

Seizmička oštettljivost armirano–betonskih okvira sa zidanim ispunom

Marin Grubišić, mag.ing.aedif.

marin.grubisic@gfos.hr

pod mentorstvom

Prof.dr.sc. Vladimira Sigmunda

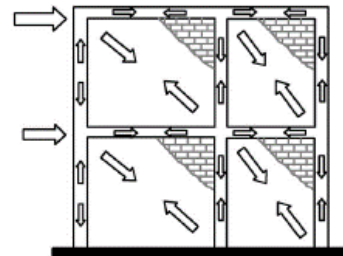
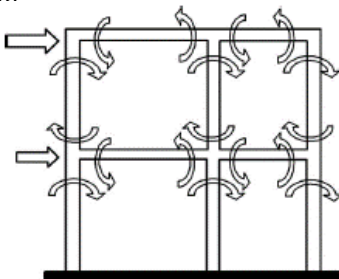


Građevinski fakultet Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Predavanje u sklopu Hrvatskog društva za mehaniku (HDM)

5. prosinca 2014.

O okvirima s ispunom

Zidani ispun armirano–betonskih okvira ima **značajan utjecaj na čvrstoću i krutost** okvirnih konstrukcija. Zanimarivanje interakcije okvira i ispuna nije uvijek na strani sigurnosti, jer pri potresnim opterećenjima, zidani ispun značajno povećava krutost konstrukcije što rezultira promijenama u **seizmičkom odgovoru** i značajnoj redukciji **prirodnog perioda** takvog kompozitnog sustava



Seizmička oštećljivost konstrukcija

Pojam **seizmičke oštećljivosti konstrukcija** $\Rightarrow$ **seizmička procjena rizika** (engl. *Seismic Risk Assessment*) i **seizmičke procjene štete** (engl. *Earthquake Loss Estimation*).

Zašto? Zbog slučajnosti djelovanja i raznih nesigurnosti!

Seizmička procjena rizika i oštećljivosti je kvantitativna procjena vjerojatnosti otkazivanja, i izražava se kao **vjerojatnost**.

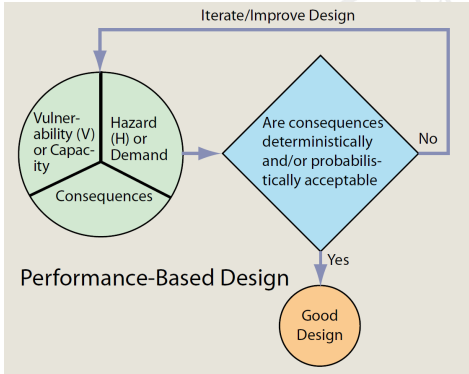
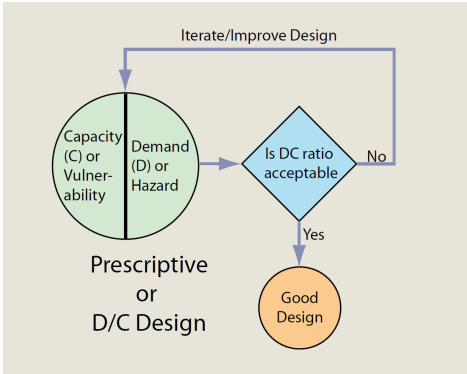
O seizmičkoj oštećljivosti konstrukcija

Seizmička procjena štete $\Rightarrow$ kvantitativna procjena posljedica otkazivanja konstrukcije ili nekog njenog dijela izražena u mjerama koje izravno utječu na društveni interes.

Seizmička oštećljivost konstrukcija je vjerojatnost barem određenog tipa otkazivanja, s obzirom na seizmički intenzitet. To je dio područja ukupne procjene seizmičkog rizika (engl. *Seismic Risk Assessment*) ili seizmičke procjene štete (engl. *Earthquake Loss Estimation*) u suvremenim smjernicama.

Komponente seizmičkog rizika: **Oštećljivost** (odnos između hazarda i štete, gubici) + **Hazard** (potresanje tla, likvefakcija tla, površinski rasjedi, nestabilnost kosina, tsunami, nagla promjena nivoa vode) + **Izloženost** (ranjivost ljudi, konstrukcije, opreme i infrastrukture).

Pristupi projektiranju građevina



[TANG ET AL., 2008]

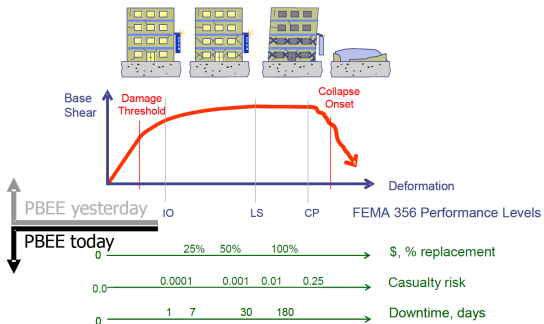
PBEE metodologija (Performance–Based Earthquake Engineering)

Proračun sukladno očekivanom odzivu (engl. *Performance–Based Design, PBD*) može zamijeniti dosadašnje propise temeljene na faktorskim proračunima djelovanja i otpornosti (engl. *Load and Resistance Factor Design, LRFD*), te predstavlja okir u kojem se nove i postojeće konstrukcije analiziraju na **seizmičku adekvatnost**.

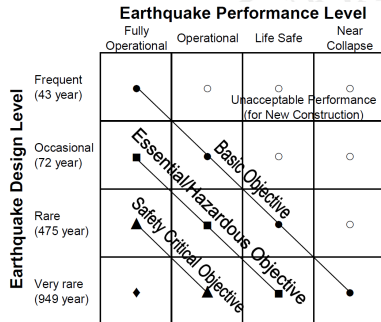
PBD pokušava riješiti performanse prije svega **na razini sustava** u smislu opasnosti od kolapsa, smrtnih slučajeva, troškova popravka, i gubitka funkcije objekata nakon potresa.

PBEE metodologiju proizvodi Vision2000, izvješće SEAOC (1995) (engl. *Structural Engineers Association Of California*) i FEMA 273 (1997) kao produkt projekta ATC–33.

Ocjena oštećljivosti konstrukcija



[MOEHLE & DEIERLEIN, 2004]



[SEAOC, 1995]

PEER pristup prema PBEE

Središnja značajka PEER pristupa $\Rightarrow$ glavni izlazni parametri su tzv. mjere na razini sustava izvedbe, kao što su probabilističke procjene troškova popravka, stradanja i vremensko trajanje neuporabljivosti građevine, vrlo popularno nazvano i kao „3–D“ („**Dollars–Deaths–Downtime**“).

Cilj ove metodologije je **procijeniti učestalost** kojom će određena mjera odziva konstrukcije prekoračiti različite razine ponašanja, odnosno granična stanja za određenu građevinu na određenoj seizmički aktivnoj lokaciji.

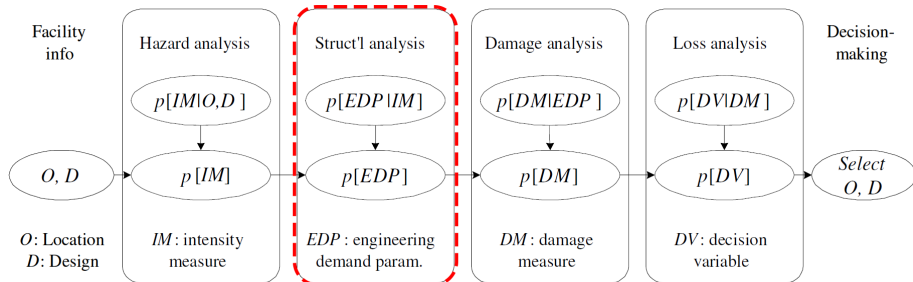
PEER pristup prema PBEE

- **Analiza seizmičkog hazarda** (engl. *Hazard Analysis*),
- **Analiza konstrukcijskih sustava u odnosu na seizmički hazard** (engl. *Structural Analysis*),
- **Analiza štete kao posljedica seizmičkog događaja** (engl. *Damage Analysis*),
- **Analiza gubitaka kao posljedica nastale štete** (engl. *Loss Analysis*).

$$\lambda(DV|L, D) = \iiint G \langle DV|DM \rangle | dG \langle DM|EDP \rangle | dG \langle EDP|IM \rangle | d\lambda(IM)$$

[MOEHLE & DEIERLEIN, 2004]

PEER pristup prema PBEE



[MOEHLE & DEIERLEIN, 2004]

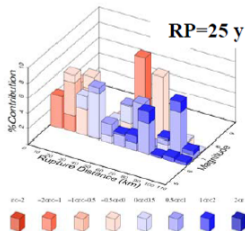
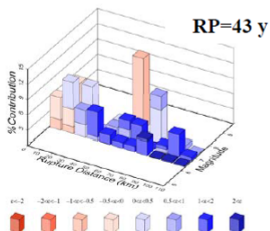
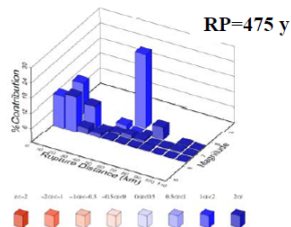
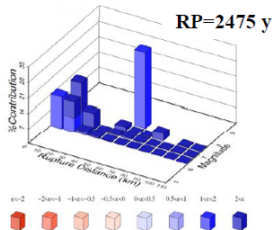
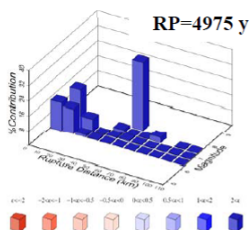
Mjera zahtjeva konstrukcije (engl. *Engineering Demand Parameter, EDP*), uvjetovana je seizmičkom pobudom i dizajnom $p[EDP|IM, D]$. *EDP* kvantificira odgovor konstrukcije pri djelovanju potresne uzbude i direktno je povezana sa područjem ponašanja konstrukcije.

