

Pregled metoda proračuna aktualnih u potresnom inženjerstvu

Venera Vukašinić

Ključne riječi

potresno inženjerstvo, metode proračuna, pregled metoda, deterministički pristup, probabilistički pristup

Key words

earthquake engineering, analytical methods, overview of methods, deterministic approach, probabilistic approach

Mots clés

génie sismique, méthodes analytiques, aperçu de méthodes, approche déterministe, approche probabiliste

Ключевые слова

землетрясительное инженерство, методы расчёта, обзор методов, детерминистический подход, пробабилистический подход

Schlüsselworte

seismisches Ingenieurwesen, Berechnungsmethoden, Übersicht der Methoden, deterministischer Zutritt, probabilistischer Zutritt

V. Vukašinić

Pregled metoda proračuna aktualnih u potresnom inženjerstvu

Dan je pregled metoda koje se primjenjuju pri proračunima konstrukcija izloženih potresnom djelovanju. Prikazane su i starije metode, od kojih su neke zastarjele. Novije metode su prikazane u dvjema skupinama: s pristupima determinističkim i probabilističkim. Opisane su osnovne karakteristike navedenih metoda uz isticanje rezultata koji se postižu njihovim primjenama. Istaknuta je potreba za osvježanjem proračunskih metoda i propisa i u tom smislu su dane odgovarajuće sugestije.

V. Vukašinić

Overview of analytical methods applied in earthquake engineering

An overview of methods used in the analysis of structures exposed to earthquake action is given. Older methods, some of which are currently outdated, are also presented. Recent methods are grouped, depending on approach used, in two categories: deterministic and probabilistic. Basic properties of these methods are described, and results obtained during their application are presented. The need to improve current analytical methods and regulations is emphasized, and some suggestions in this direction are given.

V. Vukašinić

Un aperçu des méthodes analytiques utilisées dans le génie sismique

Un aperçu général des méthodes utilisées dans l'analyse des constructions exposées à l'action sismique est présenté. Les méthodes plus anciennes, certaines d'eux obsolètes, sont également présentées. Les méthodes d'origine récente sont groupées, dépendant de l'approche utilisée, en deux catégories: méthodes déterministes et méthodes probabilistes. Les propriétés de base de ces méthodes sont décrites, et les résultats obtenus au cours de leur application sont présentés. L'accent est mis sur la nécessité d'améliorer les règlements et les méthodes analytiques courants, et quelques suggestions dans cette direction sont données.

В. Вукашинович

Обзор методов расчёта актуальных в землетрясительном инженерстве

В работе дан обзор методов, применяемых при расчётах конструкций, подвергаемых действию землетрясений. Показаны и более старые методы, некоторые из которых и застарели. Новейшие методы описаны в двух группах: с детерминистическими и пробабилистическими подходами. Описаны основные характеристики приведённых методов при подчёркивании результатов, достигаемых их применением. Подчёркнута также и потребность в освежении расчётных методов и правил и в том смысле даны соответствующие рекомендации.

V. Vukašinić

Übersicht der aktuellen Berechnungsmethoden im seismischen Ingenieurwesen

Dargelegt ist eine Übersicht der Methoden die bei der Berechnung von seismischen Einflüssen ausgesetzten Konstruktionen angewendet werden. Dargestellt sind auch ältere Methoden, von denen einige veraltet sind. Neuere Methoden sind in zwei Gruppen dargestellt: mit deterministischem und probabilistischem Zutritt. Beschrieben sind die Grundkennzeichen der angeführten Methoden mit Hervorhebung der Ergebnisse die mit deren Anwendung erreicht werden. Hervorgehoben ist die Notwendigkeit die Berechnungsmethoden und Vorschriften aufzufrischen, und in diesem Sinn sind entsprechende Suggestionen vorgelegt.

