



EVROKOD 8 PROJEKTOVANJE ZGRADA

dr Srđan Janković, dipl.inž.građ.

8-9. septembar 2013.

Podgorica



Sadržaj

- Karakteristike seizmi ki otpornih zgrada
 - Osnovni principi idejnog projekta
 - Primarni i sekundarni seizmi ki elementi
 - Kriterijumi konstruktivne regularnosti
- Analiza konstrukcije
 - Prora unski model
 - Metode analize
 - Prora un pomjeranja
 - Nenose i elementi
 - Dopunske mjere za ramove sa zidanom ispunom



Osnovni principi idejnog projekta

Vode i principi kojim se treba rukovoditi prilikom konceptualnog (idejnog) rješavanja objekata:

- jednostavnost konstruktivnog sistema
- ujedna enost, simetrija i konstruktivna rezerva (stati ka neodre enost)
- nosivost i krutost u dva pravca
- ponašanje spratnih tavanica kao krutih dijafragmi u svojoj ravni.
- adekvatno fundiranje.



Osnovni principi idejnog projekta

Aljaska
1964





Osnovni principi idejnog projekta



Turska, 1999



Osnovni principi idejnog projekta

Crna Gora
1979



Osnovni principi idejnog projekta

Kobe
1995





Osnovni principi idejnog projekta

Turska
1999





Osnovni principi idejnog projekta

Kobe
1995



Osnovni principi idejnog projekta



L'Aquila 2009



Osnovni principi idejnog projekta

Izmit 1999





Osnovni principi idejnog projekta

Northridge
1994





Primarni i sekundarni seizmi ki elementi

Primarni seizmi ki elementi

Elementi koji formiraju dio sistema koji se suprotavlja seizmi kim dejstvima i koji se modeliraju, analiziraju i dimenzionišu u skladu sa odredbama EC8.



Primarni i sekundarni seizmi ki elementi

Sekundarni seizmi ki elementi

Elementi koji ne formiraju dio sistema koji se suprotavlja seizmi kim dejstvima i ija nosivost i krutost na seizmi ke uticaje može da se zanemari.

- Ukupan doprinos horizontalnoj krutosti svih sekundarnih elemanata ne smije da pre e 15% od doprinosa primarnih seizmi kih elemenata
- Moraju obezbjediti prenošenje gravitacionog optere enja i kada su podvrgnuti pomjeranjima izazvanim seizmi kim silama



Kriterijumi konstruktivne regularnosti

Posljedica konstruktivne regularnosti na
seizmi ku analizu i projektovanje

Regularnost		Dozvoljeno uprošćenje		Faktor ponašanja za linearnu analizu
U osnovi	Po visini	Model	Linearna analiza	
Da	Da	Ravanski	Bočne sile	q
Da	Ne	Ravanski	Modalna	$0.8q$
Ne	Da	Prostorni	Bočne sile	q
Ne	Ne	Prostorni	Modalna	$0.8q$

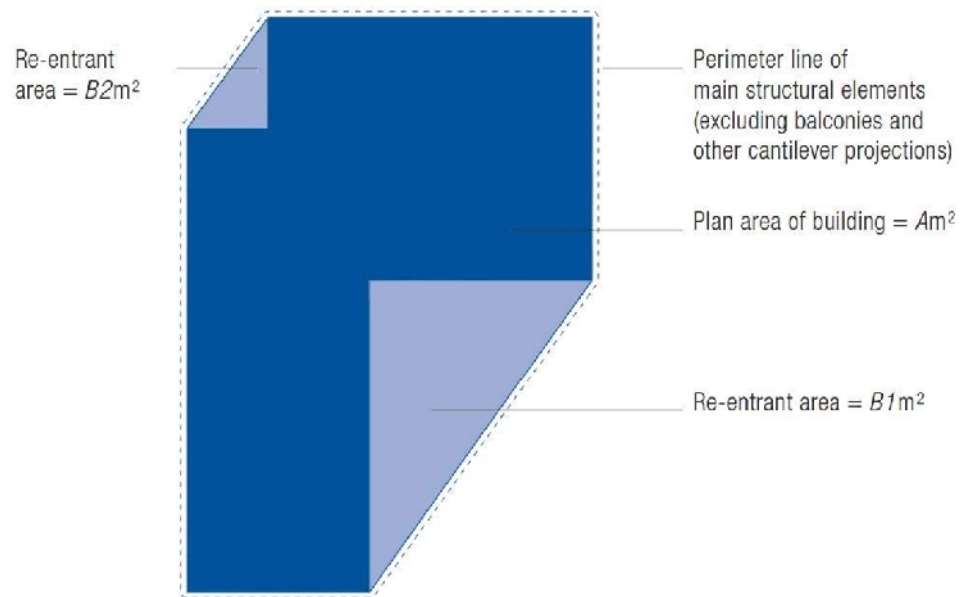


Kriterijumi konstruktivne regularnosti

Kriterijumi regularnosti u osnovi:

1. U odnosu na raspored masa i bo ne krutosti, konstruktivni sistem mora biti približno simetričan u odnosu na dvije ortogonalne ose.
2. Konfiguracija u osnovi mora biti kompaktna, to jest svaka tavanica mora biti ograničena sa poligonalnom konveksnom linijom uz dopuštenje da površina između konture tavanice i konveksne poligonalne linije koja obuhvata tavanicu ne prelazi 5% od površine tavanice

Kriterijumi konstruktivne regularnosti



Plan shape can be classified as:
'compact' if $B_1/A \leq 0.05$ and $B_2/A \leq 0.05$
'moderately compact' if $B_1/A \leq 0.10$ and $B_2/A \leq 0.10$

Definicija kompaktnosti



Kriterijumi konstruktivne regularnosti

Kriterijumi regularnosti u osnovi:

3. Krutost tavanice u svojoj ravni mora da bude dovoljno velika da deformacije tavanice ima mali uticaj na raspodjelu sila izme u vertikalnih nose ih elemenata. Tavanice koje imaju oblike L, C, H i X u ovom smislu treba pažljivo razmotriti.
4. Vitkost zgrade u osnovi (odnos v_e i manje dimenzije u osnovi mjereno u ortogonalnim pravcima) ne smije da bude ve a od 4.
5. Da bi se sprije ili neprijatni torzioni efekti, na svakom spratu rastojanje izme u centra krutosti i centra masa mora biti manje od propisanog. Tako e, data je i minimalna torziona krutost koja mora biti zadovoljena.



Kriterijumi konstruktivne regularnosti

Kriterijumi regularnosti po visini:

1. Svi elementi osnovnog konstruktivnog sistema koji obezbjeđuju otpornost na horizontalna seizmička dejstva moraju da se prostiru bez prekida od temelja do vrha zgrade ili, ako postoje smanjenja osnove objekta na gornjim spratovima, onda do vrha relevantne zone zgrade.
2. Krutost na dejstvo horizontalnih sila kao i masa pojedinačnih spratova, moraju da ostanu konstantni ili da se postepeno smanjuju bez naglih promjena, od osnove pa do vrha posmatrane zgrade.



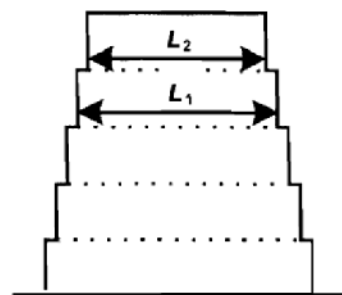
Kriterijumi konstruktivne regularnosti

Kriterijumi regularnosti po visini:

3. Kod zgrada sa ramovskim sistemima stvarna spratna nosivost ne smije da se značajno razlikuje između susjednih spratova. Ovdje se posebno apostrofira uticaj zidane ispune.
4. Ako postoji sažimanje (setback), smanjenje osnove zgrade po visini se mora sprovoditi postepeno idući odozdo na gore.

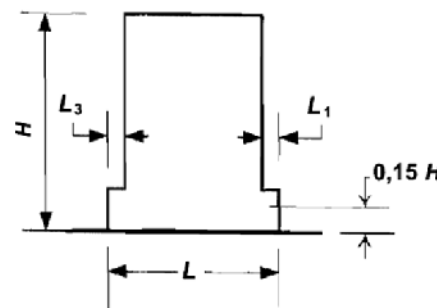
Kriterijumi konstruktivne regularnosti

(a)



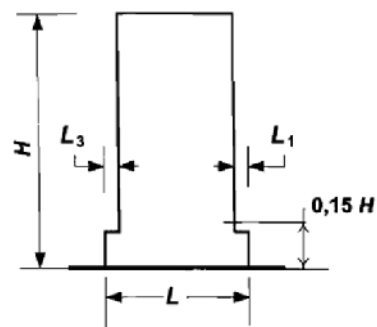
Kriterijum za (a): $\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,20$

(b) (sažimanje je iznad 0,15H)



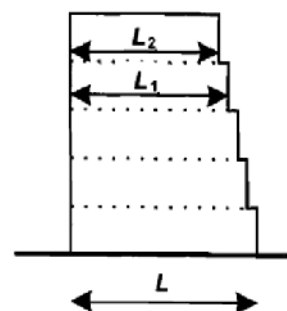
Kriterijum za (b): $\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0,20$

(c) (sažimanje je ispod 0,15H)



Kriterijum za (c): $\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0,50$

(d)



Kriterijum za (d): $\frac{L - L_2}{L} \leq 0,30$
 $\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,10$