PEER pristup prema PBEE

U analizi hazarda se uzima u obzir seizmičnost okolnog područja (blizine rasjeda, njihova frekvencija ponavljanja sličnih magnituda, mehanizam rasjeda, udaljenost rasjeda od zadane lokacije, uvijeti temeljnog tla lokacije...) i ocjenjuje seizmičnu opasnost u odnosu na lokaciju građevine s obzirom na mjesto objekta i konstrukcijske, arhitektonske i druge značajke kako bi proizveli opasnost od seizmičkog hazarda, $p[IM|L, D]$. **Krivulja hazarda** opisuje godišnju učestalost kojom se procjenjuje da će seizmička pobuda premašiti različite razine intenziteta.

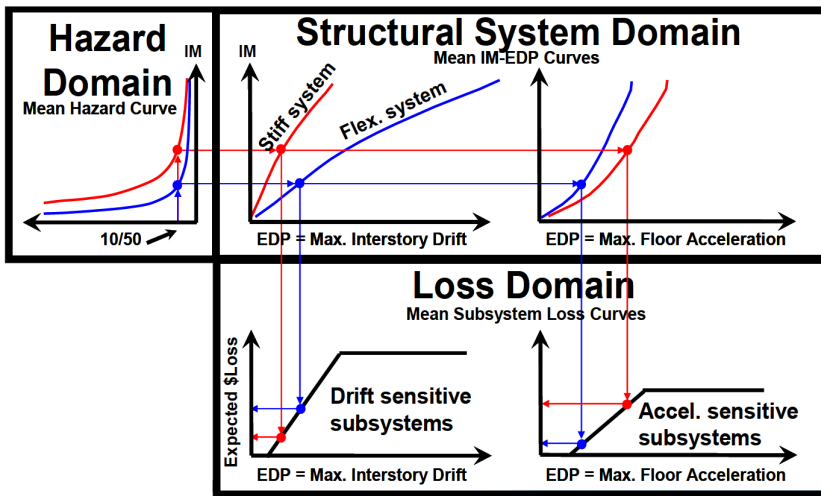
Seizmičke pobude su parametrizirane **mjerom intenziteta** (engl. *Intensity Measure, IM*)

Pojednostavljena analogija PEER pristupa prema PBEE



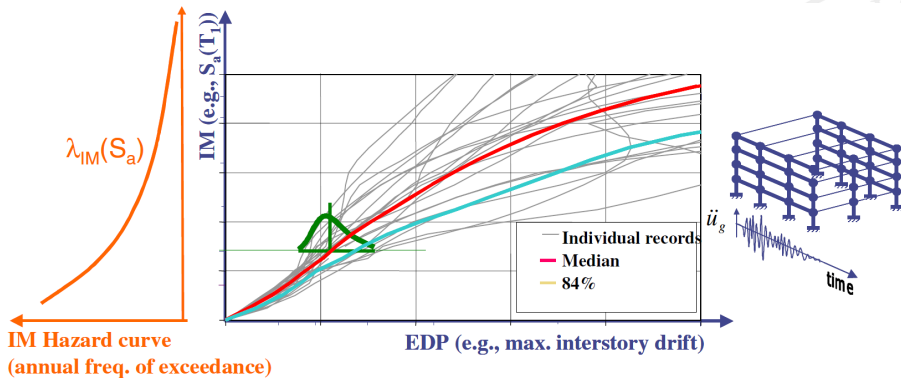
Pojednostavljena analogija PEER pristupa prema PBEE

Structural System Selection Based on Loss Risk



[ZAREIAN, 2006; KRAWINKLER & DEIERLEIN]

Poveznica između EDP i IM



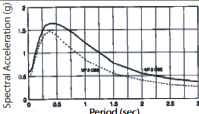
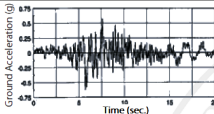
[MOEHLE & DEIERLEIN, 2004]

Općenito o nelinearnim analizama

Od svih raspoloživih metoda proračuna i analize konstrukcija, **nelinearni dinamička analiza** uporabom vremenskih zapisa najpreciznija je metoda, ali i najkompleksnija i proračun same konstrukcije uporabom vremenskog zapisa najdulje traje. Ona je također **inkrementalno iterativna metoda** kao i nelinearna statička metoda postupnog guranja (engl. *Pushover*), ali u ovom slučaju osnovna je varijabla vrijeme, a ne sila ili pomak.

Iako metoda vremenskog zapisa teorijski **nema ograničenja uporabe**, u praksi se najčešće primjenjuje za proračun dvodimenzionalnih i prostornih modela. Seizmičko opterećenje u ovoj metodi dano je kao ubrzanje temeljnog tla u funkciji vremena što se prikazuje **umjetnim akcelerogramima ili zapisima stvarnih potresa**.

Općenito o nelinearnim analizama

GROUND MOTION		
	 Corresponding response spectra	 Multiple records
STRUCTURAL MODEL	 Detailed	Dynamic analysis
	 Equivalent MDOF	Multi-mode pushover analysis (MPA)
	 Equivalent SDOF	Nonlinear static procedures (NSP's)
		high RELATIVE UNCERTAINTY low

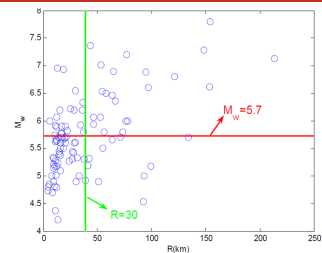
[FEMA-440, 2005]

Parametarsko–probabilističke metode

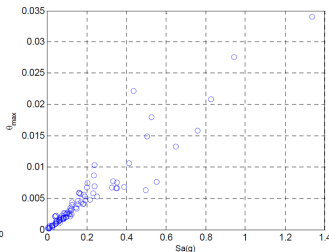
Provođenje parametarsko–probabilističkih analiza se temelji na **nizu nelinearnih dinamičkih simulacija**, s ciljem dobivanja odnosa dvaju najbitnijih parametara za analizu konstrukcija — odnos intenziteta pobude i parametra zahtjeva konstrukcije. Za **mjeru intenziteta (IM)** bitna je učinkovitost opisivana kao sposobnost dobrog predviđanja odgovora konstrukcije uz malu varijabilnost, odnosno disperziju. Također treba biti što neovisnija o karakteristikama magnitude, daljenosti od rasjeda i ostalih značajki specifičnima za određeno područje — što je čini **dovoljnim** samostalnim parametrom, npr. $S_A(T_1)$.

Za procjenu zahtjeva građevine, možemo promatrati konstrukcijske i nekonstrukcijske elemente i opremu, pri čemu razlikujemo komponente osjetljive na ubrzajna (engl. *Acceleration–Sensitive*) i na komponente osjetljive na deformacije (engl. *Deformation–Sensitive*). Budući promatramo nosive elemente – mjerodavan parametra zahtjeva (EDP) konstrukcije je IDR_{MAX} .

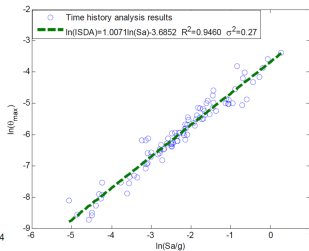
Parametarsko-probabilističke metode — "Cloud Analysis"



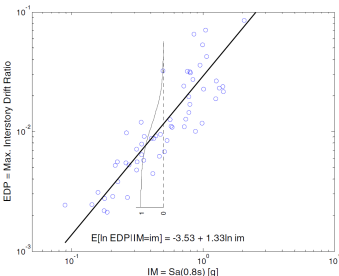
(a) Ground motion bins



(b) PSDM

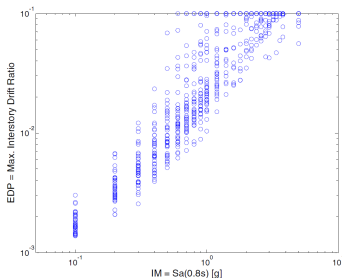
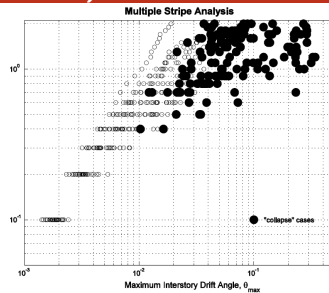
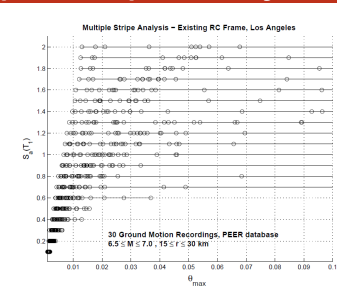


[Lu, 2008]



[BAKER & CORNELL, 2006]

"Multiple Stripe Analysis (MSA)"



[JALAYER, 2006]

[BAKER & CORNELL, 2006]

"Incremental Dynamic Analysis (IDA)"

Ova metoda predstavlja skup različitih nelinearnih analiza numeričkog modela koje su organizirane tako da daju iscrpne podatke o tome kako će se model ponašati pri potresnom opterećenju. Osnova *IDA* metode je **inkrementalno uvećavanje** („skaliranje“) zapisa potresa da bi se efektivno kreirao set potresa različitih intenziteta i individualno analizirao konstruktivni model za svaku razinu pobude.

