



TORZIJSKI ODZIV SIMETRIČNIH KONSTRUKCIJA

mr.sc. **Valentina Ivanković Mihalj**, dipl.ing.građ.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

Sažetak: Promatranje zgrada izloženih snažnom djelovanju potresa, pokazalo je da čak i simetrične konstrukcije mogu biti izložene torzijskim oscilacijama. Odredbe građevinskih propisa za seizmiku daju samo zahtjeve za slučajni ekscentricitet (koje se zajednički odnose na slučajni ekscentricitet konstrukcije i torzijsko gibanje tla). Slučajni ekscentricitet je samo u funkciji tlocrtne dimenzije zgrade, te se ne odnosi na frekvencije konstrukcije. Naš prijašnji rad, temeljen na analitičkom istraživanju [Raduka, (2005)], je pokazao da odgovor simetričnih zgrada izložen bočnoj (horizontalnoj) pobudi može biti pod značajnim utjecajem različitih parametara. Pokazano je da nestabilne samopobuđene torzijske oscilacije mogu biti uzrokovane i bočnim oscilacijama, ako se vrijednosti parametara konstrukcije zadovoljavaju određene uvjete. U kontekstu takvih rezultata možemo ograničiti broj parametara u ovom radu. Glavni cilj ovog rada bio je utvrditi ponašanje stvarne konstrukcije, zadovoljavajući odabrane uvjete parametara, tijekom djelovanja potresa.

Ključne riječi: simetrične konstrukcije, slučajni ekscentricitet, torzija

TORSIONAL RESPONSE OF SYMMETRICAL STRUCTURES

Abstract: Observation of buildings under strong earthquake effects established that even symmetrical structures can be subject to torsional oscillations. Seismic provisions of building codes give only requirements for accidental eccentricity (which commonly relates to accidental eccentricity of the structure and torsional motion of the ground). Accidental eccentricity is only a function of plan dimensions of the building and does not apply to frequencies of the structure. Our previous work, based on analytical research [Raduka, (2005)], indicated that response of symmetrical buildings subjected to side (horizontal) excitation may be under significant influence of different parameters. It was shown that unstable self-excited torsional oscillations can also be due to side oscillations, if structure parameter values satisfy certain conditions. In the context of such results, we can limit the number of parameters in this paper. The main objective of this paper was to establish the behavior of an actual structure during earthquake action by satisfying selected parameter conditions.

Key words: symmetric structures, accidental eccentricity, torsion



1. UVOD

Iz promatranja zgrada izloženih snažnom djelovanju potresa, zaključeno je da one često imaju torzijski odziv što rezultira velikim deformacijama, posebno na rubovima zgrade, što uzrokuje znatna oštećenja. Stoga je zaključeno da zgrade pored translacijske otpornosti i krutosti, moraju pružiti adekvatnu torzijsku otpornost (kapacitet) i krutost. U području elastičnog odziva, torzijsko gibanje zgrade je uzrokovano: prirodnom torzijom (zgrada sa ekscentricitetom između centra krutosti sustava (CS) i centra mase (CM)) i slučajne torzije koja postoji u svim zgradama, čak i onim s nominalno simetričnim planom. Uzimanje u proračun slučajne torzije će rezultirati povećanjem sila u nosivim elementima. U većini slučajeva, rezultati ove analize (statička i dinamička) mogu značajno varirati od stvarnih rezultata dobivenih iz zapisa tijekom potresa. Također, dvije vrste analize (statička i dinamička) predviđaju značajno različite rezultate u povećanju sila koje su rezultat slučajne torzije.

Tendencija znanstvenog istraživanja je razviti odgovarajuće postupke koji nisu konzervativni, niti podcjenjuju utjecaje torzije. Novije studije su uglavnom usmjerene na stupanj procjene odziva konstrukcije uzrokovan slučajnom torzijom s obzirom na nekoliko faktora: rotacijska komponenta gibanja tla oko vertikalne osi, netočnost u krutosti nosivih elemenata u oba smjera analize, netočnost pozicije CM i CS, razlike raspodjele: mase, krutosti i čvrstoće predviđene u analizama u odnosu na stvarnu distribuciju u potresu [De La Llera, Chopra (1994a)].

Tijekom analize pouzdanosti propisanih odredbi, autori [De La Llera, Chopra (1994b)] su pokazali usporedbom rezultata (za projektne sile) dobivenih na temelju propisanih odredbi sa stvarnim rezultatima zapisanim tijekom gibanja objekata u stvarnim potresima da postoje neke razlike. Stvarne sile u nosivim elementima su veće od projektiranih vrijednosti. Pokazano je da slučajni ekscentricitet može biti značajan čimbenik u nekim situacijama, tj. slučaj kada je period torzijskih oscilacija T_{θ} mnogo duži od translacijskog perioda T_y , tlocrt građevine je značajno dug u jednom ili oba smjera, ili ako potres uzrokuje značajnu rotaciju osnove zgrade i sl. Ovakve situacije nisu predviđene odredbama građevinskih propisa za slučajnu torziju, osim činjenice da je slučajni ekscentricitet $e_a = 0,05 b$ je proporcionalan dimenziji tlocrta, te time i za zgrade dugih tlocrtnih dimenzija vodi do većih torzijskih momenata. Istraživanja [Lin, Chopra, De La Llera, (2001)] pokazala su da slučajna torzijska mjerena u višekratnim zgradama je manja u torziono krućih zgrada (veće Ω – omjer torzijske i translacijske frekvencije) i zgrade s manjim B/R omjerom, i značajno se razlikuje među različitim zgradama s $\Omega \approx 1$. Iako slučajna torzija varira po visini za većinu zgrada (rubni pomaci se razlikuju od vrijednosti predviđene projektnom krivuljom), projektna krivulja daje jednu vrijednost koja je korisna za procjenu sve priče. Autori [De La Llera, Chopra (1995)] su razvili i proširili [Lin, Chopra, (2003)] pojednostavljenu analizu za razmatranje od nesreća torzije. Većina znanstvenika je zaključila da se efekti slučajne torzije ne mogu ispravno opisati primjenom statičkih torzijskih momenata.

