

Primljen / Received: 23.10.2019.

Ispravljen / Corrected: 16.10.2020.

Prihvaćen / Accepted: 26.10.2020.

Dostupno online / Available online: 10.11.2020.

Prijedlog spektara odziva u drugoj generaciji Eurokoda EN1998-1-1 za seizmička područja i usporedba s postojećom normom EN 1998-1: 2004

Autori:

Prof.emer.dr.sc. **Mehmed Čaušević**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Rijeci

Građevinski fakultet

mcausevic@gradri.uniri.hr

Autor za korespondenciju

Izv.prof.dr.sc. **Mladen Bulić**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Rijeci

Građevinski fakultet

mbulic@gradri.uniri.hr

Prethodno priopćenje

Mehmed Čaušević, Mladen Bulić

Prijedlog spektara odziva u drugoj generaciji Eurokoda EN1998-1-1 za seizmička područja i usporedba s postojećom normom EN 1998-1: 2004

U drugoj generaciji Eurokoda EN 1998-1-1 predlažu se korjenite izmjene postojeće norme EN 1998-1: 2004, koje sadrže rezultate najnovijih znanstvenih istraživanja. U radu se predstavlja i komentira novi spektar opterećenja od potresa, kojeg definira nekoliko točaka koje su ustanovljene na probabilistički način. U novom EN 1998-1-1 se: a) uvodi 12 povratnih razdoblja potresa (do sada su bila dva), b) ukidaju dosadašnji elastični spektri tipa 1 i tipa 2, c) uvodi nova momentna magnituda M_w umjesto površinske magnitude M_s , d) umjesto dosadašnja dva granična uvjeta NCR i DLR uvode se četiri; itd.

Ključne riječi:

eurokod, seizmički hazard, spektar odziva, granična stanja, faktor ponašanja, nelinearna statička metoda

Research Paper

Mehmed Čaušević, Mladen Bulić

Proposal of response spectra in the second generation of Eurocode EN 1998-1-1 for seismic areas and comparison with the existing standard EN 1998-1: 2004

Fundamental changes of the existing standard EN 1998-1, with incorporation of latest research results, are proposed in the second generation of Eurocode EN 1998-1-1. A spectrum of earthquake loads, defined by several points established in a probabilistic manner, is presented and commented on. In addition, the new EN 1998-1-1: a) introduces 12 return periods for earthquakes (instead of the previous two periods), b) cancels previous elastic spectra Type 1 and Type 2, c) introduces a new moment magnitude M_w instead of the surface magnitude M_s , d) introduces four limit states instead of the previous two NCR and DLR, etc.

Key words:

Eurocode, seismic hazard, response spectrum, limit state, behaviour factor, nonlinear static method

Vorherige Mitteilung

Mehmed Čaušević, Mladen Bulić

Vorgeschlagenes Antwortspektrum in der zweiten Generation des Eurocodes EN1998-1-1 für seismische Gebiete und Vergleich mit der bestehenden Norm EN 1998-1:2004

Die zweite Generation des Eurocodes EN 1998-1-1 schlägt radikale Änderungen der bestehenden Norm EN 1998-1: 004 vor, die die Ergebnisse der neuesten wissenschaftlichen Forschung enthält. Die Arbeit präsentiert und kommentiert ein neues Spektrum von Erdbebenlasten, das durch mehrere Punkte definiert wird, die auf probabilistische Weise festgelegt wurden. Der neue EN 1998-1-1 führt außerdem 12 Rückkehrperioden von Erdbeben ein (bisher gab es zwei); die aktuellen elastischen Spektren von Typ 1 und Typ 2 werden abgeschafft; er führt eine neue Momentgröße M_w anstelle der Oberflächengröße M_s ein; anstelle der beiden vorhergehenden Randbedingungen NCR und DLR werden vier eingeführt; usw.

Schlüsselwörter:

Eurocode, Erdbebengefährdung, Antwortspektrum, Grenzzustände, Verhaltensfaktor, nichtlineare statische Methode

1. Uvod

Odavno je prepoznata potreba za reguliranjem načina gradnje u seizmički aktivnim područjima na prostorima Slovenije, Hrvatske, Srbije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore i Sjeverne Makedonije. U radovima [1, 2] opisana je povijest i razvitak regulative za građenje u seizmičkim područjima Slovenije i bivše Jugoslavije. Naime, posebnih seizmičkih propisa za građenje i definiranje seizmičkog opterećenja nije bilo sve do 1964. godine, do kada se seizmičko opterećenje samo spominjalo u okviru definiranja minimalnog horizontalnog opterećenja na građevine. Tek su, nakon potresa u Skopju, 1964. godine stupili na snagu prvi propisi za definiranje seizmičkog opterećenja i građenja u seizmičkim područjima na navedenim prostorima [3]. Taj propis iz 1964. godine je vrijedio do sljedećeg propisa, koji je unio nove spoznaje za reguliranje seizmičkog opterećenja i građenja u seizmičkim područjima, a koji je stupio na snagu 1981. godine [4] i nekoliko puta dopunjavan te je vrijedio sve do uvođenja europske prednorme, a kasnije europske norme EN 1998. Nakon 2011. godine uporaba norme EN 1998 kod nas je postala obvezna [5]. Razvitak svjetskih propisa koji reguliraju seizmička opterećenja i građenje u seizmičkim područjima cjelovito je obrađeno u [6] za zgrade, s posebnim osvrtom na buduće propise.

Treba istaknuti da su oba navedena propisa (iz 1964. i 1981. godine) za to vrijeme bili napredni i unijeli su novosti nakon istraživačkih projekata rađenih do tada kod nas i u svijetu iz potresnoga inženjerstva.

Druga generacija europskih normi se radi u pododboru SC8 (koji vodi P. Bisch [7]) Tehničkog odbora (TC) 250. Postojeća norma EN 1998-1:2004 dijeli se u drugoj generaciji ove norme na dva dijela: EN 1998-1-1 (koji obrađuje temeljne pojmove i seizmička djelovanja) i EN 1998-1-2 za zgrade. Na odredbama danim u EN1998-1-1, od kojih će se u ovom radu komentirati neke najvažnije kojima se definiraju seizmička opterećenja na konstrukcije, a temelje se na posljednjoj inačici objavljenoj 12. rujna 2020, temelje se svi dijelovi Eurokoda 8 (za zgrade, mostove, sanacije građevina, silose, spremnike, temeljenje i poduporne građevine te visoke vitke konstrukcije pridržane kablovima i visoke dimnjake). Važno je istaknuti da su u navedenim normama druge generacije definirani elastični i reducirani spektri odziva na potpuno drugačiji način negoli u prvoj generaciji ove norme. Dio EN 1998-1-2 se odnosi na zgrade. Očekuje se da će do kraja 2022. godine biti tehnički gotov cjelokupan Eurokod 8 druge generacije, a nakon toga slijedi njegovo prevođenje na službene jezike EU.