Analiza konstrukcija

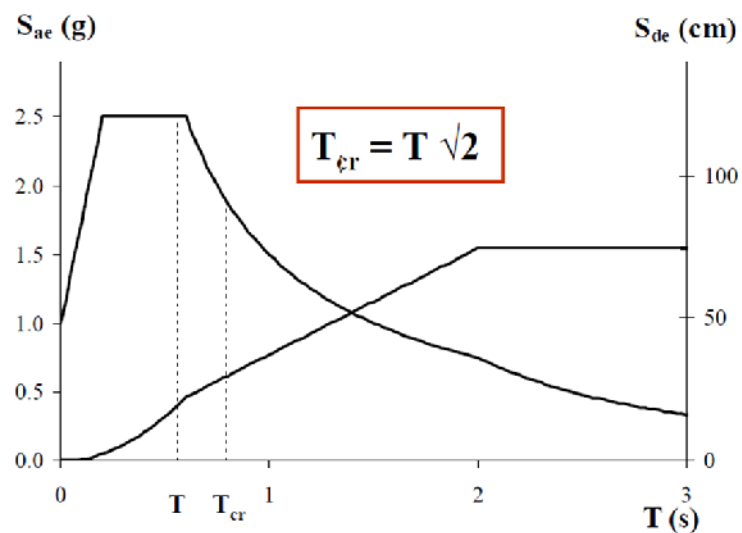
Proraunski model:

- Adekvatno prikazuje raspodjelu krutosti i mase
- Uzimanje u račun vrnih zona kod ramovskih konstrukcija
- Uzimanje u račun nekonstruktivnih elemenata
- Ponašanje spratnih tavanica kao krutih dijafragmi u svojoj ravni (ako je razlika u pomjeranju "realne" i "krute" manja od 10%)
- Za regularne osnove moguće je koristiti dva ravanska modela

Analiza konstrukcija

Proraunski model:

- Kod betonskih i zidanih konstrukcija treba uzeti krutost elemenata uzimajući u obzir efekte prslina. Takva krutost treba da odgovara po etku te enja armature.
- Krutosti na smicanje i savijanje se mogu uzeti kao polovina krutosti neisprskalih presjeka





Analiza konstrukcija

Slučajni torzioni efekti:

Premještanje položaja centra masa iz svog nominalnog položaja za:

$$e_{ai} = \pm 0.05L_i$$

L_i - dimenzija tavanice upravna na pravac seizmičkog dejstva



Analiza konstrukcija

Metode analize:

- Linearna statika ("Metoda bo ne sile")
- Linearna dinamika (Modalna analiza sa spektrima odgovora)
- Nelinearna statika ("Pushover" analiza)
- Nelinearna dinamika analiza (engleski "nonlinear time-history analysis")



Faktor ponašanja

- Osnovna uloga faktora ponašanja q je da redukuje seizmičke sile koje bi se javile u elastičnom sistemu na sile koje mogu da se koriste u analizi sa linearno elastičnim modelom a da se pri tome obezbedi zadovoljavajući odgovor konstrukcije.
- Na ovaj način se izbjegava eksplicitna nelinearna analiza
- U konstrukciji projektovanoj na ove seizmičke sile, osim elastičnog javlja se i plastično ponašanje pa se, osim nosivosti, konstrukciji mora obezbediti i odgovarajuća duktilnost.



Faktor ponašanja

Vrijednost faktora ponašanja q data je sa

$$q = q_0 k_w^{1.5}$$

q_0 – osnovna vrijednost faktora ponašanja koja zavisi od vrste konstruktivnog sistema i regularnosti objekta po visini.

