



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek



DOSADAŠNJE SPOZNAJE O OŠTETLJIVOSTI ZGRADA U POTRESU

Prof. dr. sc. Marijana Hadzima-Nyarko



Zagreb, 09.11.2022.



SADRŽAJ

1. *Termini i definicije osnovnih komponenti RIZIKA*
2. *Metode potresne oštetljivosti*
3. *Kategorizacija oštećenja*
4. *Model potresnog opterećenja, model konstrukcije, izbor proračuna*

DEFINICIJE

Definicije sukladno UNDRO (UNDRO 1979; prema Coburn 1992: 254-259):

potresni rizik (engl. *earthquake risk*)

odnosi se na očekivane gubitke danog elementa rizika tijekom određenog budućeg razdoblja. Rizik se može mjeriti očekivanim gospodarskim gubitkom ili brojem izgubljenih života ili veličinom fizičke štete na imovini

element rizika (engl. *element at risk*)

može biti zgrada, skupina zgrada, naselje ili grad, ili može obuhvaćati ljude u toj zgradi ili naselju, ili gospodarske aktivnosti povezane s njima

opasnost (engl. *hazard*)

je vjerojatnost pojave potresa ili učinaka potresa određene jakosti u određenom razdoblju na danom području. Značajke lokacije potresa danas se izražavaju vršnim ubrzanjem temeljnoga tla

oštećljivost (engl. *vulnerability*)

definirana je kao stupanj gubitka danoga elementa rizika koji je posljedica dane razine opasnosti. Oštećljivost elementa definira se kao omjer očekivanoga gubitka i najvećega mogućeg gubitka na ljestvici od 0 do 1, odnosno u postocima od 0 % do 100 %

- ▶ opća jednadžba za proračun rizika je (Coburn i Spence 2002):

$$[R_{ij}] = [H_j] \times [V_{ij}]$$

gdje je:

za element u opasnosti (npr. za pojedine zgrade) i , u određenoj jedinici vremena:

- ▶ $[R_{ij}]$ je je rizik, vjerojatnost ili prosječna učestalost gubitka za element i zbog potresnog gibanja temeljnog tla jakosti j
- ▶ $[H_j]$ je je opasnost, vjerojatnost ili prosječna očekivana učestalost djelovanja potresnog gibanja temeljnog tla jakosti j
- ▶ $[V_{ij}]$ je oštetljivost, razina gubitka koja bi nastala na elementu i kao rezultat djelovanja potresnog gibanja temeljnog tla jakosti j .

Ukupni rizik za svaki pojedinačni element može se izvesti **zbrajanjem rizika od svih razina opasnosti** (Coburn i Spence 2002).

▶ zajedničko različitim definicijama oštećljivosti je da je **oštećljivost**:

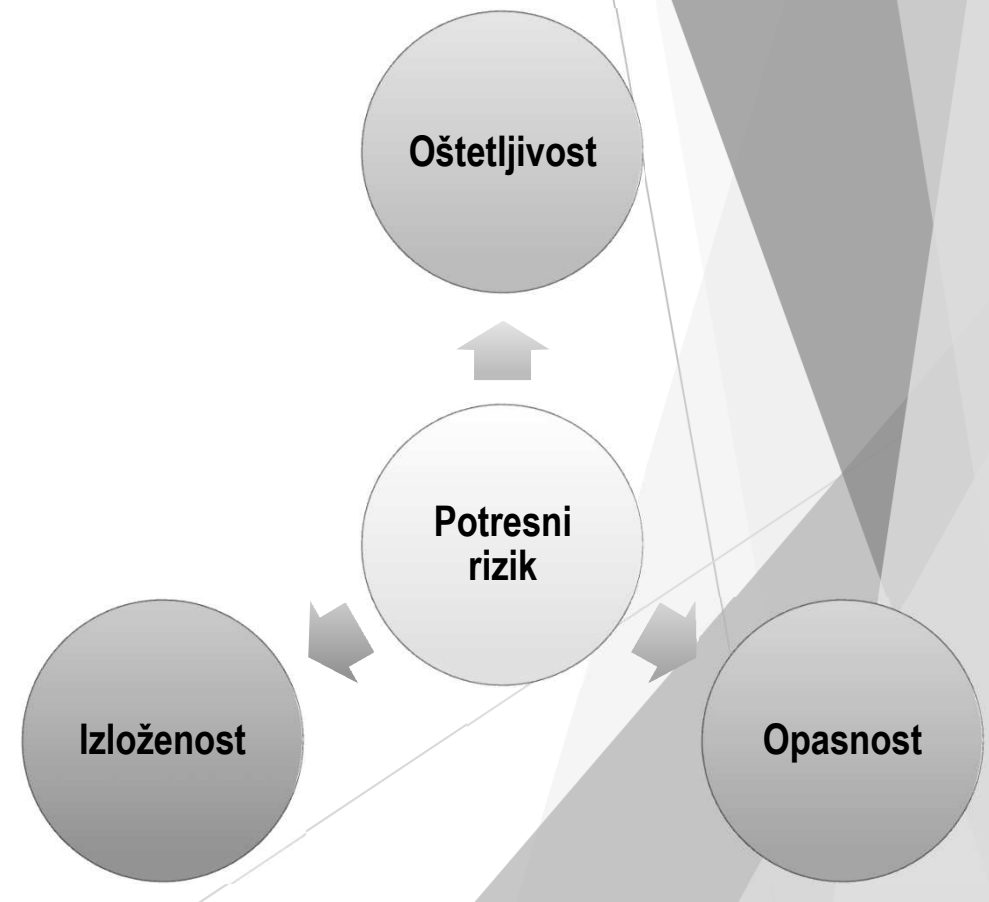
- **multi-dimenzionalna** (fizički, ekonomski, institucijski i ljudski faktori koji određuju oštećljivost)

- **vremenski ovisna**, tj. oštećljivost se mijenja tijekom vremena

- **specifična za temeljno tlo** (svako mjesto treba vlastiti pristup).

Metodologija potresnog rizika i procjena gubitaka zbog potresa obuhvaća brojne discipline i uobičajeno se sastoji od sljedećih komponenti:

- ▶ procjene potresne opasnosti
- ▶ inventara zgrada
- ▶ procjene oštetljivosti
- ▶ procjene ekonomskih i socijalnih gubitaka.



