

Organizatori



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE



Hrvatska komora
inženjera građevinarstva

WEBINAR

"SAVJETOVANJE 4: OBNOVA ZAGREBA NAKON POTRESA – ZAGREBU OD SPLITA"



Glavni pokrovitelj



ISKUSTVA I EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA U
VEZI SEIZMIČKE SANACIJE ZIDANIH ZGRADA

Prof. dr. sc. Miha Tomažević
Zavod za gradbeništvo Slovenije,
Oddelek za konstrukcije
Ljubljana, Slovenija

Vsebina

- *Uvod; zidane stavbe in nauki po potresih*
- *Eksperimentalne raziskave obnašanja med potresi; preprojektiranje in projektna obtežba*
- *Principi in metode utrjevanja; eksperimentalne raziskave učinkov*
- *Sklepi*

Obnašanje zidanih stavb med potresi



Indija, 1995 in Kašmir, 2005



Umbrija, 1998



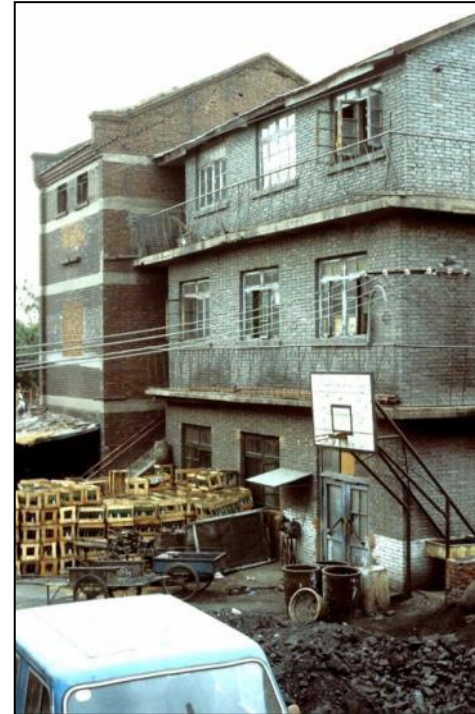
Posočje, 1976

Kupi ruševin nas še danes prepričujejo, da zidovje ni primeren material za gradnjo na potresnih območjih

Obnašanje zidanih stavb med potresi



Na drugi strani pa tudi stare zidane stavbe vseh vrst prestanejo najmočnejše potrese! Torej se da: samo kako?



Tangšan, Kitajska,
1976

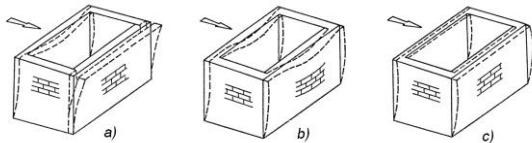
San Francisco, 1906,
(Tobriner, 2006)

Zakaj so starejše zidane stavbe ranljive na potres?

- ***Njihove konstrukcije niso zasnovane za prevzem potresnih sil. Če sploh, so bile projektirane le za prevzem težnostnih sil***
- ***Sezidane so iz materialov in v sistemih, ki dobro prenašajo tlačne obremenitve, ne pa strigov in nategov, ki nastanejo med potresom***
- ***Slabo so vzdrževane; sčasoma zaradi časovnih in okoljskih vplivov tudi propadajo***

Kaj nas učijo poškodbe stavb, ki so potrese prestale?

Zagotoviti moramo celovitost delovanja konstrukcije



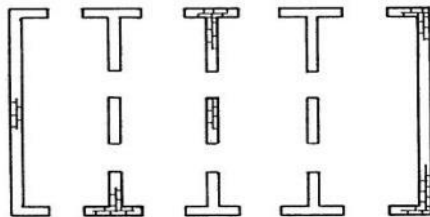
Črna gora, 1979; Posočje 1998

Kaj nas učijo poškodbe stavb, ki so potrese prestale?

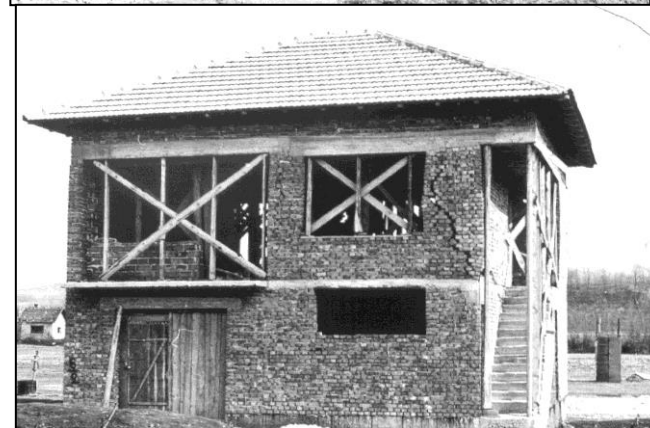
Pomembna je zasnova konstrukcije



Neftegorsk, 1995 (G.Koff)



Kakovost materialov



Banja Luka, 1969 (S.Terčelj)

Kaj nas učijo poškodbe stavb, ki so potrese prestale?