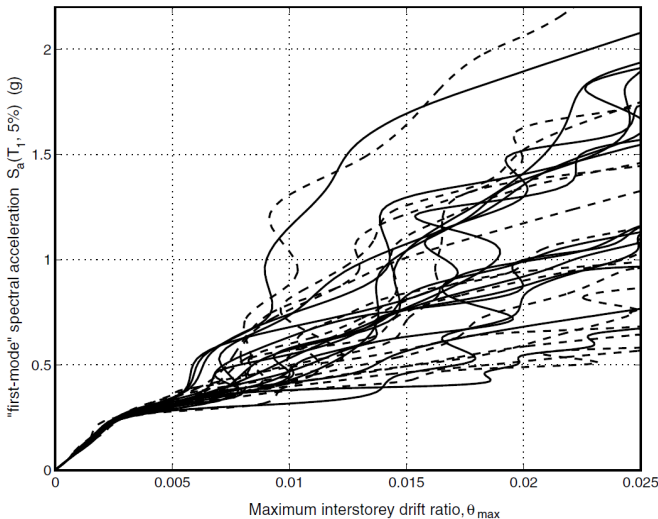
Za svaku od analiza bilježi se maksimalni odgovor konstrukcije koji predstavljen u odnosu na mjeru intenziteta pobude predstavlja *IDA* krivulju. Uz pretpostavku da je zapis potresnog opterećenja realno skaliran, krivulja je za niže faktore skaliranja ravna linija što upućuje da se konstrukcija u tom području ponaša elastično. Za više faktore skaliranja, kada je potresno opterećenje dovoljno jako da može izazvati popuštanje konstrukcije, krivulja počinje „krivudati“.

Inkrementalno dinamička analiza (IDA)

IDA je dakle **parametarska i probabilistička metoda** analize konstrukcija koja se provodi u nekoliko različitih oblika temeljite procjene konstrukcijskih performansi pod seizmičkim opterećenjem. Nemoguće je projektirati konstrukciju koja će uspješno odoljeti svim mogućim potresnim scenarijima, ali stvaranjem *IDA* krivulja i predstavljanjem odgovora konstrukcije za ekvivalentne razine različitih potresnih pobuda smanjujemo vjerojatnost oštećenja pri budućim potresima poznavanjem mogućih odgovora pri više različitih scenarija.

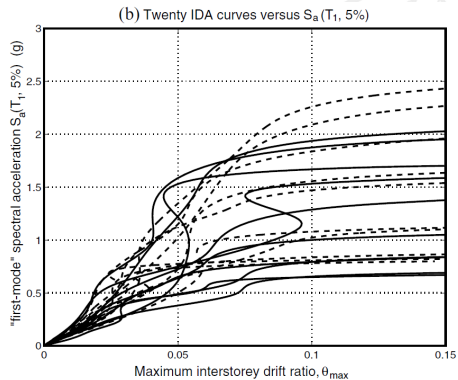
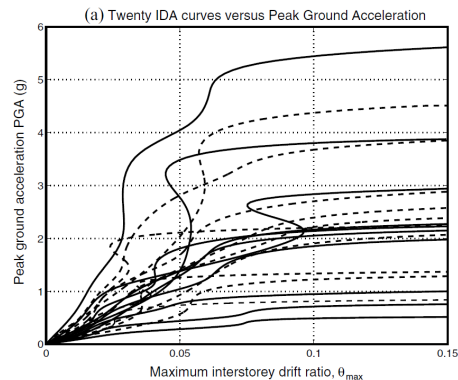
Inkrementalno dinamička analiza (IDA)

(a) Thirty IDA curves



[VAMVATSIKOS & CORNELL, 2002]

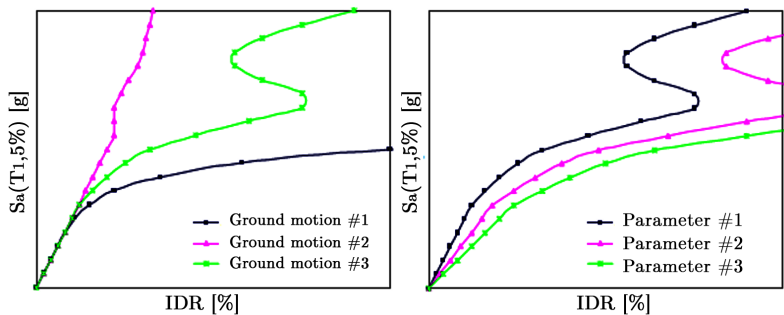
Različite mjere intenziteta u IDA



[VAMVATSIKOS & CORNELL, 2002]

Različiti odzivi u IDA

Različita ponašanja modela prilikom varijacije potresnih zapisa i određenih parametara konstrukcije.



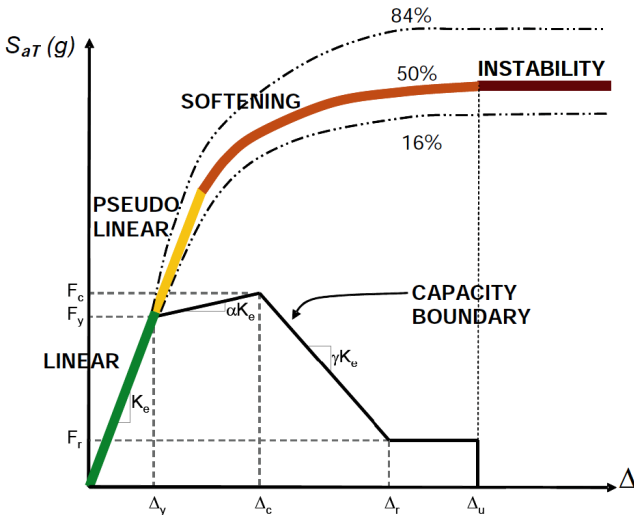
[KRUEP, 2007]

Karakteristike IDA

Promatrani odnosi između *IDA* krivulja i karakteristika ovojnice kapaciteta konstrukcije navodi da na dinamički odgovor direktno utječu upravo **karakteristike ovojnice kapaciteta konstrukcije**, odnosno nosivosti oblika sila–pomak.

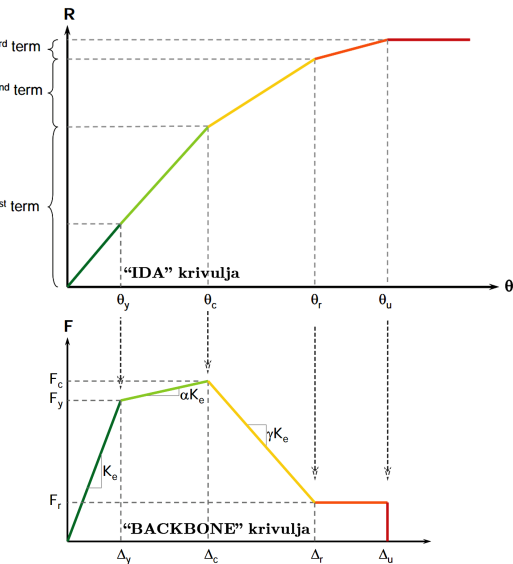
Konačni linearni segment koji je horizontalan ili približno horizontalan, u kojem se nagomilavaju zahtjevi vrlo velikih pomaka, odnosno beskonačno velikih bočnih deformacija pri vrlo malim inkrementima povećanja intenziteta. Ovaj segment odgovara točki u kojoj sustav postaje nestabilan (bočna dinamička nestabilnost).

Karakteristike IDA



[FEMA-440, 2005]

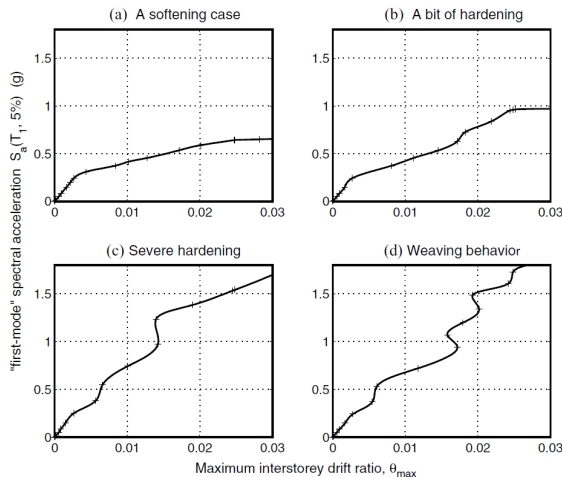
Karakteristike IDA



Moguće procijeniti nelinearni dinamički odziv na temelju poznatih karakteristika krivulje kapaciteta konstrukcije (sila–pomak). Analiza traje dok nam numerički rezultati konvergiraju — u suprotnom nam numerička divergencija signalizira **globalnu dinamičku nestabilnost**.