METODE PROCJENE POTRESNE OŠTETLJIVOSTI

Prema Calviju i dr. (2006.), metode utvrđivanja stupnja oštećenja zgrade od potresa mogu se podijeliti u dvije glavne kategorije: **empirijske** i **analitičke**, od kojih se obje mogu upotrijebiti u **hibridnoj** metodi

Empirijske metode

- Matrica vjerojatnosti oštećenja (DPM)
- Metoda indeksa oštetljivosti
- Krivulje vjerojatnosti oštećenja
- Metode zasnovane na vizualnom pregledu (engl. *Screening methods*)

Analitičke metode

- Izvedena krivulja vjerojatnosti oštećenja i DPM
- Metoda zasnovana na mehanizmu sloma (VULNUS)
- Metoda zasnovana na spektru sposobnosti nosivosti (engl. *Capacity Spectrum Based Methods*) (HAZUS)
- Metoda zasnovana na pomacima

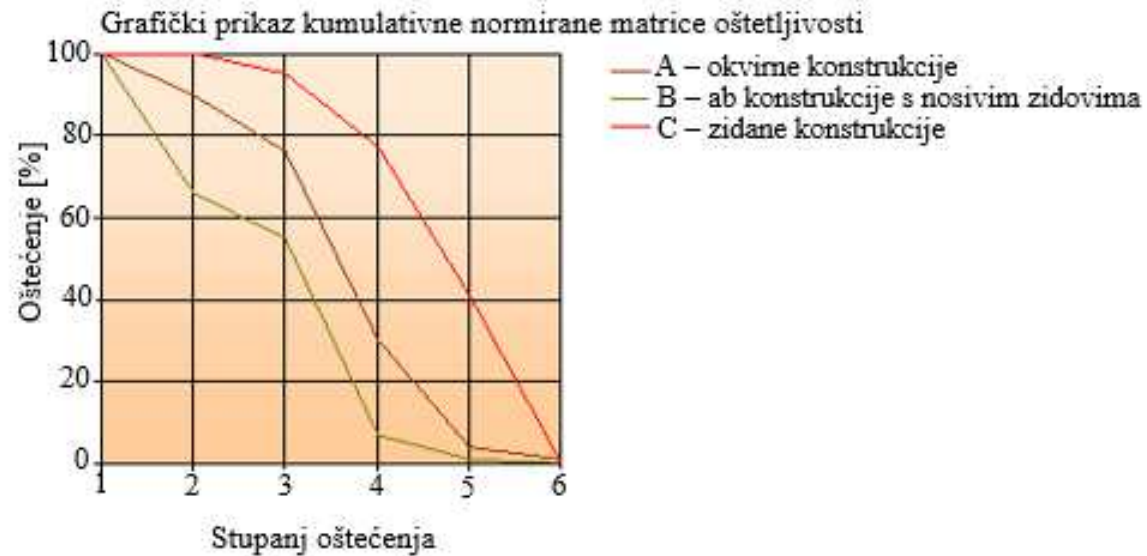
Empirijske metode procjene oštećljivosti

Empirijske metode zasnivaju se na **statističkom promatranju oštećenja građevina u dogođenim potresima**.

Za određenu razredbu zgrada jedinicu oštećenja predstavlja odabrani parametar, dok se različiti neovisni parametri variraju.

- ▶ razina se oštećenja može utvrditi kao npr. tip temeljnog tla, tip konstrukcijskog sustava, funkcija ubrzanja i sl.
- ▶ **statističkom obradbom podataka oštećenja utvrđuje se razina štete izražena jedinicom oštećenja u ovisnosti o varijabli i tipu razredbe**
- ▶ dobiveni se **rezultati** odnose na neke **"prosječne"** konstrukcije za određenu razinu nezavisne varijable te ne sadrže čimbenike kao što su značajke opterećenje-deformacija konstrukcije ili rasipanje energije
- ▶ **prednost** empirijskih metoda je ta što **relativno jednostavno izražavaju tražene odnose i što su zasnovane na velikom broju podataka**
- ▶ **cilj** im je **utvrditi štete prouzročene potresom na velikom broju konstrukcija**, odnosno učinak štete na jednom području, pa se prema tome primjenjuju u **makro-ekonomskim studijama**
- ▶ oštećljivost nekog budućeg događaja procjenjuje se na osnovi podataka koji su dobiveni u prethodnom potresu.

Empirijske metode procjene oštjetljivosti



Funkcija oštjetljivosti zasnovana na statističkoj obradbi empirijskih podataka (Aničić i dr. 1990)

Empirijske metode procjene oštjetljivosti

► Glavni tipovi empirijskih metoda koji se primjenjuju su:

a) **Matrice vjerojatnosti oštjetenja**

(engl. *Damage probability matrices*, DPM)

– metoda koja je prvi put predstavljena u ATC-13

(engl. *Annual Technical Conference*) izražava u diskretnom obliku uvjetnu vjerojatnost $P[D=j/i]$ postizanja razine oštjetenja j zbog pomicanja tla intenziteta I

Prikaz matrica vjerojatnosti oštjetenja prema Whitmanu i dr. (1973.)

Razina oštjetenja	Konstrukcijsko oštjetenje	Nekonstrukcijsko oštjetenje	Koeficijent oštjetljivosti [%]	Intenzitet potresa				
				V	VI	VII	VIII	IX
0	Nema	Nema	0 – 0,05	10,4	-	-	-	-
1	Nema	Manje	0,05 – 0,3	16,4	0,5	-	-	-
2	Nema	Lokalizirano	0,3 – 1,25	40,0	22,2	-	-	-
3	Neprimjetno	Rasprostranjeno	1,25 – 3,5	20,0	30,0	2,7	-	-
4	Manje	Znatno	3,5 – 4,5	13,2	47,1	92,3	58,8	14,7
5	Znatno	Vrlo teško	7,5 – 20	-	0,2	5,0	41,2	83,0
6	Značajno	Skoro potpuno	20 – 65	-	-	-	-	2,3
7	Zgrada je pred slomom		100	-	-	-	-	-
8	Slom		100	-	-	-	-	-

b) **Metoda indeksa oštjetljivosti** – indirektan pristup budući da je veza između potresne aktivnosti i potresnog odziva uspostavljena kroz indeks oštjetljivosti – 1993. ju je odobrila talijanska Nacionalna udruga za obranu od potresa (tal. *Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti* – GNDT, 1993.) kao metodu za određivanje oštjetljivosti građevina na nacionalnoj razini u Italiji.

