROVAC | 1,131 | 0,990 | 0,990 |
| MODEL C1 | EL CENTRO | 1,407 | 1,049 | 1,048 |
| | BAR | 1,351 | 1,044 | 1,042 |
| | PETROVAC | 1,628 | 1,092 | 1,083 |
| MODEL C2 | EL CENTRO | 1,482 | 1,214 | 1,210 |
| | BAR | 1,390 | 1,114 | 1,112 |
| | PETROVAC | 1,112 | 0,925 | 0,923 |

6**Literatura**

References

- [1] Chopra, Anil, K. Dynamics of Structures, Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- [2] Čaušević, Mehmed. Potresno inženjerstvo (odabrana poglavlja), Školska knjiga, Zagreb, 2001.
- [3] ETABS ver. 9.1, Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, Computers and structures, Inc., Berkley, 2006.

Author's Address (Adresa autora):

Tanja Kalman, dipl.ing.grad.
Građevinski fakultet u Osijeku
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera
Crkvena ulica 21, Osijek
e-mail: tkalman@gfos.hr

Prof.dr.sc. Vladimir Sigmund, dipl.ing.grad.
Građevinski fakultet u Osijeku
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera
Crkvena ulica 21, Osijek
e-mail: sigmund@gfos