



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva 2020.



STUDIJA POTRESNE RANLJIVOSTI STAROG MJESTA LJUBLJANE I TEHNIKE UTVRĐIVANJA PRIMJERENE ZA VANRAVNINSKA RUŠENJA

Vlatko Z. Bosiljkov

Prof. dr. Vlatko Z. Bosiljkov, u.d.i.g., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija. vbosiljk@fgg.uni-lj.si



Metode sanacije i ojačanja zgrada

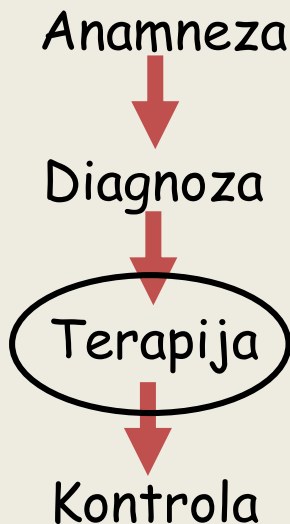
Razlozi za sanacije, rekonstrukcije i pojačanja objekata:

- Akumulacija negativnih utjecaja tijekom vijeka građevine
- Prenamjena postojećih starih građevina
- Nedovoljna seizmička otpornost
- Sanacija građevina oštećenih u ratu i potresu



EU Standardi

- EN 1998-3:2005 (EC8-3) – Projektiranje seizmički otpornih konstrukcija – 3.dio: Izračun i pojačanje zgrada.
 - Novi prijedlog Eurokoda 8-3 – ver. Final Draft EN1998-3 NEN SC8 PT3, 12/04/2017
- CEN/TC250/WG2 New European Technical Rules for the Assessment and retrofitting of Existing Structures



Računski modeli



A



D



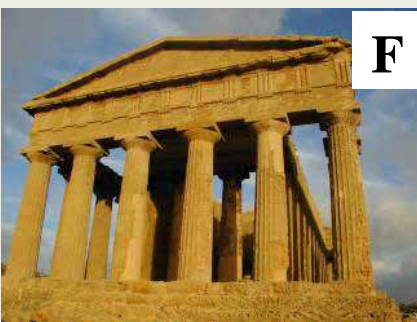
B



E



C



F



G

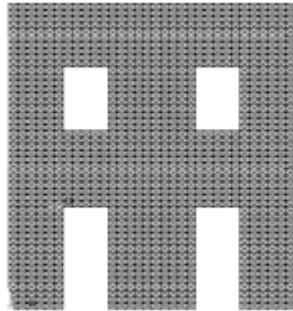
Tip građevine		Modeliranje			
		CCLM	SEM	DIM	MBM
A	Konstrukcije, gdje prevlađuju rušenja u ravnini	Yellow	Global	Yellow	Local
B	Konstrukcije, gdje prevlađuju rušenja vanravnine	Yellow		Yellow	Red
C	Konstrukcija sa jednom prevlađujućom dimenzijom	Yellow	Red		Yellow
D	Lučne konstrukcije sa rušenjem u ravnini	Yellow		Yellow	Red
E	Masivne konstrukcije, gdje prevlađuju lokalna rušenja	Yellow		Red	
F	Konstrukcije, ispostavljene prevrtanju			Yellow	Red
G	Izgrađeni sustav podložan složenom rušenju		Global	Yellow	Local



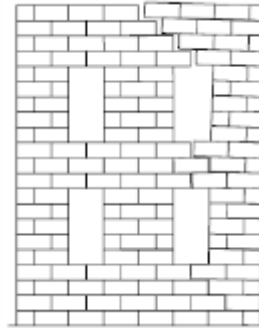
Računski modeli

FEM

Continuum finite element model with non-linear constitutive law

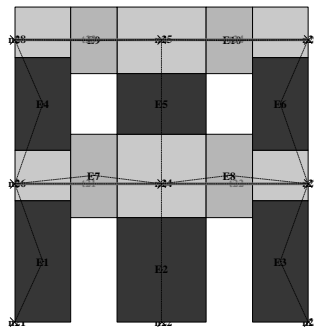


Discrete interface model

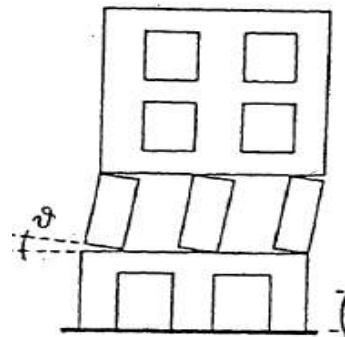


Modeliranje na nivou materijala

Structural element model (piers and spandrels)



Discrete Macro-block model



Modeliranje na nivou elementa

SEM

MBM



Računski modeli

METODA KONAČNIH ELEMENATA

- ZID JE MODELIRANO KAO NELINEARNI KONTINUUM
- ZID JE DISKRETIZIRANO NA ODREĐENI BROJ KONAČNIH ELEMENATA
- KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI SU DEFINIRANI EX-POST.
- KONSTITUTIVNI MODELI OVISE OD MATERIJALA I PREDSTAVLJENI SU U OVISNOSTI NAPON-DEFORMACIJA
- KONSTITUTIVNI MODELI MOGU BITI DEFINIRANI KAO FENOMENOLOŠKI, KROZ HOMOGENIZACIJU ILI DIREKTNIM ODREĐIVANJEM (TESTIRANJEM).

FEM

METODA KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA

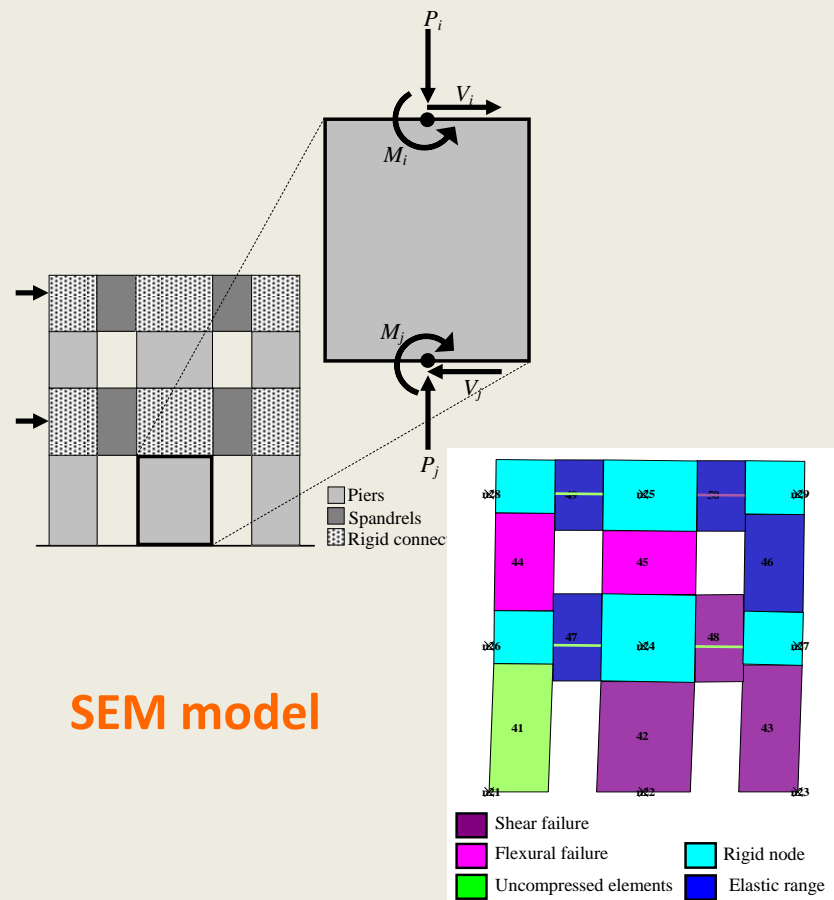
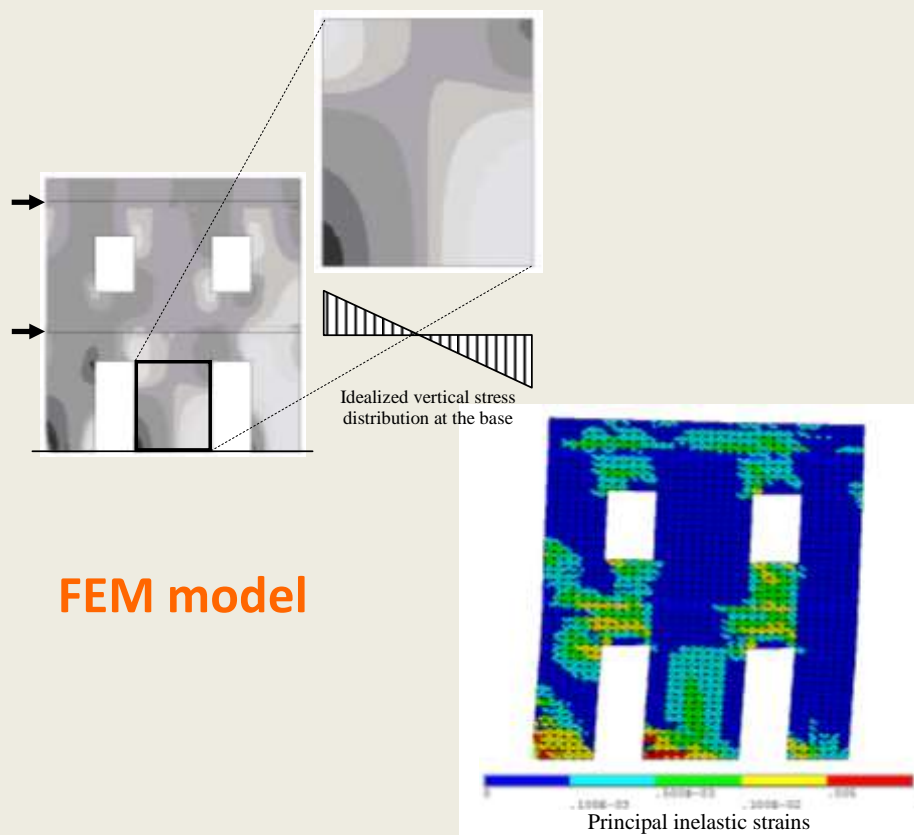
- ZIDANA KONSTRUKCIJA JE SASTAVLJENA IZ KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA SA NELINEARNIM PONAŠANJEM.
- ZIDOVI SU RADIJELJENI NA PANELE GDJE JE KONCENTRIRAN NELINEARNI ODGOVOR KONSTRUKCIJE.
- KONSTRUKCIJSKI ELEMENTI SU DEFINIRANI A PRIORI.
- KONSTITUTIVNI MODELI SE ODOSE NA PANELE I IZRAŽAVAJU ODNOS SILE I POMAKA.
- KONSTITUTIVNI MODELI MOGU BITI BI-ALI VEĆLINEARNI. U PRAKSI SU OBIČAJNO ELASTO-PLASTIČNI.