Pregledni rad

Subject review

Ouvrage de syntèse

Обзорная работа

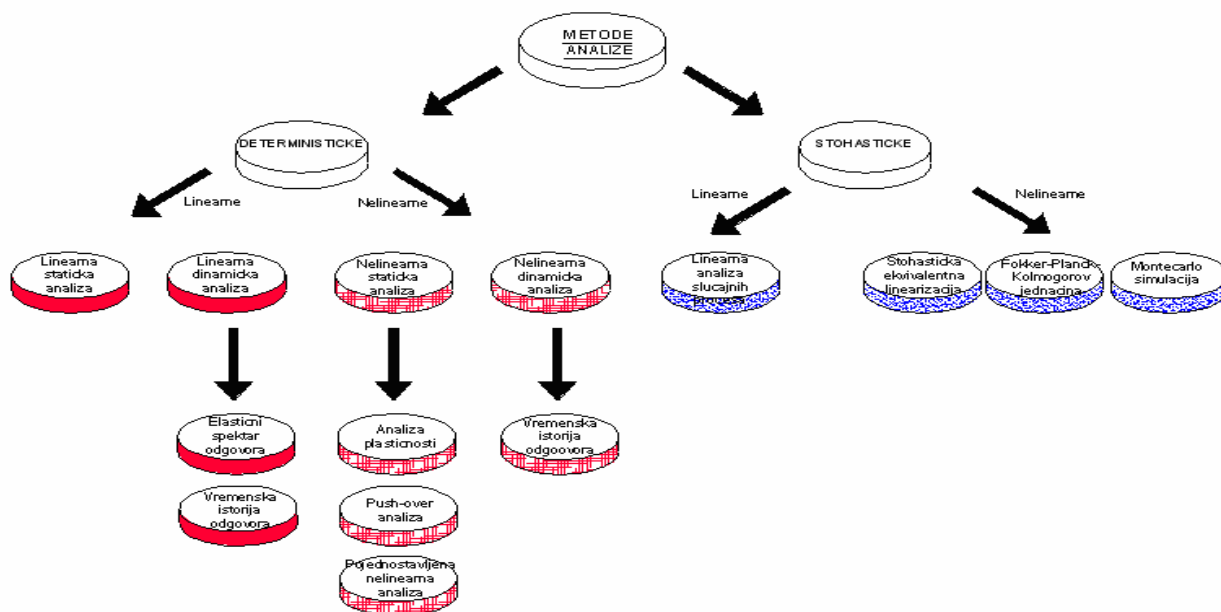
Übersichtsarbeit

Autorica: Mr. sc. **Venera Vukašinić**, dipl. ing. građ., Energoinvest d.d., Sektor za hidrotehniku, konstrukcije i arhitekturu-Higra, Hamdije Čemerlića 2, 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

1 Uvod

Brojne su metode koje se mogu primijeniti pri proračunu konstrukcija na potresna djelovanja. Na slici 1. prikazana je njihova detaljna podjela blok-dijagramom, počevši od razvrstavanja na determinističke i stohastičke metode. Pritom su uvrštene samo neke, pojedine metode, a one manje značajne su izostavljene. Postoje razne vrste podjela, ova priložena je prema FEMA 273/356.

oštećenja koja se smije dopustiti i u nosivoj konstrukciji (npr. bez ikakvih oštećenja, bez vidljivih trajnih deformacija, sa zanemarivim oštećenjima, itd.) i u građevini kao cjelini (od toga da sve funkcioniра do toga da je zabranjen ulaz u građevinu), što nije u našim propisima. S obzirom na to da pojava oštećenja uključuje nelinearno ponašanje, tradicionalne metode i stari propisi (JUS) koji ostaju u području linearne elastičnosti ne bave se