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i,$$

I_v – indeks oštjetljivosti

K_i – kvalifikacijski koeficijent

W_i – težinski koeficijent za svaki parametar

Parametri	Razredi oštjetljivosti				Težinski koeficijenti
	A	B	C	D	
1. Organizacija konstrukcijskog sustava	0	5	20 ¹	45	1,00
2. Kvaliteta otpornosti konstrukcijskog sustava	0	5	25	45	0,25
3. Normirana otpornost	0	5	25	45	1,50
4. Pozicija i temelji	0	5	25	45	0,75
5. Horizontalne dijafragme	0	5	15 ¹	45	*1
6. Konfiguracija tlocrta	0	5	25	45	0,50
7. Pravilnost po visini	0	5	25	45	*2
8. Najveća udaljenost između zidova	0	5	25	45	0,25
9. Krov	0	15	25	45	*3
10. Nekonstrukcijski elementi	0	0	25	45	0,25
11. Stanje očuvanosti	0	5	25	45	1,00

Empirijske metode procjene oštjetljivosti

► Glavni tipovi empirijskih metoda koji se primjenjuju su:

- c) **Kontinuirane krivulje vjerojatnosti oštećenja** (engl. *fragility curves*) – izravno su zasnovane na razini štete na zgradama uslijed prijašnjih potresa. Prilikom njihovog izvođenja jedina prepreka je činjenica da makroseizmički intenzitet nije kontinuirana varijabla, što je dokazao Spence (1992.) upotrebom bezparametarske tablice intenziteta (engl. *Parameterless Scale of Intensity*, PSI)
- d) **Metode zasnovane na vizualnom pregledu** (engl. *The Seismic Safety Screening Method*, SSSM) – postupak je razvijen kao preliminarna faza pregleda u postupku višefaznog određivanja potencijalno oštjetljivih zgrada
– turska, grčka, kanadska, japanska, novozelandska i indijska metoda brze vizualne procjene

Indeks potresnog prioriteta

$$SPI = SI + NSI$$

- 1) zgrade malog prioriteta
- 2) zgrade umjerenog prioriteta
- 3) zgrade velikog prioriteta
- 4) vrlo rizične zgrade

Konstruktivski indeks

$$SI = A \times B \times C \times D \times E$$

A = seizmičnost

B = uvjeti tla

C = tip konstrukcijskog sustava

D = nepravilnosti

E = važnost zgrade

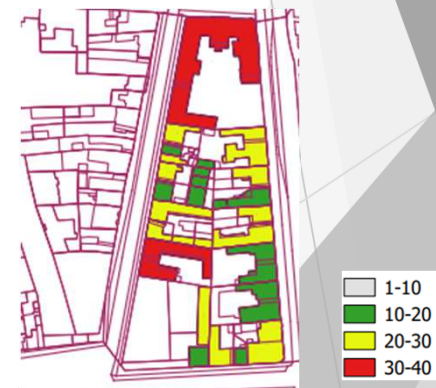
Nekonstruktivski indeks

$$NSI = B \times E \times F$$

B = uvjeti temeljnog tla

E = važnost zgrade

F = faktor opasnosti – $\max(F_1, F_2)$



The seismic priority index (SPI) obtained for earthquake intensity VII

Hadzima-Nyarko, M. *Vulnerability Assessment, Maintenance and Strengthening of Structures in Seismically Active Areas*. 28. Međunarodni znanstveni skup „Organizacija i tehnologija održavanja“ - OTO 2019.

Analitičke metode procjene oštjetljivosti

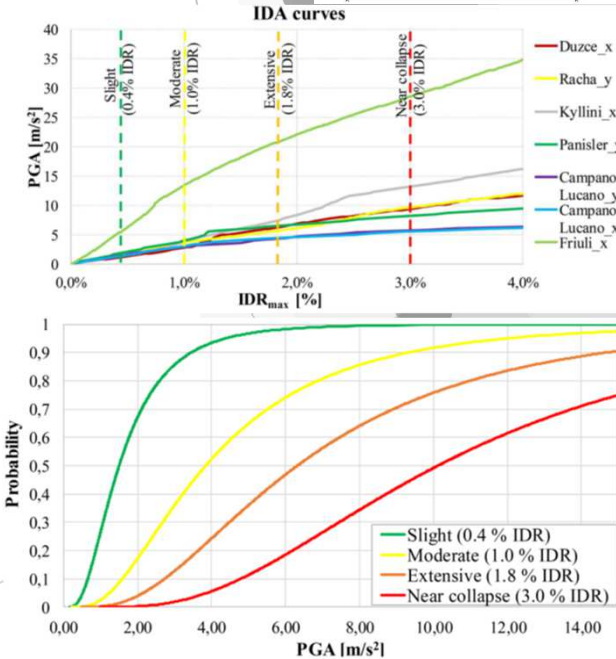
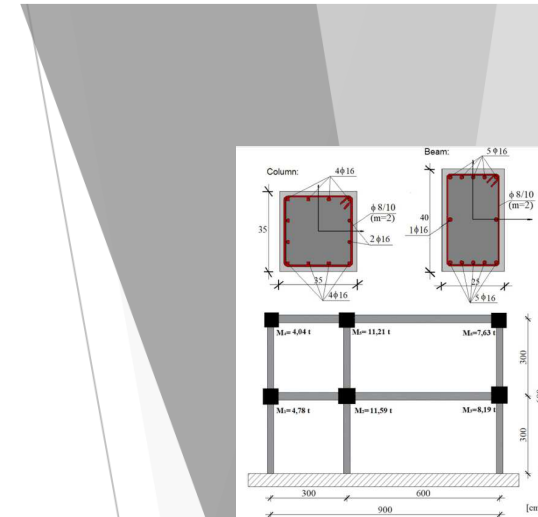
Analitičke metode koje se upotrebljavaju za procjenu oštjetljivosti **zasnivaju se na numeričkom proračunu građevine**, a veza između potresnog intenziteta i očekivane štete osigurava model s direktnim fizičkim značenjem.

Koraci analitičke metode procjene oštjetljivosti:

1. korak – Definiranje indeksa zgrade
2. korak – Definiranje komponenti za proračun odziva i procjenu gubitaka
3. korak – Odabir tipa modela
5. korak – Definiranje razine oštećenja na razini elementa i globalnoj razini
6. korak – Analiza tipa i proračun parametara inženjerskih zahtjeva (engl.

Engineering demand parametar, EDP) prekoračenja razine oštećenja

7. korak – Konstruiranje krivulja vjerojatnosti oštećenja.