SEM



Preraspodjela opterećenja po zidovima u ravnini

DEFINIRANJE GRANIČNIH STANJA

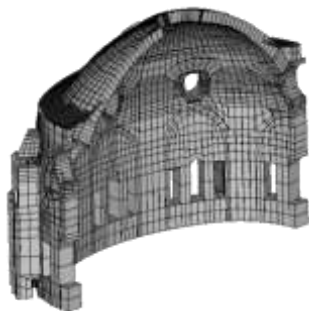


Modeliranje konstrukcije

METODA KONAČNIH ELEMENATA (MKE)

PREDNOSTI I NEDOSTATCI

- TOČNI OPIS KONSTRUKCIJE I PONAŠANJA MATERIJALA
- POGODNO ZA SLOŽENE KONSTRUKCIJE



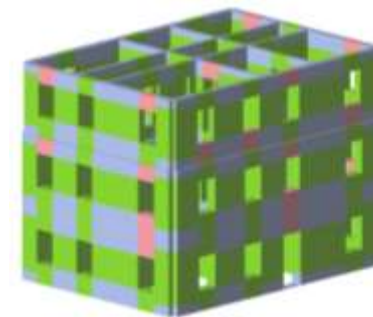
Sakralni objekti

- DUGOTRAJNI RAČUNALNIŠKI IZRAČUNI
- PROBLEMI PRI DEFINIRANJU NOSILNOSTI KONSTRUKCIJE U ODNOSU NA GRANIČNE POMAKE.

METODA KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA (SEM)

PREDNOSTI I NEDOSTATCI

- POJEDNOSTAVLJENI PRIKAZ KONSTRUKCIJE I MODELIRANJA ZIDA.
- UGODNO ZA KONSTRUKCIJE SA PRAVILNOM ZASNOVOM



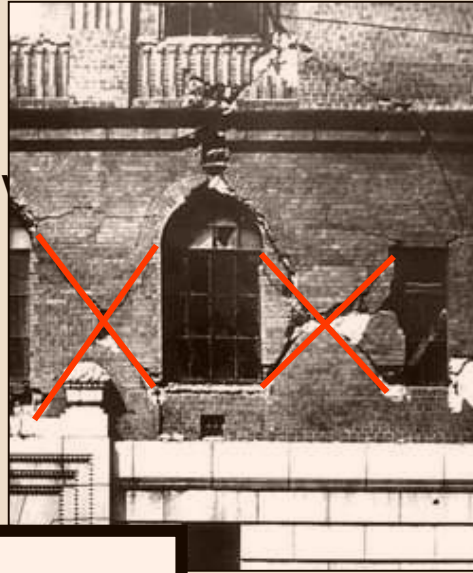
Zgrade

- BRZ IZRAČUN
- GRANIČNI POMACI DEFINIRANI NA NIVOU ELEMENTA.

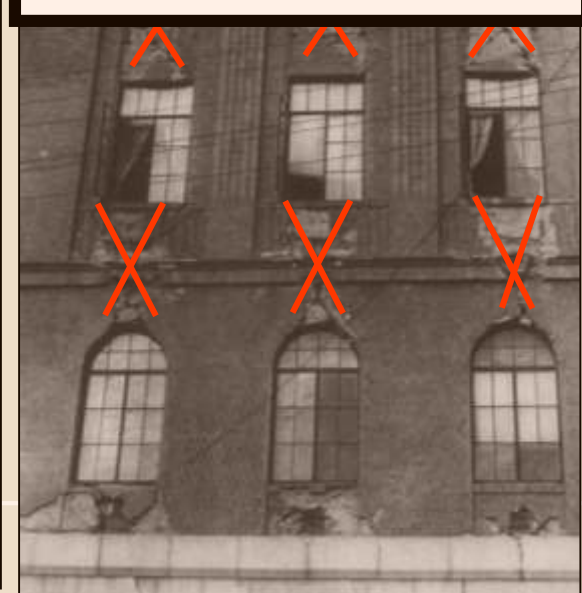




ZID (PIERS)



? (SPANDRELS)



SEM analiza

Globalni i etažni odgovor konstrukcije



obravnavan odziv cijele konstrukcije

3Muri, AmQuake, AndilWall, PRO_SAM...

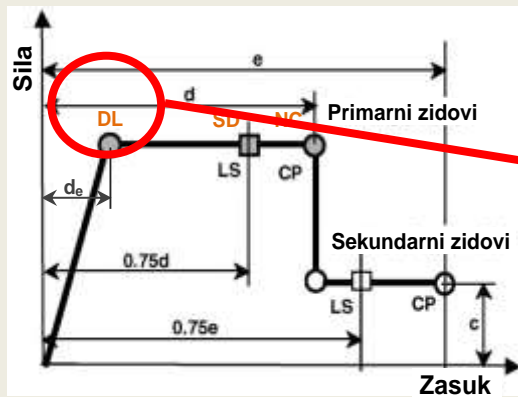


obravnavana samo kritična etaža
ostali dio konstrukcije kao vertikalno
opterećenje

Sremb



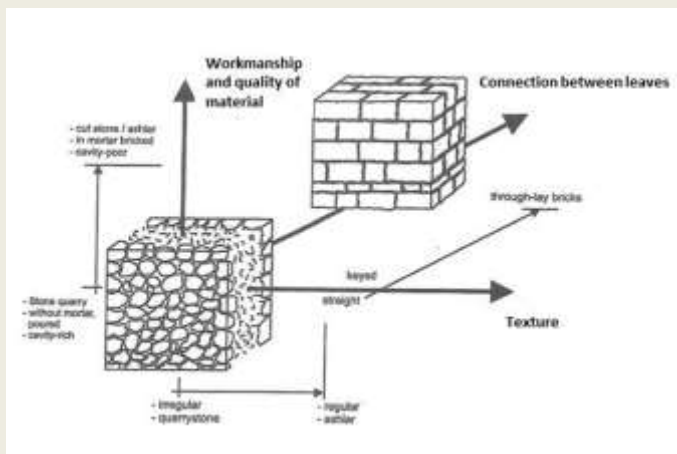
Modeliranje ponašanje zidova opterećenih u svojoj ravnini