Slika 1. Blok-dijagram najčešće primjenjivanih metoda

Kontradiktorna je činjenica da propisi koji vrijede na teritoriju Bosne i Hercegovine, a koji se zasnivaju na bivšem JUS-u, ne zahtijevaju verifikaciju rezultata analiziranih konstrukcija u vrijeme potresa. Ti propisi zahtijevaju samo provjeru naprezanja tj. provjeru potrebne armature u armiranobetonskim elementima i izradu specifičnih detalja ili provjeru čeličnih presjeka, pa se proračun sastoji samo od doslovne primjene propisa za određeni materijal, a ne od utvrđivanja razine oštećenja u zavisnosti od upotrijebljenoga materijala (između ostalog). S druge strane, u svijetu su se odavno razvile metode proračuna osnovane na svojstvima građevina, što je izloženo u osnovnom dokumentu *Vision 2000 Document*. Cilj je ovog postupka, koji je nastao u Sjedinjenim Američkim Državama projektiranje takvih konstrukcija koje će imati predvidljive seizmičke karakteristike za razne razine seizmičkoga intenziteta [1]. Zapravo, u zavisnosti od toga kako želimo da građevina funkcioniра nakon potresa, razlikujemo četiri razine ponašanja: «radni-operativni nivo» (*Operational*), «neposredno useljenje» (*Immediate Occupancy*), «siguran za život» (*Life Safety*) «prevencija kolapsa» (*Collapse Prevention*). [2] [3]. Sva ka spomenuta razina svojstava striktno definira razinu

ovim problemom. Utješna činjenica koju potvrđuju istraživanja Bartera iz 1997. jest da od 41 svjetske norme (propisa) 38 se zasniva na proračunu i provjeri čvrstoće, a mali ostatak razmatra između ostalog i oštećenja i duktilnost građevine [8].

Do sada najčešće upotrijebljene metode proračuna navedene su u nastavku.

2 Determinističke metode

2.1 Determinističke linearne metode

2.1.1 Linearni statički proračun

2.1.1.1 Ekvivalentna statička analiza

Do sada najprimjenjenija metoda proračuna zacijelo je linearna statička s kojom je inženjerska javnost vrlo dobro upoznata pa nema potrebe da se toj temi posvećuje veća pozornost. Sve građevine podvrgnute ovoj analizi modelirane su linearno elastičnom krutošću i koeficijentom duktilnosti i prigušenja koji ovise o tipu analiziranoga konstruktivnog sustava i upotrijebljenim materijalima. Poprečno pseudopotresno opterećenje nanosi se prema

poznatom utvrđenom rasporedu, kako bi se došlo do unutarnjih proračunskih sila.

2.1.1.2 Proračun osnovan na posmičnoj nosivosti

Ovo je nekada bila jedna od najčešće primjenjivanih metoda, a zasniva se na tome da je konstrukciji potrebno osigurati najmanju poprečnu čvrstoću kako bi se oduprla seizmičkim opterećenjima koja su određena u propisima. Kada se te spomenute seizmičke sile u elementima konstrukcije kombiniraju s drugim opterećenjima, npr. sa stalnim i uporabnim, nosivi se elementi dimenzioniraju na osnovi dopuštenih naprezanja (*Allowable Working Stress Design-AWS*) ili na osnovi granične nosivosti (*Ultimate Strength Design-USD*). U prvom se slučaju elementi proračunaju tako da ne premaše određena dopuštena naprezanja, u drugom se slučaju proračuna najveće moguće opterećenje koje konstrukcija može preuzeti. Zapravo analizira se kritični poprečni presjek koji s reduciranom nazivnom otpornošću neće premašiti opterećenje pomnoženo nekim faktorom. Obje ove metode podrazumijevaju da se nosivi elementi ponašaju elastično u stanjima upotrebljivosti, a cilj je graničnih stanja nosivosti da osiguraju određenu nosivost, pretpostavljajući da će se konstrukcija ponašati adekvatno u nelinearnom području.

2.1.2 Linearno dinamički proračun

I pri linearno dinamičkom proračunu primjenjuje se linearna elastična krutost i ekvivalentno viskozno prigušenje. Ovamo ubrajamo metodu spektralnoga odziva i metodu proračuna s vremenskim zapisom.

2.1.2.1 Elastični spektar odziva

Ovaj proračun daje vršni modalni odziv za određeni broj oblika vibracija koji bi trebali obuhvatiti 90 % ukupne mase analizirane građevine. Modalno bi prigušenje trebalo odraziti prigušenje u zgradi deformacije koje su manje od onih na granici velikih izduljenja. Vršne sile, pomaci, reakcije i dr. valjalo bi kombinirati metodom SRSS ili metodom CQC (objašnjenje u nastavku).