k_w – faktor koji uzima u obzir preovladavaju u vrstu loma sistema sa zidovima



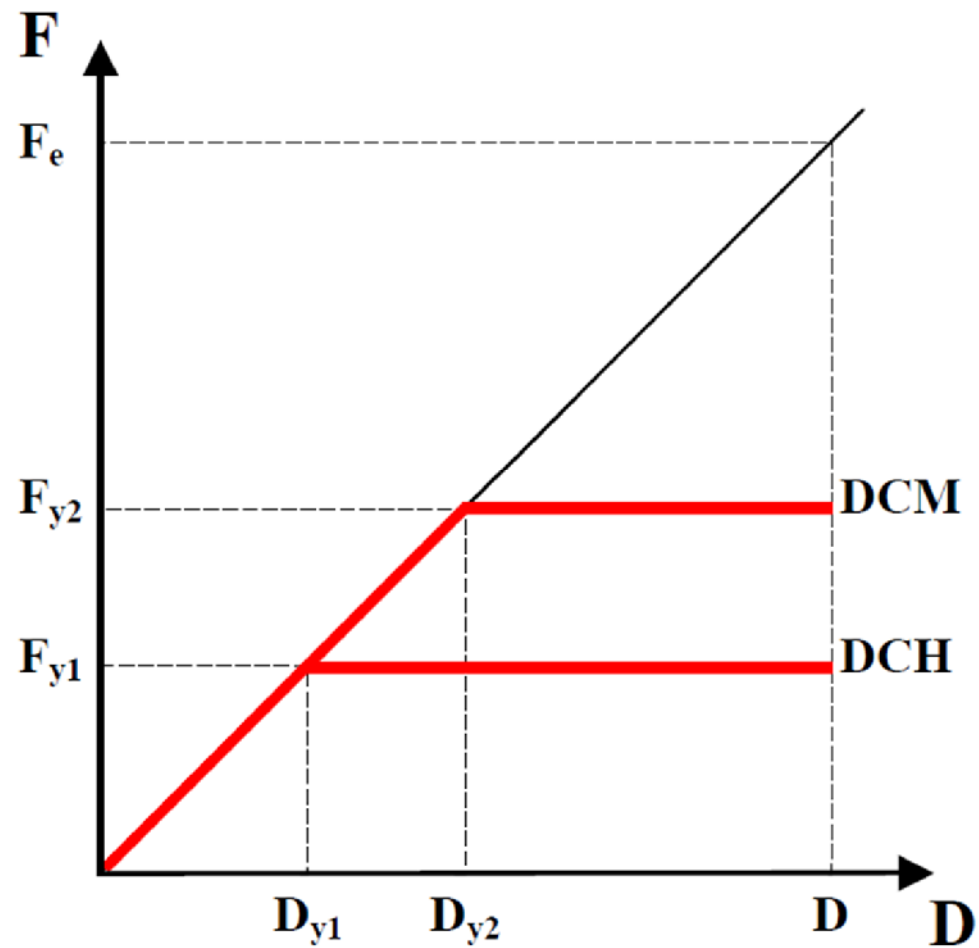
Klase duktilnosti

Prema EC8 dozvoljene su tri klase duktilnosti:

- niska (oznaka DCL)
- srednja (oznaka DCM)
- visoka (oznaka DCH)

svaka sa odgovaraju im vrijednostima faktora ponašanja.

Klase duktilnosti





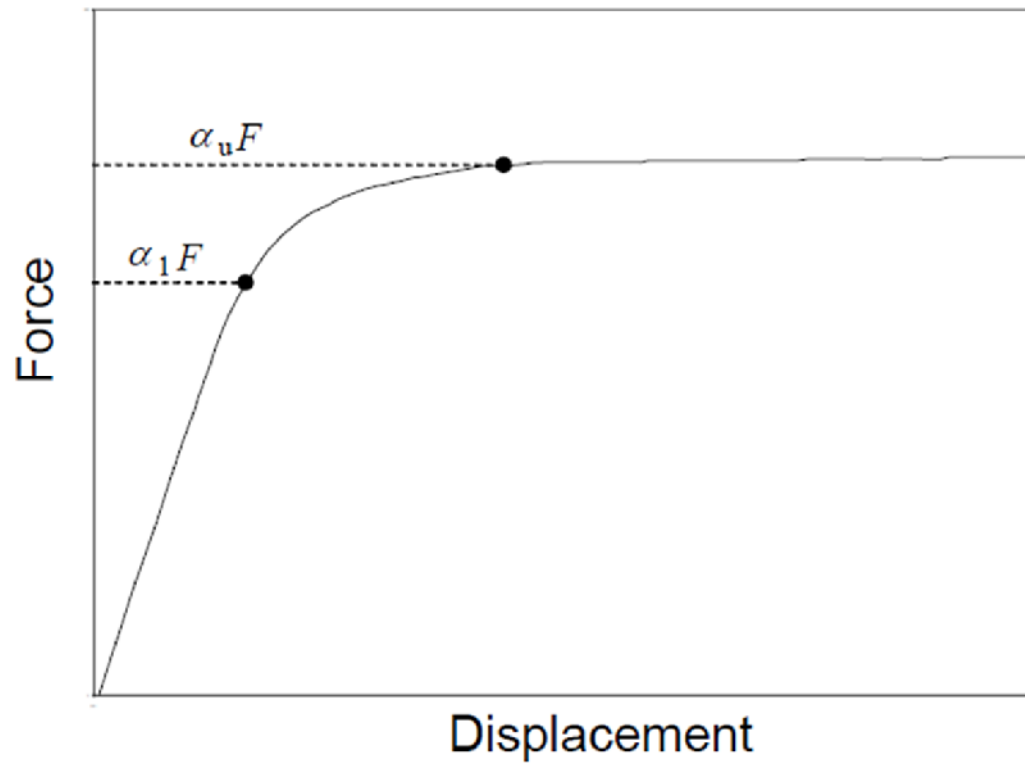
Faktor ponašanja

Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0

Tip konstrukcije	Srednja klasa duktilnosti (DCM)	Visoka klasa duktilnosti (DCH)
Ramovski sistem, dvojni sistem, sistem povezanih zidova	3.0 $u' / 1$	4.5 $u' / 1$
Sistem nevezanih zidova	3.0	4.0 $u' / 1$
Torziono fleksibilni sistemi	2.0	3.0
Sistem obrnutog klatna	1.5	2.0