U ovom radu izložit će se i komentirati neke odredbe norme druge generacije EN 1998-1-1 i neke odredbe iz EN 1998-1-2 za zgrade.

Za sve koji se bave potresnim inženjerstvom bit će značajan dan kad će stupiti na snagu nove europske konstrukcijske norme koje će sadržavati korjenite izmjene sadašnjih normi. Zato se treba na vrijeme postupno informirati o tim novinama. Poznato je da su konstrukcijske euronorme znanstveno

utemeljene te da bi se razumjele mora se imati dostatno predznanje, koje se postiže na visokim učilištima, edukacijom iz predmeta Potresno inženjerstvo, Dinamika konstrukcija i Stabilnost konstrukcija.

Samim time što se nisu radile dopune i izmjene postojeće norme EN 1998-1: 2004 već se je izradila potpuno nova EN 1998-1-1 i EN 1998-1-2 upućuje na korjenite izmjene postojeće norme. Evo najznačajnijih izmjena:

- Propisuju se zemljovidima kojima se prikazuju vrijednosti seizmičkog hazarda za svaku lokaciju određenog teritorija, a povratna razdoblja potresa se definiraju s dva parametra: odabrani granični uvjet (LS) i odabrani razred posljedica (CC) za zgrade. Uvodi se 12 povratnih razdoblja potresa (do sada su bila samo dva), što znači da bi trebalo zapravo izraditi 24 zemljovida (12 povratnih razdoblja i svaki s dvije spektralne ordinate S_{α} i S_{β} koje će se uvesti i objasniti u dijelu 3.2), a najmanje treba raditi dva zemljovida, jer se mogu koristiti multiplikacijski faktori. Treba imati na umu da je pristup s korištenjem multiplikacijskih faktora suboptimalan, a često je i prekonzervativan.
- Spektral opterećenja u drugoj generaciji EN 1998-1-1 fiksira se s nekoliko točaka koje su određene probabilistički (ostale točke spektra se definiraju deterministički), a te točke su: spektralne vrijednosti "na platou", za $T = 1s$ i za $T = T_A$. Ovaj spektralni je osuvremenjen u odnosu na postojeći u EN 1998-1: 2004, jer se u njemu nekoliko točaka određuje na temelju probabilističkog pristupa, a u postojećem spektru iz EN 1998-1: 2004 je probabilistički bila definirana samo jedna točka (za $T = 0$).
- Skaliranje seizmičkog inputa nije više PGA (Peak Ground Acceleration) kao u EN 1998-1: 2004, već se umjesto PGA uvode dvije spektralne ordinate, S_{α} i S_{β} .
- Ukidaju se dosadašnji elastični spektri tipa 1 i tipa 2. Uvodi se nova momentna magnituda M_w umjesto površinske magnitude M_s . Definiranje momentne magnitude M_w dano je u literaturi, a pojednostavljeno objašnjenje u [9].
- Umjesto dva granična uvjeta koja su bila do sada (NCR i DLR) uvode se četiri granična uvjeta: uvjet pred urušavanje (NC), uvjet značajnih oštećenja (SD), uvjet ograničenih oštećenja (DL) i uvjet malih oštećenja (OP).
- Koncept faktora ponašanja q se primjenjuje u svim suvremenim propisima u svijetu (u nekima se rabi oznaka R) te je i u drugoj generaciji Eurokoda za seizmička područja zadržan koncept q faktora, samo se faktori ponašanja sada određuju na drugačiji način.

U radu će se izložiti i komentirati sve prethodno navedeno. Cilj je rada da se svi koji se bave potresnim inženjerstvom i koriste Euronormu EN 1998-1: 2004 postupno informiraju o značajnim izmjenama te norme u njenoj drugoj generaciji. Rad je pisan s ciljem da se uputi na ključne izmjene postojeće norme u domeni definiranja opterećenja na konstrukcije (spektri odziva).

2. Eurokod 8, dio 1-1: Temeljne odredbe za projektiranje

2.1. Načela sigurnosti

Ovdje će se spominjati novi termini koji su uvedeni u EN 1998-1-1. Budući da za njih još ne postoje lektorirani prijevodi na hrvatski jezik, u ovom će se radu rabiti za njih privremeno značenje te navoditi i nazivi na engleskom jeziku.

Imajući na umu projektiranje konstrukcije zasnovano na njenom ponašanju u potresu, načela EN 1998-1-1 su: konstrukcije treba projektirati na način da se u slučaju potresa zaštite ljudski životi, ograniče štete, da građevine važne neposredno nakon potresa i dalje ostanu uporabljive. Postizanje tih ciljeva mjerljivo je u probabilističkom smislu, a svrha je EN 1998-1-1 ograničiti posljedice potresa. Seizmička djelovanja se smatraju konvencionalnim slučajevima opterećenja, a karakteriziraju ih njihova povratna razdoblja.

Kako bi se zadovoljilo sve navedeno, EN 1998-1-1 propisuje da konstrukcije budu projektirane na način da se određene granične vrijednosti (eng. *Limit states* - LS) ne prekorače za propisana seizmička djelovanja. Radi toga su uvedena četiri granična uvjeta:

- uvjet pred urušavanje (eng. *Near Collapse* - NC);
- uvjet kada su oštećenja značajna (eng. *Significant Damage* - SD) – **ovo stanje je obavezno postići**;
- uvjet ograničenog oštećenja (Damage Limitation DL);
- uvjet potpune uporabivosti nakon potresa (eng. *Fully Operational* - OP), koji se primjenjuje za treći razred posljedica potresa na konstrukciju (CC3), tablica 1.

Tablica 1. Treći razred posljedica potresa na konstrukciju

CC3-a	Zgrade čija je seizmička otpornost važna s obzirom na posljedice povezane s urušavanjem, npr. škole, državne ustanove, kulturne institucije itd.
CC3-b	Zgrade instalacija od vitalnog značenja za civilnu zaštitu, npr. bolnice, vatrogasne postaje itd. i njihova oprema

U sadašnjoj normi [5] postoje samo dva granična uvjeta: uvjet neurušavanja konstrukcije NCR i uvjet ograničenih oštećenja DLR.

EN 1998-1-1 je propisan na način da je za većinu novih građevina obavezno ispuniti uvjet kada su oštećenja znatna (SD) te ne dopustiti da se premaši uvjet pred urušavanje (NC) za određene seizmičke utjecaje i određene vrste građevina prema njihovoj važnosti.

Postizanje zahtjeva za određenim karakteristikama konstrukcije postiže se odabirom odgovarajućih povratnih razdoblja ($T_{LS,CC}$) povezanih s odgovarajućim graničnim uvjetima (LS) i ovisno o razredu posljedica (CC) razmatrane konstrukcije, tablica 2. Kao alternativa povratnim razdobljima mogu se koristiti faktori učinka ($\gamma_{LS,CC}$) kojima se množe seizmičke sile, tablica 3.