2.1.2.2 Elastični proračun primjenom vremenskog zapisa

Ovo je linearnoelastični dinamički proračun gdje je konstrukcija pobuđena definiranim ubrzanjem tla koristeći se diskretiziranim zapisima potresa ili sintetičkog (umjetno stvorenog) vremenskog zapisa. Pritom se provodi izravna integracija u vremenu, a jedna od zanimljivih prednosti ovog postupka jest da je relativni predznak odziva sačuvan tijekom proračuna primjenom vremenskog zapisa, što je u suprotnosti s nekim ostalim analizama gdje se taj predznak gubi. Međutim, glavna mana ovog postupka je što on daje nestvaran pregled stvarnog neelastičnog ponašanja, jer se za analizu konstrukcije rabe potres-

ni zapisi koji su se već dogodili na nekoj drugoj lokaciji sa svim ostalim svojim specifičnostima. Međutim, ova činjenica ne diskvalificira spomenutu metodu jer su brojne konstrukcije koje su proračunane upravo po toj metodi izdržale čak i jače potrese. Stoga se vjeruje da će se ova metoda primjenjivati i u budućnosti jer je jednostavna i laka za razumijevanje.

Pritom se preporučuje ako se rabi tri ili više potresnih zapisa da se kao mjerodavan uzme onaj koji daje maksimalne vrijednosti unutarnjih sila. Ako se rabi sedam ili više potresnih zapisa za proračun se uzima srednja vrijednost dobivenih unutarnjih sila. Naravno, seizmičke efekte u raznim smjerovima valja razmotriti.

2.2 Determinističke nelinearne metode

2.2.1 Nelinearni statički proračun

2.2.1.1 Plastični proračun

Začetak ove metode ima korijene u proračunu čeličnih okvirnih konstrukcija gdje je ciljano izvršena preraspodjela naprezanja u duktilnim, statički neodređenim konstrukcijama kada opterećenje premaši granicu elastičnosti. Plastični je proračun dobro razvijena i korisna tehnika za procjenu konstrukcija u potresom inženjerstvu. Njezina je vrijednost u tome što predviđa i daje mehanizam rušenja konstrukcije na vrlo učinkovit i praktičan način. Osim toga što pruža objašnjenje graničnoga ponašanja u ravnini, isto tako daje i uvid u trodimenzijsko ponašanje zgrade.

2.2.1.2 Proračun postupnim povećavanjem horizontalnih sila (*push-over analysis*)

Osnovni je princip ovog proračuna da se konstrukcija izlaže rastućemu horizontalnom seizmičkom opterećenju prema utvrđenom obrascu sve do lokalnog ili globalnog sloma konstrukcije. Analiza daje rezultate o nosivosti i deformiranju zgrade kao i raspored zahtjeva pa na taj način omogućava identifikaciju potencijalnih kritičnih elemenata koji će očitito dosegnuti granično stanje u vrijeme potresa; posljedično tome, trebalo bi posvetiti više pozornosti pri proračunu i oblikovanju građevina na specificiranim lokacijama. Velika prednost ovog proračuna jest njegova jednostavnost u usporedbi s nelinearnim dinamičkim proračunom, iako oba upućuju na slaba mjesta u konstrukciji, ali jedan s više a drugi s manje utrošenog vremena i projektanta i rada računala. Dakle, obje metode daju pregled nelinearnoga ponašanja, iako je s druge strane mana proračuna postupnim povećavanjem horizontalnih sila egzaktnost načina nanošenja posmičnoga – poprečnog opterećenja. Naime, razni autori predlažu drukčije oblike, tj. raspodjele horizontalnoga opterećenja (ravnomjerna raspodjela, trokutna, proporcionalna prvomu obliku vibracijai dr.) i njihov broj (najmanje dva) [5].