Porušni mehanizam	Avtor	Analitični model	Predpis
Upogibni		$V_{Rd,r} = \psi \frac{\sigma_0 t_w l_w^2}{2h_0} \left(1 - \frac{\sigma_0}{f_{Mc}} \right) \quad (1)$	MIT 2009 [MIT, 2009], EC8-3 [EN 1998-3: 2005, 2005], FEMA 306 [FEMA 306, 1998]
Strižni (diagonalne razpoke)	Turnšek in Čačović [1971]	$V_{Rd,d} = l_w t_w \frac{f_{Mt}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{Mt}}} \quad (2)$	MIT 2009 [MIT, 2009], FEMA 306 [FEMA 306, 1998]
Strižni (diagonalne razpoke - zidaki)	Mann in Müller [1982]	$V_{Rd,du} = l_{wc} t_w \left(\frac{f_{v0}}{1 + \mu\phi} + \frac{\mu}{1 + \mu\phi} \sigma_d \right) \quad (3)^{(*)}$	DIN 1053-100 [DIN 1053-1: 1996-11, 1996]
Strižni (diagonalne razpoke - spojnice)	Mann in Müller [1982]	$V_{Rd,dj} = l_w t_w \frac{f_{bt}}{2,3} \sqrt{1 + \frac{\sigma_d}{f_{bt}}} \quad (4)^{(*) (+)}$	DIN 1053-100 [DIN 1053-1: 1996-11, 1996]
Strižni (zdrs)	Mohr-Coulomb	$V_{Rd,s} = l_{wc} t_w (f_{v0} + \mu\sigma_d) \quad (5)$	MIT 2009 [MIT, 2009], EC8-3 [EN 1998-3: 2005, 2005], FEMA 306 [FEMA 306, 1998]



Mehanička svojstva



	Tekstura*	Tip zidovine	f_{Mc}	f_{Mt}	E_M	G_M^{**}	γ_M
			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[kN/m ³]
A		Nepravilna kamnita zidovina (iz prodnikov, kamenja nepravilnih oblik)	0,70-1,80	0,020-0,048	200-1050	130-350	19
B		Kamnita zidovina iz neobdelanih kamnov, z omejeno debelino zunanjih slojev ter nepovezanim jedrom	2,00-3,00	0,053-0,080	1020-1440	340-480	20
C		Kamnita zidovina iz lomljenih kamnov z dobrim preklapljanjem	2,60-3,80	0,084-0,111	1500-1980	500-660	21
D		Kamnita zidovina iz mehkih kamnov (tufa, apnenca, itd.)	1,40-2,40	0,042-0,063	900-1700	300-420	16
E		Klesana kamnita zidovina iz trših kamnov	4,70-8,00	0,135-0,180	740-3200	200-940	22
F		Opečna zidovina z apneno malto	2,00-4,00	0,040-0,140	240-1800	80-600	18

* slike so simbolne (povzete po SIA 266/2 SN 505266/2 [SIA 505266/2, 2012])
 ** vrednosti se nanašajo na nerazpokan prerez
 Legenda:
 f_{Mc} tlačna trdnost zidovine; f_{Mt} natezna trdnost zidovine; E_M elastični modul zidovine; G_M strižni modul zidovine; γ_M prostorninska teža zidov.



Macro-Block Model

(vanravninsko ponašanje – kinematička metoda)

LOKALNO RUŠENJE

MBM

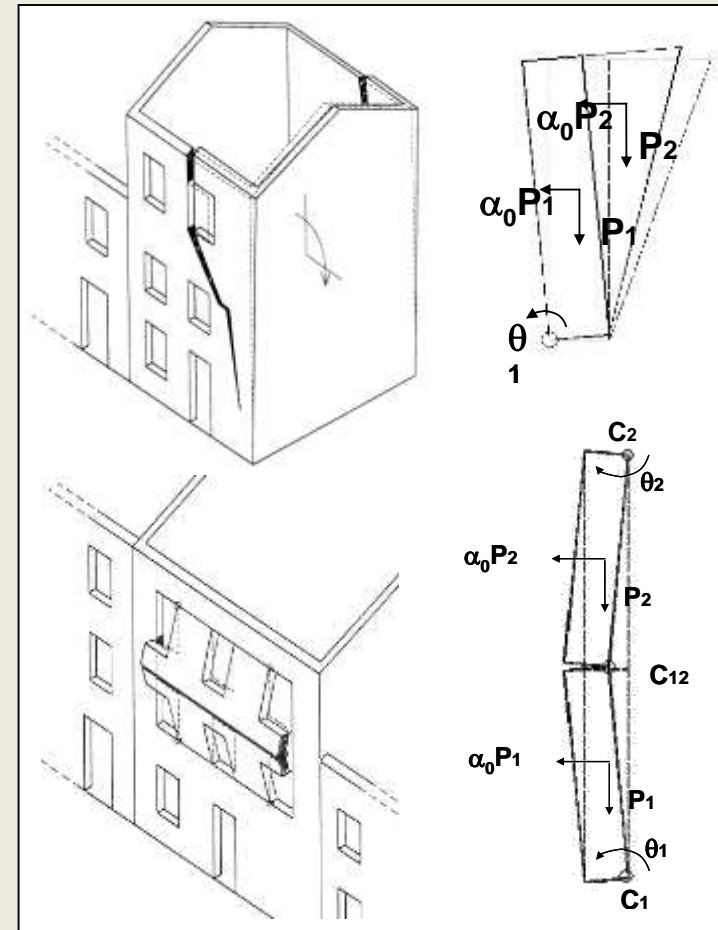
■ PRI IZRAČUNU AKTIVIRANJA MEHANIZMA MORAMO OCIJENITI:

- TEŽINU MAKROELEMENTA;
- VANJSKE SILE (SIDRA, TRENJE NA RUBOVIMA...)
- RUBNI UVJETI (OBJEKAT NA SREDINI, NA KRAJU, POZICIJE SLJEMENA KROVA ...)
- HORIZONTALNE SILE PROPORCIONALNE VERTIKALNOM OPTEREĆENJU (KOEFIČIJENT α), PREDSTAVLJAJU VRIJEDNOST SEIZMIČKOG OPTEREĆENJA

KOEFIČIJENT RAČUNAMO : $\alpha = a_{\max} / g$

■ U KINEMATIČKOM PRISTUPU JE POSTUPAK SLIJEDEĆI:

- IDENTIFIKACIJA MOGUĆIH MEHANIZAMA U ZAVISNOSTI OD ARHITEKTURE I POSTAVLJANJE PLASTIČNIH ZGLOBOVA
- ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA SVAKOGA OD MOGUĆIH MEHANIZAMA SA TEHNIKOM VIRTUALNEGA RADA.
- IDENTIFIKACIJA NAJMANJEGA KOEFICIJENTA (POTREBNO JE OCIJENITI DA LI ODGOVARAJUĆI MEHANIZAM UGROŽAVA STABILNOST CIJELE KONSTRUKCIJE).

