

SEIZMIČKO OCJENJIVANJE POSTOJEĆIH MOSTOVA: KARAKTERISTIČNA OŠTEĆENJA, BRZI PREGLEDI



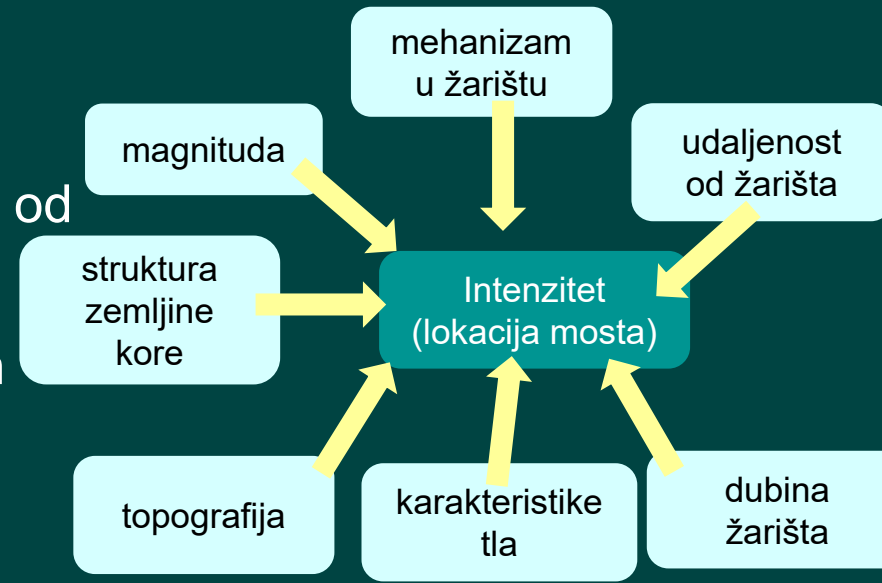
Mladen Srbić

Sadržaj

1. Uvod
2. Čimbenici koji utječu na vrstu i razinu oštećenja mostova uslijed djelovanja potresa
3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa
4. Brze ocjene mostova nakon potresa
5. Metode ocjene postojećih mostova
6. Zaključci

2. Čimbenici koji utječu na vrstu i razinu oštećenja mostova uslijed djelovanja potresa

- Intenzitet, magnituda potresa
- Utjecaj lokacije (područje rasjeda, udaljenost od epicentra, vrsta tla...)
- Vrijeme građenja mosta (primjena seizmičkih propisa)
- Promjene u konstrukciji mosta (sanacije, rekonstrukcije...)
- Utjecaj ne konstrukcijskih elemenata
- Položaj dilatacija mosta
- Vrsta rasponskog sklopa (teški/lagani, koso postavljeni...)
- Vrsta ležajeva (rubni uvjeti)
- Donji ustroj
- ...



2. Čimbenici koji utječu na vrstu i razinu oštećenja mostova uslijed djelovanja potresa

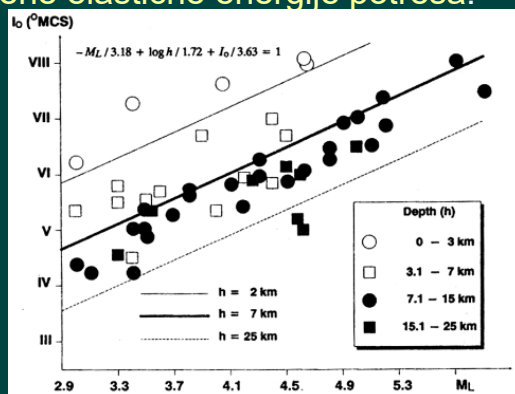
Intenzitet potresa

Određivanje jakosti potresa temelji se na **skupu učinaka/posljedica potresa na površini**: ponašanje objekata na površini Zemlje za vrijeme trajanja podrhtavanja tla, moguće promjene u krajoliku ili čovjekov doživljaj.

Magnituda potresa

Magnituda potresa M je mjera (broj) koja opisuje **relativnu veličinu ili količinu oslobođene elastične energije potresa**.

U pravilu, potres veće magnitude za posljedicu ima i veći intenzitet ali zbog brojnih čimbenika potres veće magnitude može biti opisan intenzitetom manjeg stupnja.



Mercallijeva ljestvica

Stupanj	Naziv	Kratki opis karakteristika ljestvice MCS
I°	Nezamjetljiv potres	Bilježe ga jedino seizmografi.
II°	Jedva osjetan potres	Osjeti se samo u gornjim katovima visokih zgrada.
III°	Lagan potres	Tlo podrhtava kao kad ulicom prođe automobil.
IV°	Umjeren potres	Prozorska okna i staklenina zveče kao da je prošao težak teretni automobil.
V°	Prilično jak potres	Njišu se slike na zidu. Samo pojedinci bježe na ulicu.
VI°	Jak potres	Slike padaju sa zida, ormari se pomiču i prevrću. Ljudi bježe na ulicu.
VII°	Vrlo jak potres	Ruše se dimnjaci, crjepovi padaju sa krova, kućni zidovi pucaju.
VIII°	Razoran potres	Slabije građene kuće se ruše, a jače građene oštećuju. Tlo puca
IX°	Pustošni potres	Kuće se teško oštećuju i ruše. Nastaju velike pukotine, klizišta i odroni zemlje.
X°	Uništavajući potres	Većina se kuća ruši do temelja, ruše se mostovi i brane. Izbija podzemna voda.
XI°	Katastrofalan potres	Srušena je velika većina zgrada i drugih građevina. Kidaju se i ruše stijene.
XII°	Veliki katastrofalan potres	Do temelja se ruši sve što je čovjek izgradio. Mijenja se izgled krajolika, rijeke mijenjaju korito, jezera nestaju ili nastaju



T {xstxyasyjsinyjfa r flsnyzirutywjxf

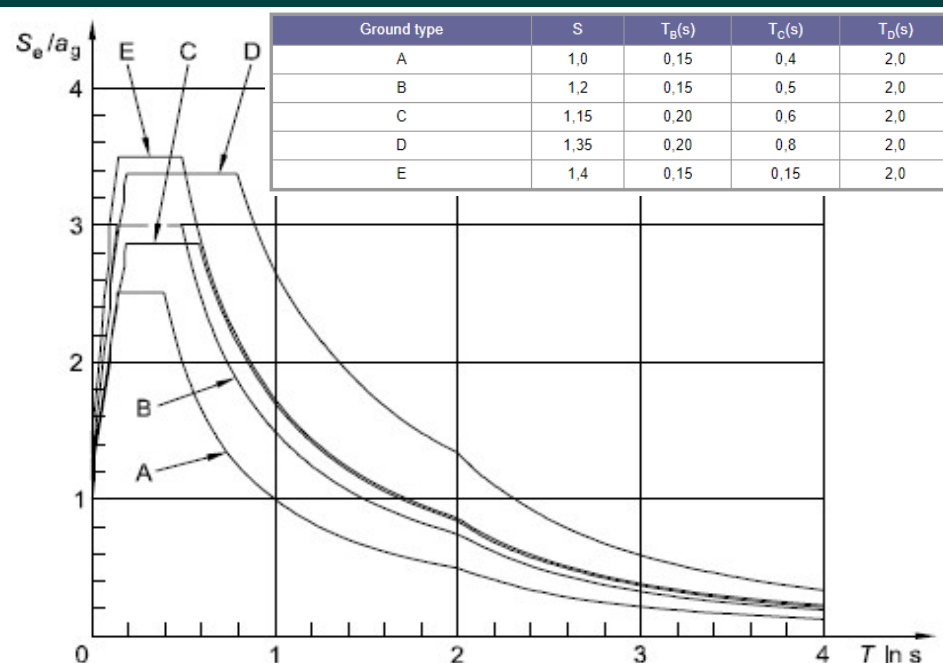
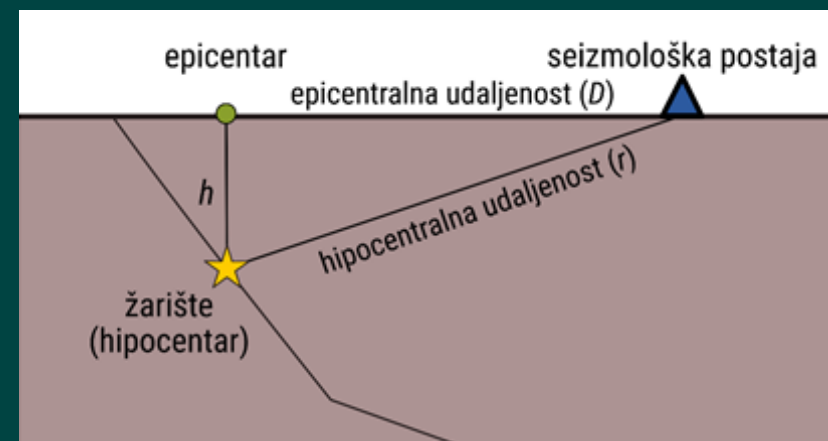
Richterova ljestvica

Magnituda	ispod	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-4,9	5,0-5,9	6,0-6,9	7,0-7,9	8,0-8,9	9,0-9,9	10,0+
Opis potresa	mikro	manji		lagani	umjereni	jaki	veliki	razarajući		epski
Učinci djelovanja potresa	Mikropotresi, ne osjećaju se	Općenito se ne osjete ali bilježe ih seizmografi	Često se osjete, ali rijetko uzrokuju štetu	Osjetna drmanja pokušstva, zvukovi trešnje, značajnija oštećenja rijetka	Uzrokuje štetu na starijim građevinama, moguća manja šteta kod novijih zgrada	Može izazvati štetu 160 km od epicentra	Uzrokuje ozbiljnu štetu na velikom području	Može uzrokovati štetu i po tisuću kilometara od epicentra	Katastrofalan potres koji uništava većinu objekata u krugu od nekoliko tisuća kilometara	Nikad nisu zabilježeni
Učestalost pojave potresa	8.000 dnevno	1.000 dnevno	49.000 godišnje	6.200 godišnje	800 godišnje	120 godišnje	18 godišnje	1 godišnje	1 u 20godina	Rijetki (nepoznato)

2. Čimbenici koji utječu na vrstu i razinu oštećenja mostova uslijed djelovanja potresa

- Utjecaj lokacije (područje rasjeda, udaljenost od epicentra, vrsta tla...)

Na intenzitet znatno utječu **lokalni efekti tla** (mekano tlo ili čvrsta stijena). Također, važnu ulogu ima i dubina potresa: plići potres donijet će više energije na površinu, time i jaču trešnju, od potresa s dubljim žarištem.



Ground type	Description of stratigraphic profile	V_{s30} (m/s)	N_{SPT} (blows/30 cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	>800		
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of meters in thickness, characterized by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360-800	>50	>250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of meters.	180-360	15-50	70-250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	<180	<15	<70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index ($PI > 40$) and high water content	<100 (indicative)		10-20
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S_1			

2. Čimbenici koji utječu na vrstu i razinu oštećenja mostova uslijed djelovanja potresa

- Vrijeme građenja mosta (primjena seizmičkih propisa)

kao i način gradnje te vrsta i starost građevine

Pravilnik 1964

Kvaliteta tla	Stupanj seizmičkog intenziteta		
	VII	VIII	IX
Slabo tlo	0,03	0,06	0,12
Srednje tlo	0,025	0,05	0,10
Dobro tlo	0,02	0,04	0,08

K_c → Q - ukupno vertikalno opterećenje koje za cestovne mostove podrazumijeva vlastitu težinu, a kod željezničkih mostova vlastitu težinu i pola pokretnog opterećenja.

Horizontalne seizmičke sile

$$S = 1,5 \cdot K_c \cdot Q$$

Pravilnik 1987

- metoda spektralne analize
- metoda dinamičke analize
- dvije kategorije mostova:
 - van kategorije: mostovi i vijadukti raspona $L \geq 50,0$ m, ili visine stupa $H \geq 30,0$ m
 - I kategorija: mostovi i vijadukti raspona $L < 50,0$ m, ili visine stupova $H < 30,0$ m
- projektni potres (najjači očekivani potres koji može pogoditi potres u toku korištenja):
 - Z1 – vjerojatnost pojave 70%, jedanput u 100 godina
 - Z2 - vjerojatnost pojave 70%, jedanput u 1000 godina
- duktilnost konstrukcije

Seizmička sila

$$S_{ik} = K_s \cdot \beta_i \cdot \eta_{ik} \cdot \psi \cdot G_k$$

$K_S = \ddot{X}_{\max} / [\mu_p]$ → Faktor duktilnosti konstrukcije

Stupanj seizmičkog intenziteta	$\ddot{X}_{\max}$ (g)
VII	0,1
VIII	0,2
IX	0,4

Eurocode 1998

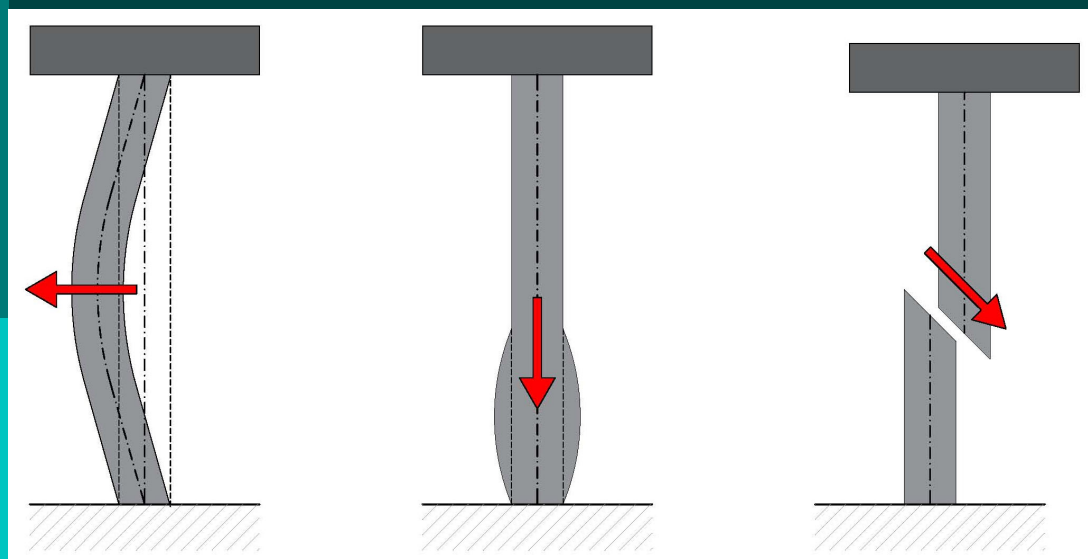
- proračunska načela i pravila primjene prvenstveno namijenjena građenju grednih mostova, oslonjenih na upornjake i vertikalne (približno vertikalne) stupove. Primjenjuje se i za lučne, okvirne i ovješene mostove.
- Nije primjeren za viseće mostove, mostove izražene zakrivljenosti, mostove velikog uzdužnog nagiba i mostove izražene skošenosti
- Kategorije mostova prema faktoru važnosti
- Seizmičko djelovanje određuje se preko računskog ubrzanja tla a_g koje odgovara povratnom periodu potresa od 475 godina.
- Primjenom metode spektralnog odgovora most se analizira odvojeno za oscilacije u uzdužnom, poprečnom i vertikalnom smjeru.