[FEMA–440, 2005]

Ponašanje tipičnih krivulja IDA

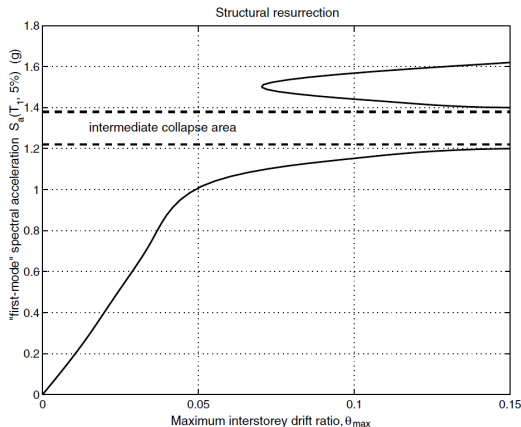


[VAMVATSIKOS & CORNELL, 2002]

Krivulja (a) oštro „omekšava“ nakon početne deformacije i ubrzava prema velikim međukatnim pomacima i vjerojatnom kolapsu. S druge strane, krivulje (c) i (d) se čine kao da osciliraju oko inicijalne elastičnosti. Karakteristične slike uvijanja IDA krivulja (c) i (d) prikazuju nam uzastopne segmente „omekšavanja“ i „očvršćivanja“, te područja gdje se lokalni nagib ili „krutost“ smanjuje.

Ponašanje tipičnih krivulja IDA

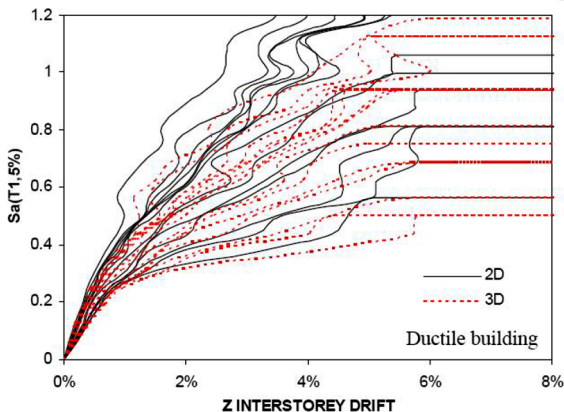
Primjer „oživljavanja“ konstrukcije (tzv. prividna dinamička nestabilnost) prikazano IDA krivuljom. Potreba za algoritmom „*Hunt&Fill*“.



[VAMVATSIKOS & CORNELL, 2002]

Odzivi 2D i 3D modela u IDA

Kompleksnost modela nije imao značajan utjecaj na odgovor dvosmjerne pobude prostornog modela u odnosu na odgovor jednosmjerne pobude ravninskog modela.



[BRADLEY ET AL., 2006]

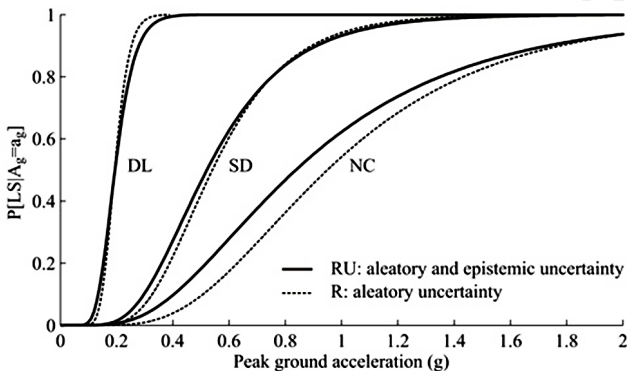
Usvojene nesigurnosti

Nesigurnosti proizlaze iz različitih izvora, no generalno ih možemo kategorizirati u dvije glavne grupe: **slučajna** ili **neizvjesna** nesigurnost (engl. *Aleatory*) i **neodređena** ili **epistemička** nesigurnost (engl. *Epistemic*). **Slučajna** nesigurnost u procjeni vrijednosti je varijabla povezana pa prirodnom slučajnosti događaja. **Neodređena** nesigurnost je u procjeni vrijednosti je varijabla povezana sa manjkavosti i ograničenosti informacija koje su nam potrebne za točnu procjenu. Ove nesigurnosti u većoj ili manjoj mjeri utječu na funkcije kumulativnih razdioba.

Najveći izvor nesigurnosti leži u karakteriziranju gibanja tla potresnog područja i u varijaciji mehaničkih karakteristika materijala. Prvi problem možemo pokriti velikim brojem varijacija seizmičkih pobuda "zapis-po-zapis" (engl. *Record-to-Record*, *RTR*), dok drugi materijalni možemo Monte Carlo i/ili LHS metodama.

Usvojene nesigurnosti

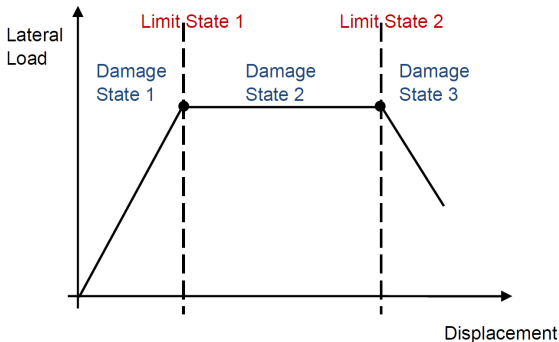
Prikaz utjecaja neizvjesne nesigurnost (engl. *Aleatory*) i neodređene ili epistemičke nesigurnosti (engl. *Epistemic*) na rezultate krivulja oštećljivosti.



[DOLŠEK, 2010]

Granična stanja

U procjeni seizmičkih rizika, razine ponašanja (engl. *Performance Levels*) građevina može se definirati kroz granična stanja (engl. *Limit States*). Granična stanja definiraju granična ili rubna ponašanja između različitih uvjeta, odnosno stanja štete (engl. *Damage States*), gdje se stanja štete definiraju kao područja oštetljivosti u kojima se konstrukcija može naći.



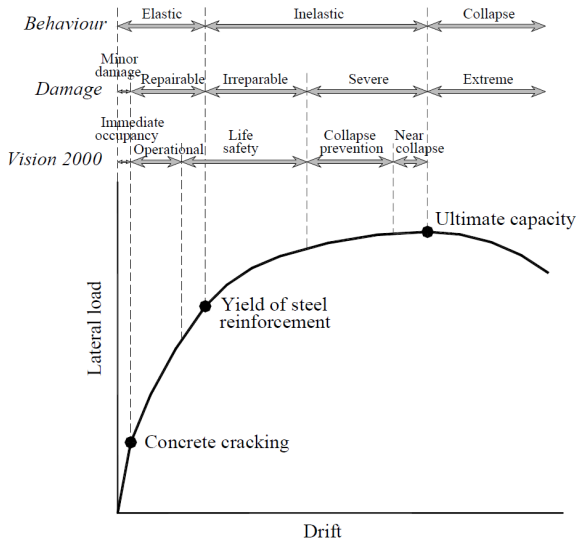
[SYNER-G, 2011]

Granična stanja

DI_{HRC}	HRC	HAZUS 1999	Vision 2000	EMS98	ATC-13	FEMA 273
0	Nulta			No Damage		
10	Slaba		Fully		Slight	Immediate
20		Slight	Operational	Grade 1	Light	Occupancy
30	Blaga	Damage				
40			Operational	Grade 2		Damage
50		Moderate			Moderate	Control
60	Umjerena	Damage	Life Safety	Grade 3		Life Safe
70			Near		Heavy	Limited
80	Opsežna	Extensive	Collapse	Grade 4		Safety
90		Damage	Collapse		Major	Collapse
100	Djelomični kolaps Kolaps					Prevention
				Collapse		

[ROSSETTO & ELNASHAI, 2003]

Granična stanja



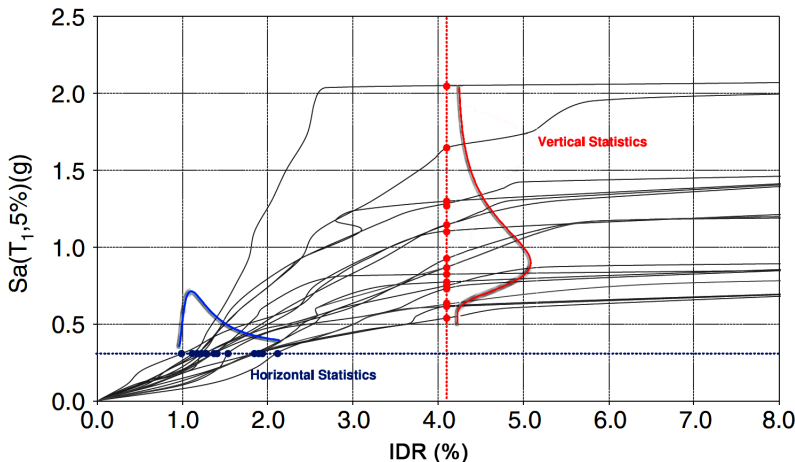
[ROSSETTO & ELNASHAI, 2003]

Konstruiranje krivulja oštećljivosti

Metoda konstruiranja funkcija oštećljivosti (izraženih kao kumulativne lognormalne funkcije) tako da ih procjenjujemo izravno iz seizmičkih odgovora za dosezanje ili prekoračenje unaprijed definiranih konstrukcijskih (ili nekonstrukcijskih) graničnih stanja. Ove krivulje uzimaju u obzir **varijabilnosti** i **nesigurnosti** vezane sa svojstvima **kapacitetne krivulje**, **granica štete** i **gibanja tla**.