Dosadašnji rad temeljen na analitičkom istraživanju [Raduka, (2005)] je pokazao da odgovor simetričnih zgrada na bočnu pobudu može biti pod značajnim utjecajem različitih parametara. Pokazano je da je nestabilne samopobuđene torzijske oscilacije mogu biti uzrokovane i bočnim vibracijama, ako vrijednosti parametara konstrukcije zadovoljavaju određene uvjete. U kontekstu takvih rezultata možemo ograničiti broj parametara u ovom radu. Glavni cilj ovog rada bio je utvrditi, zadovoljava li stvarno ponašanje konstrukcije navedene postavke uvjeta tijekom potresa.



2. ANALIZIRANI MODEL

Dinamičke posljedice uzrokovane slučajnom torzijom analizirane su na modelu multi-kata, armiranobetonske okvirne zgrade. Zgrada je simetrična u tlocrtu 18 × 36 metara, ima prizemlje i četiri kata, s etažama visine 3 metra. Stupovi okvira sustava su poredani sekvencijalno svakih 6 metara, dakle okvir sustava ima tri raspona u y-smjeru i šest raspona u x-smjeru. Sve grede u modelu imaju iste dimenzije, čime je masa i krutost jednoliko raspodijeljena u horizontalnom i vertikalnom.

2.1. Procedura analize

Prema odredbama EC8 za proračun idealno simetričnih konstrukcija na djelovanje potresa preporučuje se primjena jedne od sljedećih metoda:

- a) Metoda poporečne sile - djelovanje potresa zamjenjuje se statičkim silama, pri čemu se pretpostavlja da ukupna horizontalna sila potječe samo od doprinosa prvog oblika osciliranja. Utjecaj slučajne torzije se uzima u obzir faktorom $\delta = 1 + x / Lc$.
- b) Metoda Spektrima odziva - Spektralna analiza provodi se uzimajući u obzir sve relevantne oblike oscilacija. Propisi nalažu da se utjecaj slučajnog ekscentriciteta zamijeni nizom momenata torzije oko vertikalne osi. Za svaki oblik oscilacije je potrebno određivanje momenata koji se javljaju zbog pomaka usljed horizontalnih sila za dani slučajni ekscentricitet $e = \pm 0,05 L$. Važno je napomenuti da je u ovom slučaju slučajna torzija zamijenjena samo dodatnim statičkim efektima, te tako translacijske i torzijske oscilacije nisu povezane. Opcija za definiranje ekscentriciteta na ovaj način može se naći u gotovo svim komercijalnim programima za projektiranje konstrukcija.
- c) Metoda dinamičkog odziva analize za povijesni zapis funkcije - Ova vrsta analize provodi se pomoću numeričke integracije koja određuje odgovor na zapisanu ili umjetno modeliranu potresnu aktivnost za koju se funkcija ubrzanja mijenja tijekom vremena. Za ovu vrstu analize propisi ne zahtijevaju dodatni uvjet za izračun slučajne torzije. Analiza se provodi na prostornom modelu konstrukcije, te slijedi da će utjecaji ekscentriciteta na dinamički odgovor biti uključeni i za asimetrične strukture također. Međutim, utjecaj slučajne torzije na dinamički odziv idealno simetričnih konstrukcija nije uključen i omogućen u računskom modelu komercijalnih programa za konstruktivnu analizu ako se želi koristiti ovu metodu.

2.2. Proračunski model

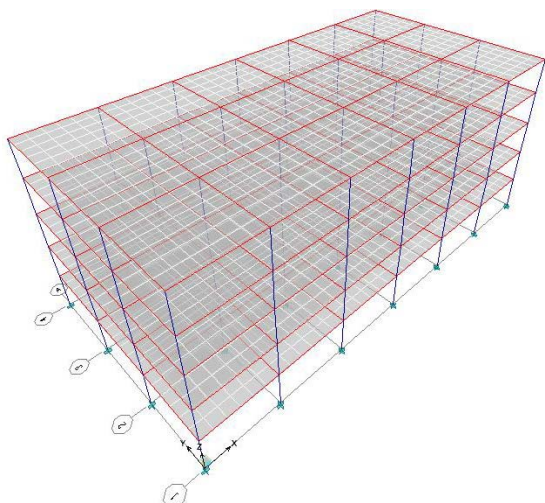
Izračun konstrukcije je proveden na prostornom modelu pomoću programskog paketa ETABS. Katne ravnine (ploče) su modelirane kao krute u svojim ravnima. Masa konstrukcije je dodijeljena mreži čvorova u razini kata. Torzijski efekt je analiziran na nizu modela koji svi imaju navedeni plan (tlocrt), raspored okvira, te su generirani iz primarnog modela promjenom krutosti pojedinih stupova i greda s konstantnom distribucijom mase. λ se uzima kao mjera torzijskih učinaka, a izražava se kao postotak. Ono pokazuje koliko je vrijednost pomaka točke y_{ϕ} izračunata uključujući i utjecaj torzije, veća od pomaka iste točke y_{θ} ako efekt slučajne torzijske nije uzet u obzir .