3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa



- Karakteristična oštećenja od potresa najbolje je prikazati kroz primjere mostova koji su se urušili ili oštetili uslijed djelovanja potresa.

3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa



Savijanje

Tlak

Posmik



SLOM STUPA

- Savijanje
- Tlak
- Posmik
- Kombinacija



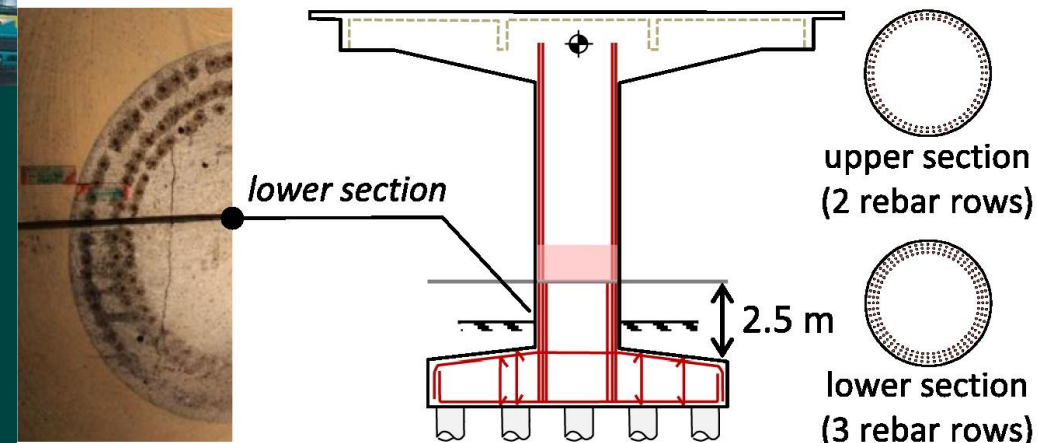
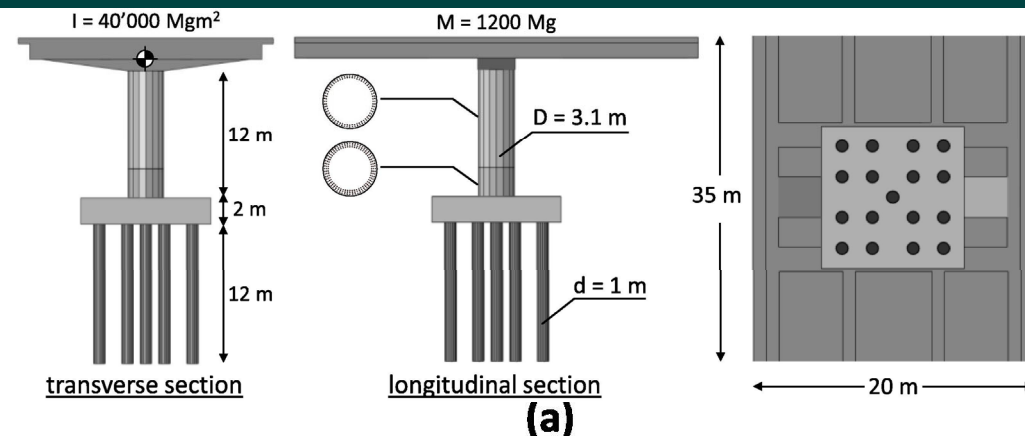
3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa



Most Fukae (Kobe 1995), $M=8,9$

- Izvedba mosta bez primjene seizmičkih propisa
- upeta veza između stupova i rasponskog sklopa
- stupovi visine 12,0 m i promjera 3,1 m
- oslanjanje stupova na grupe od 17 pilota
- urušavanje 18 raspona mosta
- posmični slom stupova

SLOM STUPA



Kratki stup → posmična vitkost
 $a_s = M / (V \times h) \approx l_s / (2 \times h) = 12 / (2 \times 3,12) = 1,93 < 2,5$

3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

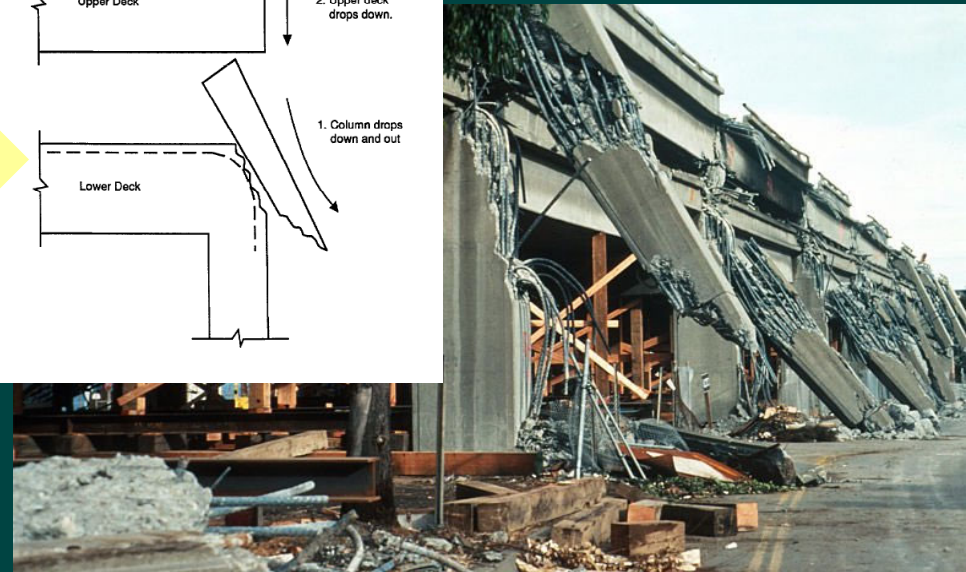
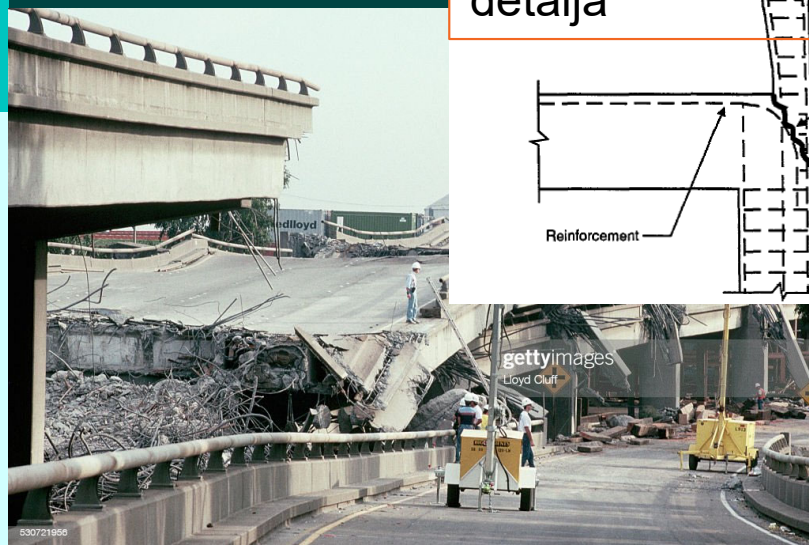
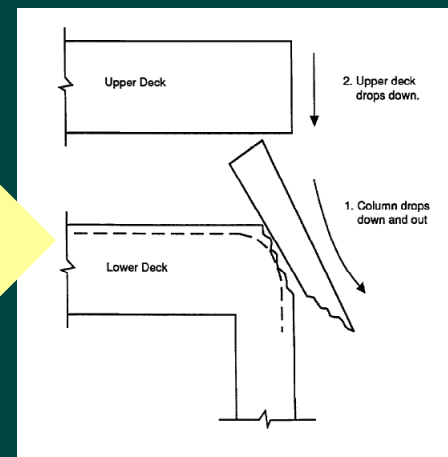
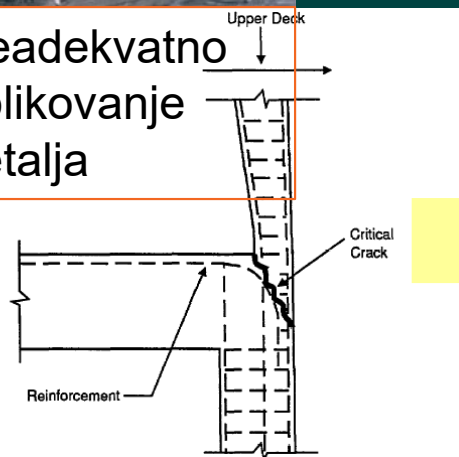
SLOM STUPA

Cypress Viaduct (Loma Prieta Earthquake)

- posmični slom stupova, pad etaža mosta
 - most građen prije primjene seizmičkih propisa
 - nedovoljne količine armature
 - ne seizmičko oblikovanje armature
- } krti lom stupova



Neadekvatno
oblikovanje
detalja



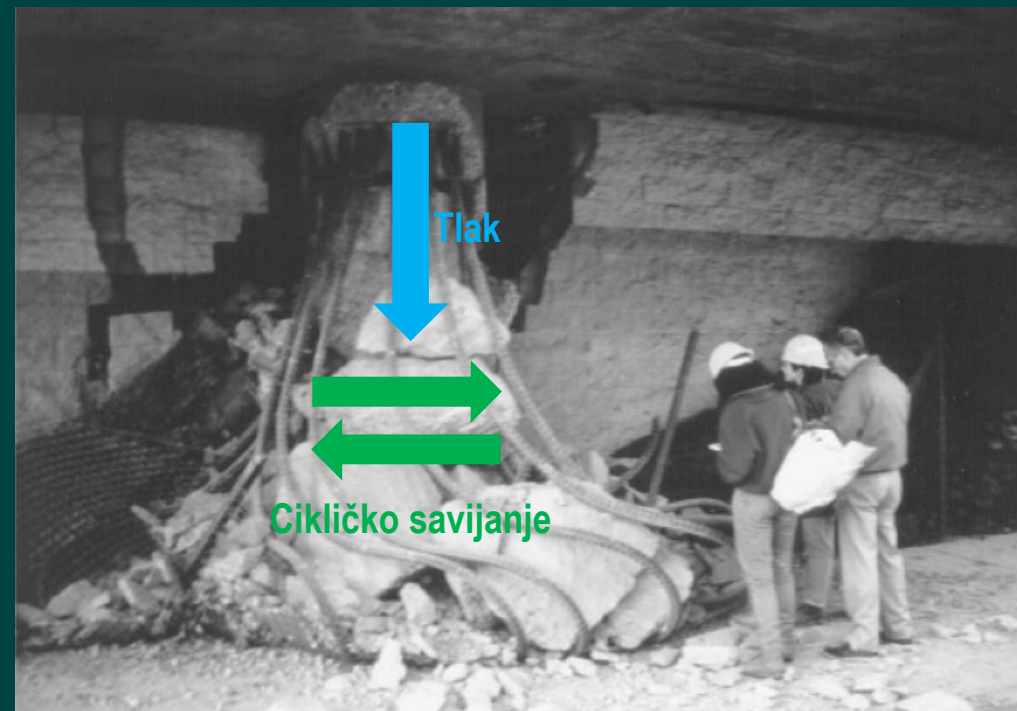
3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

SLOM STUPA

- Posmični slom stupa kod relativno malog pomaka konstrukcije



- posmični slom stupa s relativno malom količinom poprečne armature.
- cikličko poprečno opterećenje u kombinaciji s vertikalnim opterećenjem može dovesti do potpunog sloma stupa

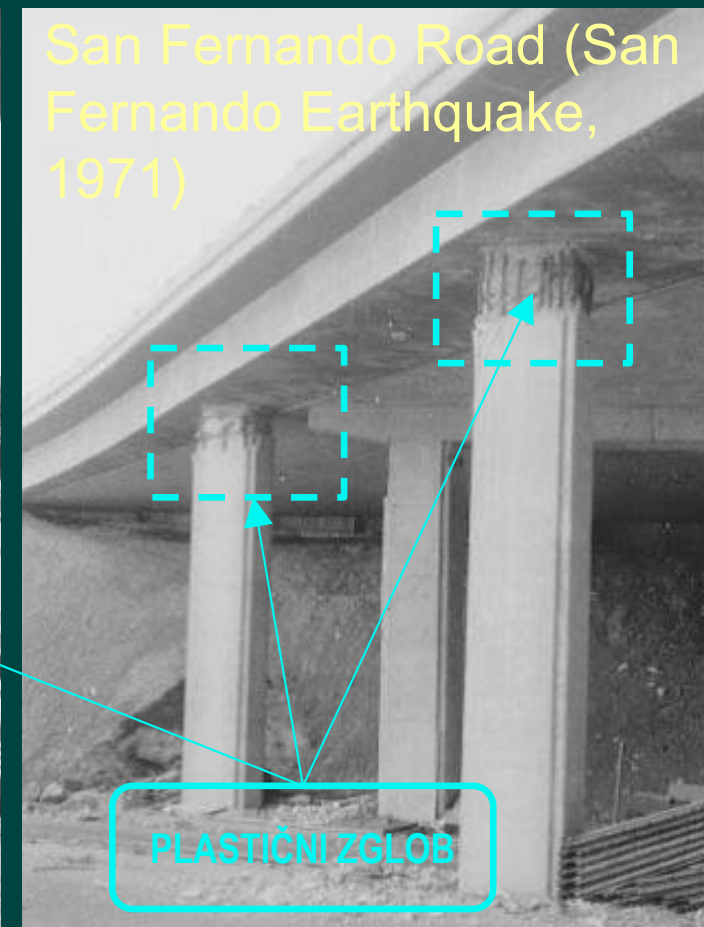
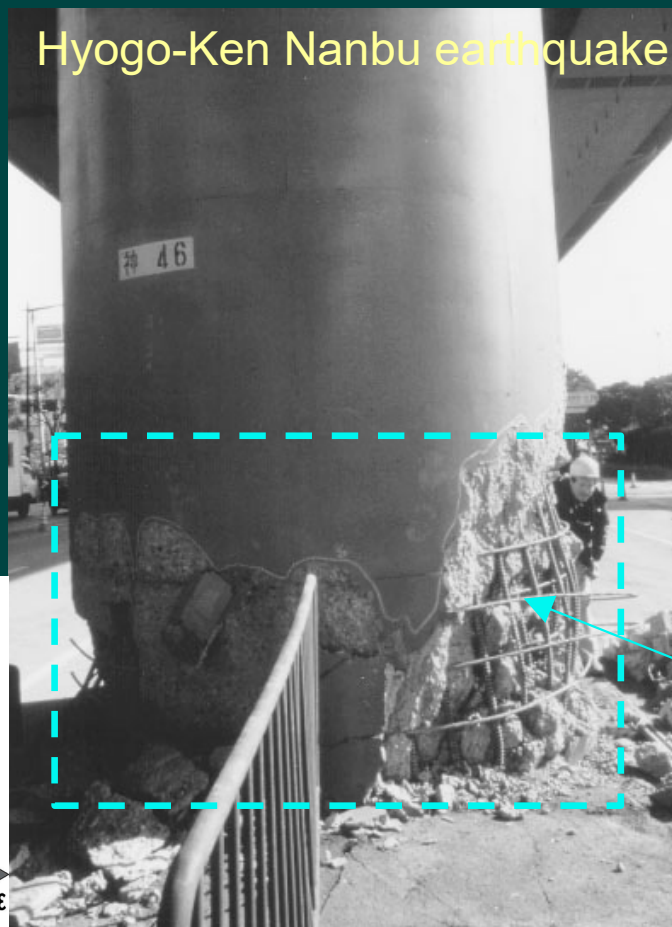
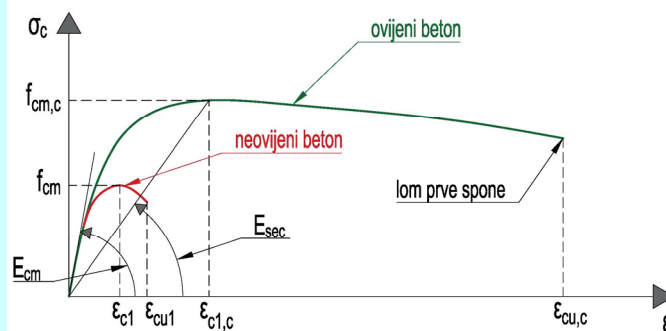