2.2.1.3 Pojednostavljena nelinearna metoda

Alternativa trodimenzijskom nelinearnom proračunu jest pojednostavljena nelinearna metoda koju su prije desetak godina objavili De la Llera i Chopra [6]. U ovoj se metodi uzima samo jedan element da bi modelirao elastične i neelastične osobine kata konstrukcije. Jedna od brojnih prednosti ove metode jest njezina jednostavna primjena i interpretacija pogotovo u usporedbi s nelinearnim vremenskim zapisom, kao i suštinsko razumijevanje ponašanja sustava pri djelovanju potresa do kojega se može doći uporabom ovog proračuna prije bilo kojeg drugog dinamičkog proračuna.

2.2.1.4 Proračun osnovan na graničnoj nosivosti

S obzirom na to da najnovije metode proračuna sve više dopuštaju «izlete» i prelazak konstrukcija u nelinearno područje, ova je metoda razvijena kao zaštita protiv rušenja koja je zasnovana na adekvatnom kapacitetu duktilnosti, i to na određenim mjestima - plastični zglobovi. Ovim pristupom kojeg je jedan od osnivača Park [7], za određenu raspodjelu horizontalnih sila danu po odgovarajućim propisima bira se takav mehanizam sloma koji će osigurati plastične deformacije samo na unaprijed odabranim mjestima. Ta se mjesta potom računaju i oblikuju tako da je njihova duktilnost zadovoljena, dok su svi ostali elementi dimenzionirani tako da će za sva djelovanja ostati u stanju elastičnosti, što se postiže predimenzioniranjem. Dakle plastično je deformiranje već ograničeno, tj. locirano na unaprijed odabranim mjestima. Ovi se principi primjenjuju i u spomenutoj metodi i u prethodnoj gdje su cilj i pozornost usredotočeni na ponašanje i svojstva nosivih elemenata i konstrukcija.

2.2.1.5 Proračun osnovan na pomacima

Prihvatajući da je oštećenje u konstrukcijama u vrijeme potresa posljedica premašenih vrijednosti deformiranja, ova se metoda proračuna zasniva izravno na deformiranju konstrukcije pa stoga daje bolji uvid u očekivano ponašanje konstrukcija prema prethodnom pristupu. Definiiranje pomaka zasniva se na graničnoj zakrivljenosti i relativnim deformacijama materijala koji se mogu proračunati i usporediti s odgovarajućim raspoloživim kapacitetima. Prema tome, cijeli je postupak eksplicitno fokusiran na zahtijevanim relativnim deformacijama, pa se stoga ima bolji uvid u očekivano oštećenje i odnos prema specifičnim detaljima u konstrukciji koje treba obraditi.

2.2.1.6 Proračun osnovan na energiji

Energijski je koncept u seizmičkom proračunu naglašen tek u skorije vrijeme da bi se što bolje procijenili seizmički zahtjev i oštećenje na konstrukciji koji su u relaciji preko linearne kombinacije maksimalne deformacije

i energije utrošene histereznim ponašanjem. Osnovna jednadžba za energijsku ravnotežu jest:

$$E_I = E_D + E_H \quad (1)$$

gdje je:

E_I – ukupna unesena energija sa tla u konstrukciju u vrijeme potresa po jedinici mase

E_D – ukupna energija potrošena viskoznom prigušenjem po jedinici mase

E_H – ukupna energija potrošena neelastičnim deformacijama za reagiranje konstrukcije po jedinici mase (zapravo ovo je ukupna ploština zatvorena ispod krivulje sila-pomak).

Primjenom energijske ravnoteže i jednadžbe (1) želi se smanjiti energija utrošena histerezom E_H na što je moguće manju mjeru jer ona i uzrokuje oštećenja. Kao varijanta jest smanjenje unesene energije E_I (npr. potresnom izolacijom temeljne konstrukcije) ili povećanje E_D tako što će se konstrukciji to omogućiti raznim sredstvima za rasipanje energije. U konvencionalnim se konstrukcijama E_I i E_H mogu reducirati pomicanjem perioda vibracije konstrukcije.