$$\lambda = 100 \frac{y_{\phi} - y_{\theta}}{y_{\theta}}$$

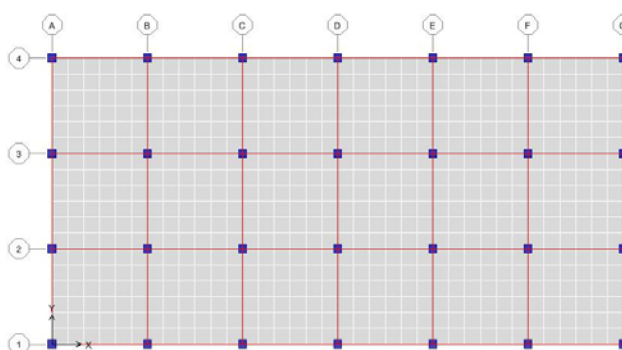


2.2.1. Primary model – Models 1

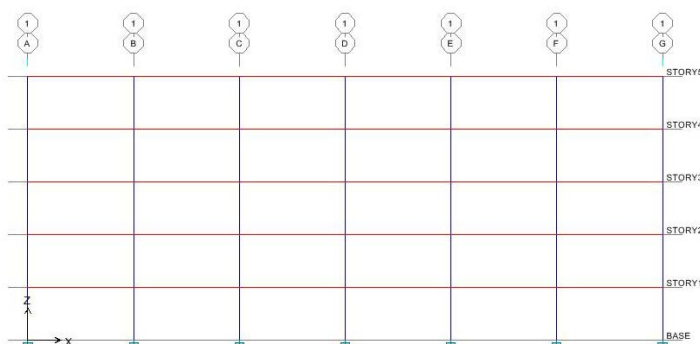
U osnovnom modelu svi stupci imaju dimenzije 50/50 cm, grede dimenziju 30/50 cm, a međukatne ploče su debljine 17 cm. Ukupna masa ravnomjerno je raspoređena na svakom katu. Prvi period ovog modela je $T_1 = 0,88$ s i spada u translacijski period oscilacije u y-smjeru. Period torzijskih oscilacija je $T_\phi = 0,76$ s.



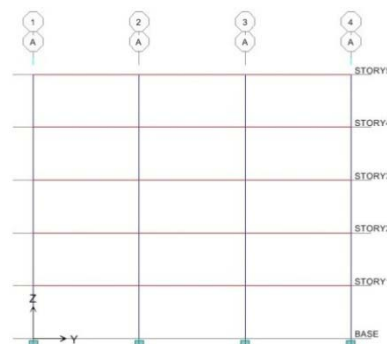
Slika 1.1. 3D model konstrukcije



Slika 1.2. Tlocrt konstrukcije



Slika 1.3. Presjek 1-1



Slika 1.4. Presjek A-A

Slika 1. Prostorni model I dispozicija okvira razmatrane konstrukcije

Analiza djelovanja potresa na svaki okvir konstrukcije koja je prikazana i opisana računalnim modelom će biti izvedena na tri načina kako je opisano u 2.1.



2.2.2. Models 2

Već smo spomenuli da metoda spektralnih odgovora ne pokriva dinamičke učinke slučajne torzije. Da bi se postiglo dinamičke utjecaje slučajnog ekscentriciteta za vrijeme potresne pobude, torzijski momenti od inercijalnih sila mogu biti inducirani, tako da raspodjela mase na svakom katu nije ravnomjerna, nego se distribuira u modelu uključujući zadani ekscentricitet. Tako je model 2 generiran iz primarnog modela. U modelu 2 je očuvana simetrija konstrukcije, ali je postignuta udaljenost između centra mase i centra krutosti u smjeru y-osi, koja je jednaka slučajnom ekscentricitetu $e = 0,05 \cdot L = 1,8$ m. Sva ostala geometrijska svojstva objekata u ovoj skupini modela generiraju se na isti način kao grupa modela 1.