Faktor ponašanja



Faktor oja anja α_u / α_1



Linearna statika - Metoda božne sile

- Regularne konstrukcije sa malim uticajem viših tonova

$$T_1 \leq \begin{cases} 4 \cdot T_C \\ 2.0 \text{sec} \end{cases}$$

- Ukupna seizmička sila u osnovi:

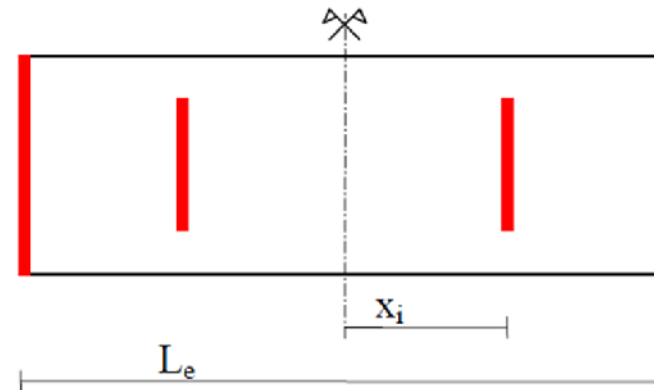
$$F_b = S_d(T_1) \cdot m$$

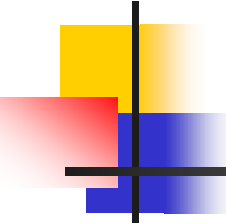
Linearna statika - Metoda božne sile

- Približne formula za T1
- Raspodjela seizmičke sile po visini:

$$F_i = F_b \frac{s_i \cdot m_i}{\sum_j s_j m_j} \quad \text{ili} \quad F_i = F_b \frac{z_i \cdot m_i}{\sum_j z_j m_j}$$

- Torzioni efekti
 $= 1 + 1.2 (x/L_e)$

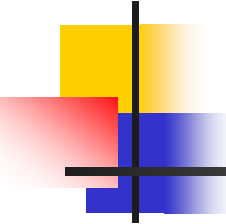




Linearna dinamika – Multimodalna spektralna analiza

Uticaj svih sopstvenih oblika vibracija koji značajno doprinose odgovoru konstrukcije moraju se uzeti u obzir:

- Zbir svih efektivnih masa tonova uzetih u račun mora biti veći ili 90% od ukupne mase konstrukcije
- Svi tonovi sa efektivnom masom većom od 5% od ukupne mase trebaju se uzeti u račun



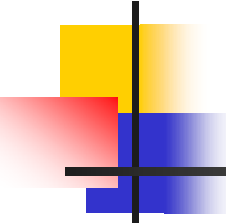
Linearna dinamika – Multimodalna spektralna analiza

Efektivna modalna masa: $M_i = \frac{(\phi_i^T M I)^2}{\phi_i^T M_i \phi_i}$

se može koristiti da bi se dobila ukupna seizmička sila za pojedine tonove:

$$F_{b,i} = S_a(T_i) \cdot M_i$$

Zbir svih efektivnih masa jednaka je ukupnoj masi objekta



Linearna dinamika – Multimodalna spektralna analiza

Kombinovanje modalnih odgovora:

Za slučaj gdje su svi upotrijebljeni tonovi nezavisni jedan od drugog upotreba kombinacije “korjen zbira kvadrata” (oznaka SRSS):

$$E_E = \sqrt{\sum E_{Ei}^2} \quad \text{za} \quad T_j \leq 0.9T_i$$

u suprotnom treba koristiti ta nije metode, kao što je “kompletna kvadratna kombinacija” (CQC)