Analitičke metode procjene oštjetljivosti

▶ Glavni tipovi analitičkih metoda koje se primjenjuju su:

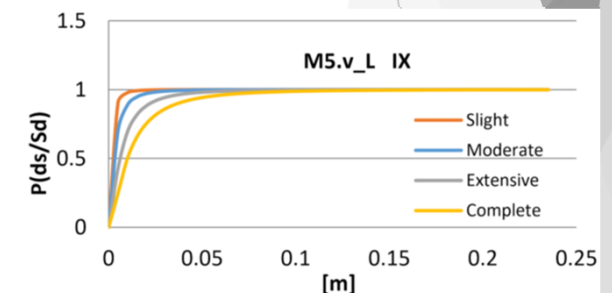
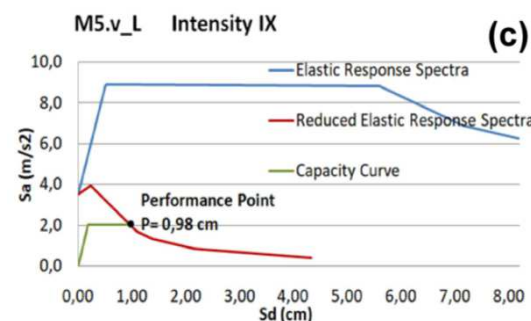
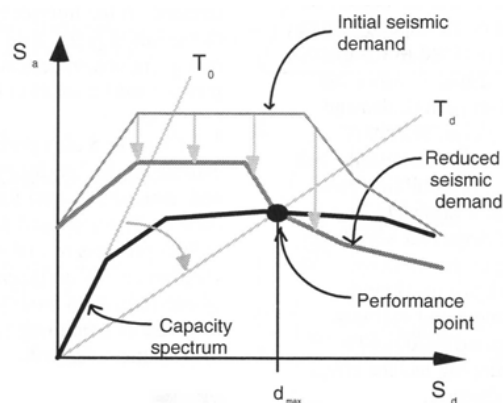
- a) **Analitički izvedena krivulja vjerojatnosti oštećenja i matrica vjerojatnosti oštećenja** – 1996. Singhal i Kiremidijan razvili su krivulje vjerojatnosti oštećenja i matricu vjerojatnosti oštećenja za tri kategorije armiranobetonskih okvirnih konstrukcija prema Monte Carlo metodi. Utvrdili su vjerojatnost štete konstrukcije primjenjujući nelinearni dinamički proračun s kretanjem tla. Dumova - Jovanoska (2004.) izradila je krivulje vjerojatnosti oštećenja/matrice vjerojatnosti oštećenja za zgrade u području Skoplja.
- b) **Metoda zasnovana na mehanizmu sloma** (VULNUS) – je metoda koja je predložena za procjenu oštjetljivosti **nepojačanih zidanih zgrada pomoću teorije mutnih skupova i definicije multiplikatora rušenja** (Bernardini 1990). *The Failure Mechanism Identification and Vulnerability Evaluation method* (D'Ayala i Speranza 2002) je metoda koja je također zasnovana na multiplikatorima rušenja, čiji je cilj procjena oštjetljivosti povijesnih zgrada i gradskih trgova
- c) **Metoda zasnovana na pomacima** – 1999. Calvi daje prve naznake razvoje ove metode. Ovaj postupak **primjenjuje načela metode direktnog pomaka** (npr. Priestley 2003) u kojem je konstrukcija s više stupnjeva slobode (engl. *multi-degree-of-freedom structure, MDOF*) modelirana kao konstrukcija s jednim stupnjem slobode (engl. *single-degree-of-freedom structure, SDOF*), te se različiti pomaci računaju prema mehanici sloma na određenom graničnom stanju, upotrebom geometrijskih i materijalnih karakteristika prema vrsti konstrukcije.

Analitičke metode procjene oštjetljivosti

c) **Metoda zasnovana na spektru sposobnosti nosivosti** (engl. *Capacity Spectrum Based Method*) (HAZUS, Hazard US) – je metoda koja je rezultat projekta provedenog za Nacionalni institut građevnih znanosti (NIBS) pod zajedničkim sporazumom sa Saveznom agencijom za upravljanje kriznim situacijama (engl. *The Federal Emergency Management Agency, FEMA*). Cilj ove metodologije je razvijati nacionalno primjenjivu metodologiju za procjenu potencijalnih gubitaka uslijed potresa na regionalnoj osnovi (Whitman 1997; FEMA 1999, 2003)

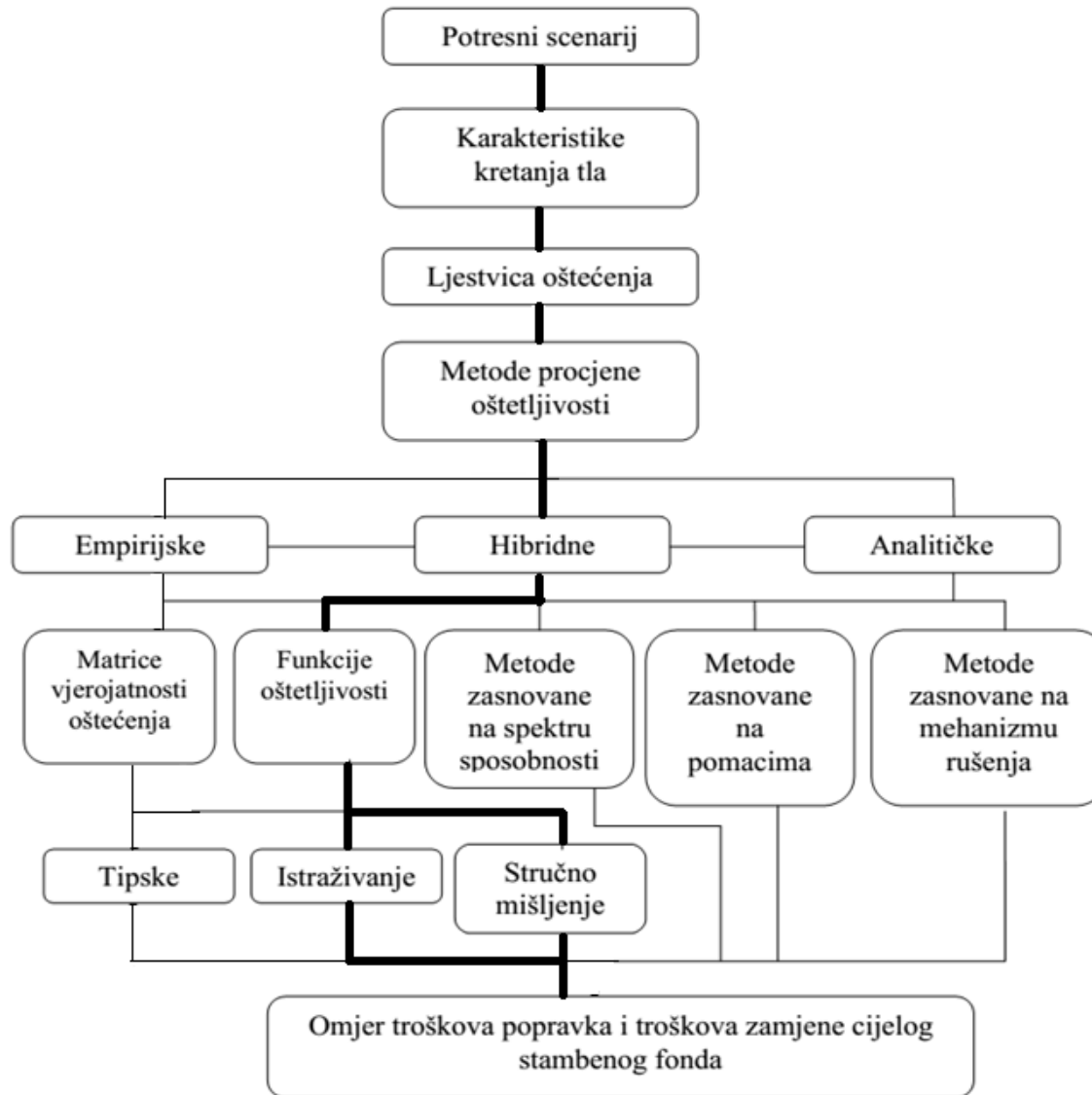
– tehnika zasnovana na proračunu prema očekivanom ponašanju (engl. *Performance design*), u kojoj pomaci čine parametar zahtjeva