Osim ako se neka država ne odluči drukčije, povratno razdoblje od 475 godina povezano je s graničnim uvjetom SD za konstrukcije

sa CC2, pa je tada odgovarajuća vrijednost faktora učinka $\gamma_{SD,CC2}$ je 1. Dulje povratno razdoblje ili veći faktor učinka bili bi povezani s graničnim uvjetom pred urušavanje NC i s razredom posljedica CC3.

Tablica 2. Povratna razdoblja $T_{LS,CC}$ (u godinama)

Granični uvjeti (LS)	Razredi posljedica CC			
	CC1	CC2	CC3-a	CC3-b
NC	800	1600	2500	5000
SD	250	475	800	1600
DL	50	60	60	100

Tablica 3. Faktori učinka $\gamma_{LS,CC}$

Granični uvjeti (LS)	Razredi posljedica CC			
	CC1	CC2	CC3-a	CC3-b
NC	1,2	1,5	1,8	2,2
SD	0,8	1	1,2	1,5
DL	0,4	0,5	0,5	0,6

Iz tablica 2. i 3. uočava se 12 različitih povratnih razdoblja. Faktori učinka $\gamma_{LS,CC}$ koriste se kao korekcijski faktori pri odlučivanju koliki broj zemljovida seizmičkog hazarda treba usvojiti na razini države. Budući da se propisuje ukupno 12 različitih povratnih razdoblja, nameću se sljedeća pitanja:

- Hoće li će se raditi novi zemljovidi s navedenim povratnim razdobljima različitim od 475 godina, ili će se to rješavati uvođenjem faktora (multiplikatora) kojima će se množiti ubrzanja iz zemljovida za povratni period 475 godina? Ovu dilemu treba riješiti svaka država za sebe. Ovdje se uočava važnost uvođenja faktora učinka ($\gamma_{LS,CC}$) jer oni definiraju spomenute multiplikatore.
- Postojeći zemljovid za povratni period 475 godina rađen je uzimajući u obzir površinske magnitude M_s , a u drugoj generaciji Eurokoda 8 uvedena je momentna magnituda M_w . Kakve su posljedice ove novosti?

Razlika između vrijednosti spektra za T_A (ranije PGA) i S_α "na platou" je oko 2,5. Nameće se pitanje: Mogu li se novi zemljovidi za S_α dobiti iz postojećeg zemljovida prema sadašnjem Eurokodu na način da se vrijednosti iz tog zemljovida pomnože s faktorom 2,5? Odgovori na to očekuju se od seizmologa [8].

Znači, ukidaju se dosadašnji elastični spektri tipa 1 i tipa 2, što je veliko olakšanje, jer su spektri tipa 1 i tipa 2 uveli pomutnju u stručnoj i znanstvenoj javnosti kod nas i općenito u europskim normama [8]. Uvođenje M_w neće ništa bitno promijeniti u primjeni druge generacije norme EN 1998-1-1 u praksi. Prema mišljenju seizmologa [8], površinska magnituda M_s je ionako bila posve pogrešno uvedena. Momentnom magnitudom M_w se dovodi u vezu jakost potresa i oslobođena energija, pri čemu se uzima u obzir klizanje u rasjedu kao i vrijednost površine po kojoj

se događa klizanje (na primjer: $M_w = 8,8$ za katastrofalni potres koji je 27. ožujka. 2010. pogodio Čile) [9].

Karta s povratnim razdobljem 95 godina se u drugoj generaciji EN 1998-1-1 uopće ne propisuje.

2.2. Načela projektiranja konstrukcija prema drugoj generaciji EN 1998-1-1

EN 1998-1-1 propisuje da se zahtjevi za projektiranje konstrukcije zasnivaju na njenom ponašanju u potresu, što se postiže kombinacijom otpornosti, deformacijskog kapaciteta i ukupne sposobnosti trošenja energije. Također uzima u obzir faktor α_u/α_1 [5] koji proizlazi iz primjene drugih relevantnih europskih normi.

Kako bi se provjerila odgovarajuća kombinacija otpornosti, deformacijskog kapaciteta i kumulativne sposobnosti trošenja energije, razmatraju se uglavnom dva pristupa: pristup utemeljen na silama i pristup utemeljen na pomacima.

Postojeća EN 1998-1: 2004 propisuje da se kapacitet deformacije i kumulativne sposobnosti trošenja energije postižu provedbom postupka projektiranja kapaciteta, što je dovelo do toga da se konstrukcije kategoriziraju u tri razreda duktilnosti: DCL (niska razina duktilnosti), DCM (srednja) i DCH (visoka), na temelju usklađenosti s odredbama navedenim u odgovarajućem dijelu EN 1998-1: 2004.

U drugoj generaciji EN 1998-1-1 također su definirana tri razreda duktilnosti (DC1, DC2 i DC3), ali na drugačiji način. Razred DC1 odgovara izračunu bez razmatranja od kakvog se materijala gradi konstrukcija. To je ekvivalentno razredu DCL u EN1998-1: 2004. U DC1 se uzima u obzir faktor kapaciteta, a deformacijski kapacitet i kapacitet trošenja energije se zanemaruje.

Izračun prema razredu DC2 se radi s istim pravilima kao i za izračun djelovanja vjetra ili vlastite težine, ali se pretpostavi da je faktor ponašanja q jednak 2 ili više, što se uvjetuje određenim prikladnim detaljima u kombinaciji s osiguranjem odgovarajuće duktilnosti.

Uvedene su konstrukcijske odredbe za konstrukcijske sustave koje nisu obuhvaćene u EN 1998-1:2004, a to su: betonske ravne ploče, ukrute protiv izbočivanja te spojevi u kojima je osigurano rasipanje seizmičke energije.

U DC2 su uzeti u obzir lokalni kapacitet deformacije i lokalni kapacitet rasipanja energije. Kontrola globalnih plastičnih

mehanizama se postiže ograničavanjem relativnih pomaka i učinaka drugog reda.

U DC3 uzima se u obzir sposobnost konstrukcije da formira globalni plastični mehanizam u SD graničnom stanju, tj. da formira njen lokalni kapacitet, lokalni deformacijski kapacitet i kapacitet lokalnog rasipanja energije. Može se konstatirati da je razred duktilnosti DCH iz sadašnje norme zahtjevniji za postizanje detalja i ispunjenja uvjeta za taj razred duktilnosti u odnosu na DC3 u drugoj generaciji ove norme.

Specifična pravila za drvene konstrukcije su osuvremenjena na temelju rezultata istraživanja. Pravila za zidane zgrade, koja su karakterizirana značajnim brojem nacionalno određenih parametara, bolje su usklađena. Uveden je dio koji se odnosi na aluminijske konstrukcije. I naposljetku, poboljšana su pravila za pregradne i fasadne zidove.

3. Eurokod 8, dio 1-1: Kategorizacija terena i seizmičke sile

3.1. Kategorizacija terena

Prije nego se ustanove seizmičke sile treba identificirati uvjete na lokaciji građevine. Ovdje će se ukratko opisati kako se predlaže ta identifikacija u EN 1998-1-1.