Temelji in temeljna tla: zdrs pobočja, diferenčni posedki temeljev



Črna gora, 1979



Kaj nas učijo poškodbe stavb, ki so potrese prestale?

Poškodbe povedo, kako se konstrukcija odziva na potres. Poznani mehanizmi odziva so podlaga za eksperimentalno simulacijo in računsko modeliranje za oceno potresne odpornosti

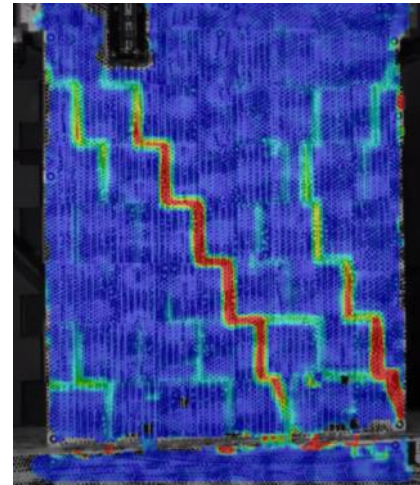
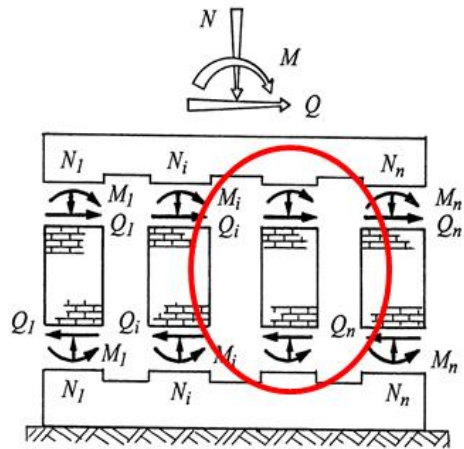
Poleg tega, da so upoštevani vsi splošni nauki potresov, mora biti tudi odpornost posameznih elementov in konstrukcije v celoti dovolj velika, da prevzame sile, ki jih povzroči potres. To preverjamo z izračuni



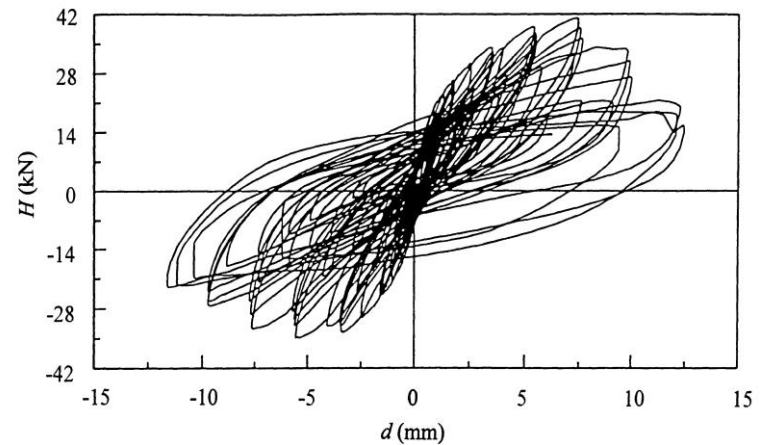
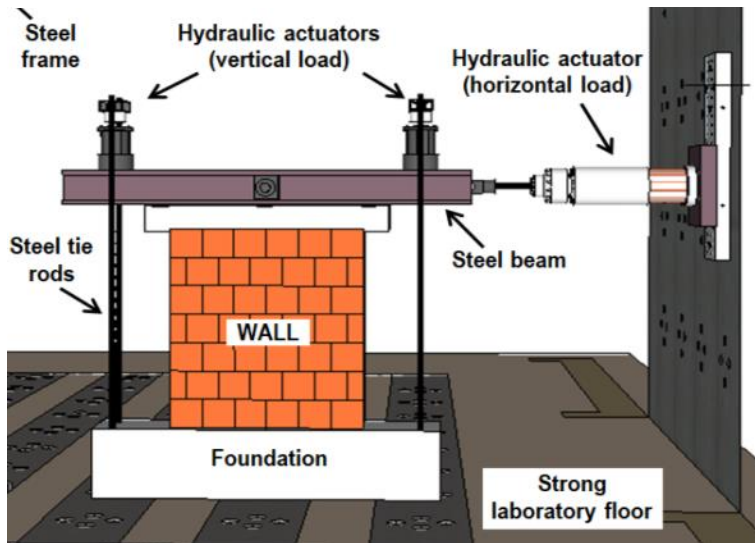
„Klasični“ etažni strižni mehanizem je podlaga za računske modele za nearmirane in povezane zidane konstrukcije