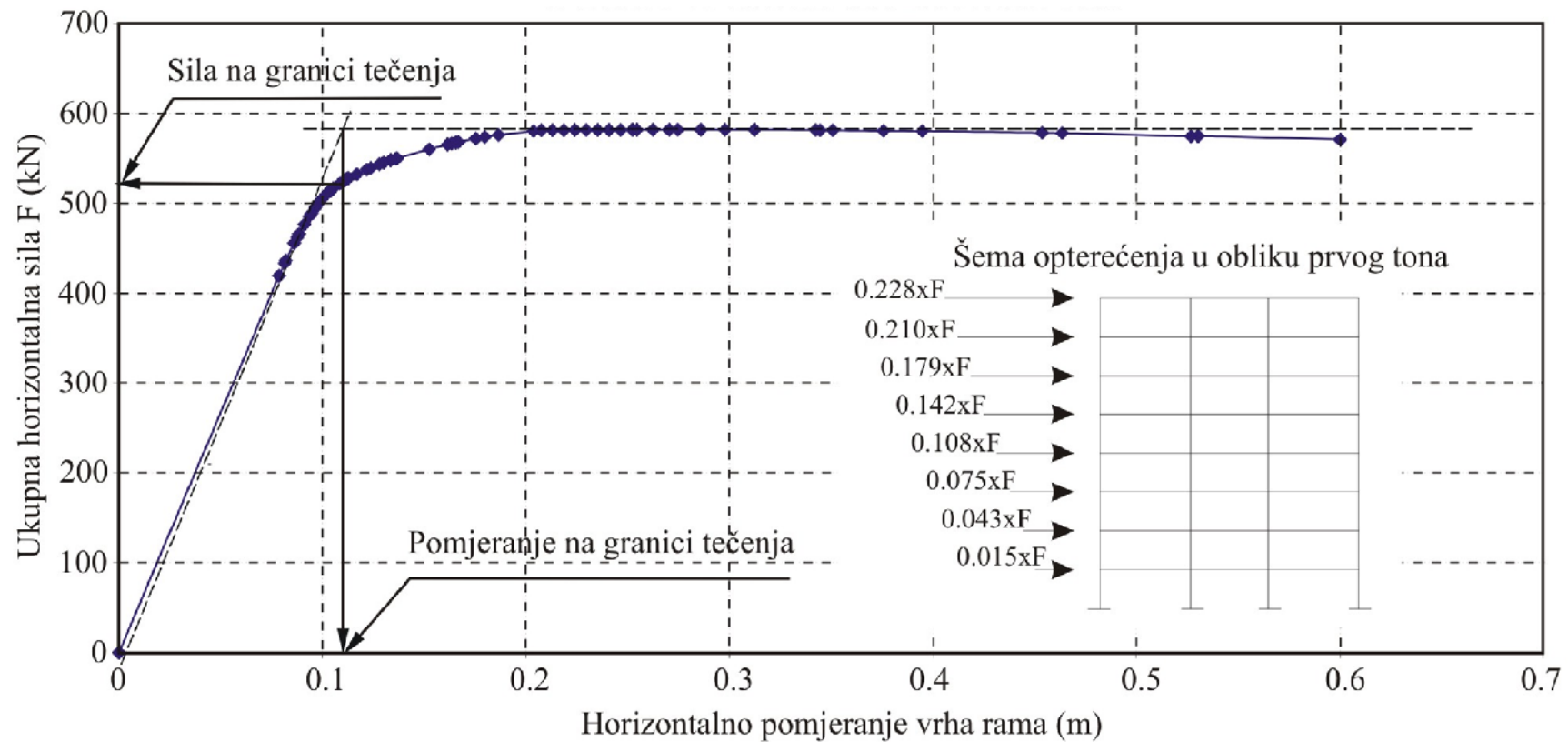
Nelinearna statika ("Pushover" analiza)

Nelinearna statika ("Pushover" analiza) može da se koristi u sljedeće svrhe:

- da se provjere vrijednosti ojačanja α_u / α_1
- da se procjeni otkrivani plastični mehanizam i raspodjela oštećenja
- da se ocjeni ponašanje konstrukcije postojećih objekata prema EC8-3
- kao alternativa linearno-elastičnoj analizi koja koristi faktor ponašanja q

Nelinearna statika ("Pushover" analiza)

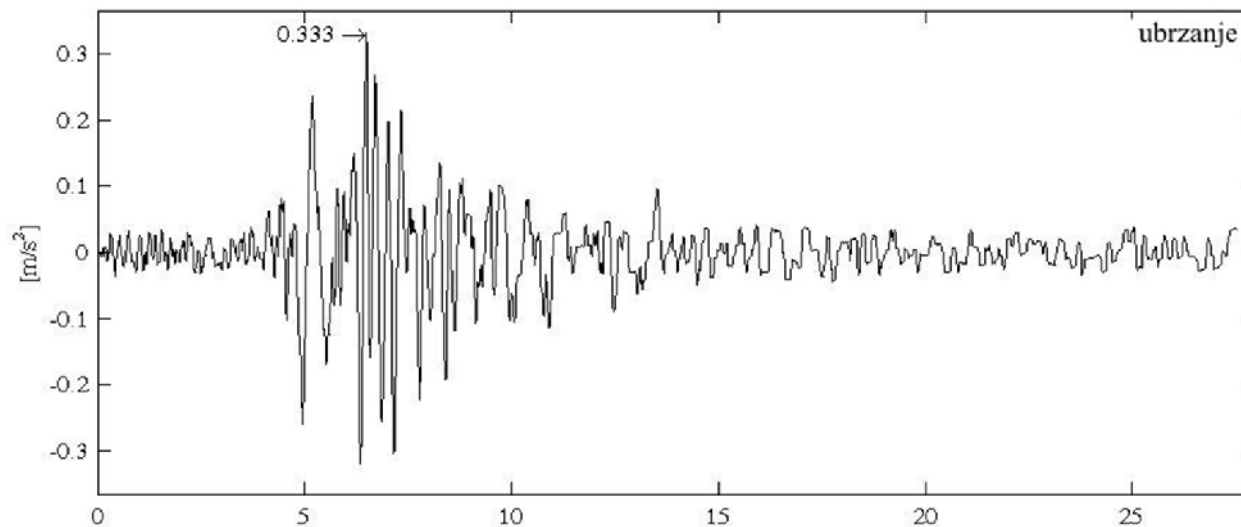
Tipi na push-over kriva



Nelinearna dinami ka analiza

Direktna numerika integracija diferencijalnih jednačina kretanja uz upotrebu akceleroograma