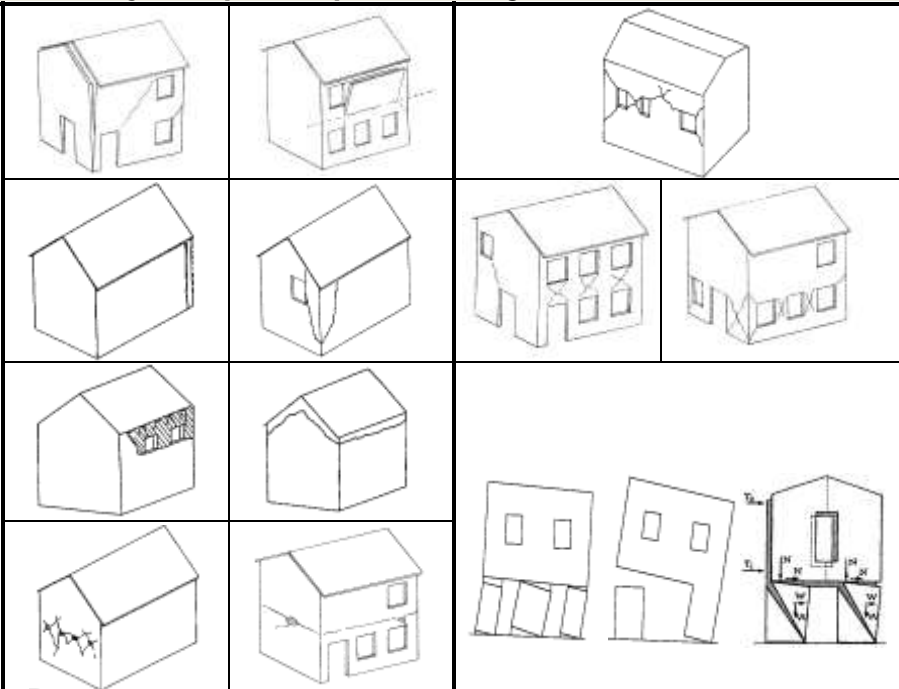


ABAQUS oštećenja jednostavnih objekata po zemljotresu.

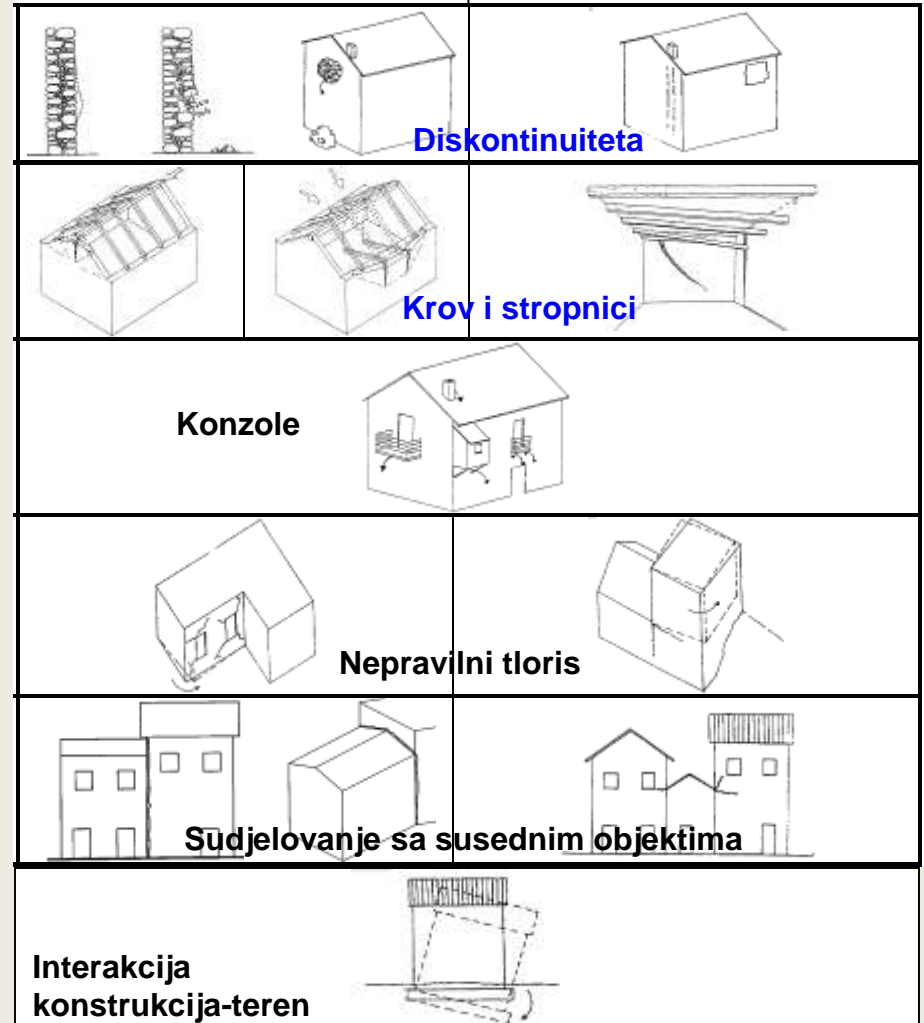
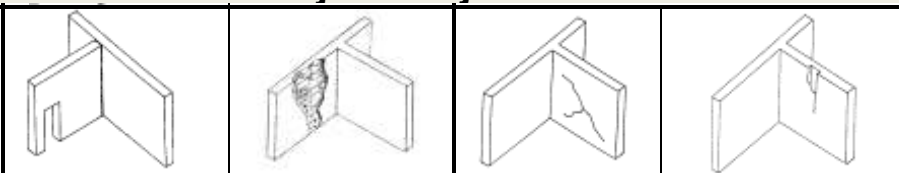
■ Vanravnska