Eksperimentalna simulacija obnašanja zidov

Ciklične strižne preiskave zidov



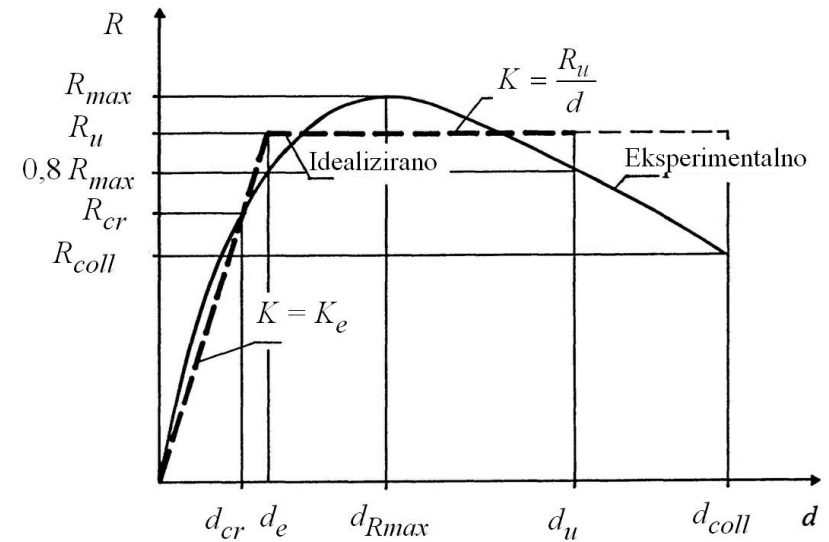
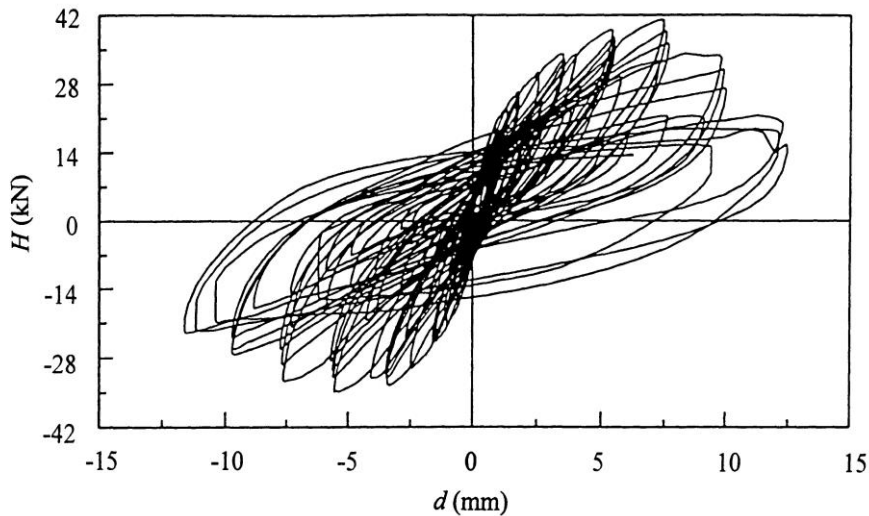
Meritve deformacij zidu in odvisnosti med silami in pomiki