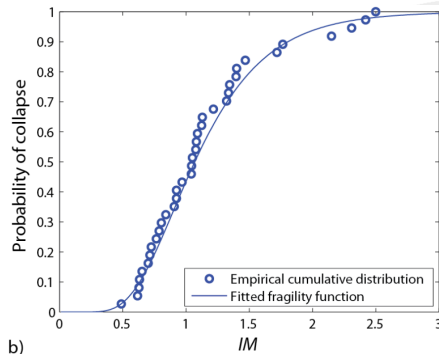
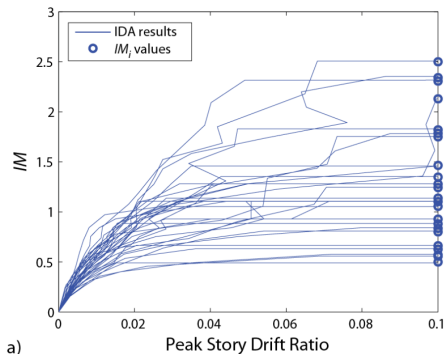
Zna se da je potresno opterećenje **slučajno i nepredvidljivo**, osim toga su slučajne i ostale varijable koje se odnose na **kvalitetu materijala i karakteristike proračunskoga modela**. Ako se vjerodostojno želi ocijeniti potresni rizik za konstrukcije, moraju se upotrijebiti spomenute metode vjerojatnosti.

Konstruiranje krivulja oštećljivosti



[MITROPOULOU ET AL., 2011]

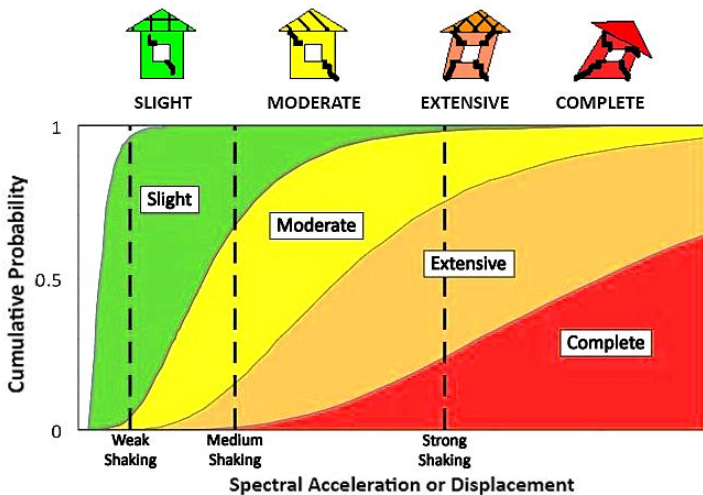
Konstruiranje krivulja oštjetljivosti



[BAKER, 2013]

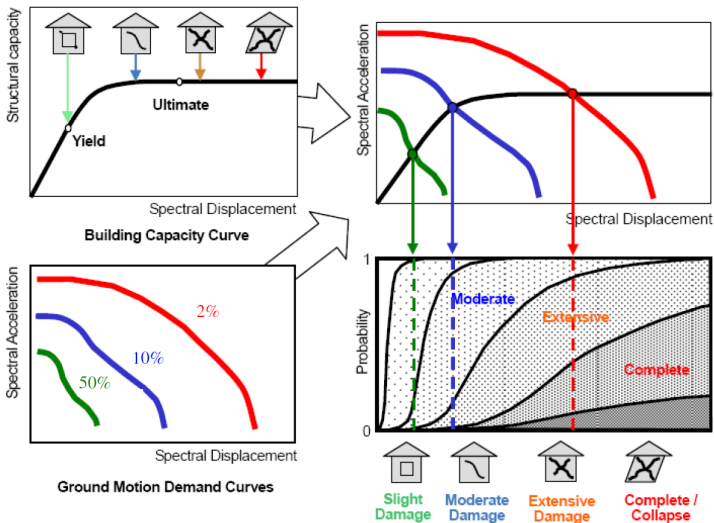
$$P(LS|IM) = \Phi \left(\frac{\ln IM - \theta}{\beta} \right)$$

Konstruiranje krivulja oštećljivosti



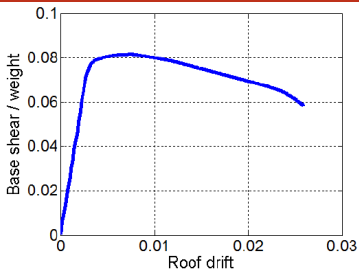
[CORNELL AND KRAWINKLER, 2000]

Usporedni postupak temeljen na "Pushover" analizi

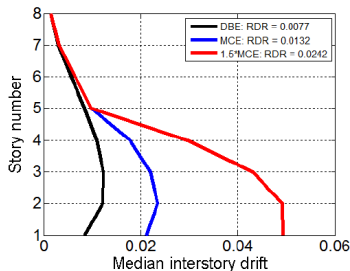


[HAZUS-MR5, 2000]

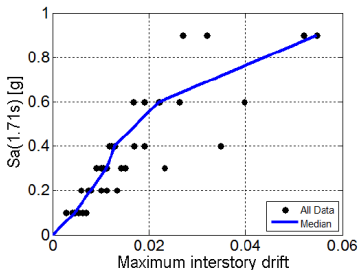
Usporedni postupak temeljen na "Pushover" analizi



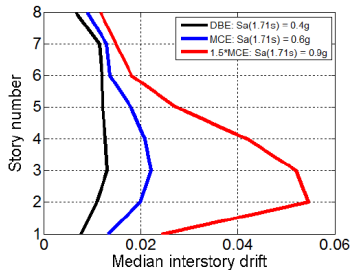
(a) Nonlinear static procedure pushover plot



(b) Nonlinear static procedure story drift distribution

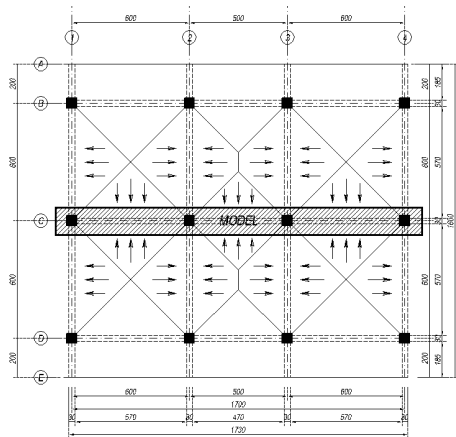
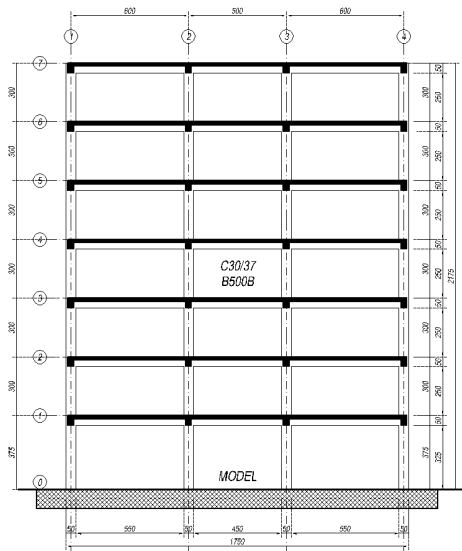


(c) Nonlinear dynamic procedure peak story drifts



(d) Nonlinear dynamic procedure story drift distribution

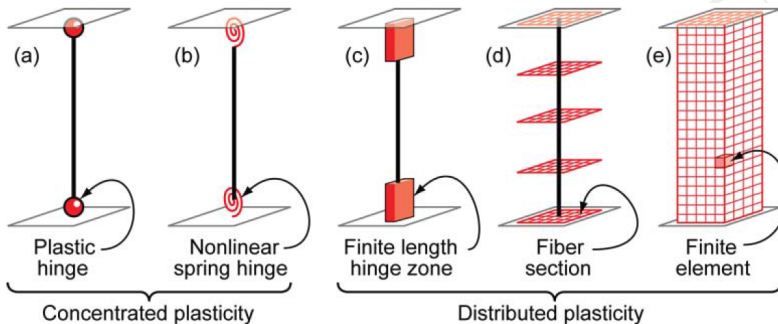
Numerički primjer za ravninsku okvirnu konstrukciju