Radi kategorizacije lokacije građevine utvrđuje se vrsta materijala ispod temelja građevine na dubini najmanje 30 m, izuzev ako je ustanovljena plitka formacija stijene. Znači, na lokaciji svake građevine treba najprije ustanoviti na kojoj je dubini tvrdi materijal (stijena).

Profil brzine posmičnog vala v_s u tlu smatra se najpouzdanijim pretkazateljem karakteristika seizmičkog djelovanja na stabilnim lokacijama. Izuzev u specijalnim slučajevima, kada tla na lokaciji građevine nisu stabilna, standardna kategorizacija lokacije (kategorije A do F) zasniva na sljedeća dva parametra (tablica 4.):

- H_{800} , dubina tvrdog materijala (npr. stijena) koja se identificira za slučaj kada je brzina prostiranja posmičnih valova v_s veća od 800 m/s,
- $v_{s,H}$, prosječna brzina posmičnih valova do dubine H; H se uzima da je 30 m ako je $H_{800} > 30$ m, pa se $v_{s,H}$ obilježava $v_{s,30}$; $H = H_{800}$, ako je $H_{800} < 30$ m.

Tablica 4. Standardna kategorizacija lokacije

	Razred tla	kruto tlo	srednje kruto	meko tlo
Dubina na kojoj je tvrdo tlo	H_{800}	$400 \text{ m/s} \leq v_{s,H} < 800 \text{ m/s}$	$250 \text{ m/s} \leq v_{s,H} < 400 \text{ m/s}$	$150 \text{ m/s} \leq v_{s,H} < 250 \text{ m/s}$
Vrlo plitko	$H_{800} \leq 5 \text{ m}$	A	A	E
Plitko	$5 \text{ m} < H_{800} \leq 30 \text{ m}$	B	E	E
Između plitkog i dubokog (srednje)	$30 \text{ m} < H_{800} \leq 100 \text{ m}$	B	C	D
Duboko	$H_{800} > 100 \text{ m}$	B	F	F

$v_{s,H}$ se dobije mjerenjima (raspoloživim tehnikama mjerenja) vrijednosti brzina posmičnih valova v_i u svakom sloju tla "i" čija je visina h_i i dobije iz izraza (1), gdje je N ukupan broj slojeva tla od površine tla do dubine H:

$$v_{s,H} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (1)$$

Ako se ne želi vrijednosti H_{800} i $v_{s,H}$ ustanoviti mjerenjem brzina posmičnih valova, u tom slučaju primjenjuje se alternativni pojednostavljeni postupak za identifikaciju kategorije lokacije građevine, koji je opisan u Dodatku A norme EN 1998-1-1.

3.2. Spektri odziva i seizmičke sile

Referentni seizmički hazard u EN 1998-1-1 se opisuje sa sljedeća dva parametra, slika 1.:

- $S_{\alpha,ref}$ je poredbeno maksimalno spektralno ubrzanje koje odgovara ubrzanju "na platou" elastičnog spektra odziva (slika 1.) s 5-postotnim prigušenjem, na kategoriji lokacije građevine A, za povratno razdoblje $T_{ref} = T_{SD,CC2}$
- $S_{\beta,ref}$ je poredbeno spektralno ubrzanje za period vibracija $T_{\beta} = 1$ s, s 5-postotnim prigušenjem, na terenu kategorije A, za povratni period $T_{ref} = T_{SD,CC2}$.

T_{ref} je 475 godina (i naziva se SD povratno razdoblje), osim ako se drugačije ne odredi u nacionalnom dodatku, dok je η je korekcijski faktor prigušenja.

Ove parametre $S_{\alpha,ref}$ i $S_{\beta,ref}$ odredit će seizmolozi, koji će izraditi zemljovide nacionalnog hazarda za svako povratno razdoblje potresa.

Radi pojednostavljenja, $S_{\beta,ref}$ se smije odrediti iz $S_{\alpha,ref}$ prema izrazu (2):

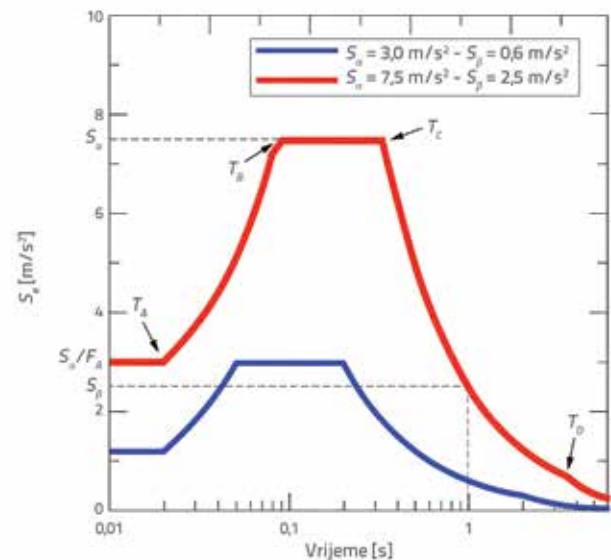
$$S_{\beta,ref} = f_h \cdot S_{\alpha,ref} \quad (2)$$

U izrazu (2) je za nisku razinu seizmičnosti $f_h \sim 0,2$, za umjerenu $f_h \sim 0,3$ i za regiju s visokom razinom seizmičnosti $f_h \sim 0,4$.

Stupnjevi razine seizmičnosti teritorija prikazuju se u zemljovidu države na temelju vrijednosti poredbenog spektralnog ubrzanja u tlu za kategoriju lokacije A i poredbeno povratno razdoblje 475 godina, $S_{\alpha,475}$: (vrlo nizak: $S_{\alpha,475} < 1,0$ m/s²; nizak: $S_{\alpha,475}$ između 1,0 i 2,5 m/s²; umjeren: $S_{\alpha,475}$ između 2,5 i 5,0 m/s²; visok: $S_{\alpha,475} > 5,0$ m/s²).

$S_{\alpha,475}(T)$ je poredbeno maksimalno spektralno ubrzanje koje odgovara ubrzanju "na platou" elastičnog spektra odziva s 5-postotnim relativnim prigušenjem, na lokaciji kategorije A, za povratni period 475 godina.

Na slici 1. prikazan je elastični spektar odziva za lokaciju u tlu za kategoriju lokacije A za umjerenu razinu seizmičnosti ($S_{\alpha} = 3$ m/s²) i visoku razinu seizmičnosti ($S_{\alpha} = 7,5$ m/s²) [10].