Simulacija stanja v konstrukciji

Preverjanje potresne odpornosti zidov

Idealizacija obnašanja in mejna stanja



Mejna stanja

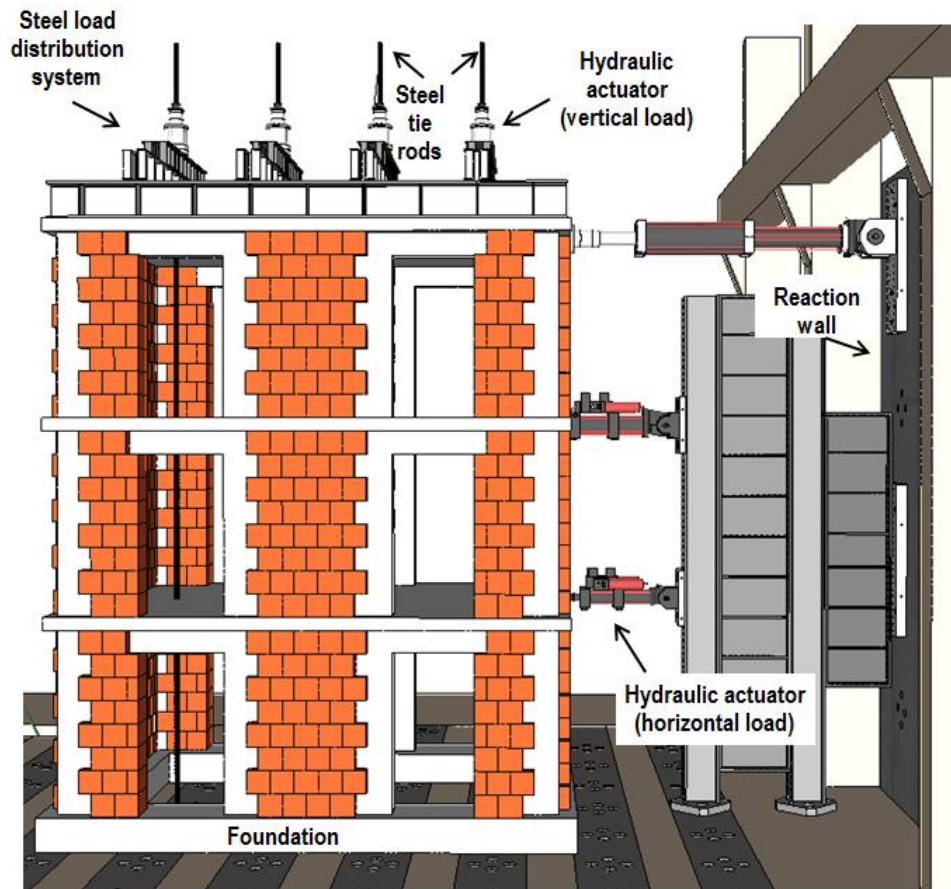
Meja nastanka razpok (poškodb) - R_{cr} , d_{cr}
Maksimalna odpornost - R_{max} , d_{Rmax}
Mejno stanje nosilnosti - R_{dmax} , d_{dmax}

Idealizacija:

Efektivna togost - K_e
Odpornost - R_u (energijski kriterij)
Mejni faktor duktilnosti - $\mu_u = d_u/d_e$ ($d_u = d_{0.8Hmax}$)

Eksperimentalna simulacija obnašanja konstrukcije

Ciklična strižna preiskava konstrukcij v naravnem merilu



Hiša, pripravljena na preiskavo

Hiša po končani preiskavi

Eksperimentalna simulacija obnašanja konstrukcije

Preiskava modelov konstrukcij v zmanjšanem merilu



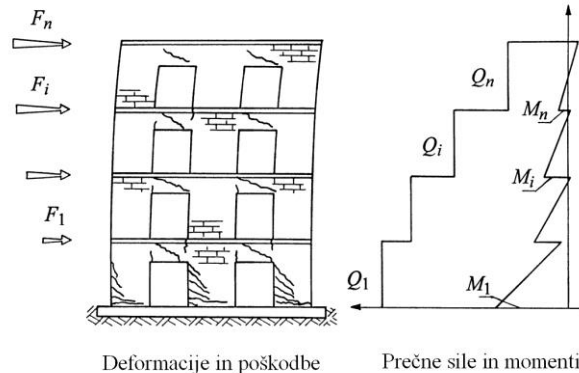
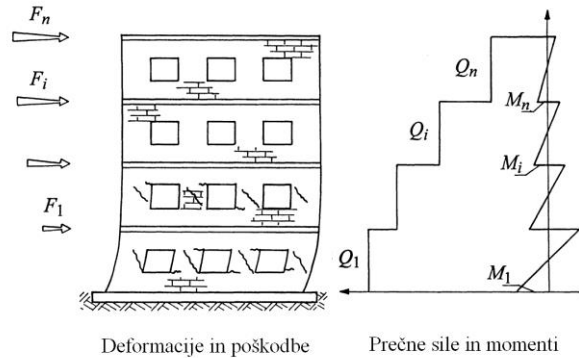
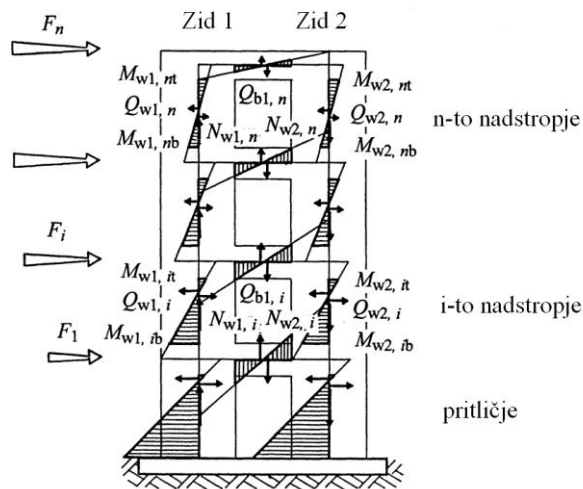
Model sodobne hiše (1:4)