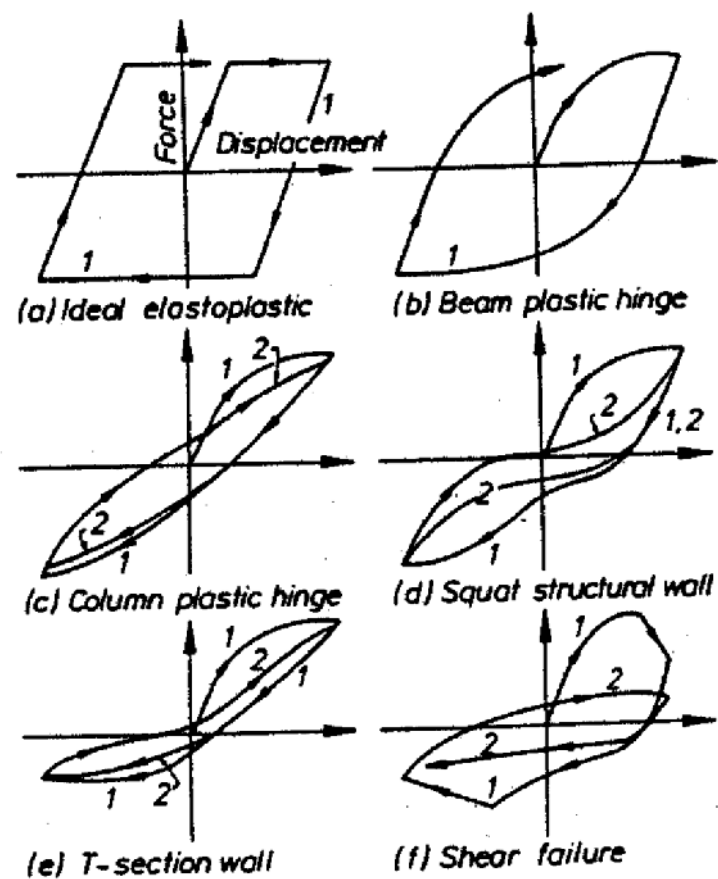
- za 7 akc. usvaja se srednja vrijednost odgovora
- za 3 akc. usvaja se maksimalna vrijednost odgovora



Zapis ubrzanja zemljotresa od 15.04.1979., Ulcinj-Hotel Olimpik, N-S komponenta

Nelinearna dinami ka analiza

- Najkomplikovanija ali istovremeno i najta nija i najpouzdanija analiza koja stoji na raspolaganju projektantu za odre ivanje sila i pomjeranja konstrukcije pri dejstvu projektne zemljotresa
- Definisanje histerezisnog ponašanja





Kombinacija zemljotresnih uticaja različitih pravaca

- Dvije horizontalne komponente seizmičkog djelovanja i jedna vertikalna (u slučaju da ju je potrebno uzeti u računu) se smatraju da djeluju simultano na konstrukciju

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

- Alternativna kombinacija:

$$E = E_x + 0.3E_y \quad \text{i}$$

$$E = E_y + 0.3E_x$$

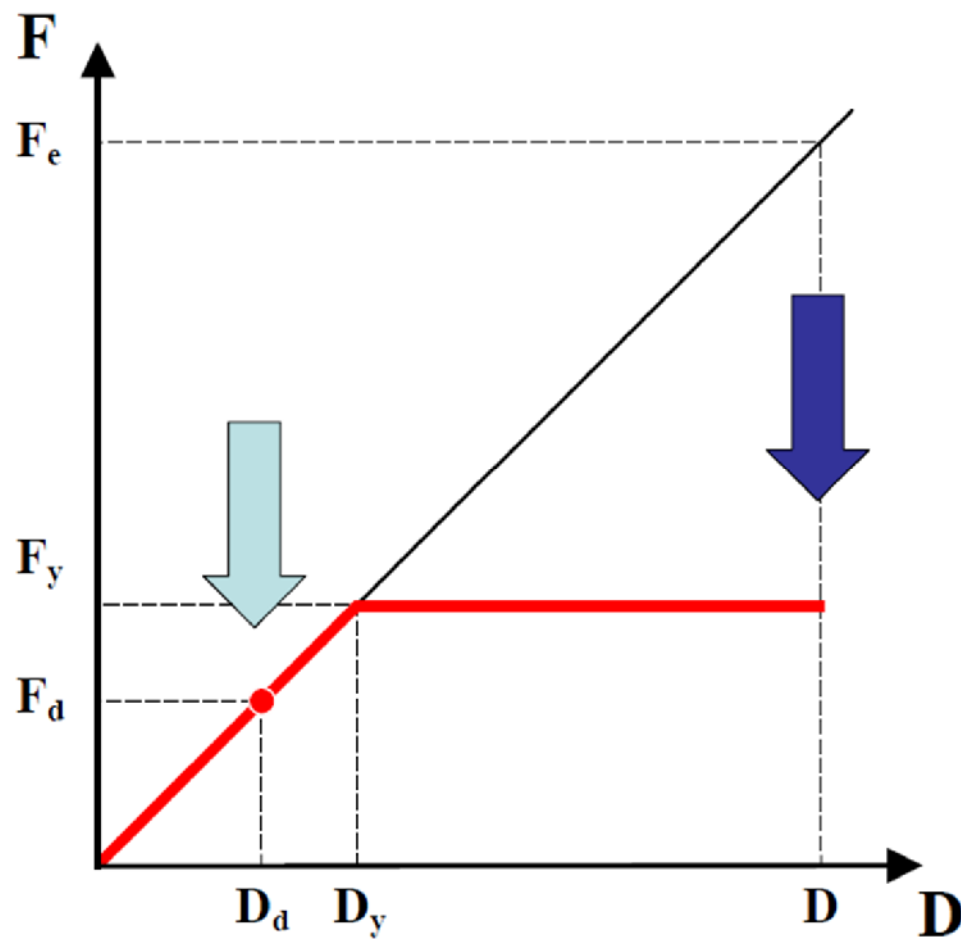


Proračun pomjeranja

$$d_s = q_d \cdot d_e$$

- d_s - pomjeranje usljed projektnog seizmičkog dejstva
- q_d – faktor ponašanja za pomjeranje (q_d je jednako q ako nije drugačije navedeno)
- d_e – pomjeranje određeno pomoću linearne analize zasnovanoj na projektnom spektru
- vrijednost d_s ne treba da je veća od vrijednosti dobijene primjenom elastičnog spektra

Prora un pomjeranja



$$q = F_e / F_d$$

$$D = q D_d$$



Nekonstruktivni elementi

- Nenose i elementi (npr. parapeti, zabatni zidovi, antene, pregradni zidovi, mehani ka oprema i sli no) koji u slu aju loma mogu da izazovu rizik za ljude moraju da se provjere na seizmi ka dejstva
- Za nekonstruktivne elemente velikog zna aja seizmi ka analiza treba da je zasnovana na realnom modeliranju i primjeni odgovaraju eg spektra odgovora odre enog na osnovu odgovora oslonah elemenata koji su dio konstruktivnog sistema
- U ostalim slu ajevima dozvoljena su odgovaraju a uproš enja



Dopunske mjere za ramove sa zidanom ispunom

Odredbe se odnose na betonske i ne i spregnute ramove duktilnosti DCH sa sadestvuju om zidanom ispunom koja ispunjava sljede e uslove:

- ispunna je izvedena posle o vrš avanja betona ili montaže eli nog rama
- ispunna je u kontaktu sa ramom ali bez posebne konstruktivne veze
- ispunna se na elno posmatra kao nenose i element



Dopunske mjere za ramove sa zidanom ispunom

U radu un se mora uzeti sljedeće:

- neregularnost u osnovi nastala usljed ispune
- neregularnost po visini nastala usljed ispune
- visok stepen nepouzdanosti vezan za ponašanje ispune
- nepovoljni lokalni efekti tokom interakcije ispune i rama

Dopunske mjere za ramove sa zidanom ispunom



Neke posljedice uticaja zidane ispune na konstruktivni sistem

Dopunske mjere za ramove sa zidanom ispunom



Neke posljedice uticaja zidane ispune na konstruktivni sistem



Zaključci

- EC8 predstavlja sveobuhvatniji i detaljniji propis u odnosu na važeće propise.
- Objekti projektovani prema EC8 bi trebali da budu bezbjedniji i sigurniji na dejstvo zemljotresa.
- EC8 je znatno zahtjevniji za projektante i što se tiče znanja i što se tiče vremena izrade projektne dokumentacije, što bi trebalo da znači i veći u cijenu izrade dokumentacije.
- EC8 uvodi u vidu normi neka relativno novija dostignuća i saznanja iz oblasti zemljotresnog inženjerstva, kao što su:
 - definisanje seizmičkog hazarda preko kvantitativnog parametra maksimalnog horizontalnog ubrzanja tla a_g umjesto preko raznih skala intenziteta (najčešće Merkalijeve)
 - definisanje seizmičkog hazarda na probabilističkoj osnovi
 - metodu programiranog ponašanja
- Za otkloniti je da se postojeće neodređenosti, nepreciznosti i nedorečenosti u novijim verzijama EC8 ukloniti ili korigovati.



HVALA !