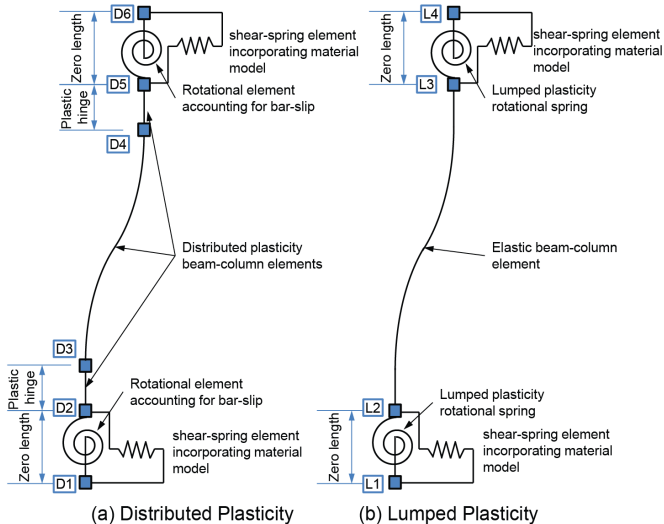
Numerički primjer za ravninsku okvirnu konstrukciju

DI_{HRC}	Granična stanja	Opis oštećenja AB okvira sa zidanim ispunom	Međukatni pomak, IDR_{max} [%]
0	Nulta	Bez štete.	≈ 0.01
10	Slaba	Male vlasaste pukotine u gips kartonskim pregradama i zidovima ispuna.	≈ 0.05
20	Blaga	Pukotine na kontaktnim spojevima između ispuna i AB elemenata,	0.10
30		Pukotine inicirane koncentracije naprezanja na uglovima otvora,	
40		Prve dijagonalne pukotine zidanog ispuna.	
		Ograničeno drobljenje zidnih elemenata u uglovima spoja stup/greda.	
50	Umjerena	Povećano drobljenje zidnih elemenata u uglovima spoja stup/greda,	0.90
60		Početak konstrukcijskog oštećenja	
70		Pojedinačne dijagonalne posmične, pukotine u AB elementima.	
80	Opsežna	Opsežno pucanje zidanih ispuna, ispadanje zidnih elemenata, ispušćenje zidanog ispuna van svoje ravnine,	1.50
90		Djelomično otkazivnje većine ispuna, teže oštećenje AB elemenata okvira, pojedina otkazivanja stupova uslijed posmika.	
100	Djelomični kolaps	Otkazivanje greda i/ili stupova uslijed posmika uzrokujući djelomični kolaps. Na granici potpunog otkazivanja i oštećenja zidanog ispuna.	3.00
	Kolaps	Potpuni ili lokalni kolaps građevine.	Potencijalno > 3.00

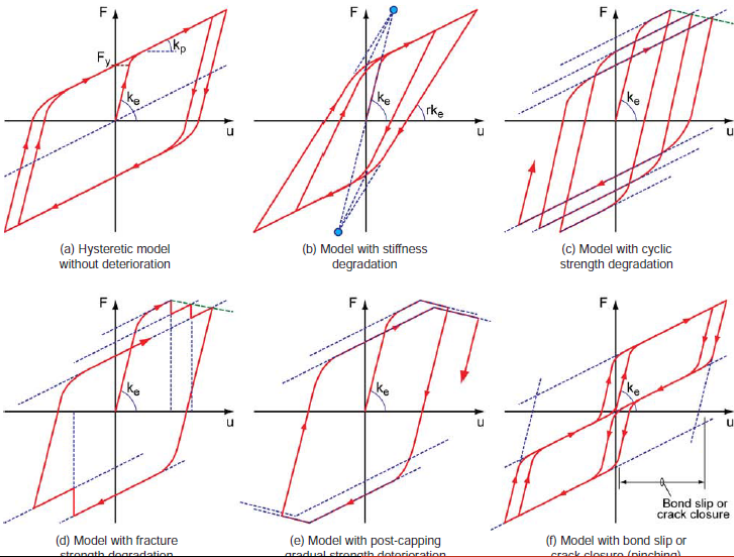
Nelinearni modeli stup-greda



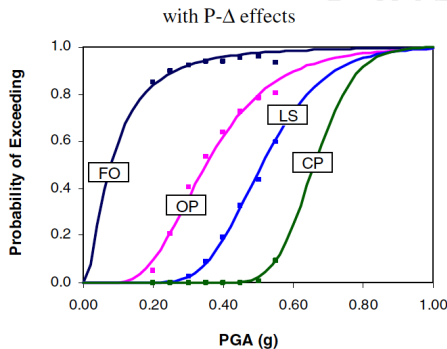
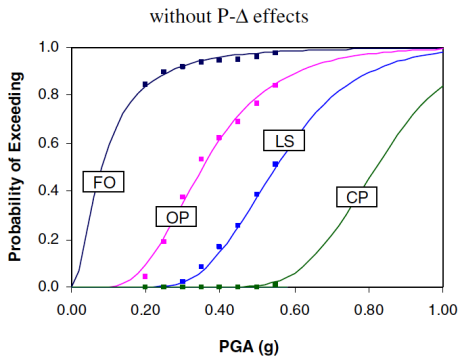
Nelinearni modeli stup–greda



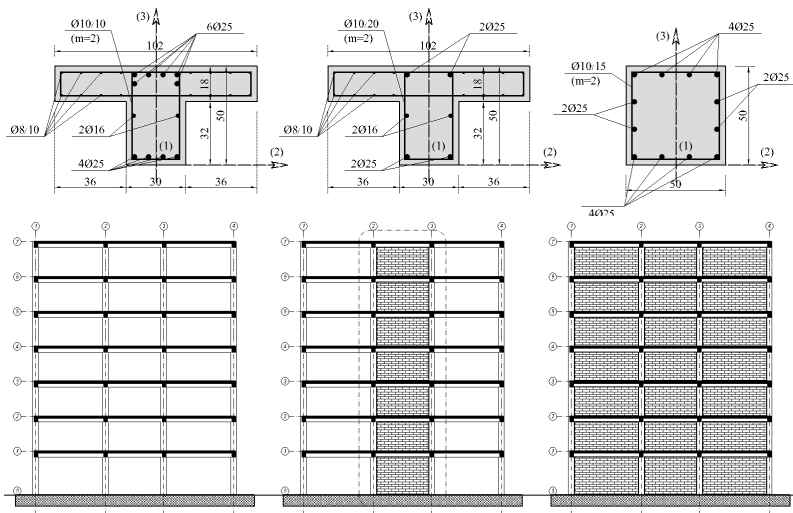
Histerezna ponašanja modela s koncentriranim plastičnostima



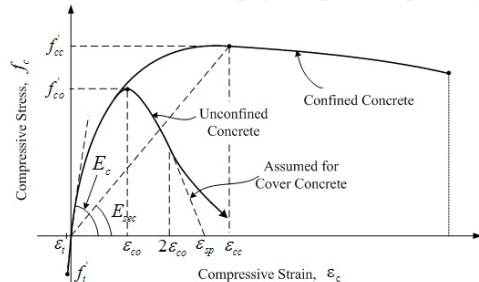
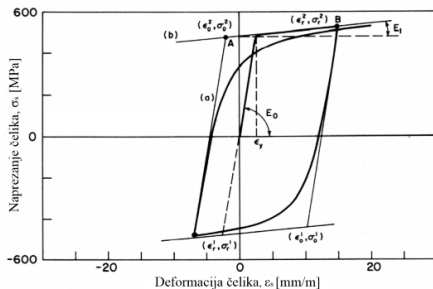
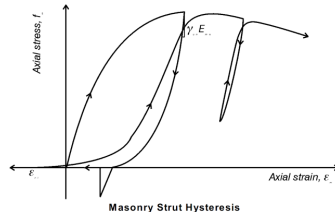
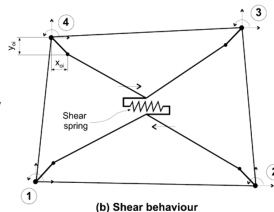
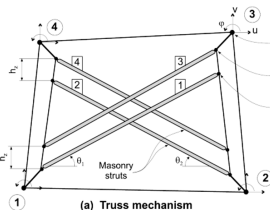
Učinci drugog reda



Geometrija poprečnih presjeka



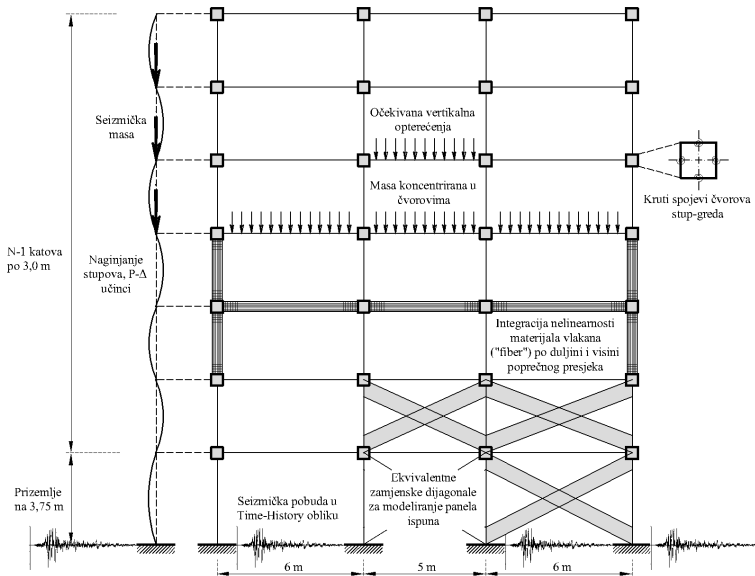
Modeli materijala



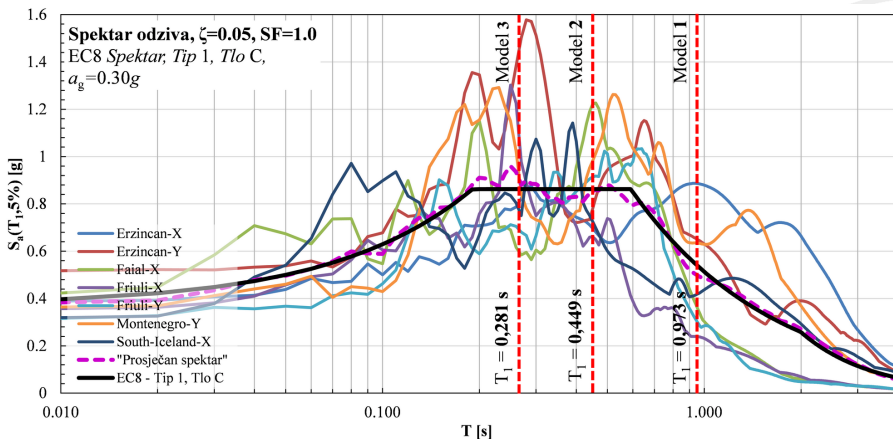
Parametri kalibriranog modela zidanog ispuna