Model stare opečne hiše brez vezi (1:4)

Preverjanje potresne odpornosti konstrukcije

Mehanizmi obnašanja in računski modeli



Preverjanje potresne odpornosti konstrukcije

Splošne zahteve: izhodišča za projektiranje po Evrokodu 8

Konstrukcija mora biti projektirana in zgrajena tako, da bo prestala projektni potres, ne da bi se delno ali v celoti porušila. Konstrukcija mora tudi potem, ko jo prizadene potres največje pričakovane intenzitete (projektni potres), obdržati celovitost in sposobnost prenašati navpično obtežbo (končno mejno stanje, mejno stanje porušitve).

Če jo prizadene potres z večjo verjetnostjo nastanka, vendar z manjšo intenziteto od projektne, se konstrukcijski in nekonstrukcijski elementi ne smejo poškodovati v tolikšni meri, da bi poškodbe omejevale uporabnost stavbe oziroma da bi bili stroški popravila poškodb nesorazmerno visoki (mejno stanje uporabnosti).

Varnost konstrukcije

Varnost konstrukcije je verjetnostna funkcija, ki je odvisna od verjetnosti nastanka projektne obtežbe in sposobnosti konstrukcije, da bo to obtežbo prevzela. Po Evrokodih mora za vsak konstrukcijski element in celotno konstrukcijo veljati:

$$E_d \leq R_d,$$

kjer je E_d projektna vrednost vplivov obtežbe pri potresu, R_d pa projektna odpornost obravnavanega konstrukcijskega elementa. Če preverjamo mejno stanje, ko se konstrukcija spremeni v mehanizem (ko izgubi stabilnost pri delovanju obtežbe), moramo preveriti, da mehanizem ne nastane prej, preden vplivi obtežbe dosežejo projektne vrednosti.

Preverjanje potresne odpornosti stavb

Metode preverjanja

Ekvivalentna statična analiza:

Potresna obtežba: se določi s pomočjo elastičnega spektra odziva in faktorja obnašanja q .
Teorija elastičnosti.

Kriterij: projektna odpornost elementov in konstrukcije v celoti je večja od projektne obtežbe.
Možnost prerazporeditve obtežbe na neizkoriščene elemente konstrukcije je omejena.

Nelinearna analiza dinamičnega odziva:

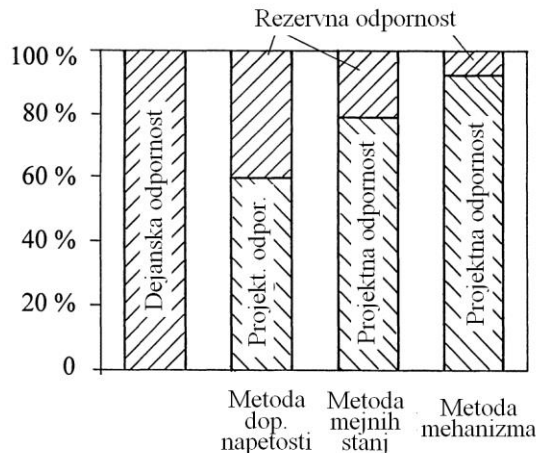
Potresna obtežba: časovni potek pospeškov tal potresna s projektnimi parametri

Kriterij: medetažni pomik je manjši od dopustnega

Potisna (push-over) metoda:

Izračuna se krivulja otpornosti (odvisnost sila-pomik)

Kriterij: izračunana kapaciteta nosilnosti je večja od projektne; ocenjena kapaciteta duktilnosti je večja od potrebne za doseganje izbrane vrednosti faktorja q