■ U ravlini

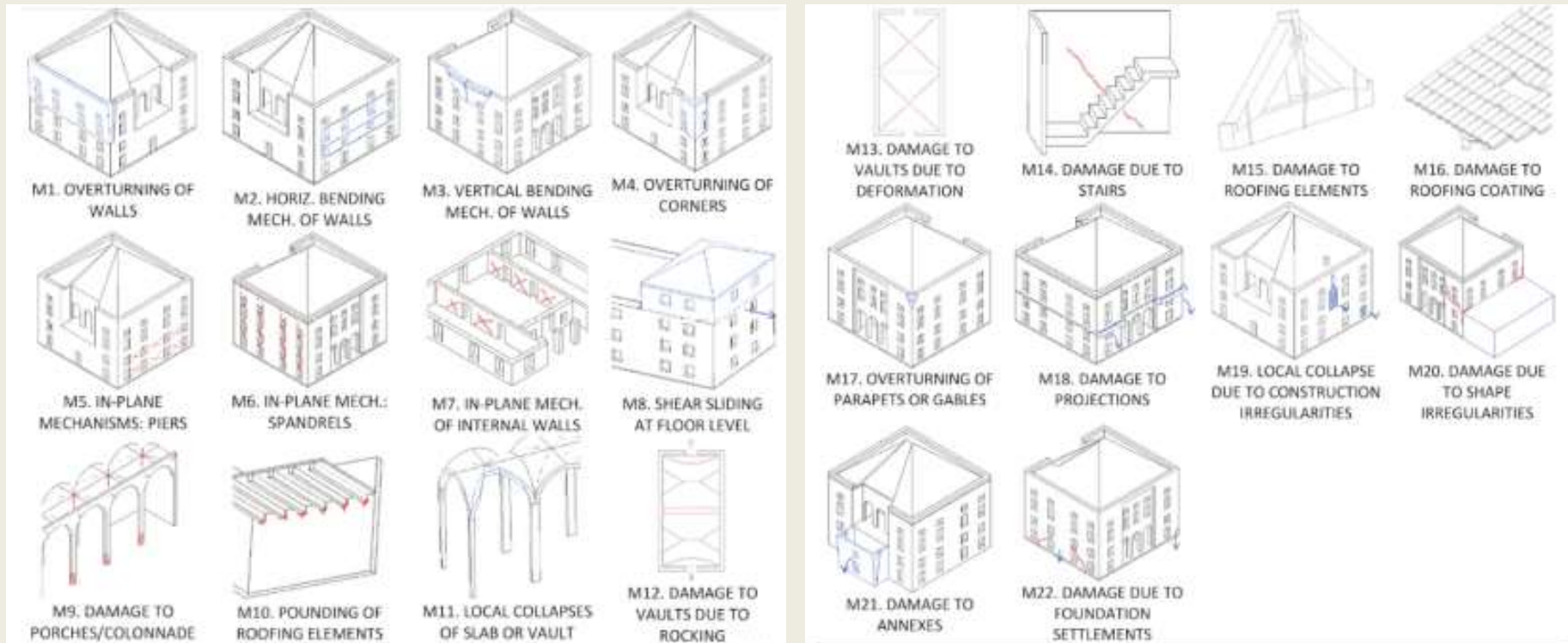
Vanjska (vidna) oštećenja



Ziđe u unutrašnjosti objekta



ABAQUS oštećenja kompleksnih objekata po zemljotresu

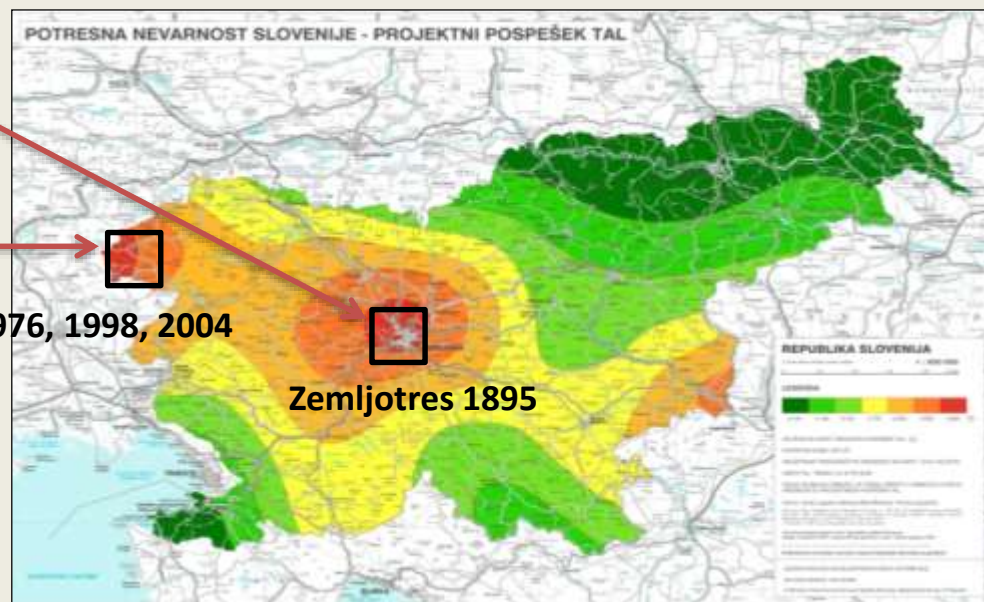


MBM analize na primjerima u Sloveniji

- Urbana arhitektura - Ljubljana
- Ruralna arhitektura – Posočje

Zemljotresi 1976, 1998, 2004

Zemljotres 1895



A	B1	B2	C	D	E
overturning with vertical cracks	overturning with one side wall	overturning with two side walls	diagonal cracks involving corners	overturning with diagonal crack	overturning with crack at spandrels
F	G	H1	H2	M1	M2
overturning constrained by ring beams or ties	overturning with diagonal cracks	diagonal cracks mainly in piers	diagonal cracks mainly in spandrel	soft storey due to shear	soft storey due to bending

Excel datoteka sa VB makroima – FaMIVE (Dina d’Ayala)



Obrazac za unos podataka za program FaMIVE

INSPECTION FORM FOR THE SURVEY OF HISTORIC BUILDINGS

Shape and composition of the block

Town: Form: Block #: Type of use: Date:
 Address: Building #: No. of use: Survey:

1 URBAN DATA RELIABILITY

1-1 Block access and escape routes: 1-4 Position of building within the block:
 1-2 Shape and composition of the block: 1-5 Connection of the façade to adjacent walls:
 1-3 Number of buildings in the block: 1-6 Soil foundation:

2 GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE FAÇADE RELIABILITY

2-1 Façade orientation: 2-5 Total height of the façade:
 2-2 Maximum # of storeys of the build: 2-6 Presence of gable:
 2-3 Number of storeys of the façade: 2-7 Gable wall height (if present):
 2-4 Length of the façade: 2-8 Additional corner in the façade:

3 GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF OPENINGS RELIABILITY

3-1 Number of openings per storey

storey #	1	2	3	4	5
# opening	1	1	1	1	1

3-2 opening width:
 opening height:

3-3 Openings layout:

3-4 Edge piers:

3-5 Height of upper horizontal spandrel:

3-6 Lintels:

4 PLAN GEOMETRIC CHARACTERISTICS RELIABILITY

4-1 Thickness at basis of façade wall: 4-4 # int. structural walls // to the façade:
 4-2 Thickness at top (% of thick. basis): 4-5 Total length perp. to the façade:
 4-3 # int. structural walls perp. to façade: 4-6 # int. walls perp. to back façade:

5 STRUCTURAL CHARACTERISTICS RELIABILITY

5-1 N. storeys with vaulted structures: 5-7 Level of maintenance of masonry:
 5-2 Horizontal structure typology: 5-8 Connection at edges:
 5-3 Direction of hor. Structure: 5-9 Out of verticality:
 5-4 Roof structure typology: 5-10 Façade restraining elements:

storey #	1	2	3	4	5
ties/pegs					
bushings/poins					
wall plates					
other band/ ring beam					

5-5 Direction of roof:
 5-6 Masonry type:
 5-6a Mortar type:
 5-6c average size of units (m):
 5-11 retaining wall type and extension:

6 FURTHER VULNERABILITY ELEMENTS RELIABILITY

6-1 Presence of vertical addition:

6-2 Dimensions of vertical addition(s):

6-3 Specific weight reduction (%):

6-4 Chimney flue within the façade:

6-5 Roof overhanging:

6-6 Jetty/ Over/ balcon:

6-7 Vaulted structures:

6-8 Settlement:

6-9 Fortresses:

7 DAMAGE LEVEL AND MECHANISMS IDENTIFICATIONS RELIABILITY

7-1 Mechanisms identification

Class	Type	Value
A	vertical	3
B1	vertical	
B2	vertical	
C	vertical	
D	horizontal	3
E	vertical	2
F	horizontal	2
G	horizontal	2
H	vertical	
I	vertical	
HC	vertical	
M	total	4
L	vertical	

7-2 Check pattern observation (per storey)

horizontal cracks:

vertical cracks:

corner cracks:

diagonal cracks:


massive failure:

roof collapse:

floor collapse:

7-3 Damage extension of the façade (%)

CRACKS AND FISSURE MATERIAL LOSS



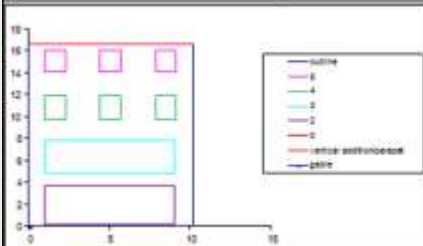
CHECK ERRORS IN INPUT DATA

NO ERRORS IN INPUT DATA

RUN

STORE INPUT DATA AND RESULTS

CANCEL



FeMIVE analiza u Posočju

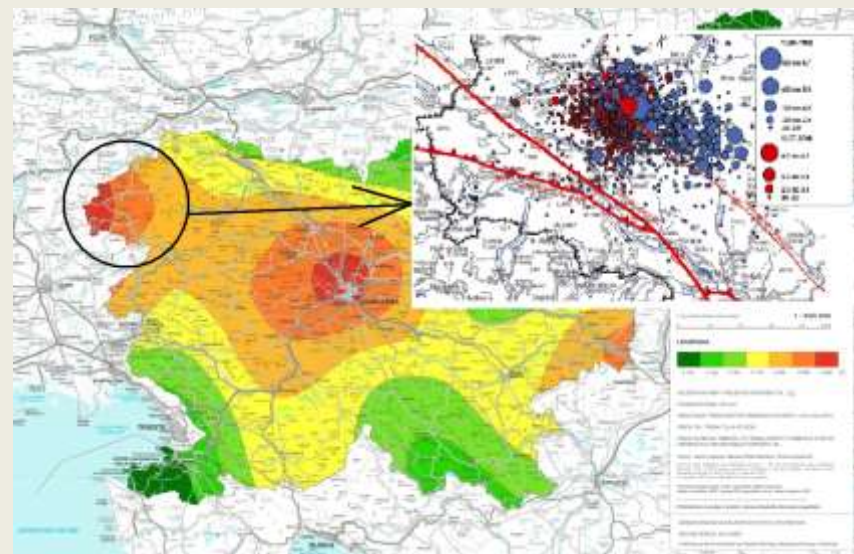
12 Travanj, 1998

- Magnituda: 5.6
- Intenziteta: VI – VII stupnja EMS

12 Srpanj, 2004

- Magnituda: 4.9
- Intenziteta: VI – VII stupnja EMS

Epicentri glavnih i brojnih manjih tresenja tla za potres iz 1998 (modro) i 2004 (crveno).



Tipična oštećenja na kamenim kućama Posočja.