Slika 1. Elastični spektar odziva za kategoriju lokacije A i dva različita para (S_{α}, S_{β}) za dvije razine seizmičnosti: ($S_{\alpha} = 3$ m/s²) plavo i ($S_{\alpha} = 7,5$ m/s²) crveno, u horizontalnom logaritamskom mjerilu [10]

Treba li odrediti poredbeni seizmički hazard za lokaciju kategorije drugačije od kategorije A i za povratni period RP različit od 475 godina, povezano s drukčijim graničnim stanjem od graničnog stanja SD i za proizvoljan razred posljedica CC, odgovarajuće vrijednosti parametara $S_{\alpha,RP}$ i $S_{\beta,RP}$ mogu se dobiti uporabom faktora učinka $\gamma_{LS,CC}$ iz tablice 3. na sljedeći način, izrazi (3) i (4):

$$S_{\alpha,RP} = \gamma_{LS,CC} \cdot S_{\alpha,ref} \quad (3)$$

$$S_{\beta,RP} = \gamma_{LS,CC} \cdot S_{\beta,ref} \quad (4)$$

Ako se poredbeni seizmički hazard treba odrediti za lokaciju različitu od A, a kada ne postoje posebne studije seizmičkog hazarda za danu lokaciju, određivanje spektra se dopunjuje određivanjem parametara, čije su vrijednosti dane u tablicama 5. i 6.

Tablica 5. Vrijednosti parametara za određivanje standardnog elastičnog spektra odziva

T_A [s]	χ	F_A	T_D [s]
0,02	4	2,5	2, ako je $S_{\beta,RP} \leq 1$ m/s ²
			$1 + S_{\beta,RP}$, ako je $S_{\beta,RP} > 1$ m/s ²

- T_A je vrijednost za period spektralnog ubrzanja 0,02 s (uzima se da je to nulti period), slika 1,
- T_D je vrijednost perioda od kojega počinje područje s konstantnim vrijednostima elastičnog spektra pomaka S_{de} , slika 1. Detaljno objašnjenje ovoga pojma može se vidjeti u [9].

- F_A je redukcijski faktor da bi se iz S_α dobila vrijednost spektralnog ubrzanja za nulti period,
- χ definira točku T_B "na platou" elastičnog spektra, slika 1., koristeći relaciju:

$$T_B = \frac{T_C}{\chi}, \text{ ako je } 0,05 \text{ s} \leq \frac{T_C}{\chi} \leq 0,10 \text{ s}$$

$$T_B = 0,05 \text{ s, ako je } \frac{T_C}{\chi} < 0,05 \text{ s}$$

$$T_B = 0,10 \text{ s, ako je } \frac{T_C}{\chi} > 0,10 \text{ s}$$
(5)

$$T_C = \frac{S_\beta T_\beta}{S_\alpha}$$
(6)

Spektralna ubrzanja S_α i S_β se dobiju iz izraza (7) i (8),

$$S_\alpha = F_T \cdot F_\alpha \cdot S_{\alpha,RP}$$
(7)

$$S_\beta = F_T \cdot F_\beta \cdot S_{\beta,RP}$$
(8)

u kojima su:

F_α - faktor uvećanja za određenu lokaciju s kratkim predominantnim periodima tla, tablica 6.,

F_β - faktor uvećanja za određenu lokaciju s periodima tla $T = T_\beta = 1 \text{ s}$, tablica 6.,

F_T - topografski faktor uvećanja, kojim se ovdje nećemo baviti.

Vrijednosti faktora uvećanja F_α i F_β dane su u tablici 6. i vrijede bez obzira da li su $v_{s,H}$ i H_{800} određeni mjerenjem na terenu ili se primjenjuje alternativni pojednostavljeni postupak dan u Dodatku A norme EN 1998-1-1.

Za horizontalnu komponentu seizmičkog djelovanja, elastični spektar odziva $S_e(T)$ treba definirati deterministički koristeći se izrazima (9) do (13):

$$0 \leq T \leq T_A: S_e(T) = \frac{S_\alpha}{F_A}$$
(9)

$$T_A \leq T \leq T_B: S_e(T) = \frac{S_\alpha}{T_B - T_A} \left[\eta(T - T_A) + \frac{T_B - T}{F_A} \right]$$
(10)

$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = \eta S_\alpha$$
(11)

$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = \eta \frac{S_\beta T_\beta}{T}$$
(12)

$$T \geq T_D: S_e(T) = \eta T_D \frac{S_\beta T_\beta}{T^2}$$
(13)

U izrazima (9) do (13) su (rekapitulacija uvedenih pojmova):

S_α - maksimalno ubrzanje spektra odziva s 5-postotnim relativnim prigušenjem "na platou" prema izrazu (7),

S_β - ubrzanje spektra odziva za period vibracija $T = T_\beta$ prema izrazu (8), $T = T_\beta = 1 \text{ s}$

T_C - desna točka "na platou" konstantnog spektralnog ubrzanja, $T_C = (S_\beta T_\beta) / S_\alpha$, slika 1.

T_D - vrijednost perioda od kojega počinje područje s konstantnim vrijednostima elastičnih pomaka S_{de} , slika 1.

U EN 1998-1-1 se također daju izrazi i za elastični vertikalni spektar odziva $S_{ve}(T)$.

4. Eurokod 8, dio 1-1: Modeliranje, analiza i verifikacija konstrukcija

4.1. Opća objašnjenja

EN 1998-1-1 propisuje parametre koji su nužni za sve dijelove Eurokoda tj. za sve vrste konstrukcija, a odredbe koje se odnose samo na zgrade propisane su u EN 1998-1-2. U EN 1998-1-1 uvode se dva pristupa u analizi konstrukcija:

Tablica 6. Faktori uvećanja F_α i F_β za standardnu kategorizaciju tla danu u tablici 4 ($S_{\alpha,RP}$ i $S_{\beta,RP}$ [m/s²], $v_{s,H}$ [m/s])

Kategorija lokacije građevine	F_α		F_β	
	Raspoložive vrijednosti H_{800} i $v_{s,H}$	Zadana vrijednost	Raspoložive vrijednosti H_{800} i $v_{s,H}$	Zadana vrijednost
A	1,0	1,0	1,0	1,0
B	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,40 r_\alpha}$	1,3 (1 - 0,01 $S_{\alpha,RP}$)	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,70 r_\beta}$	1,6 (1 - 0,02 $S_{\beta,RP}$)
C		1,6 (1 - 0,02 $S_{\alpha,RP}$)		2,3 (1 - 0,03 $S_{\beta,RP}$)
D		1,8 (1 - 0,04 $S_{\alpha,RP}$)		3,2 (1 - 0,10 $S_{\beta,RP}$)
E	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,40 r_\alpha} \frac{H}{30} \left(4 - \frac{H}{10}\right)$	2,2 (1 - 0,05 $S_{\alpha,RP}$)	$\left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,70 r_\beta} \frac{H}{30}$	3,2 (1 - 0,10 $S_{\beta,RP}$)
F	$0,90 \left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,40 r_\alpha}$	1,7 (1 - 0,04 $S_{\alpha,RP}$)	$1,25 \left(\frac{v_{s,H}}{800}\right)^{-0,70 r_\beta}$	4,0 (1 - 0,10 $S_{\beta,RP}$)
		$r_\alpha = 1 - 15 \frac{S_{\alpha,RP}}{v_{s,H}}$		
			$r_\beta = 1 - 15 \frac{S_{\beta,RP}}{v_{s,H}}$	