Parametar	Opis—Legenda	š/v	š/v	š/v	š/v
		5.0/3.75	6.0/3.75	5.0/3.5	6.0/3.5
		[m]	[m]	[m]	[m]
l	Širina okvira	5.0	6.0	5.0	6.0
h	Visina okvira	3.75	3.75	3.5	3.5
b_c/h_c	Dimenzije stupa	0.5/0.5	0.5/0.5	0.5/0.5	0.5/0.5
E_c	Modul elastičnosti betona	$3.2 \cdot 10^7$	$3.2 \cdot 10^7$	$3.2 \cdot 10^7$	$3.2 \cdot 10^7$
h_w	Visina zidanog ispuna	3.5	3.5	2.75	2.75
l_m	Širina zidanog ispuna	4.5	5.5	4.5	5.5
θ	Nagib dijagonala	37.87	32.48	31.43	26.57
t_w	Debljina zidanog ispuna	0.29	0.29	0.29	0.29
d	Duljina dijagonala	5.70	6.52	5.27	6.15
f_k	Tlačna čvrstoća ispuna	2920	2920	2920	2920
E_m	Modul elastičnosti ispuna	1606000	1606000	1606000	1606000
l_m/h_m	Omjer širine i visine ispuna	1.3	1.6	1.6	2.0
λh	Omjer krutosti ispuna i okvira	2.487	2.445	2.069	2.014
A_1	Početna površina dijagonala	0.637	0.730	0.605	0.589
A_2	% od A_1	9.0	9.0	9.0	9.0

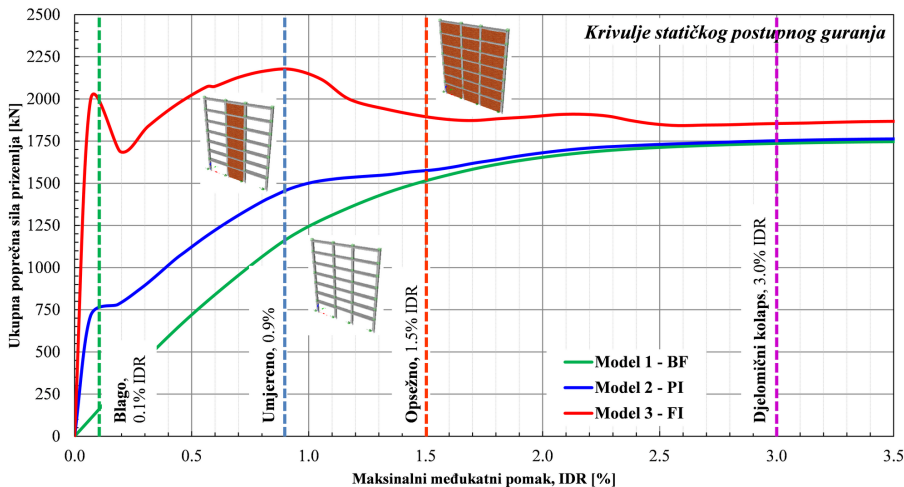
Shematski prikaz nelinearnog modela



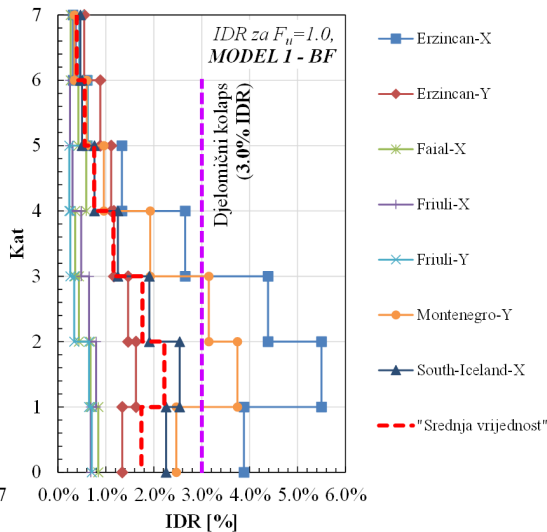
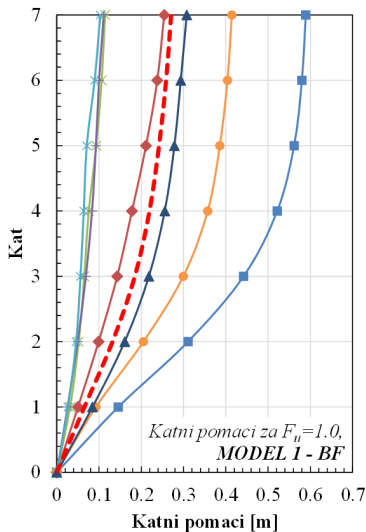
Spektralno skalirani potresni zapisi



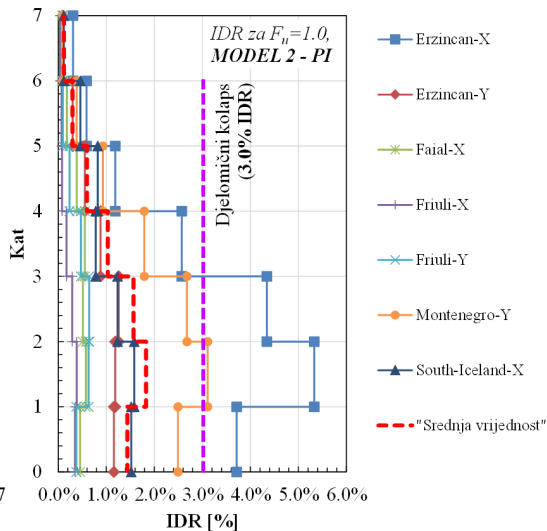
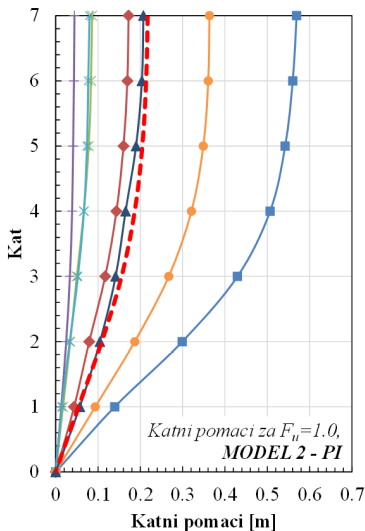
Rezultati numeričkog primjera — "Pushover" analiza



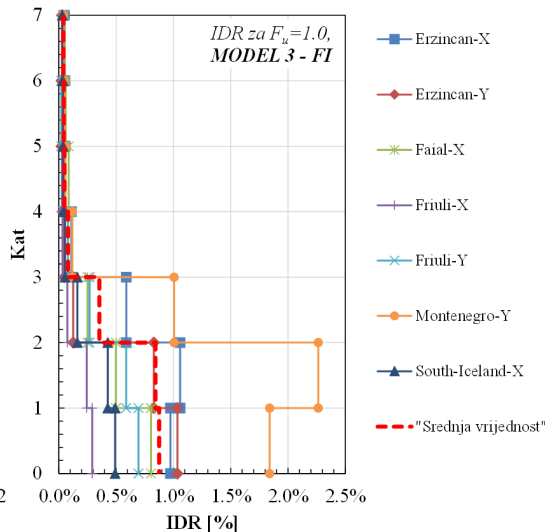
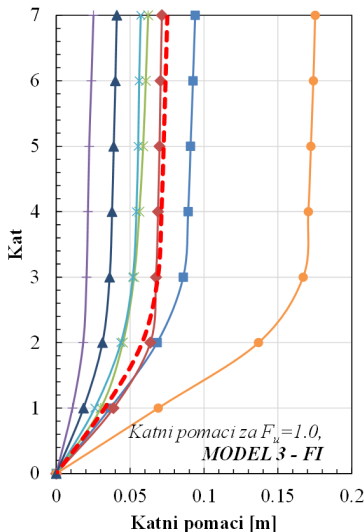
Rezultati numeričkog primjera — IDR