Ocjena zemljotresne ranljivosti – ruralna arhitektura Posočja

A



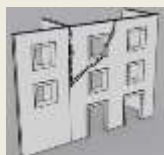
B1



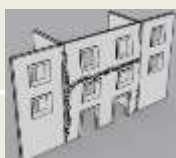
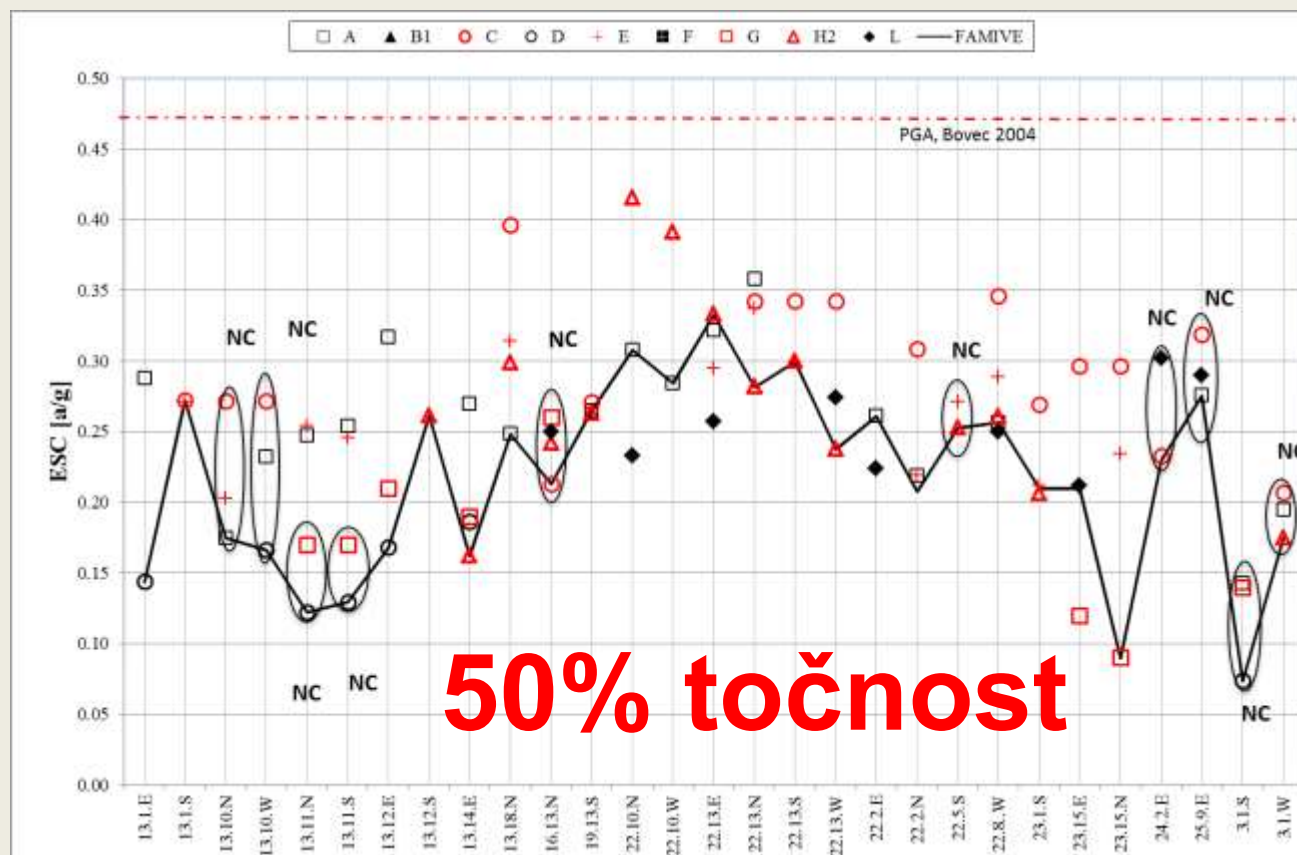
C



D



E



Ocjena zemljotresne ranljivosti – ruralna arhitektura Posočja

A



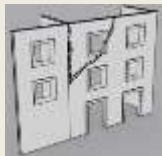
B1



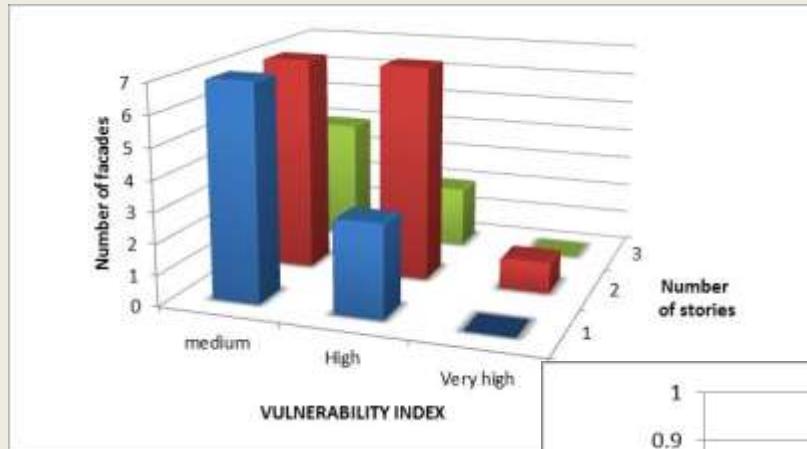
C



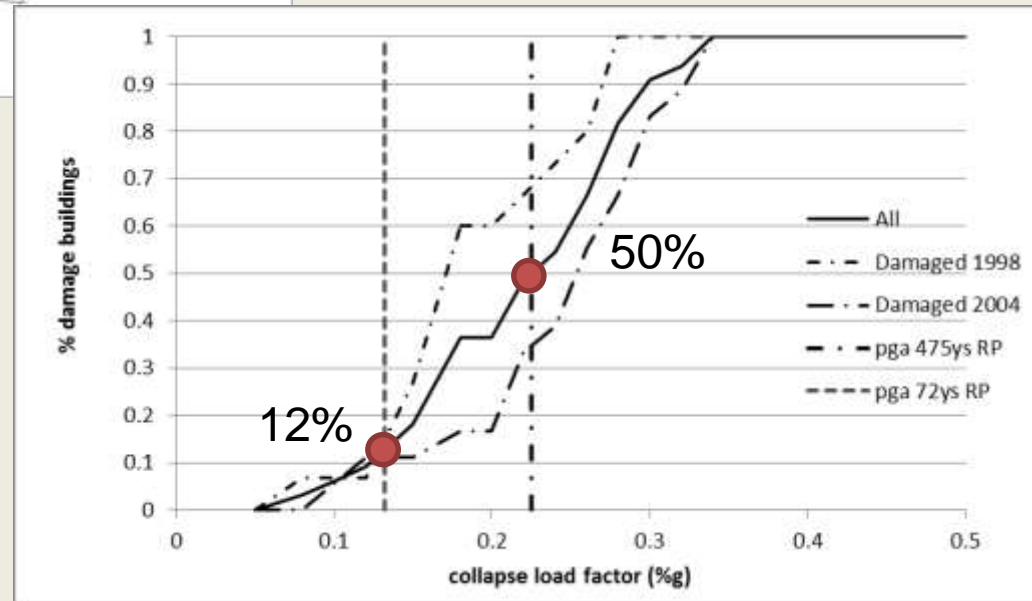
D



E



Konstrukcija u prvom slučaju mora izdržati zemljotres (projektни zemljotres) sa periodom ponavljanja od 72 godine i vjerojatnoćom od 50% događaja u 50 godina, u drugom primjeru od 475 godina i vjerojatnoćom od 10% događaja u 50 godina.