– točka ponašanja (engl. *Performance Point*) jedne zgrade ili tipologije zgrada se procjenjuje kao sjecište krivulje sposobnosti nosivosti, koji pokazuje odnos ukupne poprečne sile prema poprečnom pomaku vrha (krova) ili međukatni pomak, s krivuljom zahtjeva u obliku Spektralna akceleracija-spektralni pomak



Pavić, G.; Hadzima-Nyarko, M.; Plaščak, I.; Pavić, S. Seismic vulnerability assessment of historical unreinforced masonry buildings in Osijek using capacity spectrum method. *Acta Physica Polonica. A*, 135 (2019), 5; 1138-1141

Algoritam predložene metodologije procjene potresnog rizika



Oštećenja uzrokovana potresom

KATEGORIZACIJA OŠTEĆENJA

Razredba oštećenja građevina ima svrhu utvrditi

građevine koje su neoštećene ili malo oštećene pa se mogu i dalje koristiti

građevine teže oštećene koje je potrebno privremeno napustiti kako bi se kasnije sanirale i osposobile za uporabu

građevine potpuno srušene ili u takvom stanju oštećenosti koje očito upućuje na njihovo uklanjanje.

Oštećenja uzrokovana potresom

KATEGORIZACIJA OŠTEĆENJA

Anagnostopoulus, Petrovski i Bouwkamp (1989.) predložili su oštećenje i razredbu **uporabljivosti** zasnovanu na trima kategorijama, primjerenu armiranobetonskim ili zidanim konstrukcijama (stupac 1 u tablici):

- uporabljive konstrukcije koje predstavljaju neoštećeno ili neznatno oštećene konstrukcije
 - privremeno neuporabljive koje predstavljaju umjereno do teško oštećene konstrukcije
 - neuporabljive koje predstavljaju teško oštećene konstrukcije do djelomično ili potpuno srušene konstrukcije.
- kategorije definirane i zasnovane na **vizualnome opažanju pukotina** koje mogu biti konstrukcijske ili nekonstrukcijske, **degradaciji betonskih elemenata i ziđa**, **odlamanju zaštitnoga sloja betona** i **izvijanju armature**, oštećenju vrijednih i važnih elemenata konstrukcijskoga sustava

Park, Ang i Wen (1984.) predlažu **stupnjeve oštećenja** (stupac 2 u tablici), koje povezuju jednim cjelovitim **koeficijentom oštetljivosti** koji se može upotrijebiti za definiranje uporabljivosti građevine pridruživanjem granice popravljivosti (ili nepopravljivosti)

Kanno (1993.) i Bracci i dr. (1989.) smatraju da neoštećeno ili uporabljivo stanje odgovara blagom stupnju oštećenja, popravljivo stanje odgovara umjerenom do jakom oštećenju, dok je stanje rušenja jednako onomu koje znači potpun slom i gubitak sposobnosti nosivosti konstrukcije ili njezinih sastavnica

Oštećenja uzrokovana potresom

KATEGORIZACIJA OŠTEĆENJA

Kvantifikacija oštećenja radi razredbe vrlo je težak zadatak te je trenutačno dostupno vrlo malo preporuka.

1	2	3	4	5
UPORABLJIVOST ¹	STUPANJ OŠTEĆENJA ²	STANJE OŠTEĆENJA ³	KOEFICIJENT OŠTETLJIVOSTI	IZGLED
Uporabljivo	Beznačajno	Neoštećeno	0,00	Nedeformirano / neraspucalo
		Uporabljivo	0,20-0,30	Umjerene do jake pukotine
Privremeno neuporabljivo	Malo do umjereno	Popravljivo	0,50-0,60	Odlamanje zaštitnog sloja
		Nepopravljivo	>1,00	Izvijanje šipki, otkrivanje jezgre
Neuporabljivo	Rušenje			Gubitak posmične nosivosti/ nosivosti na uzdužnu silu

¹ Prema Anagnostopoulus i dr. (1989.)

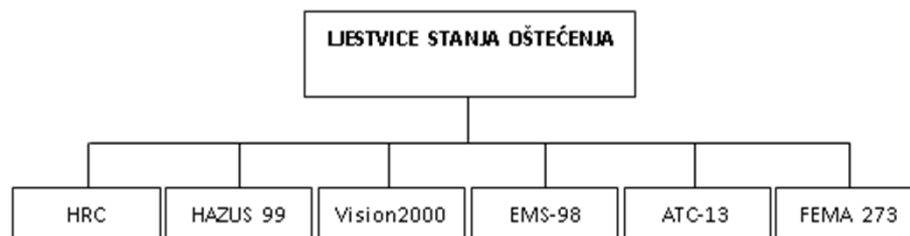
² Prema Park i dr. (1984.)