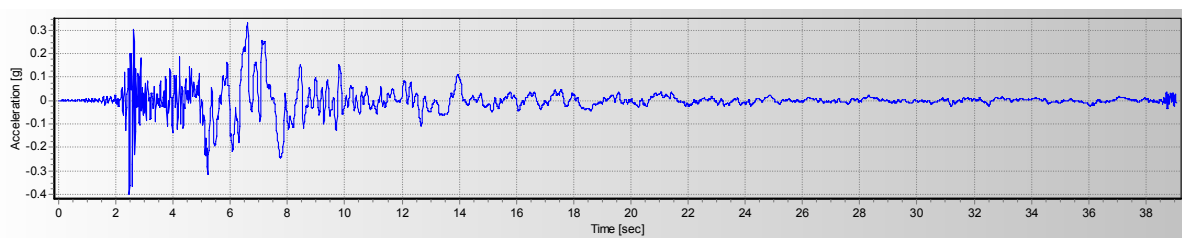
2.3. Primijenjena opterećenja

Proračun se obavlja na modelima skupine 1 i skupine 2 u skladu sa stavkom 2.1. c). Modelu je zadana horizontalna komponenta potresnog djelovanja u y-smjeru, potresni zapisi su uzeti iz baze podataka programa ETABS. Za izračun prema stavku 2.1. b) spektri su izrađeni od istih potresnih vremenskih funkcija pomoću softvera SeismoSignal ver. 4.0.0. Projektni spektri se određuju prema EC8 za tlo kategorije B, maksimalno ubrzanje tla 0,4 g i faktor ponašanja 3,9. Ovaj projektni spektar je primijenjen za određivanje i proračun ekvivalentnog statičkog opterećenja u skladu s 2.1.b). Za usporedbu rezultata, i seizmički zapisi i spektri su s normalizirani na jednako maksimalno ubrzanje, $a_{\max} = 0,4$ g.

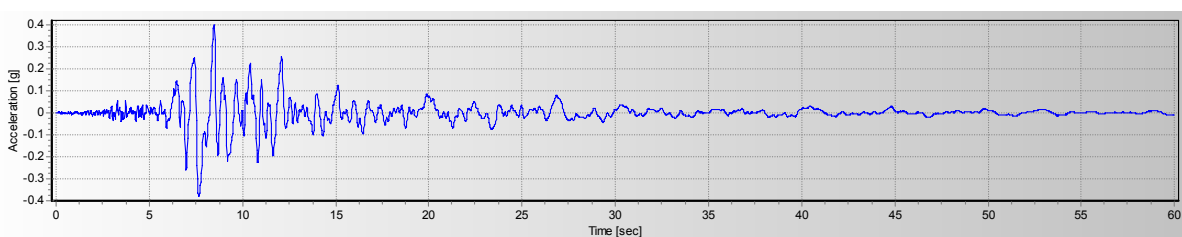
2.3.1. Time-history function of selected earthquake acceleration

Za izučavanje dinamičkog odgovora, izabrani su potresi sa različitim skalom frekvencija i različitim trajanjem:

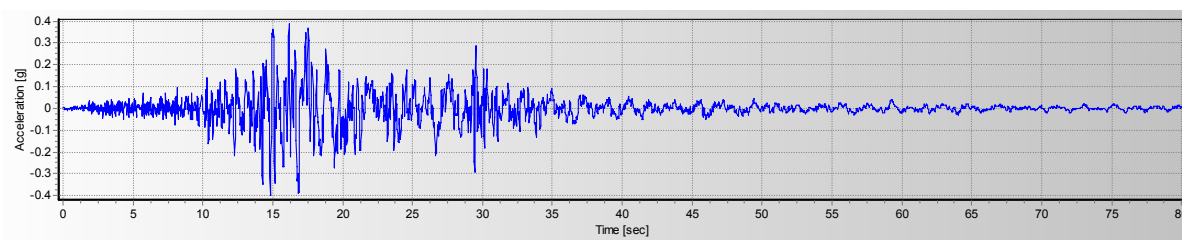
1. ARRAY 1P – Maksimalno ubrzanje: 0.400g u trenutku $t=2.470$ sec, prikazano na slici.2.(1)
2. HOLLISTE 1P - Maksimalno ubrzanje: 0.400g u trenutku $t=8.480$ sec, prikazano na slici.2.(2)
3. YERMO 1P - Maksimalno ubrzanje: 0.400g u trenutku $t=14.820$ sec, prikazano na slici.2.(3)



Slika 2.1. ARRAY 1P (Maximum Acceleration: 0.400g at time $t=2.470$ sec)

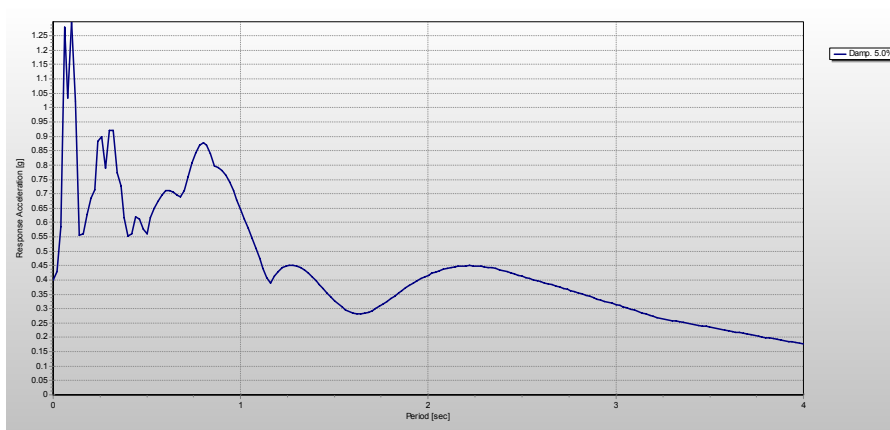


Slika 2.2. HOLLISTE 1P (Maximum Acceleration: 0.400g at time $t=8.480$ sec)