F



G



H2



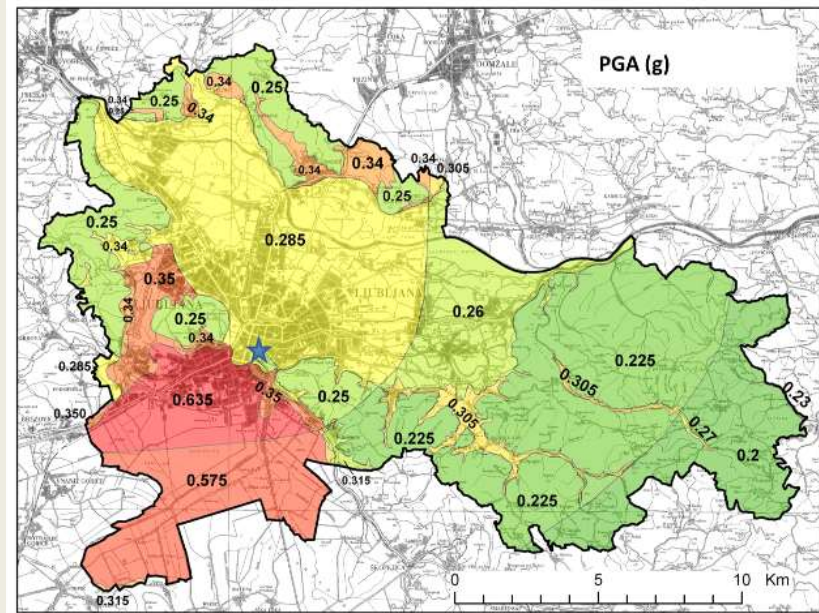
L



Ocjena zemljotresne ranljivosti – urbana arhitektura Ljubljane



a) Staro mjesto Ljubljane



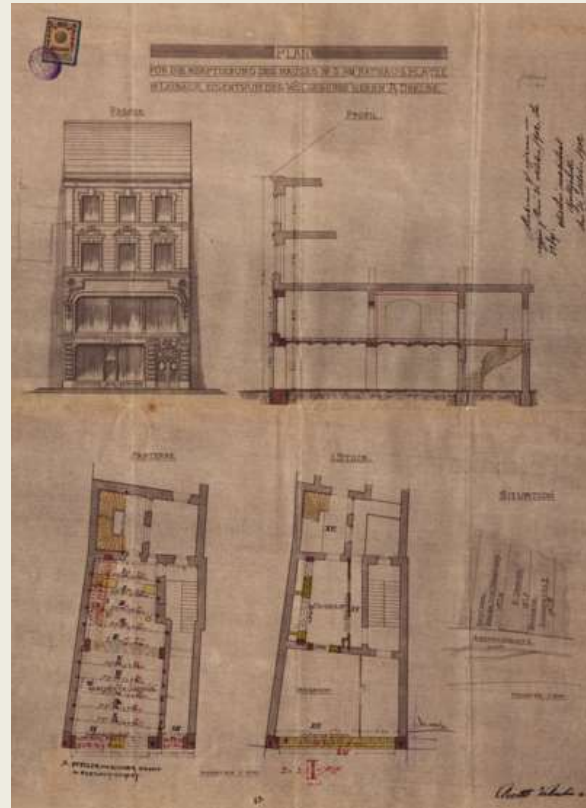
b) Mikro karta PGA za Ljubljano (475 g. povratni period)
www.arso.gov.si

Analiza starog mjesta Ljubljane

■ Po zemljotresu 1895



■ Nacrti iz mjestnog arhiva



■ Promjene na zgradama



Problematika nedovoljnog poznavanja objekta

Različite analize FaMIVE:	
1	osnova: 5.6 C1/B2 5.6 c (s=0,15m) 5.8 (no/no) 5.10 (ni sidranja) typologies (m=0,3(C1) oz. 0,55(B2))
2	5.6.c (s=0,08m)
3	5.8 (yes/yes)
4	5.10 (A1 v vseh nadstropjih)
5	5.10 (A2 v vseh nadstropjih)
6	5.10 (A3 v vseh nadstropjih)
7	typologies (m=0,4(C1) oz. 0,7(B2))
8	typologies (m=0,5(C1) oz. 0,8(B2))

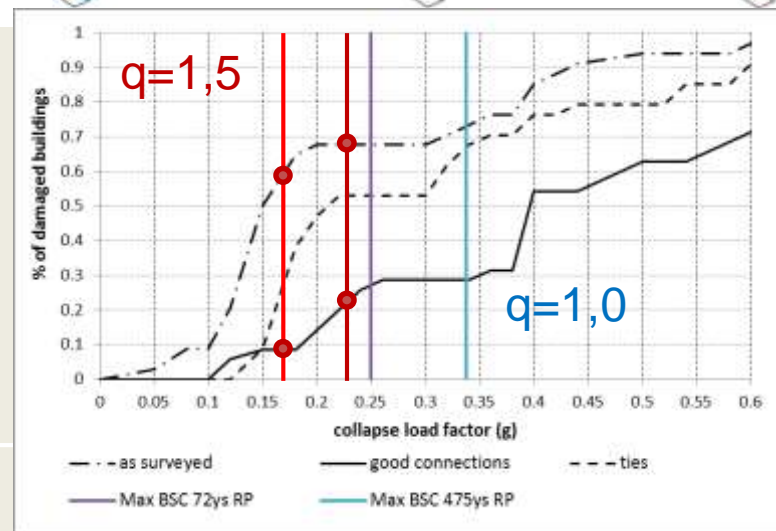
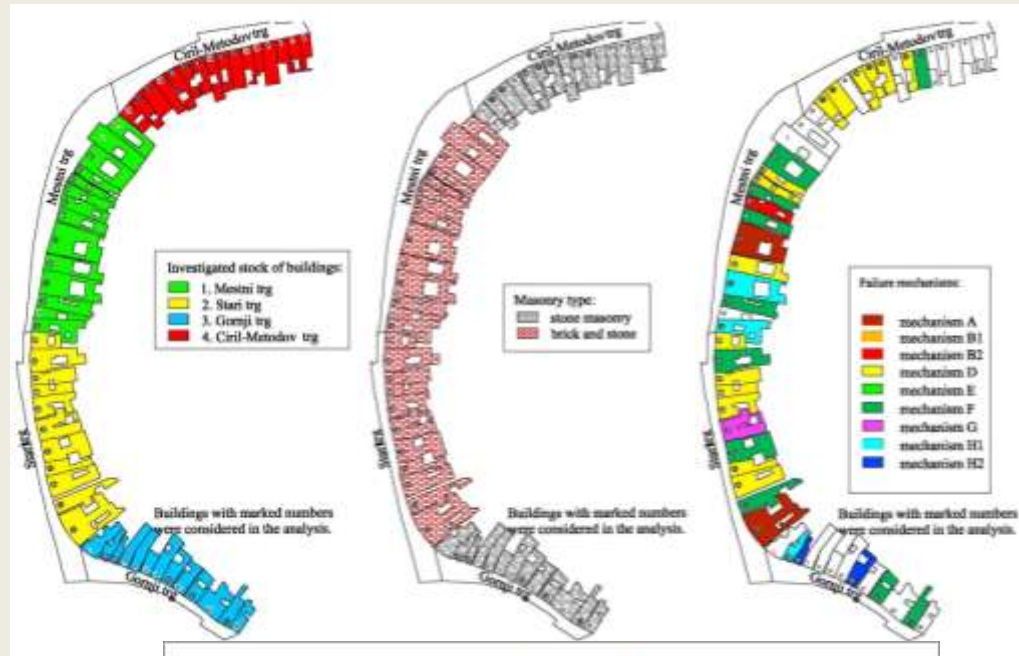
Veći utjecaji na rezultate analize zaradi:

- 3. var.: uklještenje rubova fasade u susednje objekte i pravokutne zidove.
- 6. var.: sidranje fasade u sredini i na rubovima po svim etažama.
- 7. var.: povećanje otpornosti na posmik – povećan koeficijent trenja.