Tablica 7. Vrijednosti faktora ponašanja q_R i q_D za horizontalno seizmičko djelovanje i razrede duktilnosti DC2 i DC3 za zgrade

Vrsta konstrukcije		q_R	q_D		$q = q_R \cdot q_S \cdot q_D$	
			DC2	DC3	DC2	DC3
Okvir bez dijagonala ili okvir bez dijagonala istovjetan dvojnomo sustavu	višekatni, višebrodni okviri bez dijagonala ili okviri bez dijagonala istovjetni dvojnomo sustavima	1,3	1,3	2,0	2,5	3,9
	višekatni, jednobrodni okviri bez dijagonala	1,2			2,3	3,6
	jednokatni okviri bez dijagonala	1,1			2,1	3,3
Zidni sustav ili zidni sustav istovjetan dvojnomo sustavu	zidni sustav istovjetan dvojnomo sustavu	1,2	1,3	2,0	2,3	3,6
	zidni sustav s povezanim zidovima (eng. <i>coupled walls</i>)	1,2	1,4		2,5	3,6
	zidni sustav s ne povezanim zidovima	1,0	1,3		2,0	3,0

- pristup utemeljen na silama, koji se primjenjuje u dva postupka: a) primjenom ekvivalentnog bočnog statičkog djelovanja zasnovano na faktoru ponašanja q i b) modalna analiza spektrima odziva;
- pristup utemeljen na pomacima također se primjenjuje u sljedeća dva postupka: a) nelinearnom statičkom proračunu utemeljenom na postupnom guranju i b) nelinearnom dinamičkom proračunu primjenom vremenskog zapisa.

Primjena ovoga prvog pristupa nije dopuštena za verifikaciju graničnog stanja pred urušavanje NC.

4.2. Seizmičko opterećenje zasnovano na reduciranom spektru

4.2.1. Reducirani spektar $S_r(T)$ prema pristupu utemeljenom na silama

Najprije treba primijetiti da je odbačen termin projektni spektar iz postojeće norme EN 1998-1:2004, već se uvodi termin reducirani spektar i označava $S_r(T)$.

U ovom pristupu utemeljenom na silama seizmički se utjecaji dobiju iz reduciranoga spektra koji se uspostavlja iz elastičnog spektra odziva (slika 1.) primjenom faktora ponašanja q . Tim se faktorom uvodi deformacijski kapacitet i rasipanje energije u konstrukciji, a dan je izrazom (14):

$$q = q_R \cdot q_S \cdot q_D \quad (14)$$

Gdje je q_R je dio cjelokupnog faktora ponašanja koji potječe od rezervi u konstrukciji zbog efekta redistribucije seizmičkih sila statički neodređenih konstrukcija. Vrijednosti q_R za zgrade dobiju se iz sljedećeg izraza:

$$q_R = \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

gdje:

- α_u predstavlja parametar kojim treba pomnožiti horizontalne seizmičke sile kako bi dobila vrijednosti za koje određeni broj poprečnih presjeka dostigne svoje potpuno plastificiranje,

pri čemu takva konstrukcija postaje nestabilna (kinematički labilan mehanizam);

- α_1 predstavlja parametar kojim treba pomnožiti horizontalne seizmičke sile (pri čemu sve ostale projektne sile ostaju nepromjenjive), kako bi dobila vrijednosti za koje jedan najnepovoljnije opterećen poprečni presjek konstrukcije dostigne svoje potpuno plastificiranje.

Za konstrukcije zgrada koje su torzijski fleksibilne, q_R treba uzeti jednak 1. Za faktore ponašanje q_S i q_D vrijedi sljedeće:

q_S - dio cjelokupnog faktora ponašanja koji proizlazi iz rezervi u konstrukciji koje potječu iz drugih izvora (na primjer rezerve u nosivosti betona i čelika). Vrijednost q_S može biti najviše 1,5.

q_D - dio cjelokupnog faktora ponašanja koji potječe od kapaciteta deformiranja i kapaciteta rasipanja seizmičke energije.

q_D - za DC1 iznosi 1, a vrijednosti veće od jedinice zavise od vrsta materijala, vrsta statičkih sustava te razreda duktilnosti i trebaju se odrediti na način da se ima na umu kapacitet deformacija graničnog stanja pred urušavanje NC.

Kao primjer, u tablici 7. su za nekoliko tipova konstrukcija novih zgrada s armirano betonskom konstrukcijom prikazane predložene vrijednosti faktora ponašanja za izračun horizontalnog seizmičkog djelovanja i razrede duktilnosti DC2 i DC3.

Reducirani spektar $S_r(T)$ određuje se iz izraza (15):

$$S_r(T) = \frac{S_e(T)}{R_q} \geq \beta S_{\alpha,475}(T) \quad (15)$$

U tom je izrazu:

$$0 \leq T \leq T_A \quad R_q(T) = R_{q0} \quad (16)$$

$$T_A \leq T \leq T_B \quad R_q(T) = R_{q0} + (q - R_{q0})(T - T_A)/(T_B - T_A) \quad (17)$$

$$T_B \leq T \quad R_q(T) = q \quad (18)$$

$$R_q = q_R q_S \quad (19)$$

Ovdje su:

q - faktor ponašanja definiran izrazom (14),

β - donja vrijednost graničnog faktora za horizontalni reducirani spektar (primjenjuje se samo kod definiranja sila i određuje u nacionalnom dodatku).

$S_g(T)$, T_A , T_B - definirani su izrazima (9) od (13) za $\eta = 1$ (5-postotno relativno prigušenje).

U EN1998-1-1 također se definira i reducirani spektar vertikalnog odziva $S_{vr}(T)$. Oznaka R_q za definiranje reduciranoga spektra $S_r(T)$ uvedena je po ugledu na američke propise, u kojima se ta vrijednost naziva koeficijent modifikacije odziva R , a zavisi od vrste statičkoga sustava i vrste gradiva [11].

4.3. Pristup utemeljen na silama

4.3.1. Metoda bočnih sila

Kao i u prvoj generaciji Eurokoda EN 1998-1:2004, prema EN 1998-1-1 i dalje se može raditi izračun konstrukcije opterećene ekvivalentnim bočnim statičkim silama, u sva tri glavna pravca, uz uvjet da je zanemariv udio viših oblika te se uzima samo utjecaj od osnovnog tona.

Što se tiče ove metode bočnih sila, prema EN 1998-1-1 je određeno da izračunane pomake treba povećati za q faktor, pa čak i za veću vrijednost (bez prekoračenja $3q$) ako je prva prirodna frekvencija konstrukcije manja od T_c . Kada se određuju pomaci, treba uzeti u obzir i utjecaje torzije.