3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

- nedovoljna ovijenost jezgre presjeka područja plastičnog zgloba uzrokuje drobljenje betona stupa

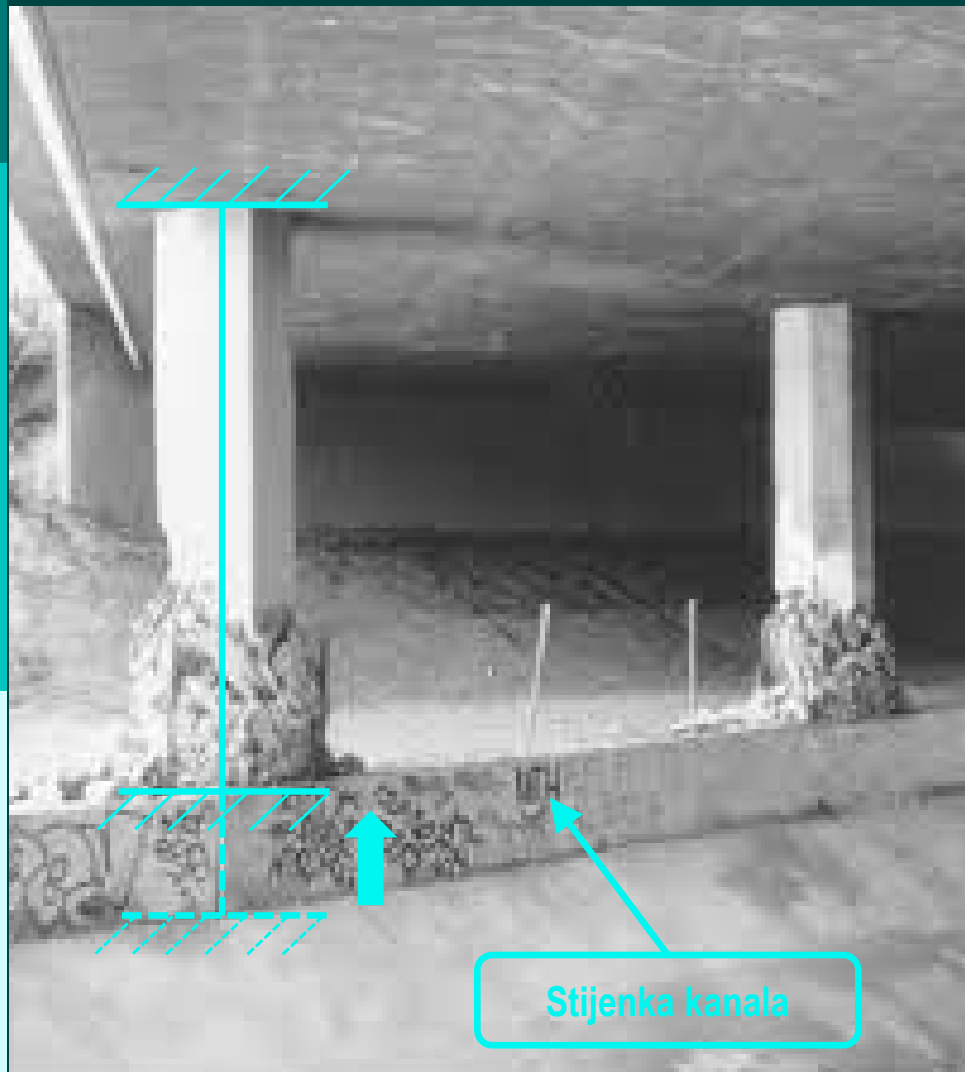
SLOM STUPA

- Ovijeni beton
- Neovijeni beton



3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

SLOM STUPA



- **ne konstrukcijski elementi** mogu smanjiti udaljenost između mjesta popuštanja kod savijanja i time povećati poprečno opterećenje što može izazvati posmični slom stupa.
- **arhitektonskim oblikovanjem** je ojačan gornji dio stupa.
- elementi koji nisu uzeti u obzir u trenutku proračuna stupa uzrokovali su gubitak nosivosti stupa



3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

URUŠAVANJE ČITAVOG MOSTA KAO POS LJEDICA SLOMA DONJEG USTROJA



Slom donjeg ustroja

Gaoliao
Bridge
Taiwan
 $M=6,8$



Slom nasipa prije
mosta

Slom donjeg ustroja

3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

Bridge collapses when magnitude 7.4 earthquake rocks central China



PAD RASPONA

- karakteristično za mostove s kratkim oslanjanjem rasponskog sklopa na donji ustroj i mostove sustava proste grede



Showa Bridge 1964
Niigata earthquake

Bay Bridge



Shi-wei bridge



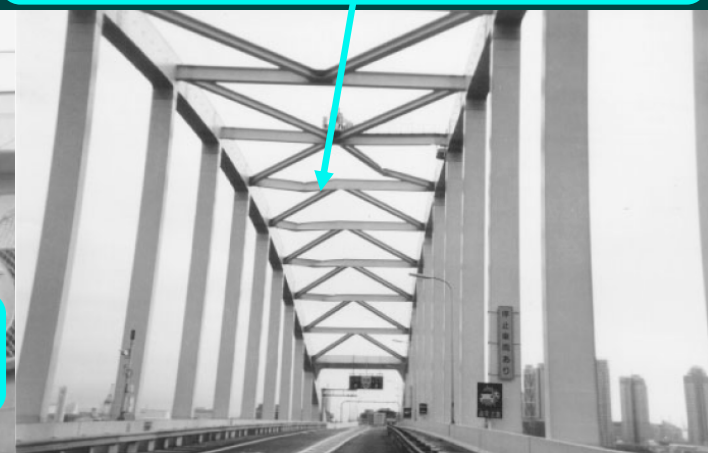
3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

OŠTEĆENJA RASPONSKOG SKLOPA

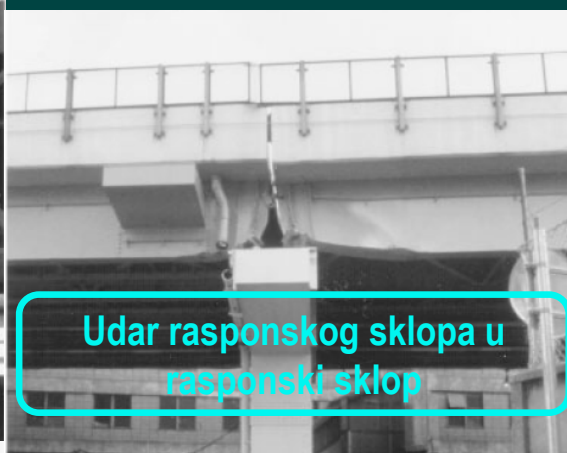
Izvijanje elemenata stabilizacijskog veza



Izvijanje elemenata stabilizacijskog veza



Udar rasponskog sklopa u rasponski sklop



Udar rasponskog sklopa u upornjak



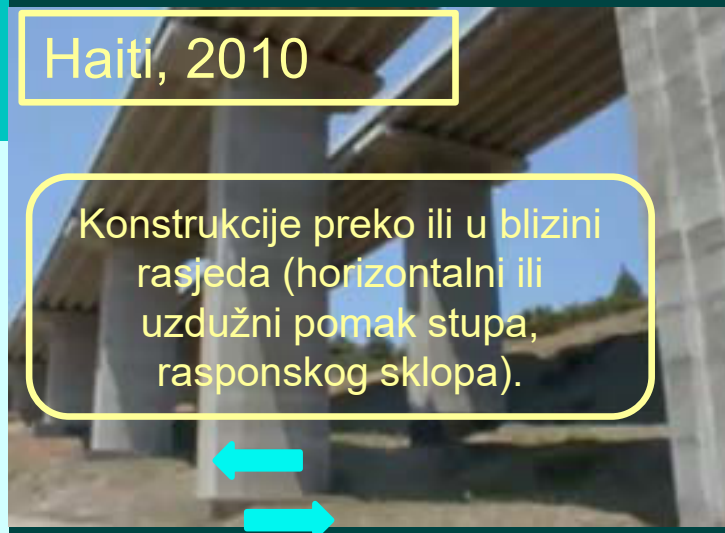
3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

GEOTEHNIČKI ASPEKTI SLOMA KONSTRUKCIJE MOSTA



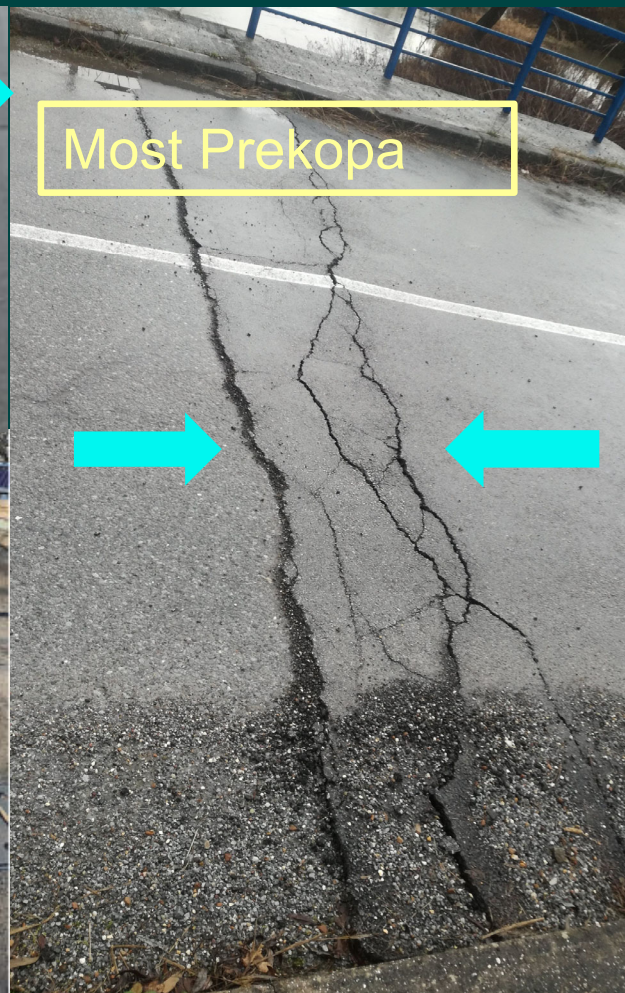
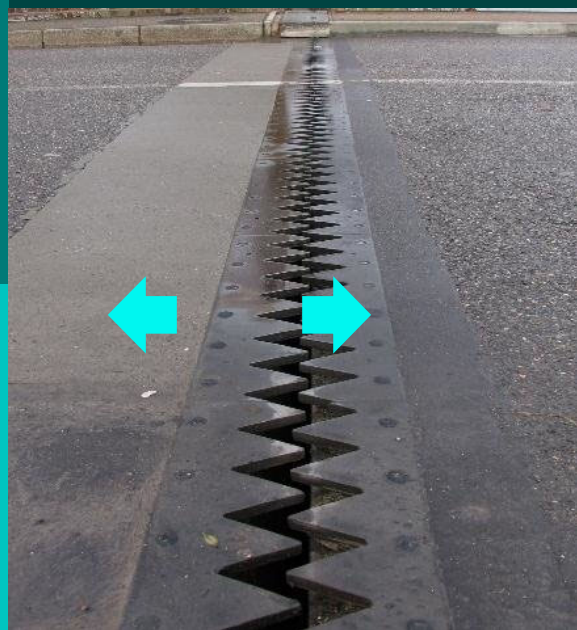
Haiti, 2010

Konstrukcije preko ili u blizini rasjeda (horizontalni ili uzdužni pomak stupa, rasponskog sklopa).