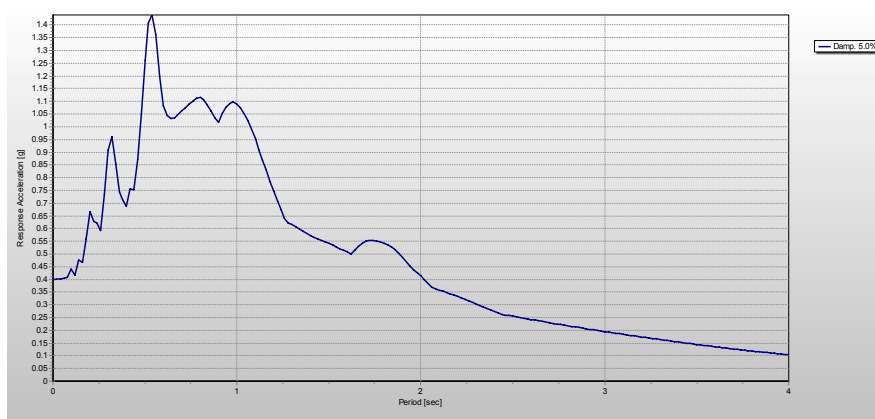


Slika 2.3. YERMO 1P (Maximum Acceleration: 0.400g at time t=14.820sec)

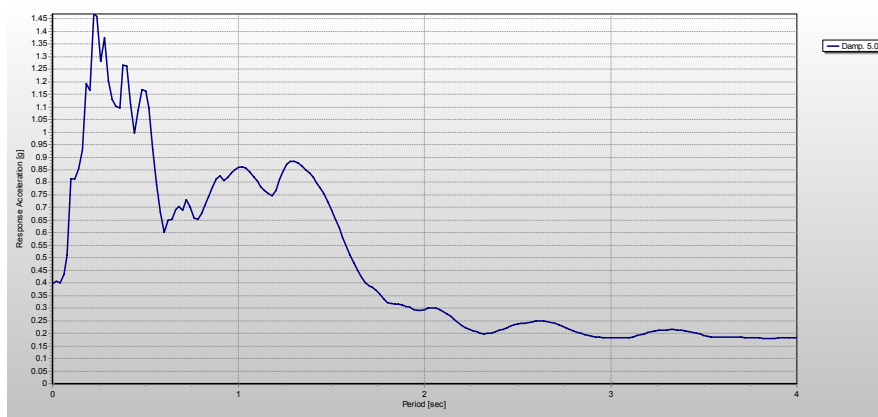
Slika 2. Odabrane funkcije vremenskog zapisa za potrese



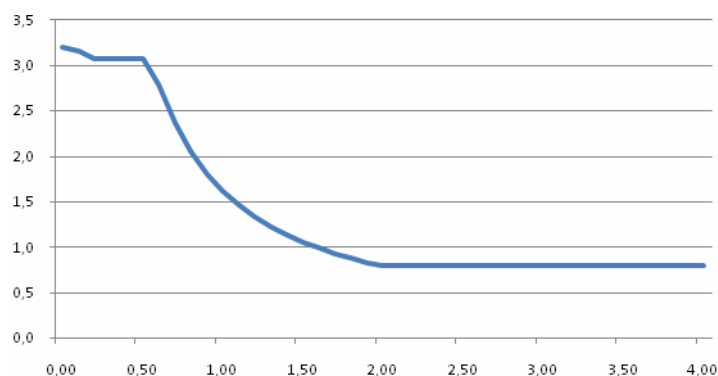
Slika 3.1. spektar ARRAY 1S



Slika 3.2. spektar HOLLISTE 1S



Slika 3.3. spektr YERMO 1S



Slika 3. Funkcije za spektralnu analizu

3. REZULTATI ANALIZE

3.1. Grupa Modela 1

Ravnomjernim variranjem krutosti okvira primarnog modela, izrađena je prva skupina od jedanaest modela. Svi imaju istu geometriju i različite krutosti, tako da se prvi period čije su translacijske oscilacije u y-smjeru, mijenja od 0,3 s do 1,3 s. Torzijska krutost za modele u ovoj grupi je $T_y / T_\varphi = 1,16$ i malo se mijenja, jer svi okviri unutar jednog modela ostaju isti. Svaki model je analiziran pomoću tri vrste postupaka opisanih u poglavlju 2.1. Postotak povećanja pomaka λ prema 2.1.a) ovisi samo o tlocrtnoj dispoziciji, tako da je povećanje pomaka točke na rubu svih modela 30%. Također, za sve modele ove skupine izvedena je metoda spektralnog odziva opisana u poglavlju 2.1.b). Primijenjene funkcije spektra prikazane su na sl.3. Važno je naglasiti da se u tim modelima ne pojavljuje interakcija oscilacijskih formi za dinamički odgovor. U rezultatima, proračun spektralnog odziva modela za ovu grupu se nazivaju modeli 1b i prikazani su na sl.4. Spektralna analiza koja uzima u obzir dodatne statičke utjecaje od torzijskih momenata pokazuje da je za kompenzaciju slučajne torzije, bez obzira na translacijsku fleksibilnost modela, potrebna stopa rasta oko 20%.



Obračun proveden za elastične spektre prema EC8, postotak povećanja pomaka λ za fleksibilne konstrukcije koje imaju osnovni period $T_1 \geq 0,9$ s dostiže i do 25%, dok je nešto manje od 20% za krute konstrukcije. Za krute konstrukcije, spektar definiran u EC8 propisima u usporedbi sa spektrima oblikovanim od niza potresa nudi niže stope povećanja. U ovom slučaju to je razumljivo, jer u tim vrstama spektara su dominantne niže frekvencije. Iz gore navedenog čini se da pojednostavljeni izračun za ekvivalentno statičko opterećenje, uz povećanje od 30% za relativno prihvatljivu torzijsku krutost, postiže zadovoljavajuće rezultate, jer su oni konzervativniji od rezultata proračuna za ovu skupinu modela 1b.