^{3 5} Prema Bracci i dr. (1989.)

Oštećenja uzrokovana potresom

KATEGORIZACIJA OŠTEĆENJA

Ljestvice oštećenja prikazuju očekivani stupanj gubitka unutar definiranog područja zbog potresnih djelovanja



Usporedba homogenizirane ljestvice za armiranobetonske konstrukcije s ostalim ljestvicama stanja oštećenja (Rossetto i Elnashai 2003)






D_{HCR}	HRC	HAZUS99	Vision2000	EMS-98	ATC-13	FEMA273
0	Nulto			Bez oštećenja		
10	Slabo		Potpuno uporabljivo	Stupanj 1	Slabo	Trenutna uporabljivost
20		Blago oštećenje			Blago	
30	Blago		Uporabljivo	Stupanj 2		Kontrolirana oštećenja
40						
50		Umjereno oštećenje			Umjereno	
60	Umjereno		Sigurno po život	Stupanj 3		Sigurno po život
70					Teško	
80	Vrlo teško	Vrlo teško oštećenje	Blizu rušenja			Ograničena sigurnost
90				Stupanj 4		
100	Djelomični slom		Rušenje		Najveće	Stabilnost konstrukcije
	Slom					
						Granično stanje sloma

Oštećenja uzrokovana potresom

KATEGORIZACIJA OŠTEĆENJA

Ljestvice oštećenja prikazuju očekivani stupanj gubitka unutar definiranog područja zbog potresnih djelovanja

Razredba oštećenja zidanih zgrada prema EMS-98 (Grünthal 1998)

Prikaz oštećenja	Opis oštećenja
	Stupanj 1: Neznatno (zanemarivo) do malo oštećenje (bez oštećenja konstrukcijskih dijelova, malo nekonstrukcijsko oštećenje). Fine pukotine kod vrlo malog broja zida. Otpadanje samo manjih komada žbuke. Otpadanje labavijih komada kamena iz gornjih dijelova zgrade u malom broju slučajeva.
	Stupanj 2: Umjereno oštećenje (malo konstrukcijsko oštećenje, umjereno nekonstrukcijsko oštećenje). Pukotine u mnogim zidovima. Otpadanje prilično velikih komada žbuke. Djelomični slom dimnjaka.
	Stupanj 3: Znatno do teško oštećenje (umjereno konstrukcijsko oštećenje, teško nekonstrukcijsko oštećenje). Velike i široke pukotine u većini zida. Odvojen krovni pokrov. Slom pojedinačnih konstrukcijskih elemenata (pregradno, zabatno zide).
	Stupanj 4: Vrlo teško oštećenje (teško konstrukcijsko oštećenje; vrlo teško nekonstrukcijsko oštećenje). Ozbiljni slom zida; djelomični konstrukcijski slom krovova i stropova.
	Stupanj 5: Rušenje (vrlo teško konstrukcijsko oštećenje). Potpuno ili skoro potpuno rušenje.

Oštećenja uzrokovana potresom

RAZINA OŠTEĆENJA

Za definiranje razine oštećenja građevine potrebno je imati razrađene sljedeće modele:

- **model potresnoga opterećenja** (potresna uzbuda zadana pomoću spektra odziva ili akcelerograma)
- **model konstrukcije** koji treba pružiti bitne parametre odziva konstrukcije za potresno opterećenje, a koji ovise o izboru proračuna
- **model funkcije oštetljivosti** koja analitički definira ovisnost stupnja oštećenja i odabranoga parametra odziva konstrukcije.

Model potresnog opterećenja

Temeljno tlo iznad osnovne stijene



osnovni signal potresa u signal na površini temeljnoga tla



mjerodavan za odziv konstrukcije i za stupanj, oblik i mehanizam oštećenja

Modeliranje potresnog opterećenja

→ parametri pomaka temeljnoga tla

→ seizmološki parametri



uzeti u obzir utjecaj lokalnoga temeljnoga tla

dva najizraženija:

udaljenost od žarišta i

jačina potresa

dinamičke karakteristike:

trajanje, predominantni period i amplituda zapisa

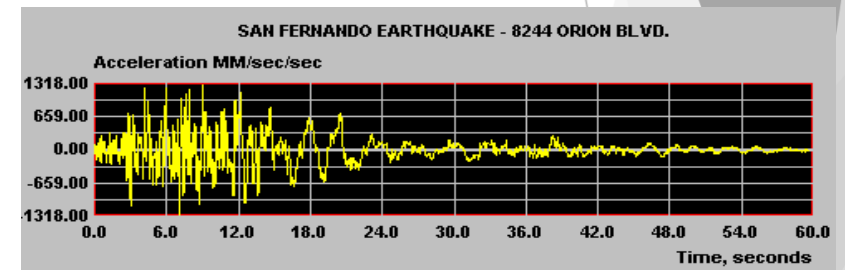
osnovu čine međusobni odnosi tih parametara i utjecaj svakoga od njih na moguća ili već dogođena opterećenja

Model potresnog opterećenja

- model potresa - nepobitno usko vezan - uz odabrani model konstrukcije čija se oštećenja utvrđuju
- najmanje pogrešaka - model koji čini izravan zapis oscilacija na nekome mjestu, u građevinarstvu najčešće upotrebljavan zapis potresa

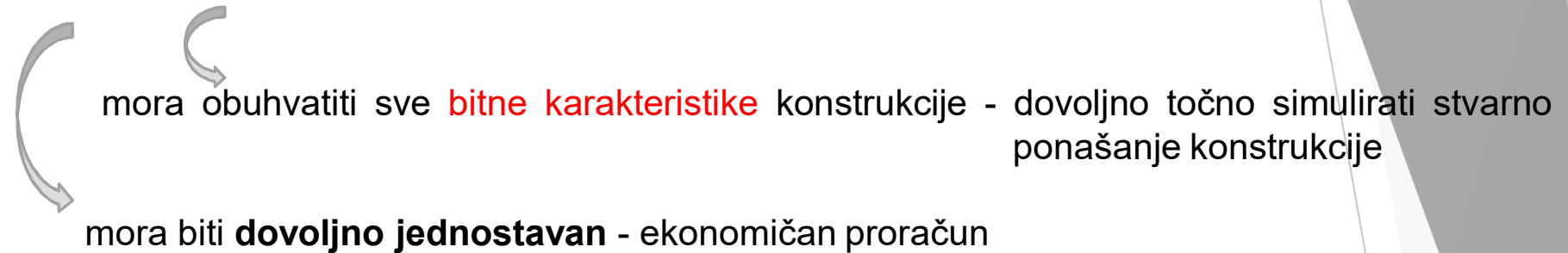
▪ akcelerogram

- ↳ maksimalno ubrzanje temeljnog tla
- ↳ maksimalna brzina temeljnog tla
- ↳ maksimalni pomaci temeljnog tla
- ↳ trajanje jakog dijela oscilacija
- ↳ frekventni sastav oscilacija