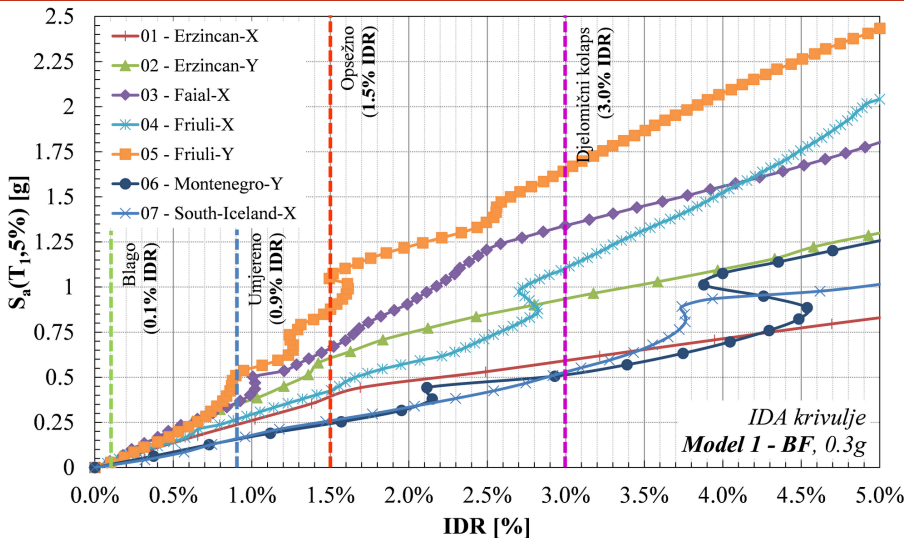
Rezultati numeričkog primjera — IDR



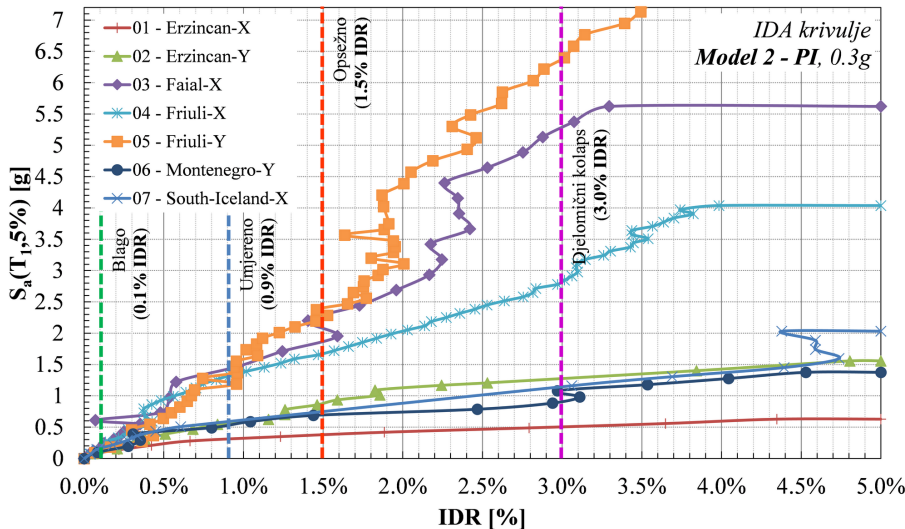
Rezultati numeričkog primjera — IDR



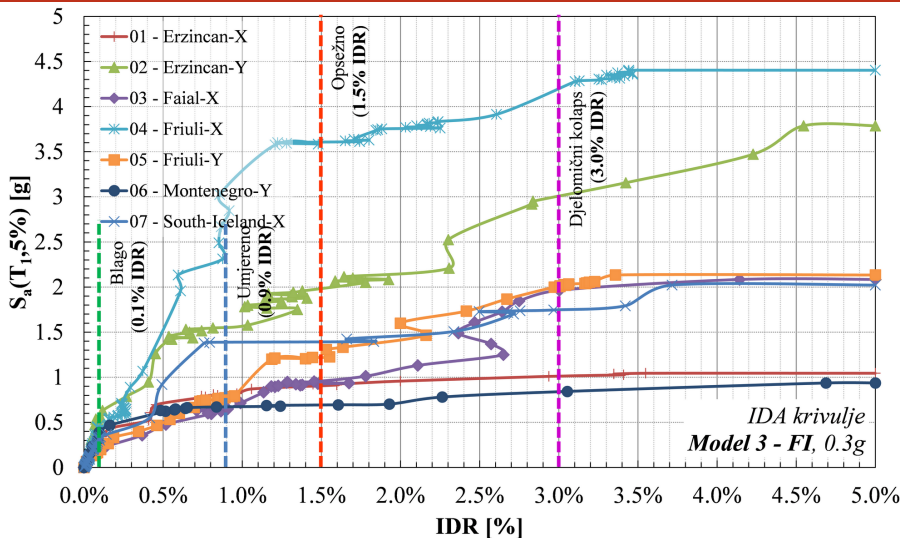
Rezultati numeričkog primjera — IDA krivulje

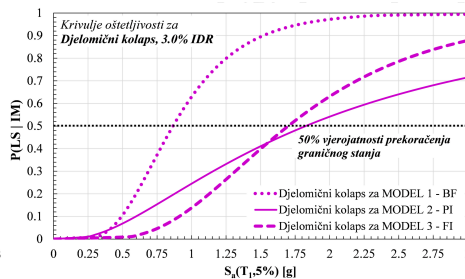
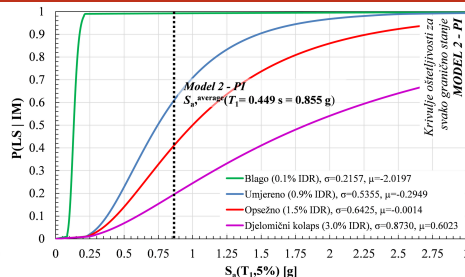


Rezultati numeričkog primjera — IDA krivulje

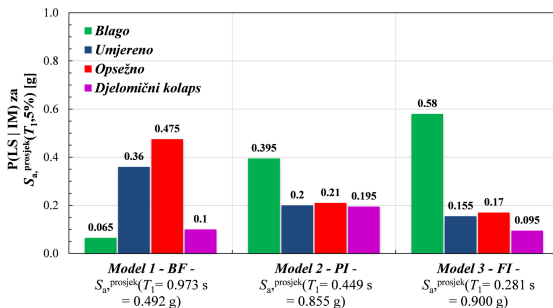
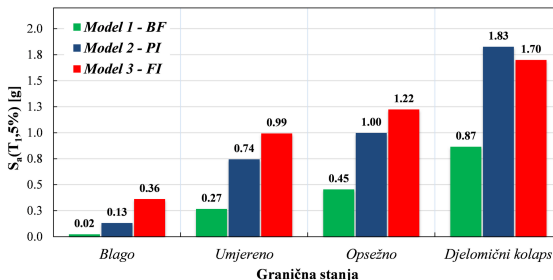


Rezultati numeričkog primjera — IDA krivulje





Rezultati — Diskretne vjerojatnosti



Zaključci

Rezultati primarno prikazuju raspone vjerojatnosti prekoračenja **četiri definirana granična stanja** s obzirom na spektralno ubrzanje za tri različita modela i doprinosa ispuna.

Model 3 može preživjeti najveće intenzitete spektralnog ubrzanja, ukoliko se promatra oštećljivost konstrukcije.

Ova statistika proizlazi iz *IDA* analize na kojoj možemo vidjeti **prilično veliko rasipanje rezultata** u dinamičkom odgovoru konstrukcije.

Zaključci

Prikazane su vjerojatnosti da se s usvojenim setom potresnih zapisa pojedini model nalazi u jednom od definiranih graničnih stanja. Tako možemo očitati da će nam **Model 1** sa pripadajućim dominantnim spektralnim ubrzanjem biti s 48% **vjerojatnosti opsežno oštećen**, dok će nam **Model 3** jednako tako s 58% **biti tek blago oštećen**, što nam je još jedna potvrda početne pretpotavke.

Treba naglasiti da su numerički modeli modelirani tako da ne uzimaju u obzir mogući **posmični slom stupa i posmični slom čvora stup–greda**. Radi realnijeg ponašanja i mogućih lokalnih otkazivanja sustava, nužno je modele dodatno nadograditi kako bi obuhvatili ove učinke — ukoliko se radi o slabom okviru i očekujemo mogući posmični slom.

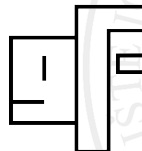
Zaključci

Prilikom simuliranja niza nelinearnih modela bilo je problema sa numeričkom konvergencijom prilikom uvećavanja pojedinih potresnih zapisa. Stoga je moguća preporuka korištenja modela s **koncentriranim plastičnostima** za modeliranje greda i stupova, kako bi dobili što **robusniji model**, a s time i dalje precizan, sa manjim vremenom za provođenje kalkulacija prilikom analiza.

Promotriti mogućnost implementiranja metoda koji će simulirati **varijabilnost materijalnih karakteristika (MC, LHS)**, kako bi u potpunosti obuhvatili i proveli probabilističku analizu i prognozu oštetljivosti, budući razlike mogu biti vrlo značajne.

Hvala na pažnji!

Pitanja?



marin.grubisic@gfos.hr
maringrubisic.com