Rezultati za staro mjesto Ljubljane



a) Old city center of Ljubljana



D – overturning with diagonal crack



G – overturning with diagonal cracks

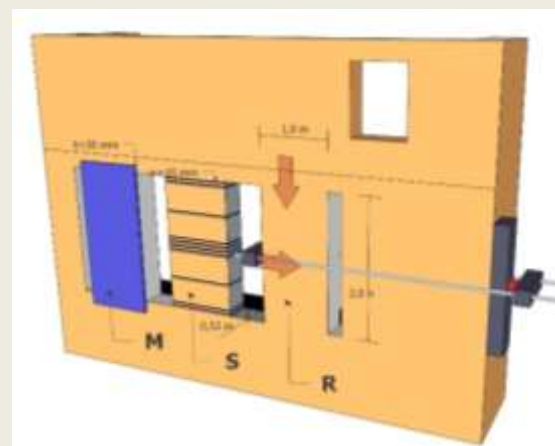
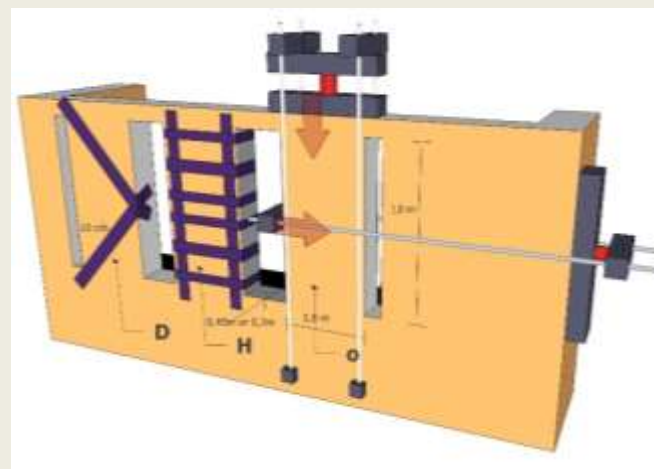


H2 – diagonal cracks mainly in spandrel



Metode sanacije i pojačanja zidanih konstrukcija

- Popravlak konstrukcijskih pukotina injektiranjem
- Injektiranje zidova (šupljina >10%)
- Refugiranje – zamjena morta i dodatno armiranje fuga
- Torkretiranje ili AB obloge, ako su deblje stene
- Pojačanje sustavom FRP/FRG
- Pojačanje krutosti stropnih dijafragmi
- Povezivanje kutova zgrada čeličnim vezama ili štepanjem
- Postavljanjem čeličnih natega
- Postavljanje novih AB zidova i okvira
- Pojačanje konstrukcije izvedbom čeličnih okvira
-

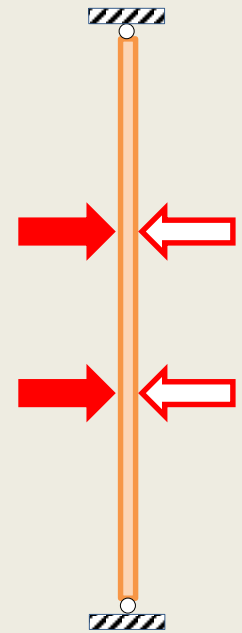


Vanravninski testovi zidanih panela (preliminarni rezultati)

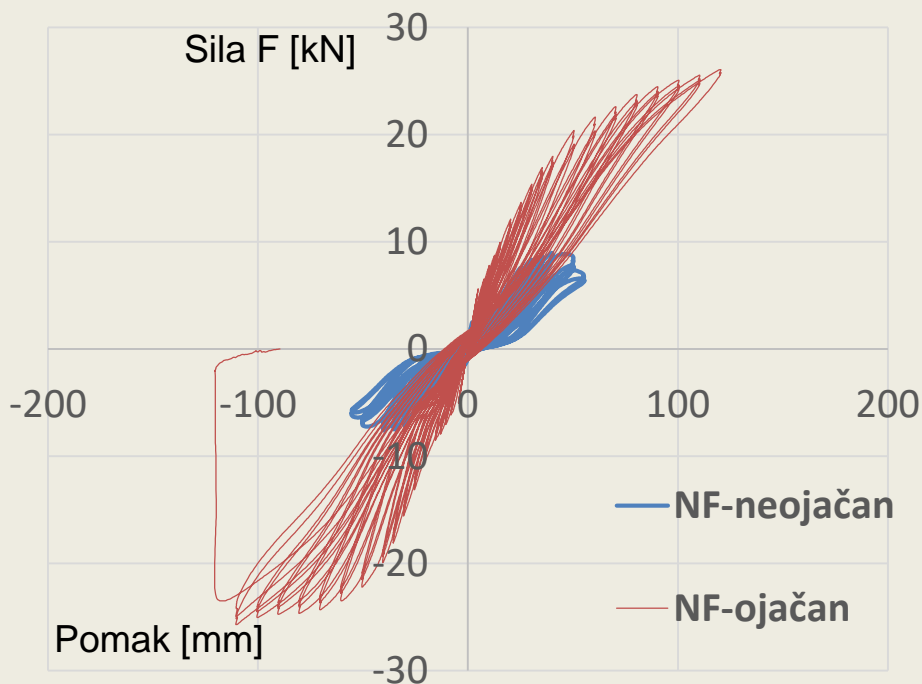
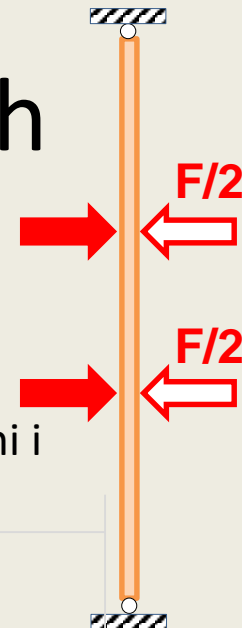
- Testovi vitkih zidova(24)
na vanravninska
opterećenja



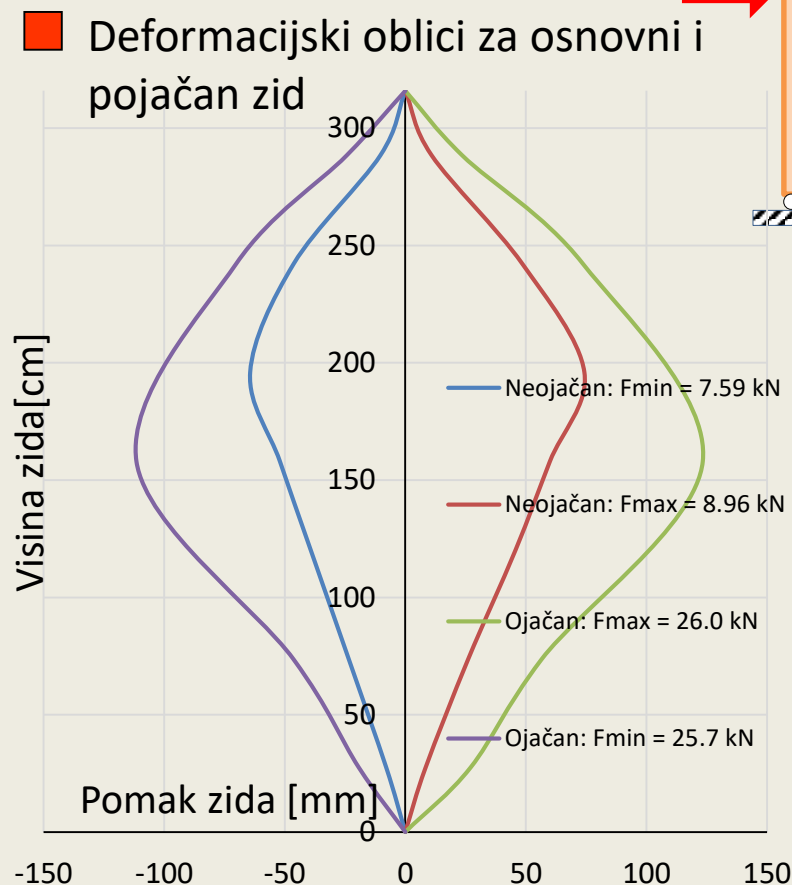
- 2 vrste ziđa
 - NF i vapnen mort
 - Siporex zidaci
- 2 vrste FRP tkanina
 - Mapei
 - Alternativni
- Različite dispozicije
pojačanja



Ciklični vanravninski testovi zidanih panela (preliminarni rezultati)



■ Histereze za osnovni i pojačan zid



Zaključci

■ MBM

- Novi prijedlog EC 8-3 daje nove smjernice na području vanravninskih rušenja
- Rezultati analize objekata oštećenih u Posočju 1998. i 2004. godine su pokazali 50% pouzdanost izabranog modela
- Analiza starog mjesta Ljubljane je pokazala, da bi u slučaju Zagrebačkog scenarija od 10-60% zgrada pretrpjelo oštećenja.
- Veliki raspon u ocjeni oštećenja je prije svega posljedica različitih razina poznavanja konstrukcije te govori u prilog tome da pri upotrebi te metodologije moramo na što je moguće manju mjeru svesti sve nesigurnosti pri određivanju početnih parametara (dijagnostika).

■ Vanravninski testovi

- Preliminarni rezultati pokazuju da sa Mapei mrežicama povećamo krutosti, pomake (200%) i nosilnosti (300 do 400%).