3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

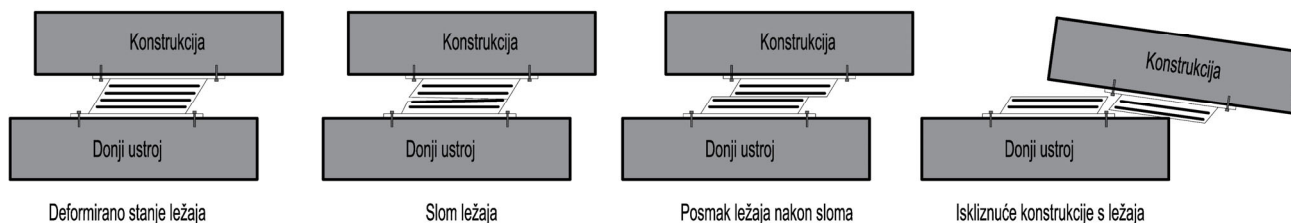
SLOM PRIJELAZNE NAPRAVE



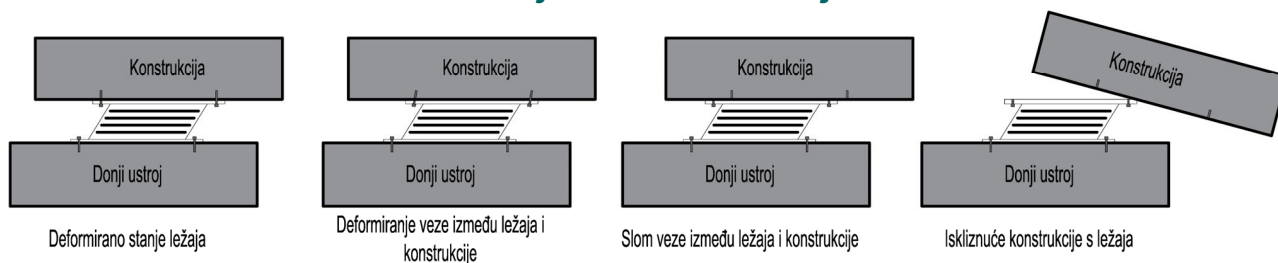
3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

- Mehanizmi sloma usidrenih ležajeva

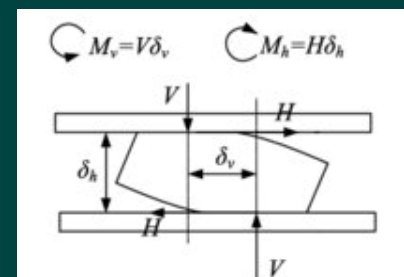
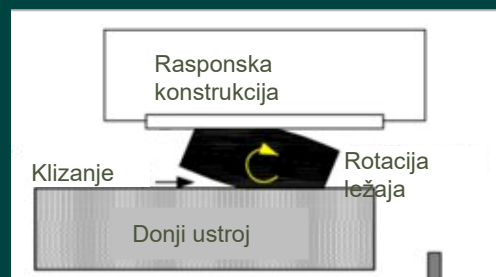
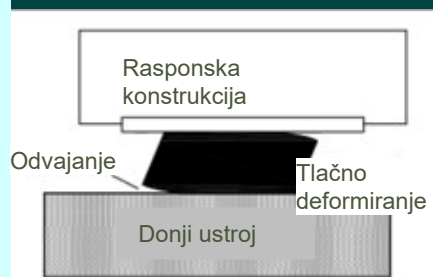
- Slom ležaja



- Slom veze između ležaja i konstrukcije



- Mehanizmi sloma neusidrenih ležajeva



OŠTEĆENJE ILI SLOM LEŽAJA

- Velike deformacije ležaja.
- Djelomični slom ležaja
- Slom ležaja i nekontrolirani posmični pomak
- Ispadanje konstrukcije s ležišta
- Deformacija sidrenih elemenata
- Slom sidrenih elemenata
- Rotacija neusidrenog ležaja
- Izvlačenje neusidrenog ležaja

3. Karakteristična oštećenja mostova od potresa

OŠTEĆENJE ILI SLOM LEŽAJA



Slom ležaja



Poprečni pomak konstrukcije i ispadanje s ležajne klupe



Poprečni pomak konstrukcije i slom graničnika



4. Brze ocjene mostova nakon potresa

Brzi ili inicijalni pregled mostova u hitnim situacijama nakon potresa daje se ocjena u pogledu sigurnosti za promet.

- A) Podaci o osobama koje vrše pregled mosta
- B) Podaci o mostu
- C) Opis oštećenja i stanja mosta nakon potresa
- D) Brza ocjena

SIGURAN ZA PROMET

POTREBAN DETALJAN PREGLED

- Uporabljiv samo za interventna vozila
- Privremeno neuporabljiv dok se ne izvrši detaljan pregled
- Privremeno neuporabljiv dok se ne izvrše privremene jednostavne mjere

NEUPORABLJIV

Grad Zagreb		Ured za upravljanje u hitnim situacijama		
Obrazac za brzi ili inicijalni pregled mostova u hitnoj situaciji nakon potresa				
A Podaci o pregledu i radnoj skupini				
Gradska četvrt:		Mjesni odbor :		
Broj obrasca:		Oznaka radne skupine:		
Voditelj radne skupine:				
Datum pregleda:		Potpis ispitivača:		
B Identifikacija mosta				
Ime mosta:		GPS koordinate:		
Adresa/oznaka prometnice/dionica/stacionaža:				
Postoje li obilazni putevi: ☐ DA ☐ NE				
Važnost prometnog pravca : ☐ VELIKA ☐ UMJERENA ☐ MALA ☐ NE MOGU PROCIJENITI				
C Opis oštećenja i stanja mosta uslijed potresa [označiti DA, NE ili PDP (potreban detaljan pregled)]				
	DA	NE	PDP	
1. Rušenje/djelomično rušenje/zatvorena prometnica	☐	☐	☐	
2. Oštećenja rasponskog sklopa: pomaci, sudaranje, izvijanje, pukotine, slom	☐	☐	☐	
3. Oštećenja donjeg ustroja: posmična veza, lokalno izbočivanje, slijeganje, naginjanje, klizanje, rotacija, pukotine, slom	☐	☐	☐	
4. Oštećenja ležajeva: slom, pomaci, odrez ili izvlačenje vijaka	☐	☐	☐	
5. Problemi s tlom: slom nasipa, likvefakcija, rasjedi, diferencijalna slijeganja	☐	☐	☐	
6. Oštećenja sekundarne konstrukcije: krila upornjaka, parapetni zid	☐	☐	☐	
7. Ostalo:	☐	☐	☐	
D Brza ocjena				
☐ siguran za promet	☐ potreban detaljni pregled/privremene jednostavne mjere			☐ neuporabljiv (zatvoriti za promet)
	☐ uporabljiv samo za interventna vozila*	☐ privremeno neuporabljiv dok se ne izvrši detaljni pregled*	☐ privremeno neuporabljiv dok se ne izvrše privremene jednostavne mjere	

4. Brze ocjene mostova nakon potresa

Grad Zagreb		Ured za upravljanje u hitnim situacijama	
Obrazac za detaljni pregled mostova u hitnoj situaciji nakon potresa			
A Podaci o pregledu i radnoj skupini			
Gradska četvrt:		Mjesni odbor:	
Broj obrasca:		Oznaka radne skupine:	
Voditelj radne skupine:			
Datum pregleda:		Potpis ispitivača:	
B Opći podaci			
Ime mosta:		GPS koordinate:	
Adresa/oznaka prometnice/dionica/stacionaža:			
Tko gospodari mostom: ☐ ZGH-Zagrebačke ceste ☐ HAC ☐ HŽ ☐ ne znam ☐ ostalo* *Opis:			
Vrsta prometa: ☐ CESTOVNI ☐ ŽELJEznički ☐ PJEŠAČKI ☐ ostalo* *Opis:			
Postoje li obilazni putevi: ☐ DA ☐ NE Važnost prometnog pravca: ☐ VELIKA ☐ UMJERENA ☐ MALA ☐ NE ZNAM			
Važnost mosta: ☐ VELIKA ☐ UOBICAJENA Godina izgradnje: Ukupna duljina [m]: Ukupna širina [m]:			
Ravnost u tlocrtu: ☐ RAVAN ☐ KOS ☐ ZAKRIVLJEN Geometrija: ☐ PRAVILNA ☐ NEPRAVILNA* *Opis:			
C Opis mosta			
Broj zasebnih cjelina:		Opis:	
Tip mosta: ☐ GREDNI ☐ OKVIR/RAZUPORA ☐ LUČNI ☐ ZAVJEŠENI ☐ VISEĆI ☐ OSTALO*			
Materijal: ☐ AB ☐ PB ☐ ČELIK ☐ SPREGNUTI ☐ DRVO ☐ KAMEN ☐ OPEKA ☐ OSTALO*			
Glavni nosivi sustav: ☐ PLOČA ☐ REBRASTI ☐ PUNOSTIJENI ☐ REŠETKASTI ☐ SANDUČASTI ☐ OSTALO*			
Broj raspona: Duljine raspona [m]:			
Kontinuirani rasponski sklop: ☐ DA ☐ NE Zglobovi unutar raspona: ☐ DA* ☐ NE *Položaj u rasponima:			
Materijal i tip stupišta:			
Materijal i tip upornjaka:			
Temeljenje: ☐ PLITKO ☐ PILOTI ☐ BUNARI ☐ NE ZNAM ☐ OSTALO*			
Tip ležajeva: ☐ ELASTOMERNI ☐ VALJKASTI ☐ SFERNI ☐ LONČASTI ☐ TOČKASTI ☐ LINIJSKI ☐ IZOLACIJA/PRIGUŠENJE ☐ OSTALO*			
Gradivo: ☐ BETONSKI ☐ ČELIČNI ☐ ELASTOMERNI ☐ OSTALO* *Opis:			
Pomičnost: ☐ DEFORMABILNI ☐ NEPOMIČNI ☐ POMIČNI ☐ OSTALO* *Opis:			
Stanje mosta prije potresa: ☐ ODRŽAVAN ☐ NEDOVOLJNO ODRŽAVAN ☐ U VRLO LOŠEM STANJU ☐ SEIZMIČKI OBNOVLJAN			
Skica uzdužnog i poprečnog presjeka: (ako se most sastoji od više dijelova, npr. prilazi, središnji dio, prilazi, označiti)			
D Opasnost od vanjskih utjecaja			
1	Rušenje ili otpadanje dijelova drugih konstrukcija	☐ Za građevinu ☐ Za prilazni put	☐ Nema
2	Slijeganje temelja	☐ Postojeće ☐ Pojačano potresom ☐ Uzrokovano potresom	☐ Nema
3	Klizanje	☐ Postojeće ☐ Pojačano potresom ☐ Uzrokovano potresom	☐ Nema

E Oštećenja						
Cjelokupna ocjena oštećenja: ☐ NEMA ☐ BLAGA OŠTEĆENJA ☐ UMJERENA OŠTEĆENJA ☐ TEŠKA OŠTEĆENJA ☐ URUŠAVANJE						
Opis zapaženog:						
Prilazni dijelovi: ☐ nisu u funkciji ☐ slijeganje kolnika ☐ gubitak oslonca ☐ veliki poprečni pomaci ☐ nema oštećenja ☐ ostalo (opisati):						
Dio konstrukcije		OPIS OŠTEĆENJA	VRLO TEŠKO	UMJERENO - TEŠKO	BLAGO	NEZNATNO/NEMA
1 Geotehnička						
Slom nasipa			☐			☐
Likvefakcija			☐			☐
Poprečno širenje nasipa			☐			☐
Otvaranje razjeda			☐			☐
Slijeganje prilaznih dijelova			☐			☐
Drugo			☐	☐	☐	☐
2 Temeljna konstrukcija						
Vidljiva oštećenja ili pomaci			☐	☐	☐	☐
Drugo			☐	☐	☐	☐
3 Rasponski sklop						
Horizontalni pomak			☐	☐	☐	☐
Rušenje raspona			☐			☐
Raspon djelomično pao s oslonca			☐			☐
Deformacije dijagonalni ili bočnih stupova			☐	☐	☐	☐
Oštećenje primarnih nosivih elemenata			☐	☐	☐	☐
Pukotine i oštećenja kolničke ploče			☐	☐	☐	☐
Oštećenja kritičnih elemenata (zglob, vješalici, zatega...)			☐	☐	☐	☐
Dislokacija ograde ili odbojnika			☐	☐	☐	☐
Oštećenje vodova, rasvjetje...			☐	☐	☐	☐
Drugo			☐	☐	☐	☐
4 Donji ustroj						
STUPOVI						
Odlamanje betona na stupovima			☐	☐	☐	☐
Plastično popuštanje stupova			☐			☐
Posmični slom			☐			☐
Izvlačenje armature			☐			☐
Oštećenje naglavica			☐	☐	☐	☐
UPORNIJACI						
Pomaci ili oštećenja upornjaka, potpornih zidova, krila			☐	☐	☐	☐
Oštećenja čelika, betona...			☐	☐	☐	☐
Naginjanje			☐			☐
Drugo			☐	☐	☐	☐
5 Spojevi i ležajevi						
Prevrtanje			☐			☐
Velike deformacije ili pomaci			☐	☐	☐	☐
Slomljeni ili oštećeni sidreni vijci			☐	☐	☐	☐
Oštećen spoj ili spoj koji više ne vrši svoju funkciju			☐	☐	☐	☐
Drugo			☐	☐	☐	☐
6 Oštećenja vodova						
Puknuće vodovodnih cijevi			☐			☐
Puknuće plinovoda ili vodova drugih zapaljivih tvari			☐			☐

F VJEROJATNI UZROK NEŽELJENOG PONAŠANJA				
Nejasno		☐	opaske:	
Loše stanje (npr. korozija)		☐		
Diskontinuitet armature (nedovoljan preklap)		☐		
Slijeganje tla/pomaci		☐		
Nedovoljna armatura za ovijanje		☐		
Nestabilnost ležajeva		☐		
Nedovoljan posmični kapacitet		☐		
Nedovoljna duljina naliježanja		☐		
Nedostatak kontinuiteta		☐		
Nedostatak zaliha nosivosti konstruktivnog sustava		☐		
Velika kosina u tlocrtu		☐		
Potresno djelovanje nije razmatrano pri proračunu		☐		
Mjere ojačanja se nisu pokazale dobrima		☐		
Sekundarna opasnost (podlokavanje, požar, ...)		☐		
Nedostaci čelika zbog zamora u uporabi		☐		
Odizanje sklopa		☐		
Različite visine stupova (drugačije krutosti)		☐		
G DALJNI KORACI				
MJERE			razlog/opis	
Zahtjev za popravkom		☐		
Preporuke		☐		
Potrebna dodatna specijalistička istraživanja		☐		
posebna istraživanja i proračun		☐		
detalji popravka i ojačanja		☐		
dodatna geotehnička istraživanja i proračun		☐		
Potreban monitoring		☐		
H Ocjena uporabljivosti				
☐ siguran za promet	☐ potreban specijalistički pregled/privremene mjere			☐ neuporabljiv (zatvoriti za promet)
	☐ uporabljiv samo za interventna vozila*	☐ privremeno neuporabljiv dok se ne izvrši specijalistički pregled	☐ privremeno neuporabljiv dok se ne izvrše privremene mjere	
I Ostala opažanja i napomene				