Preverjanje potresne odpornosti stavb

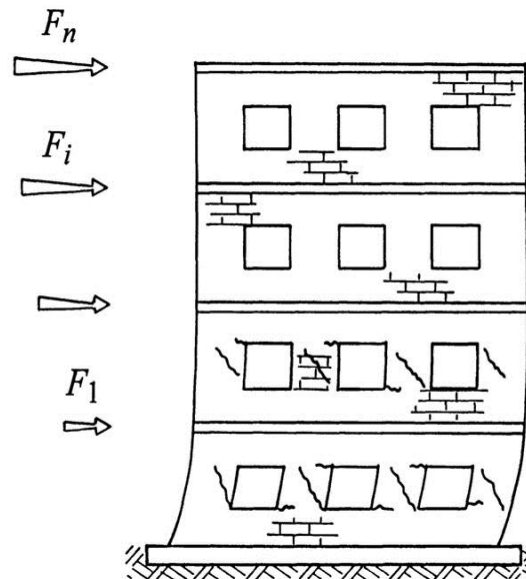
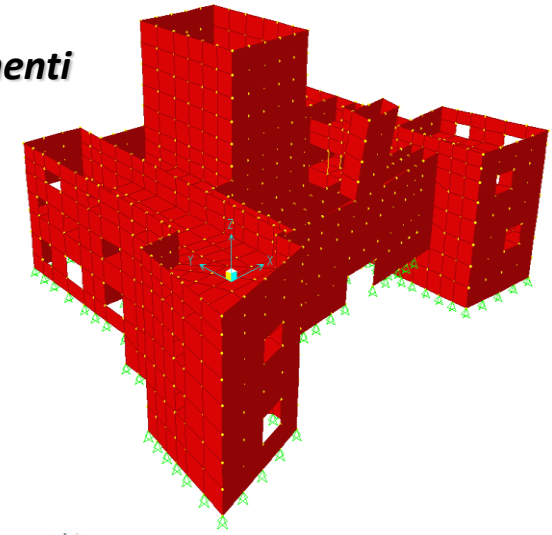
Računski modeli

A	B1	B2	C	D
VERTICAL OVERTURNING	OVERTURNING WITH 1 SIDE WING	OVERTURNING WITH 2 SIDE WINGS	CORNER FAILURE	PARTIAL OVERTURNING

E	F	G	H
VERTICAL STRIP OVERTURNING	VERTICAL ARCH	HORIZONTAL ARCH	IN PLANE FAILURE

Modeli kinematičnih mehanizmov (D'Ayala)

Modeli s končnimi elementi



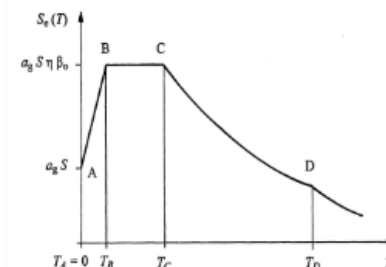
**Potisne (pushover) metode
Model etažnega mehanizma**

Potresna obtežba: odziv elastične konstrukcije

osnova: sila = masa x pospešek

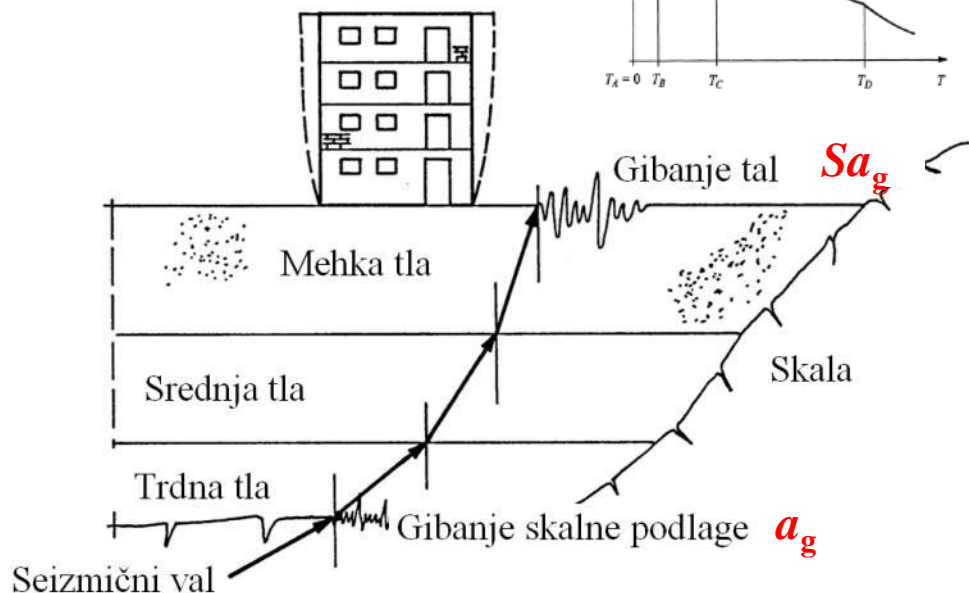
Odziv konstrukcije:

$$a = S_e(T) = Sa_g \eta \beta_0$$



Masa: odvisna od konstrukcije

Pospešek: odvisen od potresnega gibanja tal in dinamičnih lastnosti (odziva) konstrukcije. Določi se s spektrom odziva

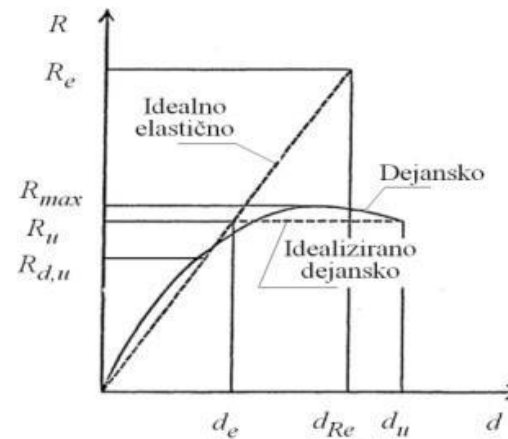


Projektna potresna obtežba

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q}$$

Pri pravilnih konstrukcijah lahko zaradi pripisane sposobnosti deformiranja in sipanja energije elastične potresne sile zmanjšamo s faktorjem obnašanja konstrukcije, q . To nam omogoči, da konstrukcijo projektiramo z enostavnimi modeli po teoriji elastičnosti in uporabimo metodo z ekvivalentno statično analizo

Faktor obnašanja konstrukcije q



$$q = R_e / R_{d,u}$$

$$q = (2 \mu_u - 1)^{1/2}$$

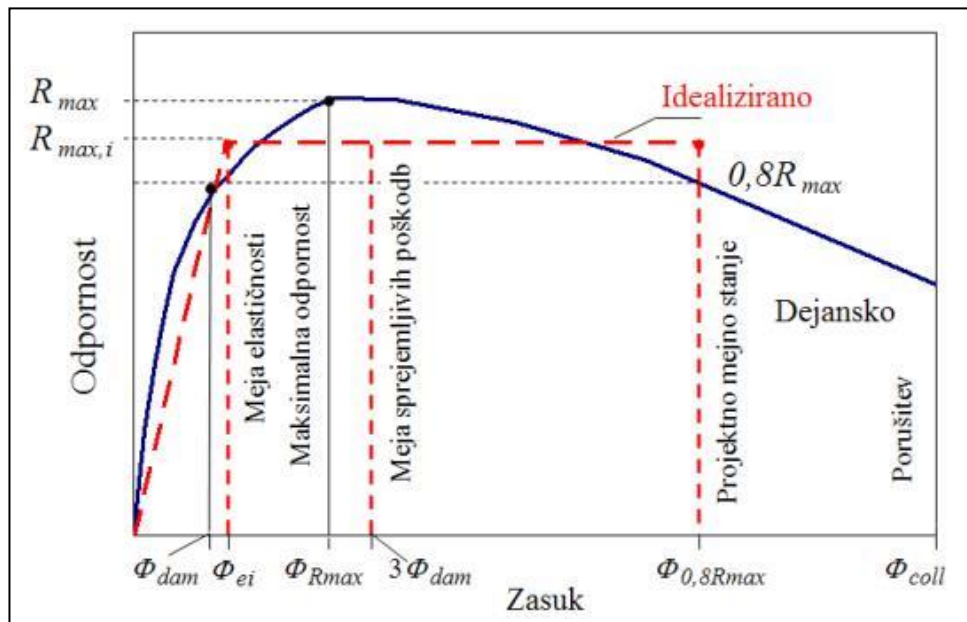
Definicija po veljavnem Evrokodu 8:

Faktor q pomeni približek razmerja med potresnimi silami, ki bi delovale na konstrukcijo s 5 % dušenjem, če bi bil njen odziv popolnoma elastičen, in najmanjšo potresno silo, ki jo lahko upoštevamo pri projektiranju s konvencionalnimi elastičnimi modeli.