4.3.2. Modalna analiza spektrima odziva

Ovu metodu treba primijeniti na konstrukcije koje ne zadovoljavaju uvjete za primjenu metode bočnih sile, tj. u slučaju kada odzivi viših tonova vibracija znatno pridonose globalnom odzivu konstrukcije (broj tih tonova se određuje sve dok zbroj njihovih efektivnih modalnih masa ne bude najmanje 90% ukupne mase modela konstrukcije, s time da je period posljednjeg tona koji se uzima u obzir veći od T_A).

Kombinacije modalnih odziva

Odzivi u tonu i i tonu j (uključujući i translacijske i torzijske tonove) mogu se uzeti neovisni jedan od drugoga ako njihovi periodi T_i i T_j ($T_i \geq T_j$) i relativna prigušenja ξ_i , ξ_j zadovoljavaju uvjet koji je dan izrazom (20).

$$|T_i - T_j| / (T_i + T_j) > \xi_i + \xi_j \quad (20)$$

Kad god se svi relevantni modalni odzivi mogu smatrati međusobno neovisnima, maksimalna vrijednost E_E učinka seizmičkog djelovanja može se uzeti kao što je dano izrazom (21):

$$E_E = \sqrt{\sum E_{E_i}^2} \quad (21)$$

gdje je:

E_E - učinak seizmičkog djelovanja koji se razmatra (sila, pomak, itd.),

E_{E_i} - vrijednost učinka seizmičkog djelovanja za ton i .

Za bilo koja dva tona i i j koji ne zadovoljavaju uvjet (20), treba za dobivanje maksimalne vrijednosti odziva koristiti jednadžbu (22), koja ima naziv CQC [9].

$$E_E = \sqrt{\sum_i \sum_j E_{E_i} r_{ij} E_{E_j}} \quad (22)$$

r_{ij} je faktor korelacije definiran izrazima (23) i (24):

$$\text{ako je: } \xi_i = \xi_j = \xi: r_{ij} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\alpha_{ij}}{\xi}\right)^2}, \alpha_{ij} = \frac{T_i - T_j}{T_i + T_j} \quad (23)$$

$$\text{ako je: } \xi_i \neq \xi_j: r_{ij} = \frac{8\sqrt{\xi_i \xi_j} (\xi_i + \rho_{ij} \xi_j) \rho_{ij}^{3/2}}{(1 - \rho_{ij}^2)^2 + 4\xi_i \xi_j \rho_{ij} (1 + \rho_{ij}^2) + 4(\xi_i^2 + \xi_j^2) \rho_{ij}^2} \quad (24)$$

ξ_i , ξ_j su vrijednosti relativnih viskoznih prigušenja koja se odnose na tonove i , j i $\rho_{ij} = (T_i / T_j)$.

Kombinacija učinaka komponenti seizmičkih djelovanja u tri okomita pravca (x , y , z) ista je kao u EN 1998-1:2004.

4.4. Pristup utemeljen na pomacima

4.4.1. Nelinearni statički proračun postupnim guranjem

Nelinearnoj statičkoj metodi u drugoj je generaciji EN 1998-1-1 dana je velika pozornost i mogućnost primjene. To se uočava i po tome što je ta metoda detaljno izložena u tekstu glavnih odredbi EN 1998-1-1 i zasniva se na proračunu postupnoga guranja, a u sadašnjoj EN 1998-1:2004 objašnjena je u dodatku B na kraju glavnog teksta i vrlo se rijetko do sada primjenjivala u praksi. Nelinearna statička metoda je rezultat znanstvenih istraživanja rađenih na ljubljanskom sveučilištu [12].

Obvezatna je primjena nelinearne statičke metode u mnogo slučajeva, posebno što je koncept sa q faktorom, bez obzira na to što je zadržan i u drugoj generaciji ove norme, i dalje veoma upitan. Da bi se radila nelinearna statička analiza, treba prethodno pretpostaviti poprečne presjeke i količinu armature, a kao rezultat dobit će se deformacije (pomaci i relativni pomaci), tj. oštećenja konstrukcije (plastifikacija određenih poprečnih presjeka). U linearnim metodama proračuna armatura se dobiva kao krajnji rezultat.

Nelinearni statički izračun prema drugoj generaciji EN 1998-1-1 koristi se u svim slučajevima, znači i kada nema utjecaja viših tonova i kada ti utjecaji postoje. Ako ti utjecaji postoje, primjenjuju se korekcijski faktori [13].

Može se ustvrditi da se u drugoj generaciji EN 1998-1-1 preporučuje, tj. potiče primjena nelinearne statičke metode. Razlog tome je ne samo stvarno nelinearno ponašanje konstrukcije u potresu i mogućnost uzimanja u obzir utjecaja

viših tonova primjenom nelinearne statičke metode N2 [12, 13], nego i dvojbena primjena koncepta q faktora, jer q faktor omogućava nelinearno ponašanje konstrukcije, ali se i dalje radi njen linearan izračun, što je u suprotnosti jedno s drugim.

Prikaz nelinearne statičke metode i numerički primjeri dani su u [9]. Metoda N2 uvodi dva modela konstrukcije te se provodi nelinearna analiza konstrukcije. Ta metoda, koja se temelji na proračunu postupnim guranjem i ekvivalentnom modelu s jednim stupnjem slobode, može se upotrijebiti za provjeru novih konstrukcija ili za procjenu nosivosti postojećih ili naknadno ojačanih konstrukcija zgrada. Za provođenje proračuna postupnog guranja dane su upute u EN 1998-1-1, uključujući pretpostavljeni oblik pomaka i odabir točke kontrole pomaka (ciljani pomak). Također su dane upute za definiranje ekvivalentnog sustava s jednim stupnjem slobode.

Ciljani pomak se određuje iz spektra elastičnog odziva. Ciljani pomak kontrolne točke stvarne konstrukcije (MDOF) povećan je korekcijskim faktorima koji uzimaju u obzir učinke viših tonova i učinke torzije (ako je potrebno).

Ovi korekcijski faktori [13] su novost u odnosu na sadašnju normu EN 1998-1: 2004. Naime, u posljednjih desetak godina rađena su opsežna znanstvena istraživanja i rezultati su uvršteni u ovu drugu generaciju Eurokoda 8-1. Znanstveno je istraženo kakvi su učinci utjecaja torzije i utjecaja viših tonova (jer osnovna nelinearna statička metoda uzima u obzir samo prvi ton) na vrijednosti pomaka dobivenih primjenom proračuna postupnim guranjem.

Sama krivulja koja se dobije proračunom postupnim guranjem (kapacitet konstrukcije) dobije se pomoću raspoloživih softvera. Ako se primjenjuje pristup utemeljen na pomacima, značajna je odredba za zgrade da se učinci dobiveni proračunom postupnim guranjem moraju korigirati na slijedeći način:

- pomaci se množe s korekcijskim faktorom c_p , kojim se uzima u obzir torzijski učinak,
- učinci viših tonova seizmičkog djelovanja se uvode množenjem s korekcijskim faktorima c_p i c_E .