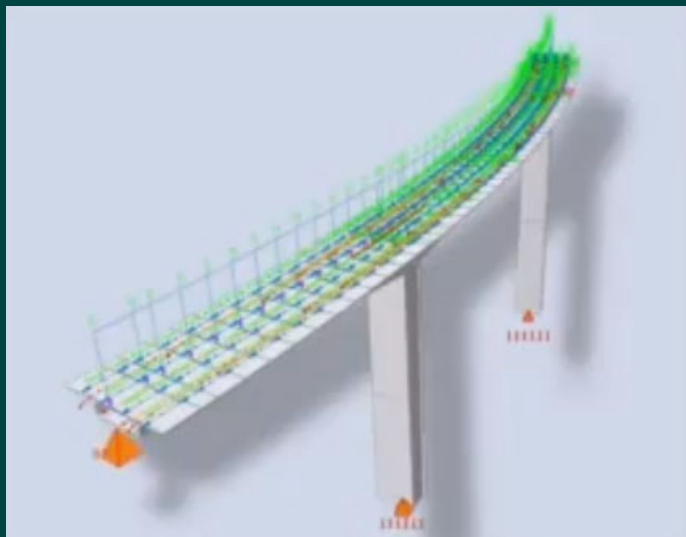
5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

1

LINEARNI STATIČKI PRORAČUN

Metoda proračuna
bočnih sila

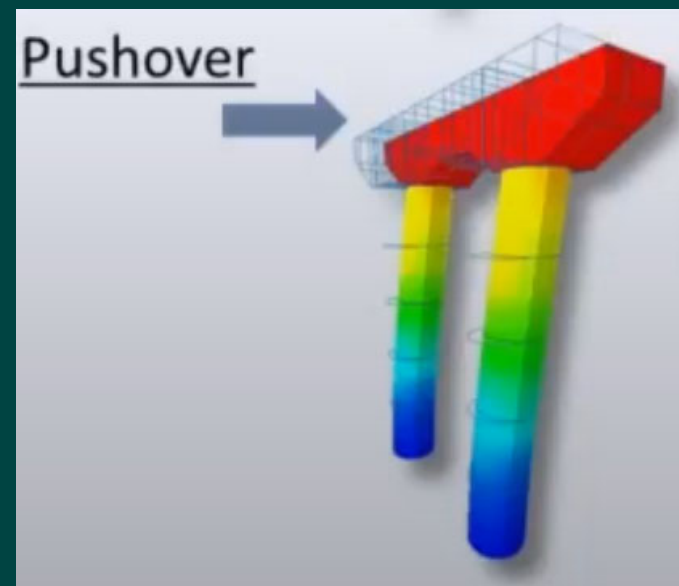
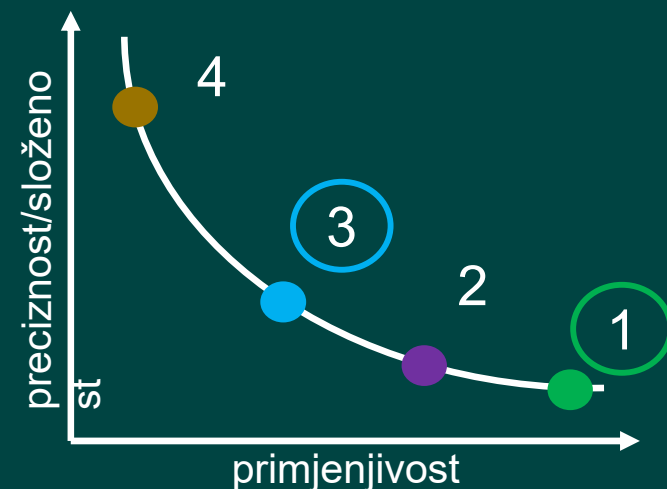


3

NELINEARNI STATIČKI PRORAČUN

Postupno guranje
(pushover)

- Pojednostavljena metoda
- Određene pogreške
- Nedostatak učinka ovisnih o vremenu
- Otkrivanje kritičnih područja s mogućim velikim neelastičnim deformacijama
- Određivanje nepravilnosti u rasporedu krutosti (tlocrtno i po visini)
- Procjena potrebne sile u potencijalno krhkim elementima
- Predviđanje slijeda popuštanja i/ili sloma konstrukcijskog elementa



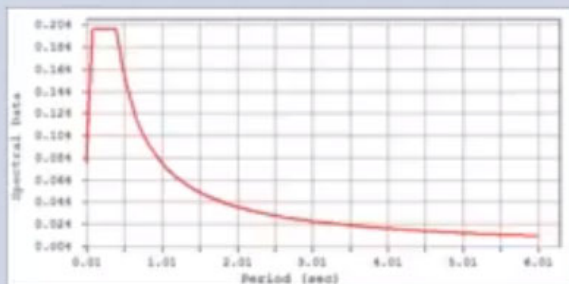
5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

2

LINEARNI DINAMIČKI VIŠEMODALNI PRORAČUN

Metoda proračuna
primjenom spektra
odziva

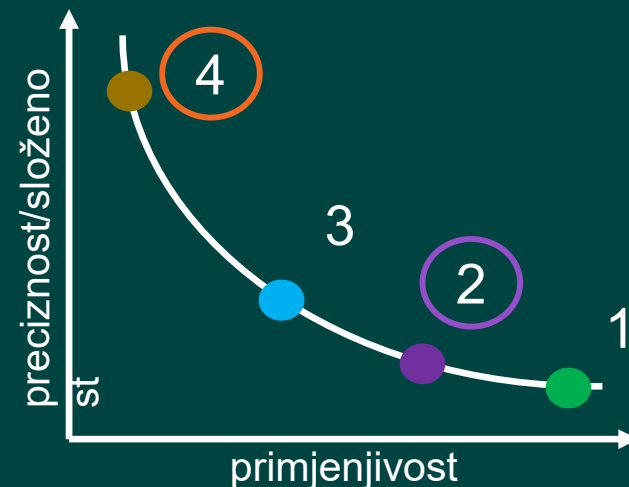


4

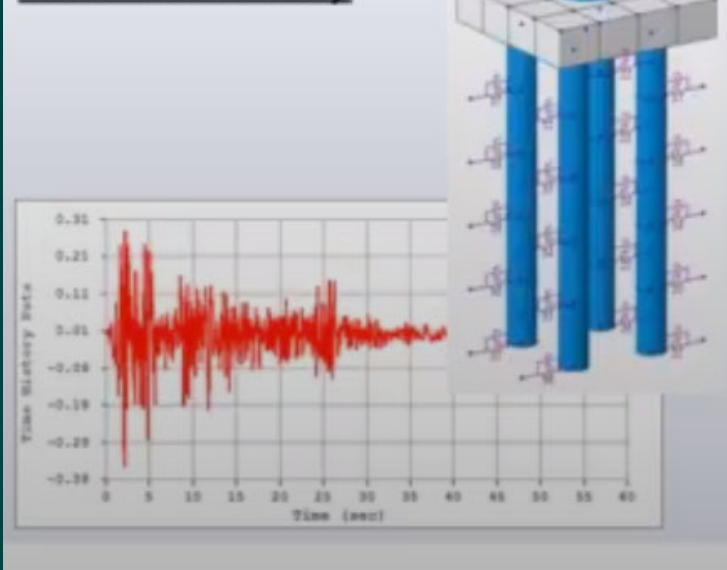
NELINEARNI DINAMIČKI PRORAČUN

Nelinearni proračun
primjenom
vremenskog zapisa
(time-history)

- Najtočnija metoda za dobivanje odziva konstrukcije na seizmičko djelovanje
- Zahtjeva podloge u obliku pomaka tla na točno određenoj lokaciji usklađene sa seizmičkim spektrom
- Složene računalne programe
- Specijalistička znanja



Time History



5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

LINEARNI STATIČKI PRORAČUN

Metoda proračuna bočnih sila

- Metoda proračuna bočnih sila je linearno statički proračun primjenom ekvivalentnog statičkog djelovanja.
- Inercijalna sila mase elementa:

$$F_h = k_h \times d \times \gamma$$

- Potresni koeficijent za pripadni smjer

$$k_h = \frac{\alpha \times S}{r}$$

- r – faktor redukcije za potresni koeficijent (za krute konstrukcije, upornjake $r=1,0$)
- S – modificirani faktor tla
- Primjena ove metode u konstrukcijama mostova isključivo samo za proračun upornjaka i potpornih zidova

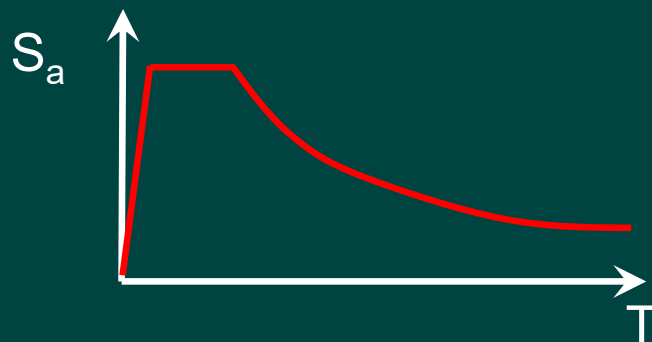
5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

LINEARNI DINAMIČKI VIŠEMODALNI PRORAČUN

Metoda proračuna primjenom spektra odziva

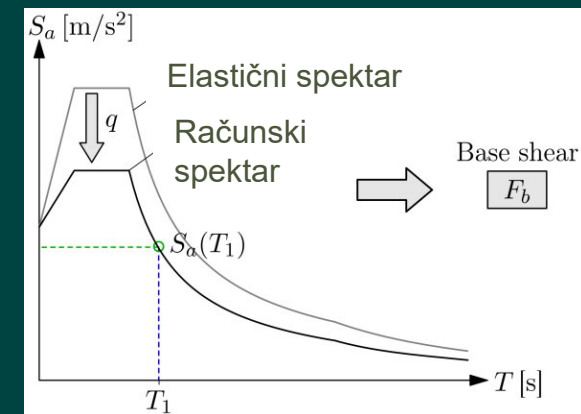
- Zbog svoje jednostavnosti i pristupačnosti **zauzima glavno mjesto u inženjerskoj praksi.**
- dinamički je proračun prema linearnoj teoriji primjenom projektnog spektra, koji se dobije na način da se vrijednosti prosječnog elastičnog spektra odziva podijele s **faktorom ponašanja q .**
- potresna djelovanja q -puta manja od onih kada je odziv konstrukcije u elastičnom području.



- Duktilno ponašanje mosta $q=1,5-3,5$
- Ograničeno duktilno ponašanje $q \leq 1,5$

Nedostaci:

- Vrijednosti faktora ponašanja su približne i ne predstavljaju nužno konkretnu konstrukciju
- Metoda ne poznaje preraspodjelu sila i deformacija kad konstrukcija uđe u nelinearno područje
- Mehanizam sloma nije moguće predvidjeti elastičnom preraspodjelom sila i deformacija
- Nema sličnosti između deformacija u neelastičnom području i onih u elastičnom području.



5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

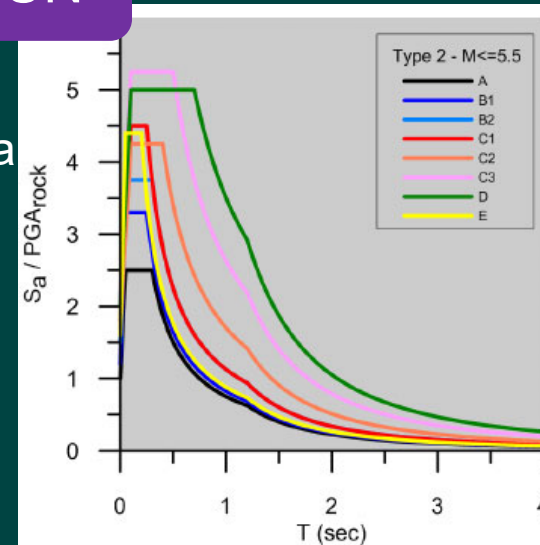
METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

LINEARNI DINAMIČKI PRORAČUN

Metoda proračuna primjenom spektra odziva

Utjecaj kategorije tla na spektar odziva

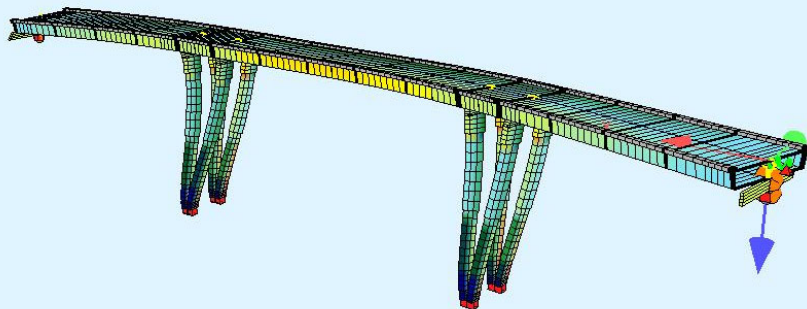
HRN-EN-1998-2:2008
90% aktivirane mase



Ton osciliranja Br.	LC	Svojevredna vrijednost [1/sec ²]	Relativna greška	Omega [1/sec]	Frekvencija [Hertz]	Period [sec]	Prigušenje D[%]	Udio aktivne mase u smjeru		
								f-XX [%]	f-YY [%]	f-ZZ [%]
1	2001	2.68E+02	0.00E+00	16.377	2.606	0.384	0	1.4	78.1	0
2	2002	6.99E+02	0.00E+00	26.445	4.209	0.238	0	10.1	0.1	0
3	2003	7.03E+02	0.00E+00	26.521	4.221	0.237	0	0	0	0
4	2004	7.04E+02	0.00E+00	26.542	4.224	0.237	0	1.4	0	0
5	2005	7.06E+02	0.00E+00	26.562	4.227	0.237	0	0	0	0
6	2006	7.23E+02	0.00E+00	26.895	4.281	0.234	0	6	0	0
7	2007	7.25E+02	0.00E+00	26.935	4.287	0.233	0	0	0	0
8	2008	7.26E+02	0.00E+00	26.944	4.288	0.233	0	0.2	0	0
9	2009	7.28E+02	0.00E+00	26.978	4.294	0.233	0	0	0	0
10	2010	9.42E+02	0.00E+00	30.695	4.885	0.205	0	0.1	0	15
11	2011	1.84E+03	0.00E+00	42.842	6.819	0.147	0	10.9	0.2	4
12	2012	2.14E+03	0.00E+00	46.261	7.363	0.136	0	0.2	0	34
13	2013	2.64E+03	0.00E+00	51.342	8.171	0.122	0	0.9	0	0
14	2014	4.41E+03	0.00E+00	66.435	10.573	0.095	0	47.6	0.3	0
15	2015	4.67E+03	0.00E+00	68.329	10.875	0.092	0	6	1.4	0
16	2016	7.33E+03	0.00E+00	85.605	13.624	0.073	0	0.1	0.1	0