2.2.2 Nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa

Zbog ograničenosti prostora na hardveru do sada se ovaj proračun rabio uglavnom u akademske svrhe, međutim, kako postoji stalni napredak u tehnologiji, uskoro bi i ova metoda mogla postati uobičajena u inženjerskoj praksi. Osim modeliranja histereznoga ponašanja krivulje sila-deformacija, granična stanja ili rušenje moraju biti određeni uključujući slabljenje betonskih elemenata zbog njihovog odlamanja, sloma na mjestu nastavka armature ili sidrenja ili kod čeličnih elemenata zbog otkazivanja zavarova, lokalnoga izbočivanja i dr. Bitna je količina apsorbirane energije, tj. kapacitet konstrukcije i njezinih pojedinih elemenata da je disipiraju. Još jedna teškoća koja otežava češću primjenu ove metode jest što u stvarni nelinearni model treba uključiti i uzeti u obzir i temelje i okolno tlo [3].

3 Probabilističke metode

Probabilističke metode pripadaju potpuno drugoj familiji metoda koji pružaju obogaćeno razumijevanje djelovanja potresa na konstrukcije.

3.1 Probabilističke linearne metode

3.1.1 Linearni proračun slučajnih procesa-vibracija

Ova metoda pripada tehnici koja određuje statička svojstva odgovora linearnoga sustava koji je izložen nekom slučajnom procesu. Iako je ova tehnika sama po sebi poznata kao moćni alat, njezina upotreba u potresnom inženjerstvu poznatija je kao pravilo modalne superpo-

zicije kao što su postupci SRSS (*square root of the sum of the squares*) i CQC (*complete quadratic combination*). Ona osobito dolazi do izražaja tamo gdje uobičajeni postupci nisu jasni i nailaze na prepreke, npr. kada je konstrukcija izložena djelovanjima (čak i većem broju) koja variraju u vremenu i prostoru: višestruka pobuda oslonaca. Ograničenje ovog postupka, kao i svakog drugog linearnog postupka, jest nemogućnost da pretpostavi reagiranje u neelastičnom području, što i ne predstavlja neku posebnu manu ako je «izlet» u neelastičnost malen i neznatan.

3.2 Probabilističke nelinearne metode

Obično se pri proučavanju nelinearnoga dinamičkog odziva sustava koji je izložen nekoj slučajnoj pobudi rabe tri metode: metoda ekvivalentne linearizacije, Fokker-Planck-Kolmogorovljeva metoda i simulacija metodom Monte Carlo. Ova su tri pristupa fundamentalno različita.

3.2.1 Stohastička ekvivalentna linearizacija

Ova metoda prikazuje nelinearni konstitutivni odnos elemenata linearnim modelom opruge i kondenzatora (klipa) i rješava problem linearnim proračunom slučajnih vibracija. Parametri ekvivalentnoga linearnog modela elemenata dobiveni su minimaliziranjem razlika (pogrešaka) između linearnih i nelinearnih konstitutivnih relacija. Njihova vrijednost također zavisi od varijacija u deformaciji i intervalu nanošenja pa ovaj proces postaje iterativan. Nakon prve pretpostavke spomenutih vrijednosti radi se linearni proračun vibracija i korigira početna pretpostavka. Proces se nastavlja dok se ne ostvari konvergencija. Koristeći se ovim postupkom veoma kompleksni sustavi mogu se proračunavati s veoma velikom točnošću.

3.2.2 Fokker-Planck-Kolmogorovljeva jednadžba

Ova jednadžba zove se još i difuzijskom jednadžbom; zapravo to je parcijalna diferencijalna jednadžba koja se zasniva na probabilističkoj funkciji gustoće odziva. U nekim se specijalnim slučajevima može riješiti u zatvorenom obliku, a inače se rabe tehnike numeričke integracije. Zbog kompleksnosti metode ona je uglavnom ograničena na znanstvenoistraživački rad.