Model konstrukcije

Izbor matematičkog modela konstrukcije - najznačajnija je faza



Izbor odgovarajućeg modela ovisi o: **konstrukciji**
opterećenju koje djeluje na konstrukciju

Točnost rezultata bitno ovisi o **točnosti najmanje faze u postupku proračuna**.

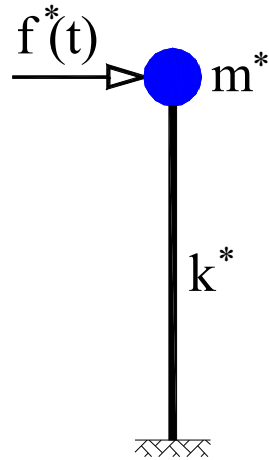
Ako je npr. točnost opterećenja mala (npr. budući potres), onda vrlo složeni model i velika točnost samog proračuna ne znači automatski i točnost rezultata, a bitno povećavaju troškove proračuna.

- **dinamički proračun - jednostavniji model** nego kod problema koje određuju statička opterećenja

Model konstrukcije

Neki autori smatraju da je optimalno upotrijebiti dva matematička modela.

Fajfar i Gašperšič (1996.) opisuju konstrukciju kombinacijom dvaju modela: detaljni model upotrebljava za proračun matrice krutosti i dinamičkih karakteristika konstrukcije. Pretvorbom složenoga modela procesom kondenzacije, definira jednostavni model konstrukcije s jednim stupnjem slobode, dovoljno točan za nelinearni dinamički proračun odziva konstrukcije.



Izbor proračuna

Proračun može biti:

Prema **vrsti i tipu opterećenja**:

- statički
- dinamički

Dileme kako modelirati opterećenje mogu se jedino javiti ako je opterećenje potres.

Prema **načinu ponašanja gradiva**:

- linearni
- nelinearni

I u ovom slučaju dileme se mogu pojaviti samo u slučaju potresnog opterećenja.

Za sva ostala opterećenja odabrat će se linearni proračun uglavnom.

Stvarno ponašanje konstrukcija, koje za vrijeme potresa trpe oštećenja, može se realno simulirati samo **nelinearnim proračunom**.

Izbor proračuna

Razlozi za navedene dileme

Za seizmički proračun konstrukcija upotrebljavaju se, u ovisnosti o

- složenosti konstrukcije,
- jačini potresnog opterećenja i
- točnosti podataka o opterećenju,
- točnosti podataka o konstrukciji i
- ograničenjima koja postavljaju troškovi, rokovi i raspoloživi programi,

različiti matematički modeli i različite metode proračuna.

Iako se kod najjačih potresa očekuje *nelinearno ponašanje konstrukcija*, **praksa** znatno češće primjenjuje **linearni ili u najboljem slučaju pseudolinearni proračun.**

Linearni proračun može odgovarajuće simulirati ponašanje konstrukcija kod manjih do umjerenih potresa. U tom se slučaju **nelinearni učinci** približno uzimaju u obzir **pomoću redukcije spektra odziva**. Tu treba imati na umu da taj način proračuna daje približno odgovarajuće rezultate samo **za konstrukcije kod kojih nema velikih koncentracija oštećenja**, tj. gdje su zone nelinearnog ponašanja ravnomjerno raspoređene po cijeloj konstrukciji.

Stvarno ponašanje konstrukcija, koje za vrijeme potresa trpe oštećenja, može se realno simulirati samo **nelinearnim proračunom.**

Model funkcije oštetljivosti

Funkcija oštetljivosti



odnos odabranog parametra odziva konstrukcije i

vrijednosti koeficijenta koji interpretira razinu oštećenja konstrukcije

Potrebno je razlikovati **parametre (varijable) oštetljivosti** i **koeficijente oštetljivosti**. U modelu oštetljivosti prvi ima ulogu *varijabli stanja*, a drugi ima *karakter funkcije oštetljivosti* u prije spomenutom kontekstu.

Parametar oštetljivosti može se definirati kao **fizikalno svojstvo konstrukcijskoga odziva**, čija vrijednost pokazuje sposobnost opisivanja razvoja stvarnih stanja degradacije konstrukcije tijekom nametnutoga vremenskog tijeka potresnoga djelovanja.

Primjeri toga tipa varijable su **međukatni pomaci, deformiranje na razini elementa i presjeka, zahtijevana duktilnost, krutost, raspršena energija** itd.

Alternativno, **koeficijent oštetljivosti je varijabla koja je sama sposobna kvantificirati količinu oštećenja**, tvoreći tako izravnu mjeru konstrukcijskoga oštećenja.

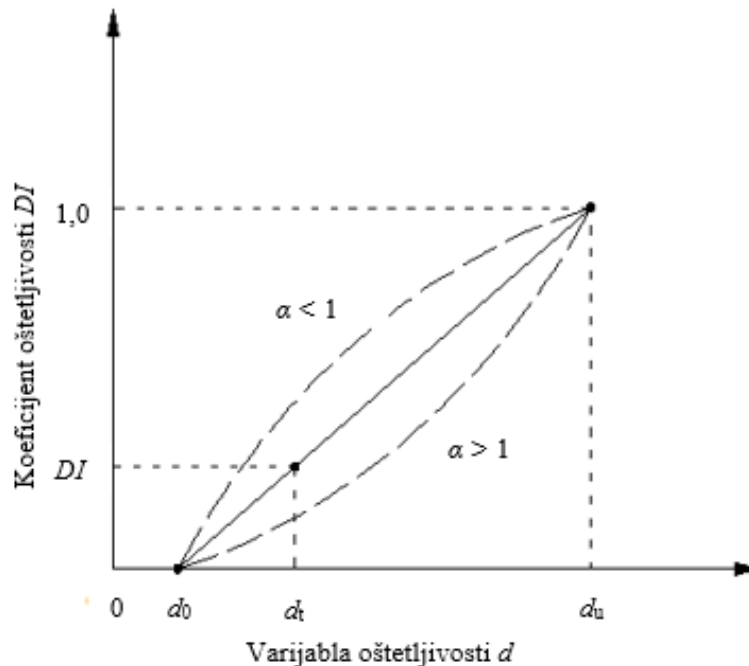
Ta se mjera može uzeti u obzir na razini poprečnoga presjeka, elementa ili podkonstrukcije ili na razini globalne konstrukcije.