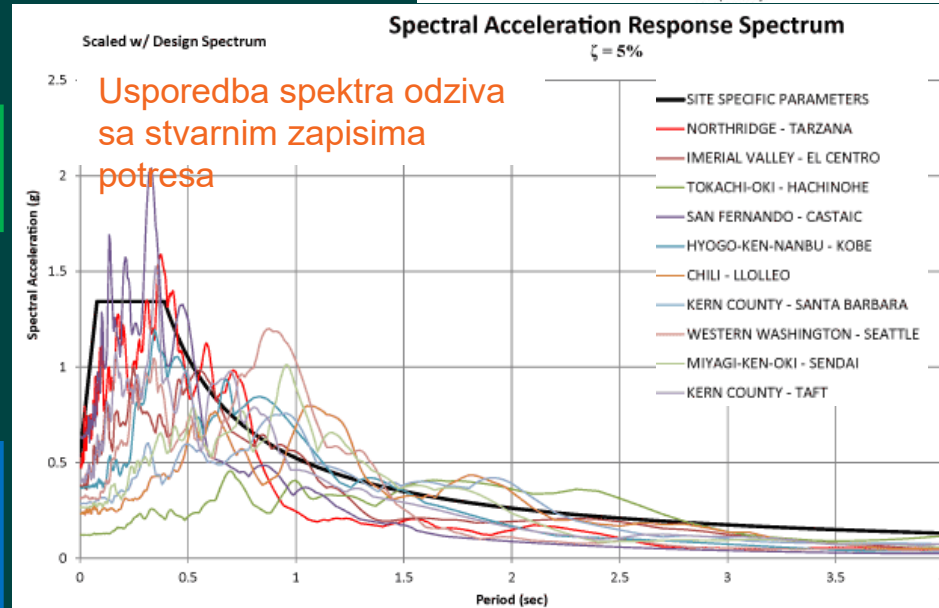
Dominantan poprečni ton

Dominantan uzdužni ton



48	2048	6.71E+04	2.60E-08	259.1	41.237	0.024	0	0	0.2	0
49	2049	6.86E+04	1.82E-03	261.909	41.684	0.024	0	0	0	0
50	2050	6.87E+04	5.57E-03	262.05	41.707	0.024	0	0	0	0
Ukupno							94	89.2	92.8	

Ukupno aktivirana masa



Usporedba spektra odziva sa stvarnim zapisima potresa

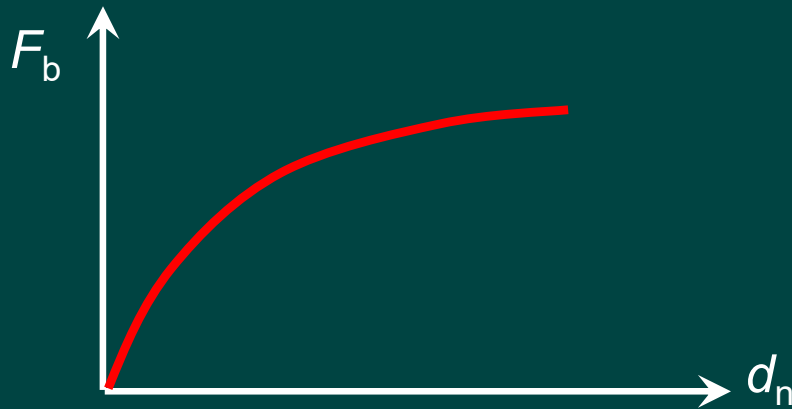
5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

NELINEARNI STATIČKI PRORAČUN

Postupno guranje (pushover)

- Metoda se temelji na pomacima
- **Primjena na deformabilnim konstrukcije s duktilnim nosivim elementima**
- Neduktilni slom elemenata nije dopustiv
- Najčešća primjena ove metode kod mostova je **ocjena na horizontalno potresno djelovanje**
- Iterativni postupak rješavanja statičke jednadžbe ravnoteže (obnavljanje matrice krutosti u svakom koraku)
- Rezultat metode postupnog guranja je **nelinearna krivulja odnosa sile** (poprečna sila na dnu) i **pomaka** (na vrhu) konstrukcije
- Ova krivulja istodobno daje podatke o **nosivosti, duktilnosti i krutosti** konstrukcije



- **Nelinearna metoda postupnog guranja N2** primijenjena za mostove kod kojih je dominantan jedan oblik osciliranja (više od 80% raspodjele mase u dominantnom tonu).
- Primjena ove metode kod manjih i jednostavnijih mostova (nije primjerena za konstrukcije složene krutosti i raspodjele mase).
- **Višemodalna metoda postupnog guranja MPA** koja pokriva više oblika oscilacija konstrukcija
- Primjena ove metode kod dužih i složenijih mostova.

5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

NELINEARNI STATIČKI PRORAČUN

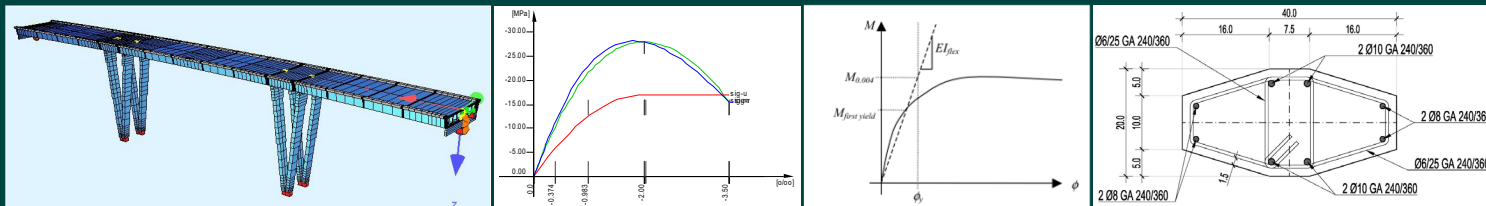
Koraci proračuna

Postupno guranje (pushover)

1.

Podaci o konstrukciji (model, potresno opterećenje):

- Geometrija konstrukcije, presjeci, konstitutivni zakoni, **odnos moment rotacija** (plastični zglobovi)
- Seizmički zahtjevi u obliku elastičnog spektra ubrzanja



2.

Seizmičko opterećenje u AD formatu – nelinearni spektar u formatu **ubrzanje/pomak**

- Odrediti elastični spektar

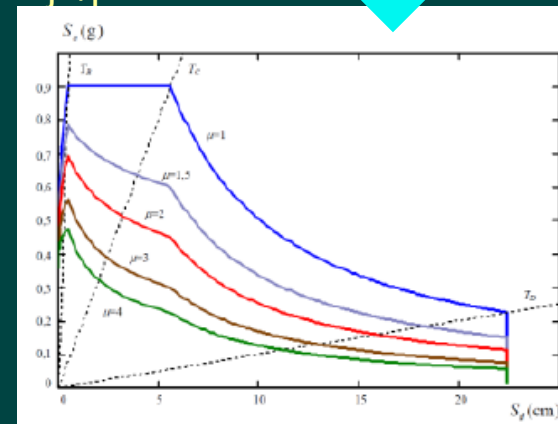
$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} \cdot S_{ai}$$

- Odrediti neelastični spektar za konstantne vrijednosti duktilnosti

$$S_a = \frac{S_{ae}}{R_\mu} \quad S_d = (\mu/R_\mu) S_{de} = \mu(T^2/4\pi^2) S_a$$

- μ – faktor duktilnosti (maksimalni pomak/pomak na granici tečenja)

R_μ - red. faktor zbog duktilnosti ($\mu-1$) $T/T_c + 1$ za $T < T_c$; μ za $T \geq T_c$



5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

NELINEARNI STATIČKI PRORAČUN

Koraci proračuna

Postupno guranje (pushover)

3.

Proračun postupnim guranjem:

- Odabir raspodjele horizontalnog opterećenja
 - Jednolika raspodjela duž rasponske konstrukcije $\zeta_i = 1$ i linearna raspodjela za stupove $\zeta_i = \frac{z_i}{z_p}$

Rasponski sklop

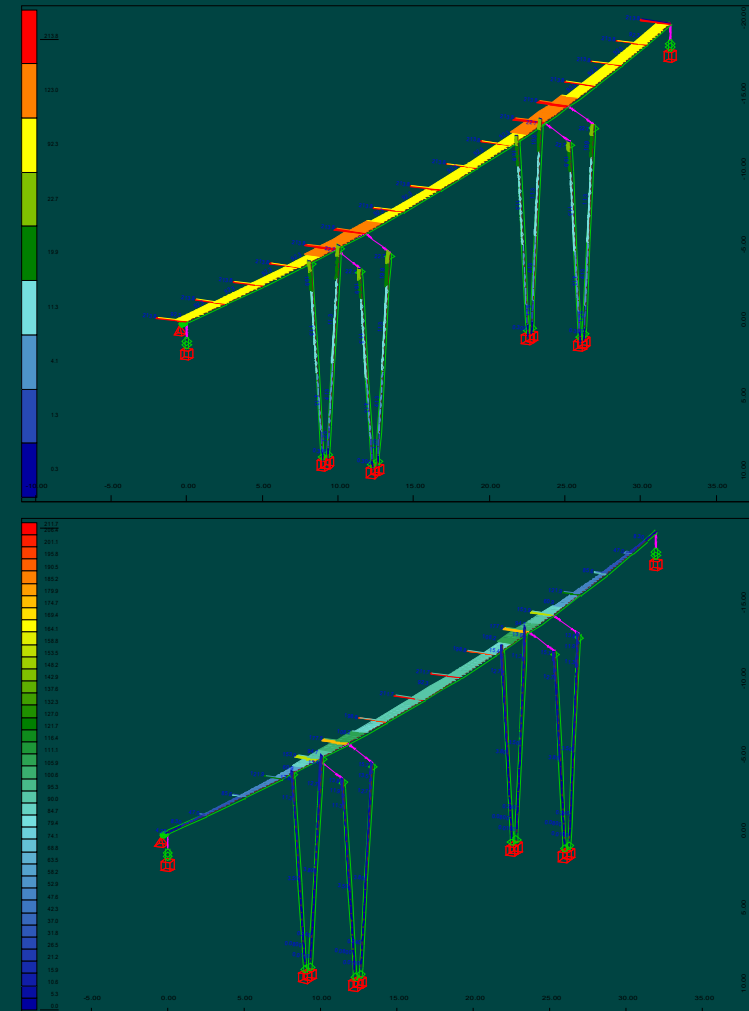
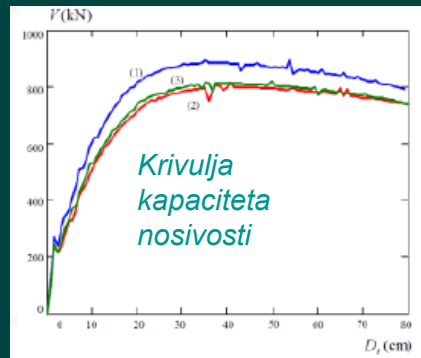
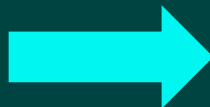


Stup

- Modalna raspodjela proporcionalna dominantnom obliku osciliranja za pojedini smjer mosta –odabir dominantnog tona



Nelinearni proračun
konstrukcije (materijalna i
geometrijska nelinearnost)



5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

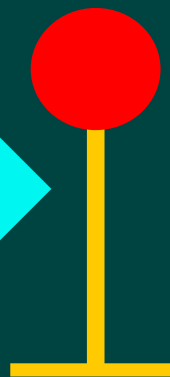
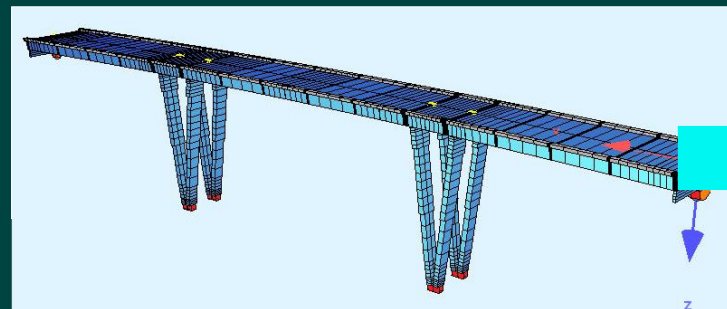
NELINEARNI STATIČKI PRORAČUN

Koraci proračuna

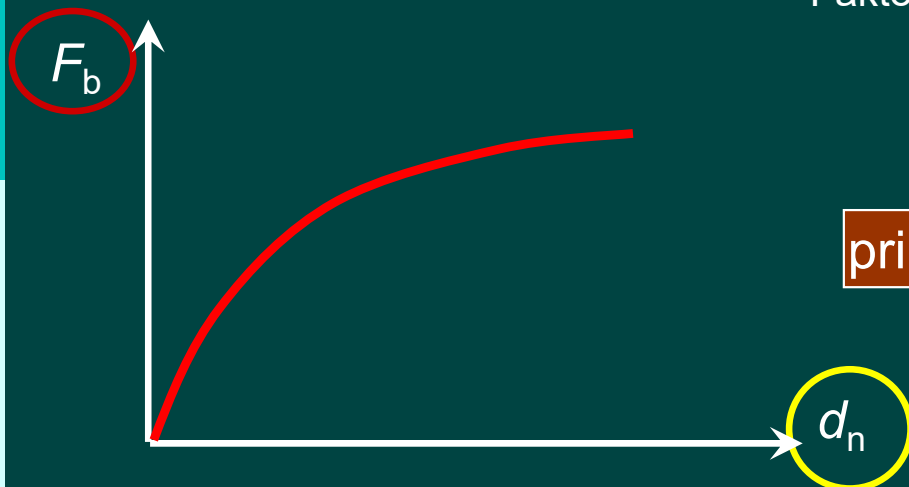
Postupno guranje (pushover)