3.2.3 Simulacija metodom Monte Carlo

Prepoznatljivost je te metode u njezinoj sličnosti s postupcima koji pripadaju determinističkom proračunu. I

zaista, simulacija metodom Monte Carlo samo je ponavljanje ili zbirka determinističkih proračuna. Cilj ove simulacije jest osiguravanje srednje vrijednosti, standardne devijacije i drugih statističkih karakteristika od interesa. Primjena ove metode jasna je i ne uključuje bilo kakve dodatne teškoće u odnosu na način rješavanja problema determinističkim putem. Njezina je glavna mana što je «skupa» s obzirom na to da se proračun mora ponoviti mnogo puta kako bi se dobila dobra interpretacija odziva putem statističkih funkcija i probabilističkih funkcija gustoće. Ipak, tu je nekoliko tehnika koje reduciraju broj simulacija potrebnih da se dobije najmanje odstupanje rezultata [9].

4 Zaključak

Mnogi istraživači prepoznaju potrebu za osvježenjem proračunskih metoda i propisa, a njihovi zaključci se mogu obuhvatiti sljedećim stajalištima [9]:

- Treba rabiti metode proračuna koje se zasnivaju na provjeri kapaciteta prije reduciranja proračunskoga opterećenja faktorom q .
- Treba što više primjenjivati nelinearne dinamičke proračune jer je njihova prednost što uzimaju u obzir materijalnu i geometrijsku nelinearnost. Primjerice za armiranobetonske konstrukcije pojava i raspored pukotina veoma su osjetljiv faktor.
- Propisi bi trebali dati takve upute prema kojima bi se konstrukcije projektirale tako da se u duktilnim elementima zaista dogode predviđene neelastične deformacije, a ostali bi nosivi elementi ostali u stanju elastičnosti.
- Treba dati točnije izraze za procjenu osnovnog perioda vibracije. Tako npr. istraživanje koje je proveo Chopra za čelične i armiranobetonske okvirne sustave pokazuje da su analitički dobiveni periodi manji od izmjerenih, što daje veće ubrzanje konstrukciji pa posljedično tome i veće proračunske seizmičke sile za preuzimanje kojih je potrebno osigurati veće poprečne presjeke, što dalje vodi neekonomičnim konstrukcijama.
- I na kraju posebnu pozornost treba posvetiti obećavajućim pristupima kao što su proračun koji se zasniva na deformacijama, energijski proračun, proračun postupnim povećavanjem horizontalne sile, i svakako osobitu pozornost posvetiti relativno jednostavnoj nelinearnoj metodi-N2 koju je razvio Fajfar [10].

LITERATURA

[1] Baertero, R. D.; Baertero, V. V.: *Application of comprehensive approach for the performance-based earthquake resistant design buildings*, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, 2000.

[2] FEMA Publication 273 (Federal Emergency Management Agency), NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of buildings, October 1997.

- [3] FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, November 2000.
- [4] Mazzolani, F. M.; Gioncu, V.: *Ductility of seismic resistant steel structures*, London, 2002.
- [5] Lawson, R. S.; Vance, V.; Krawinkler, H.: *Nonlinear Static Push-Over Analysis-Why, When and How?* 5th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 1994. Vol. 1, pp 283-292.
- [6] De la Llera, J. C.; Chopra, A.: *A Simplified Model for Analysis and Design of Asymmetric-Plan Buildings*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1995. Vol. 24, pp. 573-594.
- [7] Park, R.: *Ductile Design Approach for Reinforced Concrete Frames*. Earthquake Spectra, Journal of the Earthquake Engineering Research Institute, 1986. Vol. 2, No. 3, pp 565-619.
- [8] Thoft-Christensen, P.; Baker, M. J.: *Structural Reliability Theory and Its Applications*, Imperial College of Science and Technology, London, England, 1982.
- [9] Jalil, W.: *Seismic Codes and New Trends*, 11th European Conference on Earthquake Engineering, invited lecture, 1998.
- [10] Fajfar, P.: *Trends in Seismic Design and Performance Evaluation Approaches*, 11th European Conference on Earthquake Engineering, invited lecture, 1998.