Znači, kada se primjenom metode bočnog statičkog opterećenja u linearnoj analizi trebao uvesti utjecaj viših oblika, koristila se modalna analiza. Ovdje je u novoj nelinearnoj statičkoj metodi moguće odmah uzeti u obzir utjecaj viših oblika i utjecaj torzije, ako je to potrebno, primjenom korekcijskih faktora.

4.4.2. Nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa

Odziv konstrukcije u vremenu može se dobiti direktnim dinamičkim integriranjem diferencijalne jednadžbe gibanja [9], pri čemu se ulazne vrijednosti odabiru na sljedeći način:

- Usvajaju se vrijednosti ubrzanja u vremenu (akceleracije) odabranog potresa. Mogu se koristiti ubrzanja u vremenu

potresa koji su se do sada dogodili, za koje su ubrzanja zabilježena SM akceleroigrafima, te simulirana ili vještački odabrana ubrzanja u vremenu iz raspoložive svjetske baze podataka, na primjer [14], zavisno od vrste konstrukcije čiji se proračun radi, kao i drugih okolnosti povezano s lokacijom građevine. Za značajne građevine izrađuje se poseban ekspertni elaborat kojim se utvrđuje mjerodavni potres i njegove karakteristike (ubrzanja, brzine ili pomaci u vremenu).

- Za svaki vremenski zapis se iz proračuna ustanovi najveća vrijednost seizmičkog djelovanja. Pri tome se koristi najmanje sedam odabranih vremenskih zapisa te određuje prosječna vrijednost učinka tih sedam vremenskih zapisa. Primjer za ilustriranje navedene procedure je prikazan u [15].
- Za nisku razinu seizmičnosti reducira se broj odabranih vremenskih zapisa na tri, te se razmatra najnepovoljniji maksimalni odziv. Odredbe za primjenu nelinearnog dinamičkog proračuna koje se navode u Eurokodu druge generacije, uglavnom su bile propisane i u postojećoj normi EN 1998-1: 2004.

5. Završni komentari

Prije stupanja na snagu druge generacije EN 1998-1-1 i EN 1998-1-2 treba izraditi komparativnu studiju vrijednosti seizmičkih utjecaja primjenom bočnog statičkog djelovanja prema sadašnjim i novim spektrima. Znači da se za jednu armiranobetonsku konstrukciju trenutačno ne zna hoće li ona imati više ili manje armature prema novim spektrima.

S obzirom na uvedene novosti u normama druge generacije EN 1998-1-1 i EN 1998-1-2, svi računalni programi koji se koriste za proračun konstrukcija trebat će se dopuniti i izmijeniti u smislu kako je ovdje izloženo, tj kako to propisuje druga generacija ove norme. To se naročito odnosi na uvođenje proračuna nelinearnom statičkom metodom, koja u računalnim programima koje danas primjenjujemo u svakodnevnoj praksi i ne postoji (Tower, SCIA, itd.), već uglavnom postoje linearna metoda bočnog statičkog opterećenja i modalna analiza.

Karte seizmičkog hazarda trebalo bi što prije početi raditi na način kako su one već izrađene u nekim susjednim državama [16, 17].

U spektru odziva postojeće norme EN 1998-1: 2004 samo je vrijednost spektra za $T = 0$ (tlo razreda A) određena na probabilistički način, dok je u prijedlogu spektra druge generacije (slika 1.) više točaka spektra određeno na probabilistički način, a ostale točke spektra su definirane deterministički. Ako se koriste UHS (eng. *Uniform Hazard Spectrum*) spektri, tada su sve točke spektra određene probabilistički. U radu [18] opisan je najnoviji znanstveno utemeljen način definiranja seizmičkog opterećenja na konstrukcije zasnovan na UHS spektrima, kakvi se već koriste u propisima u Kanadi i SAD. Može se očekivati da će se UHS spektri uvesti u treću generaciju EN 1998-1-1.

LITERATURA

- [1] Fajfar, P.: Razvoj predpisov za potresno odporno gradnji v Sloveniji - Development of seismic codes in Slovenia, *Gradbeni vestnik*, 66 (2017) 4, pp. 82-96, UDK 006.82:624.042.7(497.4)
- [2] Bubnov, S.: Sigurnost građenja od potresa (neke sugestije za izradu novih propisa), *Građevinar*, 6 (1962) 1, pp. 178-183.
- [3] Pravilnik o privremenim tehničkim propisima za građenje u seizmičkim područjima, *Sl. list br.* 39/64.
- [4] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, *Sl. list br.* 31/81, 49/82, 29/83, 21/88 i 52/90.
- [5] Eurokod 8: Projektiranje potresno otpornih konstrukcija 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004 + AC: 2009), *HRN EN 1998-1*, 2011.
- [6] Fajfar, P.: Analysis in seismic provisions for buildings: past, present and future, (The fifth Prof. Nicholas Ambraseys lecture), *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16 (2018) 7, pp. 2567-2608, <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0290-8>
- [7] Bisch, P.: Eurocode 8 – Evolution or revolution? ID 12254, 16th European conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece, ID 11952, 18-21 June, 2018.
- [8] Herak, M., Prevolnik, S.: UHS ili Tip 1 – pitanje je sad, *Zbornik Dana Hrvatske komore inženjera građevinarstva, Opatija*, 2017.
- [9] Čaušević, M.: Dinamika konstrukcija, Potresno inženjerstvo – Aerodinamika – Konstrukcijske euronorme, Golden marketing – Tehnička knjiga, Drugo dopunjeno izdanje, Zagreb, 2014.
- [10] Labbé, P.: Outlines of the revision of the Eurocode 8, Part 1, general clauses, 16th European conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece, ID 11952, 18-21 June, 2018.
- [11] 2018 International Building Code, Chapter 16 STRUCTURAL DESIGN, Section 1613: Earthquake loads, USA, 2018.
- [12] Fajfar, P.: A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Seismic Design, *Earthquake Spectra*, 16 (2000) 3, 573-592.
- [13] Kreslin, M., Fajfar, P.: The extended N2 method considering higher mode effects in both plan and elevation, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10 (2012) 2, pp. 695-715.
- [14] Gelfi, P.: SIMQKE_GR, Programma per la generazione di accelerogrammi artificiali spettro-compatibili, University of Brescia, Italy, 2007.
- [15] Čaušević, M., Mitrović, S.: Comparison between non-linear dynamic and static seismic analysis of structures according to European and US provisions, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9 (2011) 2, pp. 467-489.
- [16] Lee, V.W., Trifunac, M., Bulajić, B.Đ., Manić, M.I., Herak, D., Herak, M., Dimov, G.: Seismic Microzoning in Skopje, Macedonia, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 98 (2017), pp. 166-182.
- [17] Trifunac, M., Lee, V.W.: Seizmički Hazard u Srbiji, *Izgradnja*, 71 (2017) 11-12, pp. 357-378.
- [18] Čaušević, M., Bulić, M.: Seismic Retrofit of Bridges for Earthquake Resilient Society, *Proceedings of the 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece Paper No. 10287*, June 18-21, 2018.