4. Ekvivalentni model SDOF-transformacija sustava MDOF u sustav SDOF (sustav s jednim stupnjem slobode)

$$\Gamma = \sum m_i \phi_i / \sum m_i \phi_i^2 = m^* / \sum m_i \phi_i^2$$



Elastoplastična idealizacija



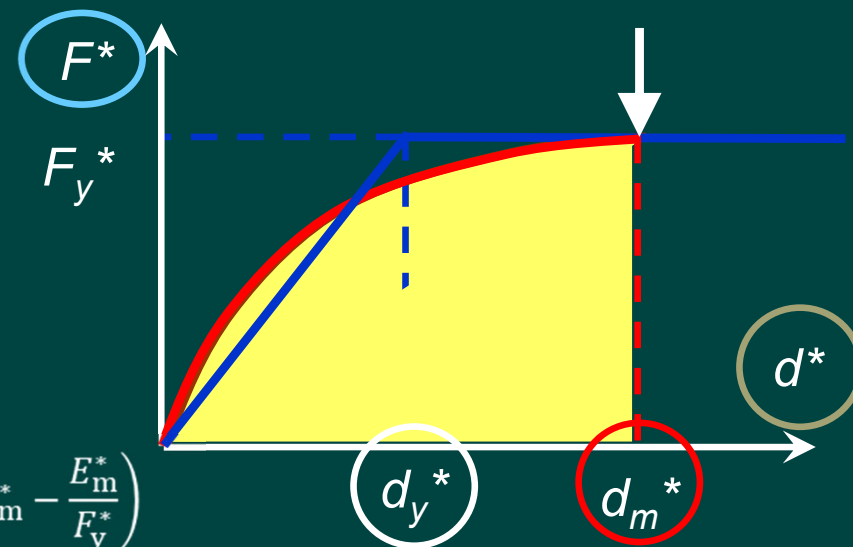
Faktor duktilnosti

$$\mu = \frac{d_m^*}{d_y^*}$$

prikladnije

$$d_y^* = 2 \left(d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$$

Plastični mehanizam



5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

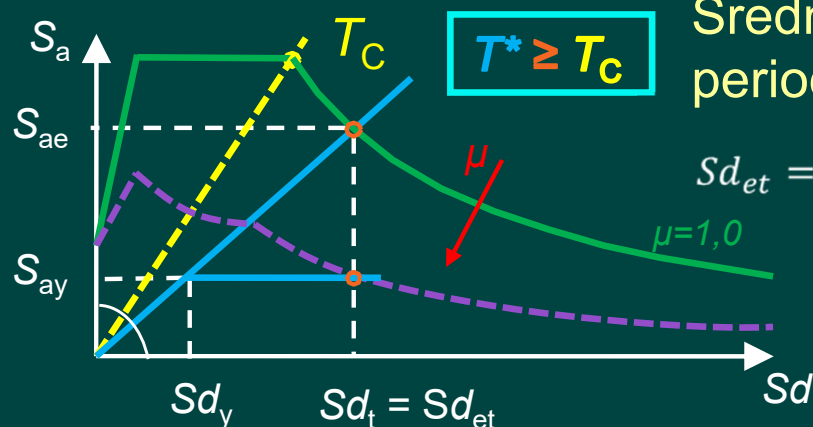
METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

NELINEARNI STATIČKI PRORAČUN

Koraci proračuna

Postupno guranje (pushover)

5. Seizmički zahtjevi model s jednim stupnjem slobode:



Srednji ili dugi period titranja

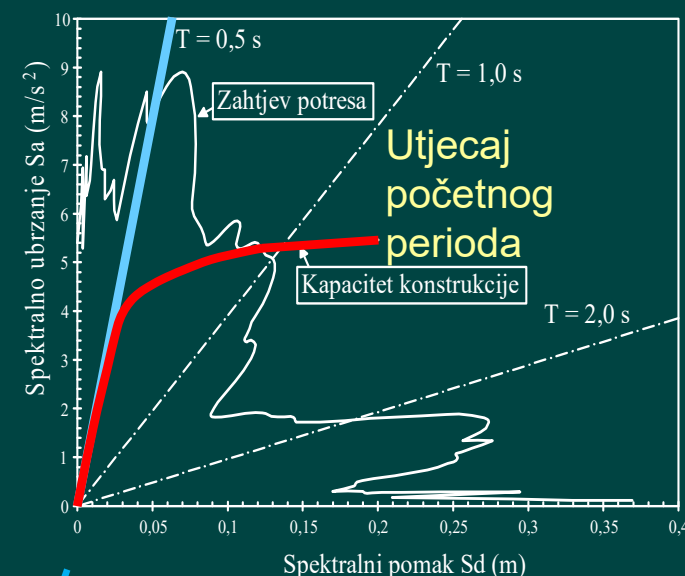
$$Sd_{et} = S_{ae} \left(\frac{T^*}{2\pi} \right)^2$$

Kratki period titranja

μ – faktor duktilnosti (maksimalni pomak/pomak na granici tečenja)

$$Sd_t = S_{de} \frac{[1 + (R_\mu - 1)(T_c/T^*)]}{R_\mu}$$

R_μ - red. faktor zbog duktilnosti $(\mu-1) T / T_c + 1$ za $T < T_c$; μ za $T \geq T_c$



Utjecaj početnog perioda

Redukcija spektra faktorom umanjenja μ ,

Seizmički zahtjev neelastičnosti definira se kao sjecište krivulje kapaciteta nosivosti i spektra zahtjeva neelastičnosti

5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

NELINEARNI STATIČKI PRORAČUN

Koraci proračuna

Postupno guranje (pushover)

6.

- Model s jednim stupnjem slobode → model s više stupnjeva slobode
- Najveći pomak modela s jednim stupnjem slobode (SDOF) mijenja se u najveći pomak modela s više stupnjeva slobode (MDOF)

7.

- Prilagodbom modela na najveći pomak iz prethodnog koraka.
- Provesti proračun postupnim guranjem do maksimalnog pomaka dobivenog iz prethodnih koraka.
 - Odrediti pomake, rotacije, rezne sile potrebne za ocjenu ponašanja
 - Lokalni seizmički zahtjevi
 - Globalni seizmički zahtjevi

8.

- Lokalna ocjena ponašanja, globalna ocjena ponašanja
- Provjera naprezanja materijala (tlačna naprezanja ovijenog i neovijenog betona)
 - Provjera izvijanja tlačno opterećene uzdužne armature u područjima nastanka plastičnih zglobova
 - Provjera deformacijskih zahtjeva u poprečnom ili uzdužnom smjeru mosta
 - Pomaci
 - Rotacijski kapacitet plastičnog zgloba HRN EN 1998-2:2008
 - Provjera otkazivanja nosivosti na posmik
 - Provjera uzdužne armature na odrez
 - ...

5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

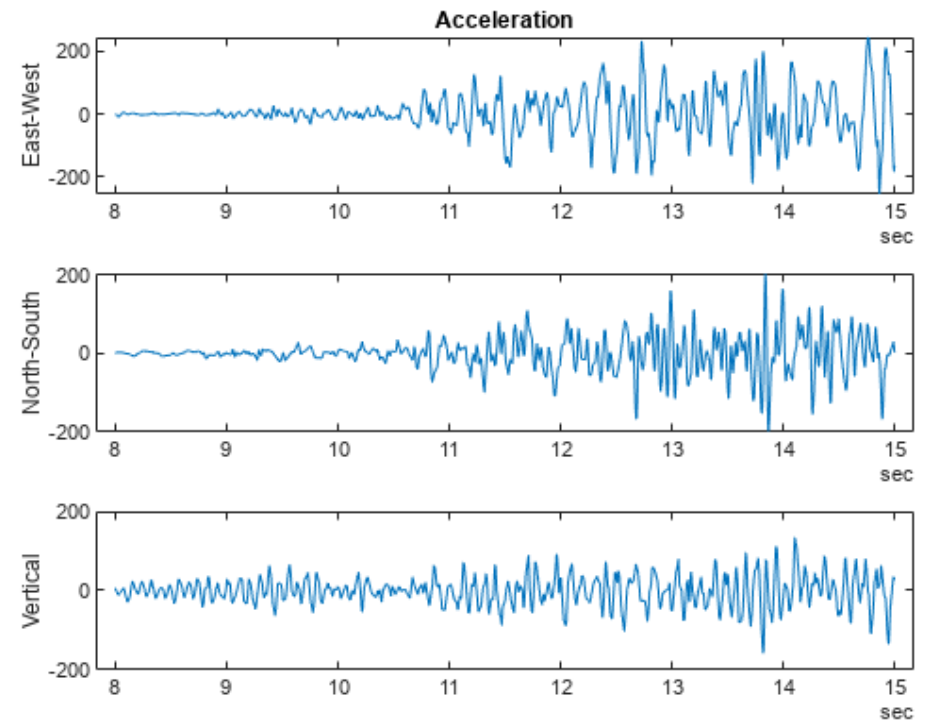
METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

NELINEARNI DINAMIČKI PRORAČUN

Koraci proračuna

Nelinearni proračun primjenom vremenskog zapisa (time-history)

- Nelinearni dinamički proračun primjenom vremenskog zapisa koji se provodi s pomoću matematičkih modela s više stupnjeva slobode.
- Ova metoda zbog svoje kompleksnosti i zahtjevnosti još uvijek izlazi iz okvira praktične primjene.
- Matematički model konstrukcije podvrgava se ubrzanjima iz podataka o potresima koji predstavljaju očekivani potres na mjestu strukture. Zadavanje potresnog zapisa u intervalu 1/40-1/25 sekunde
- Potrebni reprezentativni podaci o pomaku tla pod djelovanjem potresa (vremenski zapis)
- Složeni modeli konstrukcije – veliki zahtjevi na snagu računala, vrijeme trajanja proračuna
- Nelinearna analiza proračuna

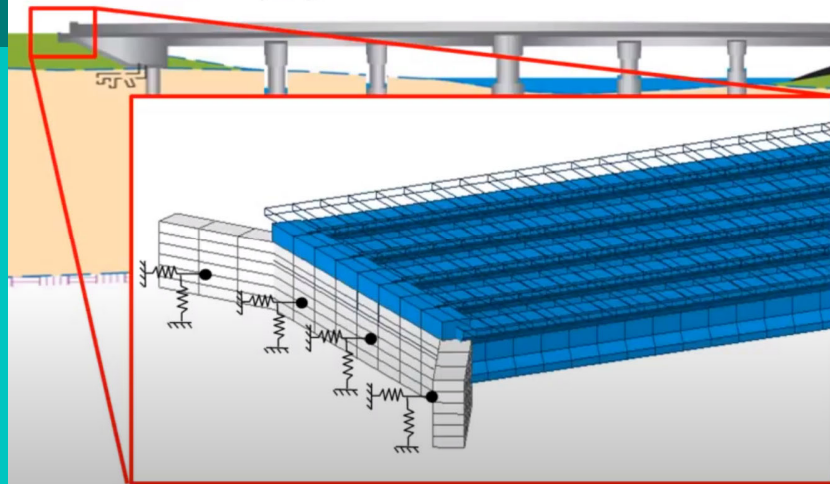


5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

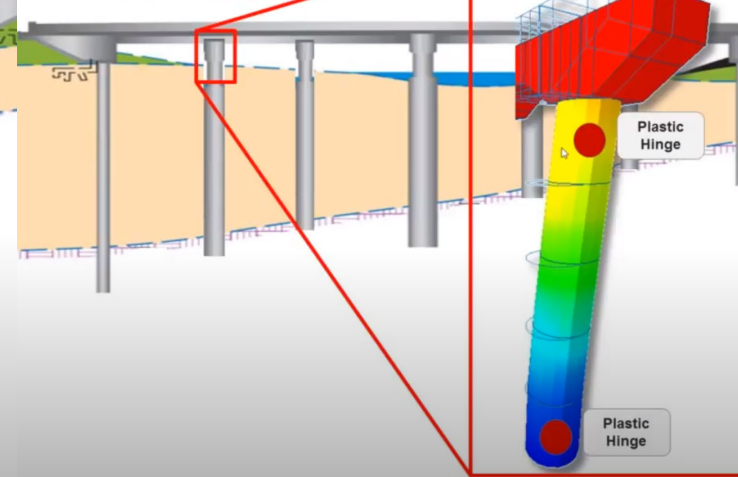
NELINEARNI DINAMIČKI PRORAČUN

1. Abutment: soil springs



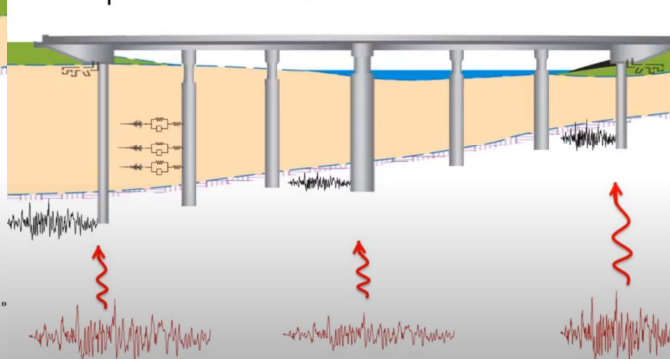
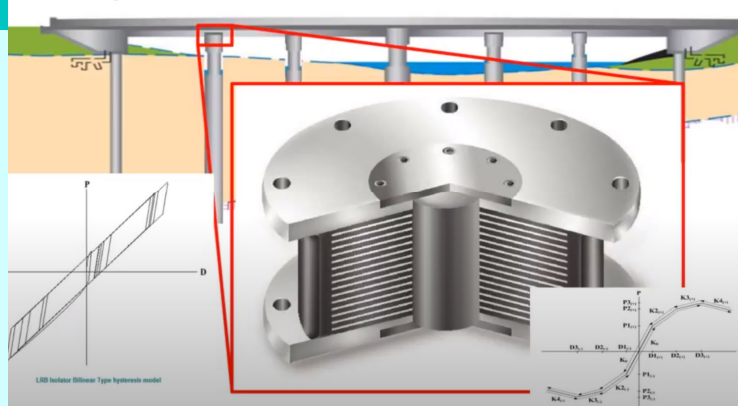
I) Substructure

2. Column nonlinear behavior



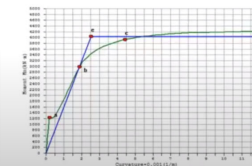
Nelinearni proračun primjenom vremenskog zapisa (time-history)

1. Bearings

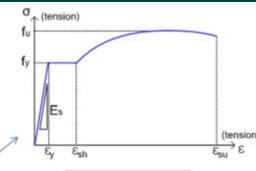


I) Substructure

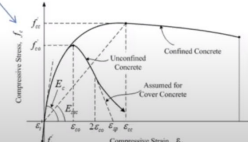
- Moment curvature of columns
- Determine plastic hinges behavior based on moment curvature curve



Moment Curvature



Park Model (steel)