Ostale podgrupe modela su generirane iz osnovnog modela na način kojim se varira torzijska krutost, a translacijska krutost u smjeru seizmičke aktivnosti s periodom $T_y = 0,88$ s je konstantna. Masa modela ostaje simetrično distribuirana, a slučajni ekscentricitet je kompenziran u skladu s propisima, dodatnim momentima torzije. Analiza je napravljena za grupu modela 1 korištenjem istih seizmičkih djelovanja i odabranih spektara. Rezultati su prikazani na sl.5, graf za modele 1b. Kao i u prethodnim studijama očigledno je da se utjecaj slučajne torzije povećava sa smanjenjem torzijske krutosti. Možemo vidjeti da faktor λ raste od 18% za torziono krute konstrukcije do gotovo 40% za torziono fleksibilne konstrukcije. Prema tim rezultatima čini se da je EC8 spektralna analiza za slučaj torziono fleksibilnih konstrukcija osigurava dovoljan faktor za povećanje odgovora. Povećanje od 30% koje se pripisuje ekvivalentnom statičkom opterećenju više nije na strani sigurnosti.

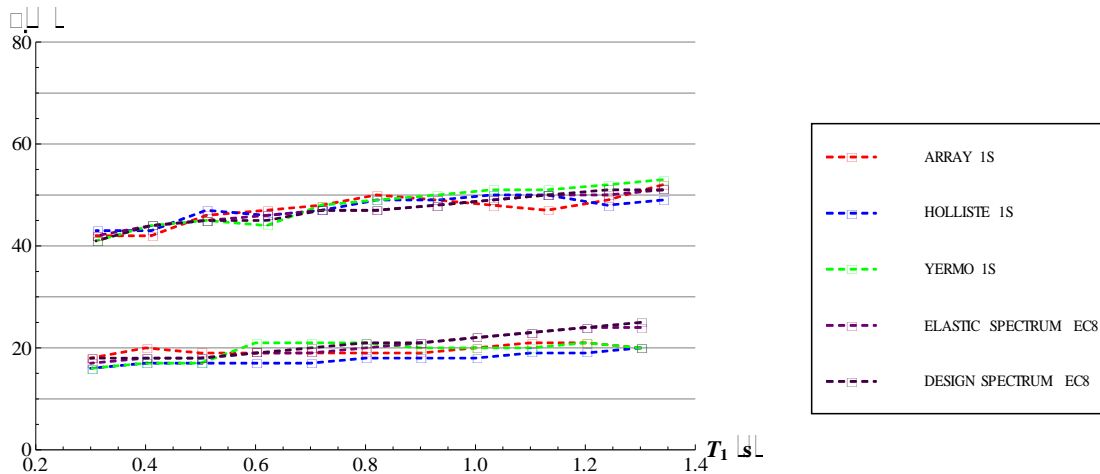
Analiza na potresnu pobudu funkcijom vremenskog zapisa ubrzanja je provedena za sve modele u ovoj skupini. Kao što je već spomenuto u stavku 2.1.c), propisi u ovom slučaju ne nalažu primjenu slučajnog ekscentriciteta. S obzirom da su sva svojstva modela u ovoj skupini idealno simetrična, u dinamičkom odzivu konstrukcije se ne javlja interakcija između translacijskih i torzijskih oblika. Maksimalni registrirani pomaci u ovim odgovorima su bili veći od onih dobivenih spektralnom analizom. Za potrese Array i Holliste, amplituda translacijskog pomaka ne ovisi o torzijskoj krutosti (maksimalni pomaci su približno jednaki za svaki omjer krutosti modela). Međutim, maksimalni pomaci tijekom dužeg trajanja potresa Yermo se drastično mijenjaju za različite omjere torzijske krutosti i bez vidljive pravilnosti. Pomaci jasno ovise o frekvencijskim karakteristikama i trajanju potresa. Maksimalni pomaci vremenskog zapisa odgovora su veći od maksimalnih pomaka u određenom spektralnom odzivu oko 15% za potres Holliste, 40% za potres Array i više od 60% za potres Yermo.