Model funkcije oštettljivosti

Nazivi *varijabla oštettljivosti* i *koeficijent oštettljivosti* obično se zamjenjuju u literaturi, s mogućom iznimkom u razdoblju posljednjih pet godina.

Kako bi se izbjegle poteškoće pri interpretaciji, **koeficijent oštettljivosti** (engl. *Damage Ratio*, *DR* ili engl. *Damage Index*, *DI*) je veličina s vrijednošću nula kada nema oštećenja i vrijednošću 1 (ili 100 %) kada nastupa slom ili rušenje.

Nadalje, **koeficijent oštettljivosti** može (i zapravo treba, kao što će biti pokazano kasnije) **uključiti više od jedne varijable oštettljivosti** (CEB 1998).



Odnos između varijable oštettljivosti i koeficijenta oštettljivosti (CEB 1998)

SLIJEDI....

- analize određivanja koeficijenta oštećljivosti: Park-Ang
Hwang-Scribner
Mizuhata-Nishigaki

- model potresnog opterećenja → akcelerogram

- model konstrukcije → pravilna konstrukcija

↘ ↙
SDOF model

- težina
- elastična krutost
- prigušenje
- poprečna sila u prizemlju na granici elastičnosti
- poslijeelastično ponašanje (idealizirani model histereze)

- izbor proračuna → nelinearni dinamički proračun
u vremenskim intervalima

↘
NONLIN



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

POTRESNO INŽENJERSTVO PROCJENA OŠTETLJIVOSTI ZGRADA

Marijana Hadzima-Nyarko | Dijana Nikić | Dragan Morić



Osijek, 2018.

Textbooks and teaching aids

1. Hadzima-Nyarko, M.; Nikić, D.; Morić, D.: Potresno inženjerstvo – procjena oštetljivosti zgrada. Osijek: Građevinski fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2018.

Marijana Hadzima-Nyarko, dipl. ing. građ. (1976), inženjerska je profesorica Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijeka Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku. Njezina znanstvena i stručna djelatnost obuhvaća područja prostorne integracije, konstruktivnog inženjerstva, betonskih i zidanih konstrukcija i mostova. Objavila je više od 90 znanstvenih i stručnih radova. Sudjelovala je brojnim stručnim i znanstvenim domaćim i međunarodnim projektima. Članica je stručnih i organizacijskih odbora i organizacijskih odbora konferencija. Recenzentica je za više domaćih i međunarodnih časopisa. Sudjelovala je u suradnji na stručnim i međunarodnim znanstvenim projektima. Kao urednica je suradnikica u izdavanju knjige Potresno inženjerstvo – Procjena oštetljivosti zgrada. Prvi put izdavanje (2018. godine) je na sveučilišni diplomski studij Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijeka, jedan koji se poslije temeljom predaje u Republici Hrvatskoj.



Naida Ademović, dipl. ing. građ. (1971), inženjerska je profesorica Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Sarajevu. Njezina znanstvena i stručna djelatnost obuhvaća područja prostorne integracije, konstruktivnog inženjerstva, betonskih i zidanih konstrukcija i mostova. Objavila je više od 90 znanstvenih i stručnih radova. Sudjelovala je brojnim stručnim i znanstvenim domaćim i međunarodnim projektima. Članica je stručnih i organizacijskih odbora i organizacijskih odbora konferencija. Recenzentica je za više domaćih i međunarodnih časopisa. Sudjelovala je u suradnji na stručnim i međunarodnim znanstvenim projektima. Kao urednica je suradnikica u izdavanju knjige Potresno inženjerstvo – Procjena oštetljivosti zgrada. Prvi put izdavanje (2018. godine) je na sveučilišni diplomski studij Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijeka, jedan koji se poslije temeljom predaje u Republici Hrvatskoj.



Dr. sc. Mario Jeleč, mag. ing. arh. (1990), projektar/autor je na Građevinskom i arhitektonskom fakultetu Osijeka Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku. Njezina djelatnost usredotočena je na znanstvene, nastavne i stručne aktivnosti u području arhitekture, urbanizma, krajolika i teorijskog istraživanja društvenih i zidanih konstrukcija. Objavila je 20 znanstvenih i stručnih radova. Sudjelovala je na nekoliko domaćih i međunarodnih znanstvenih projekata, a aktivna sudjeluje u stručnoj i nastavnoj suradnji na projektima društvenih konstrukcija. Sudjeluje u nekoliko nastava za stručnjake na području zidanih konstrukcija. Objavila je nekoliko radova za stručnjake na području zidanih konstrukcija. Članica je stručnih odbora i organizacijskih odbora konferencija. Recenzentica je za više domaćih i međunarodnih časopisa. Sudjelovala je u suradnji na stručnim i međunarodnim znanstvenim projektima. Kao urednica je suradnikica u izdavanju knjige Potresno inženjerstvo – Procjena oštetljivosti zgrada. Prvi put izdavanje (2018. godine) je na sveučilišni diplomski studij Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijeka, jedan koji se poslije temeljom predaje u Republici Hrvatskoj.



Marijana Hadzima-Nyarko, Naida Ademović, Mario Jeleč

KONSTRUKCIJSKA POJAČANJA ZIDANIH ZGRADA metode i primjeri

Marijana Hadzima-Nyarko
Naida Ademović
Mario Jeleč

Osijek, 2020.

1. Hadzima-Nyarko, Marijana; Ademović, Naida; Jeleč, Mario: Konstrukcijska pojačanja zidanih zgrada – metode i primjeri. Osijek: Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2020.

Graduate university study programme information:
<http://www.gfos.unios.hr/teaching-and-education>

Full professor Marijana Hadzima-Nyarko
Department for materials and structures
mhadzima@gfos.hr;



<http://www.gfos.unios.hr/cv/preddiplomski-sveucilisni-studij-gradevinarstvo/marijana-hadzima-nyarko>