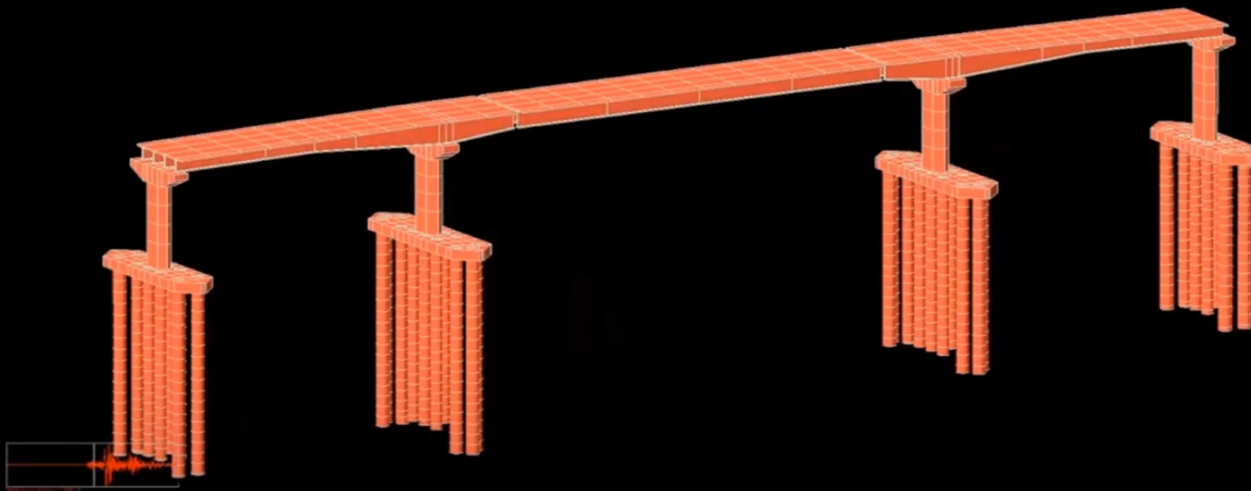
Mander Model (Concrete)

5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

METODE OCJENE POSTOJEĆIH MOSTOVA

NELINEARNI DINAMIČKI PRORAČUN

Nelinearni proračun primjenom vremenskog zapisa (time-history)

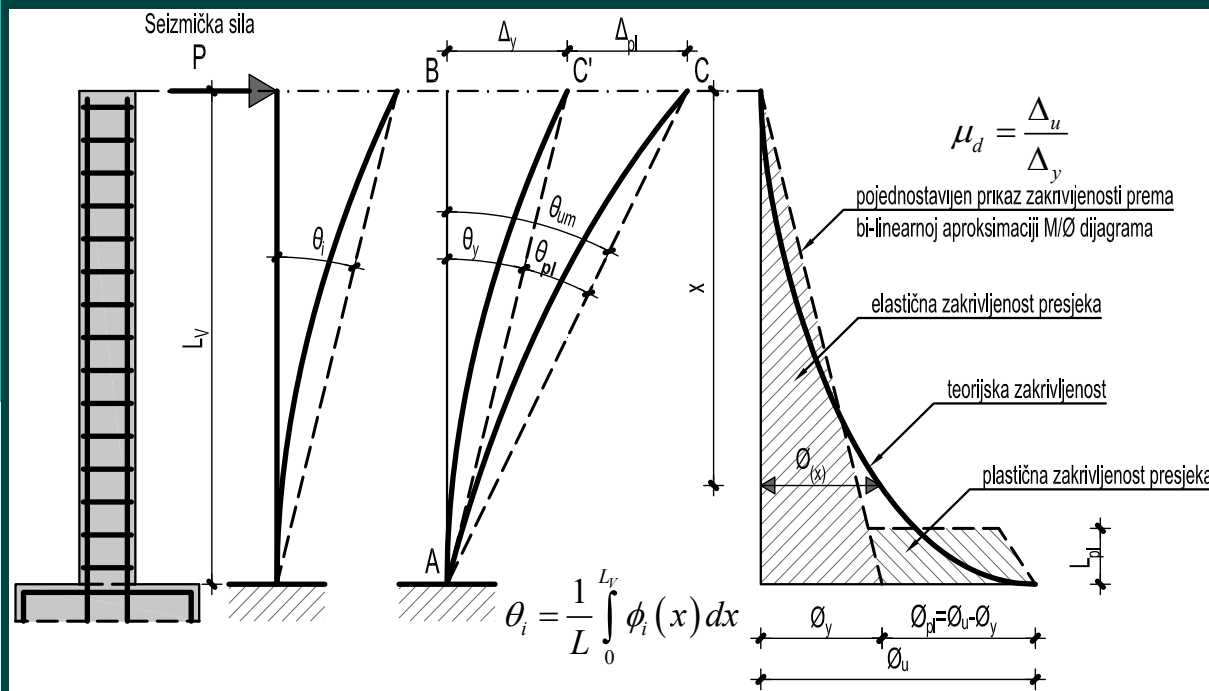


- Ubrzanja, pomaci, rezne sile itd. u svakom intervalu potresnog zapisa.
- Zahtjevni modeli traže veliko iskustvo stručnjaka u analizi ulaznih i izlaznih podataka.

5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

KAPACITETI DUKTILNOSTI

- Usporedba kapaciteta deformabilne sposobnosti sa zahtijevanom deformabilnom sposobnosti pod djelovanjem potresa možemo ocijeniti kakvo je ponašanje elementa pod djelovanjem potresa.
- Kod mostova se nelinearno ponašanje očekuje samo u stupovima, za grede se pretpostavlja da će ostati u elastičnom području.



Neki od pokazatelja koji utječu na seizmičku otpornost elementa

- Odnos momenta i zaokreta presjeka prilikom dostizanja granice popuštanja i krajnjeg graničnog stanja
- Duljina plastičnog zgloba
- Rotacijski kapacitet
- Efektivna (djelotvorna) krutost
- Integracijom funkcije $\phi_i(x)$ po varijabli x na dužini L_v posmičnog raspona dobije se rotacija vlakna θ_i .

5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

KAPACITETI DUKTILNOSTI

EN 1998-3

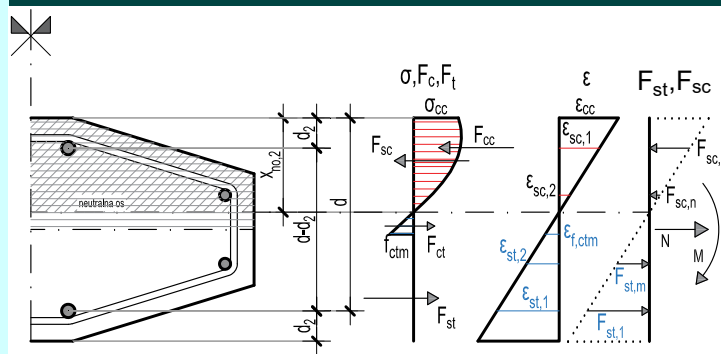
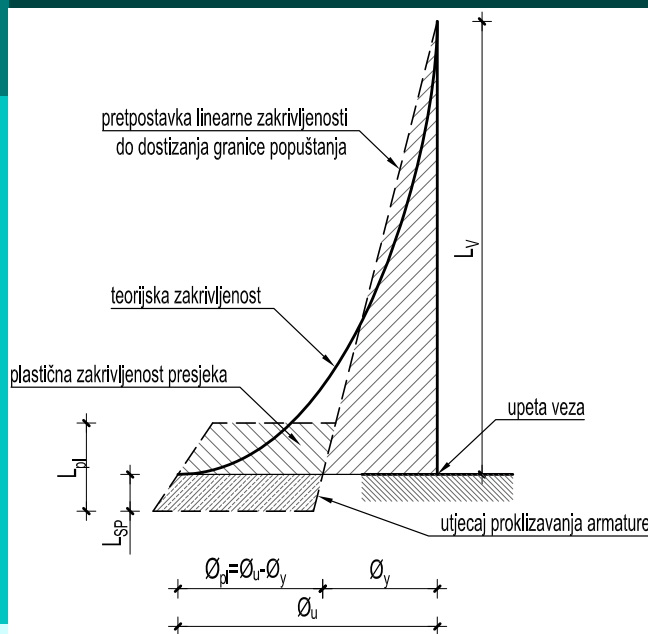


Primjena na mostovima

SAVIJANJE

POSMIK

ROTACIJA KRAJNJEG
PRESJEKA



$$\theta_y = \phi_y \cdot \frac{L_v + \alpha_v \cdot z}{3} + 0,0013 \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_v} \right) + 0,13 \phi_y \cdot \frac{d_{bl} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

$$\theta_{um}^{pl} = \theta_{um} - \theta_y = \frac{1}{\gamma_{el}} \cdot 0,0145 \cdot (0,25^v) \left[\frac{\max(0,01; \omega^1)}{\max(0,01; \omega)} \right]^{0,3} \cdot f_c^{0,2} (L_v/h)^{0,35} \cdot 25^{(\alpha_{ps} \cdot f_{yw}/f_c)} (1,25^{100 \cdot \rho_d})$$

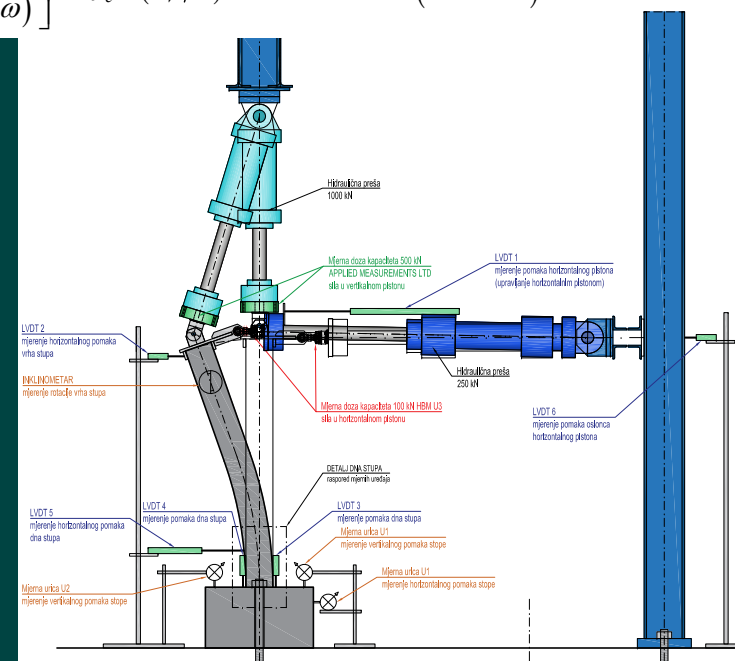
$$\theta_{um}^{pl} = (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{L_{pl}}{2L_v} \right) + \Delta \theta_{pl,slip}$$

$$L_{pl} = \frac{L_v}{30} + 0,2 \cdot h + 0,11 \frac{d_{bl} \cdot f_y (MPa)}{f_c^{0,5} (MPa)}$$

$$E_c I_{eff} = \nu \cdot \frac{M_{Rd}}{\phi_y}$$

- Analize rotacije presjeka
- Eksperimentalna ispitivanja pokazatelja seizmičke otpornosti

- Elementi bez seizmičkog detaljiranja: $\theta_{um} = \theta_{um} \cdot 0,825$
- Glatka armatura (bez seizmičkog detaljiranja): $\theta_{um} = \theta_{um} \cdot 0,575$



5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

KAPACITETI DUKTILNOSTI

- prikaz funkcije vjerojatnosti oštećenja - vjerojatnost da će nastupiti granično stanje (oštećenje) konstrukcije ili nekog njenog dijela uslijed djelovanja potresa određenog intenziteta
- uvjetna vjerojatnost - vjerojatnost da će nastupiti granično stanje nekog elementa mosta pri djelovanju potresnog opterećenja određenog intenziteta

$$\text{Vjerojatnost oštećenja} = P[LS|IM = y]$$

- gdje je LS granično stanje (Limit State), IM je intenzitet potresnog djelovanja (Intensity Measure)
- Konstrukcija krivulje vjerojatnosti oštećenja:
 - krivulje na temelju mišljenja stručnjaka (expert-base/judgmental fragility curves)
 - empirijske krivulje vjerojatnosti oštećenja (na osnovi iskustva iz prethodnih potresa)
 - eksperimentalne krivulje vjerojatnosti oštećenja
 - analitičke krivulje vjerojatnosti oštećenja

Za različite intenzitete potresnog djelovanja provode se proračuni modela (statički ili dinamički), a podaci koji se dobiju iz proračuna su baza za statičku analizu i dalje konstruiranje krivulja vjerojatnosti oštećenja.

5. Seizmičko ocjenjivanje postojećih mostova

KAPACITETI DUKTILNOSTI

- Funkcija vjerojatnosti oštećenja najčešće se definira lognormalnom funkcijom razdiobe i predstavlja vjerojatnost (P) da će zahtjev na konstrukciju (D) biti veći od kapaciteta konstrukcije (C) pri djelovanju potresa određenog intenziteta (IM):

$$P[D > C|IM] = \Phi \left(\frac{\ln(S_D/S_C)}{\sqrt{\beta_{D|IM}^2 + \beta_C^2}} \right)$$

- gdje se D i C odnose na zahtjeve i kapacitet pojedinih elemenata mosta (engl. demand and capacity), a S_D i S_C su medijani zahtjeva odnosno kapaciteta, $\beta_{D|IM}$ i β_C su standardna devijacija zahtjeva odnosno kapaciteta.

Granična stanja (kapacitet, capacity) – C

- geometrija
- materijali
- usklađivanje modela sa stvarnim stanjem
- povezivanje sa zahtjevom (pomak stupa...)



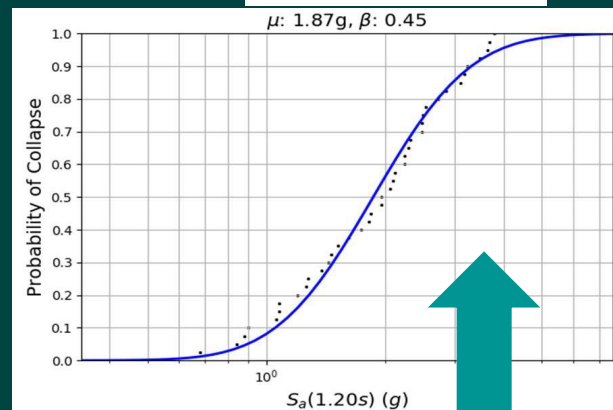
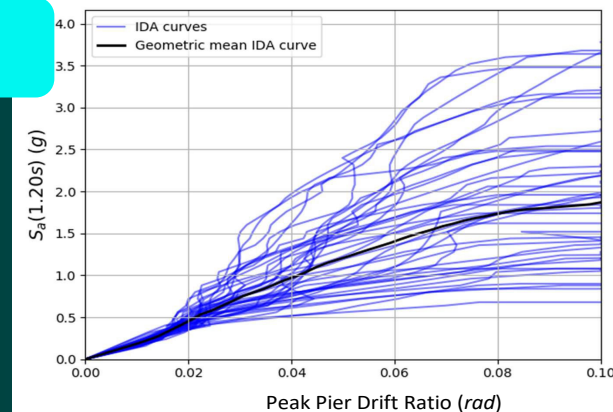
Zahtjevi (demand) – D

- analize mosta za potresno opterećenje (IM)
- rezultati – zahtjevi na pojedine elemente



Krivulje vjerojatnosti oštećenja

Set IDA krivulja



SLJEDEĆE PREDAVANJE:



Ana Mandić Ivanković