3.2. Grupa modela 2

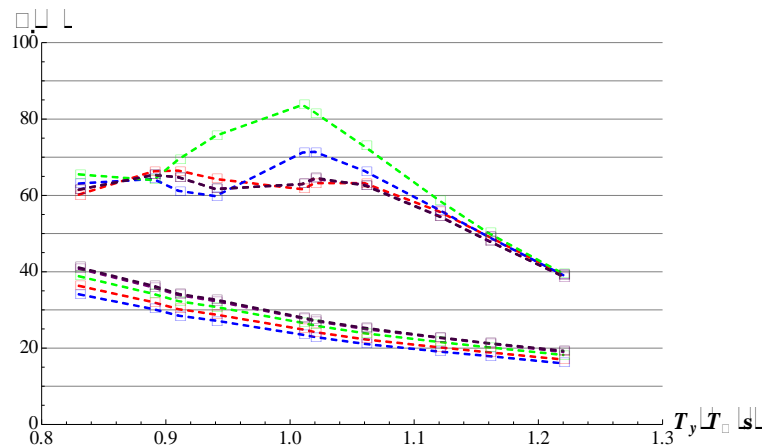
Modeli 2 modelirani su s ekscentricitetom mase uključenim u distribuciju mase. Na taj način, dinamički odgovor konstrukcije realnije opisuje ponašanje konstrukcije tijekom seizmičke aktivnosti, jer je uključeno ekscentrično djelovanje inercijalnih sila. Oblici translacijskih oscilacija su sada vezani s modovima torzijskih oscilacija. Prvih dvanaest oscilacijskih modova uključeni su radi analize, iako je 82% od ukupne mase već aktivirano u prva tri oscilacijska moda. Analiza je provedena za iste podskupine konstrukcija, kako je opisano u prethodnom poglavlju. U prvoj podskupini translacijska krutost se mijenja i torzijska krutost ostaje nepromijenjena $T_y / T_\varphi = 1,16$. Spektralna analiza za sve odabrane spektre pokazuje da dinamički utjecaj slučajnog ekscentriciteta rezultira znatno većim povećanjem nego u ekvivalentnoj statičkoj analizi. Evidentno je da je to prouzročeno dinamičkom vezom oscilacijskih modova (oblika). Ukupna masa aktivirana u prvom obliku osciliranja je reducirana na udio mase povezane s translacijom i povećan udio mase aktivirane torzijom, kao što je prikazano na sl.6. Rezultati spektralne analize svih modela su prikazani na sl.4, za grupu modela 2b.



Iz grafikona se može vidjeti stopa porasta λ potrebna za nadoknadu utjecaja stvarnog ekscentriciteta mase od 5%. To je oko dva puta više u postotcima od povećanja pri ekvivalentnoj kvazistatičkoj analizi konstrukcije. Možemo zaključiti da, ako konstrukcije imaju nižu torzijsku krutost, faktor λ se povećava. Očito je da povećanje od 30% koje je propisano za ekvivalentno statičko opterećenje nije dovoljno za kompenzaciju potrebnog povećanja u spektralnom dinamičkom odzivu ako konstrukcija ima stvarni ekscentricitet od 5% .



Slika 4. Korrelacija između faktora λ i osnovnog perioda T_1 konstrukcije

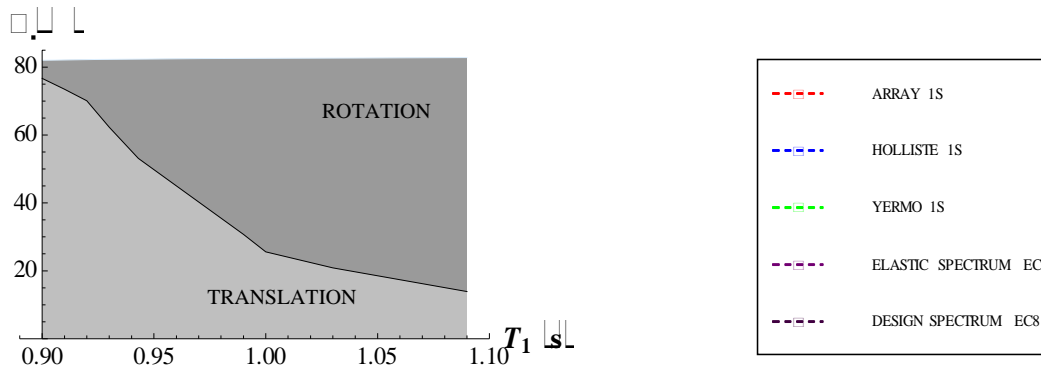


Slika 5. Korrelacija između faktora λ i torzijske krutosti konstrukcije

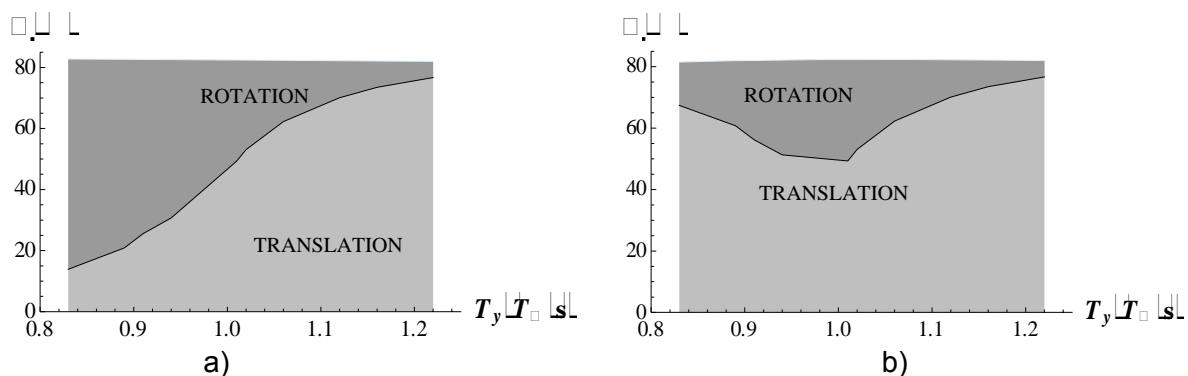
U drugoj podskupini analiziranih konstrukcija, varira se torzijska krutost, dok translacijska krutost u y-smjeru, $T_y = 0,88$ s, ostaje konstantna. Spektralni odgovor ove grupe objekata je potvrdio osjetljivost konstrukcija na torzijsku nosivost (otpornost) (slika 5). Odziv konstrukcije vrlo je ovisan o frekvenciji spektra, tako da se stopa rasta kreće od 60% do 80% u tom slijedu. Očito je da EC8 projektni spektar više ne daje rezultate na strani sigurnosti na području torzijske rezonance. Iako su svi modeli aktivirani s 82% ukupne mase za prvi i drugi oblik oscilacija svakoga, postotci mase u translaciji i rotaciji se mijenjaju s izmjenom torzijske krutosti. Prvi oblik kod torziona krutih konstrukcija je dominantno translacijski, ali za torziona mekše konstrukcije postaje dominantno torzijski, kao što je prikazano na sl.7.a). U području u blizini torzijske rezonance raspodjela mase utječe na primarne translacijske i torzijske frekvencije i torzijske krutosti još dublje.



Ako je razlika između torzijskih i translacijskih frekvencija zanemariva, ukupna translacija pokazuje dramatično povećanje faktora aktivirane mase u torziji, kao što se može vidjeti na Sl.7.b).



Slika 6. Korelacija između faktora mase χ i osnovnog perioda T_1



Slika 7. Korelacija između faktora mase χ i torzijske krutosti

4. ZAKLJUČAK

Nakon prethodnih zaključaka, može se reći da je neophodno još detaljnije istraživanje u pogledu analize utjecaja slučajne torzije na seizmički odziv simetričnih konstrukcija. Poseban naglasak treba usmjeriti na nedostatke važećih propisa. Trenutni faktori sigurnosti definirani seizmičkim propisima nisu dovoljni da izdrže stvarna opterećenja (razlike rezultata za EC8 i NZS pokazuju da proračun po novozelandskim propisima daje puno bolje rezultate, koji se za više i dulje konstrukcije približavaju rezultatima dinamičkog proračuna).

Pored toga, metode definirane propisima su pokazale određenu nedosljednost. Naime, Metodom ekvivalentne statičke sile (Lateral Force Method) se zanemaruje činjenica da se utjecaj slučajne torzije povećava s duljinom konstrukcije, te bi propisi morali u ovom pogledu doživjeti određene izmjene.



Propisana metoda modalnog spektralnog odziva (Response Spectrum Method) utječe slučajne torzije zamjenjuje statičkim momentima torzije, te se ne uzimaju realno u obzir dinamički učinci koji se javljaju tijekom potresa (što se potvrdilo velikom razlikom u rezultatima statičkog i dinamičkog načina proračuna). Stoga se zaključuje da bi propisi morali uzeti u obzir i povezanost efekata slučajne torzije s dinamičkim parametrima konstrukcije. Nadalje, metoda analize dinamičkog odziva na funkciju vremenskog zapisa (Time History) ne predviđa uopće mogućnost zadavanja slučajnog ekscentriciteta u komercijalnim programima za seizmički proračun konstrukcija.

Također se preporučuje detaljnije istraživanje na većem broju modela za parametre kod kojih se ovisnost efekata slučajne torzije pokazala izrazito osjetljivom (kao što je Ω). Zbog disperzije rezultata vidljiva je potreba za većim brojem potresnih zapisa u analizi. To posebno vrijedi kada se analizira rezultate odgovora na vremenski zapis odgovora gdje je disperzija rezultata ovisila čak i više o torzijskoj krutosti. U ovom slučaju, stopa povećanja λ u usporedbi s analizom vremenskog zapisa bez ekscentriciteta je više od 100%. Možemo stoga zaključiti da je neophodno detaljnije istraživanje, jer trenutni propisi ne uzimaju u obzir realno dinamičke učinke koji se javljaju tijekom potresa. Trenutni faktori sigurnosti (povećanja) definirani seizmičkim propisima nisu dovoljni da izdrže stvarna opterećenja.

LITERATURA

1. Clough, R.W., Penzien, J. (2003), Dynamics of Structures-3rd Edition, McGraw-Hill Book Co., New York
2. Chopra, A.K.(2001), Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice-Hall
3. De La Llera, H.C., Chopra,A.K. (1994a), Accidental and Natural Torsion in Earthquake Response and Design of Buildings, Report No.UCB/EERC-94/07, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley
4. Lin, W.H., Chopra,A.K. (2003), Accidental Torsion in Buildings: Analysis versus Earthquake Motions, Report No.UCB/EERC 2003/01, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley
5. Eurocode 8: Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures (European Standard EN1998-1:2004).
6. De La Llera, H.C., Chopra, A.K. (1994b). Evaluation of Code - Accidental Torsion Provisions from Building Records. *Journal of Structural Engineering*. Vol.120. No.2
7. De La Llera, H.C., Chopra, A.K. (1995). Estimation of Accidental Torsion Effects for Seismic Design of Buildings. *Journal of Structural Engineering*. Vol.121. No.1
8. Lin, W.H., Chopra, A.K., De La Llera, H.C. (2001). Accidental torsion in buildings: Analysis Versus Earthquake motions. *Journal of Structural Engineering*. Vol.127. No.5.
9. Raduka, V.. (2005), Self-excited Torsion Vibrations of Symmetric Structures, *Eurodyn 2005, Sixth European Conference on Structural Dynamics*, Vol II: 1493-1498