Območja vrednosti faktorja obnašanja q za zidane konstrukcije po veljavnem Evrokodu 8:

nearmirano zidovje	<u>1.5</u> - 2.5
povezano zidovje	<u>2.0</u> - 3.0
armirano zidovje	<u>2.5</u> - 3.0

Predlog vrednosti q na podlagi študije korelacije poškodb in kapacitete deformacij



Končno mejno stanje: se po Evrokodu doseže pri pomiku (zasuku), kjer odpornost pade na 80 % maksimalne, analize pa pokažejo, da je takrat konstrukcija že preveč poškodovana

Mejno stanje uporabnosti se pri zidanih konstrukcijah doseže pri približno trikratnem pomiku na meji nastanka poškodb. Primerjava poškodb pokaže, da med obema mejnima stanjem ni bistvene razlike. Zato v praksi preverjamo le eno samo mejno stanje, pri čemer vrednost parametra, s katerim implicitno upoštevamo kapaciteto deformacij in sipanja energije, ocenimo z deformacijami pri sprejemljivih poškodbah

$$\Phi_{du} = \min \{ \Phi_{0,8R_{max}}; 3\Phi_{cr} \}$$

$$\Phi_{cr} \approx 0.2 - 0.3 \%$$

$$\Phi_{R_{max}} \approx 0.4 - 0.5 \%$$

$$\Phi_{coll} \approx 1.0 \%$$

$$\Phi = d/h (\%) - \text{relativni etažni zasuk}$$

Analize številnih eksperimentov so pokazale, da lahko pri navadnih zdanih stavbah, ki izpolnjujejo konstrukcijske zahteve (povezanost zidov, pravilna in simetrična razporeditev v tlorisu in po višini), v analizi potresne odpornosti upoštevamo vrednost faktorja q na zgornji meji dopustnega območja po Evrokodu 8

Predlog vrednosti q na podlagi študije korelacije poškodb in kapacitete deformacij

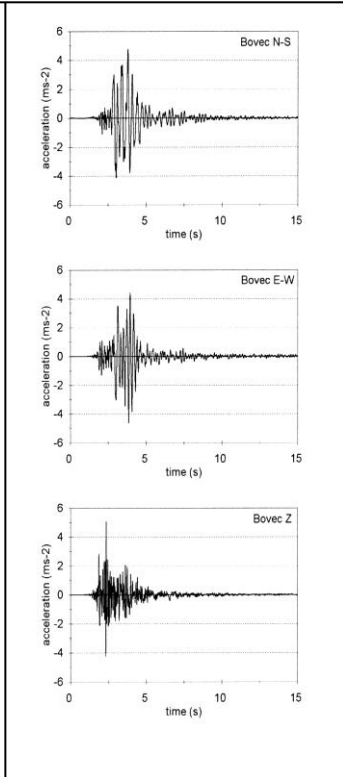
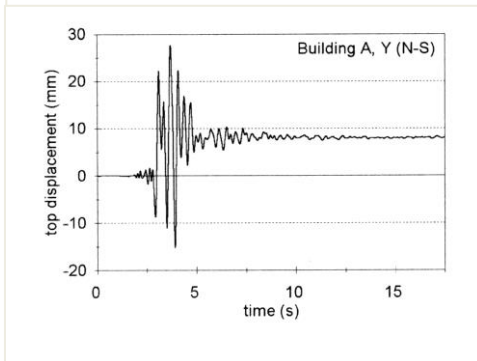
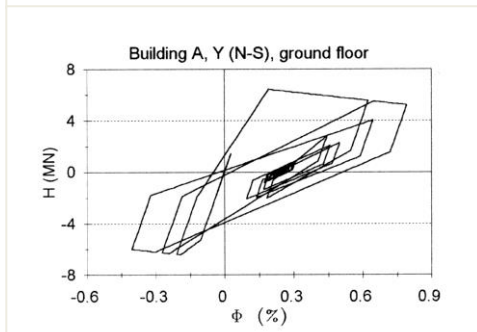
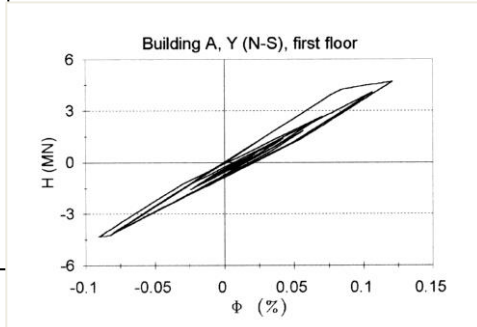
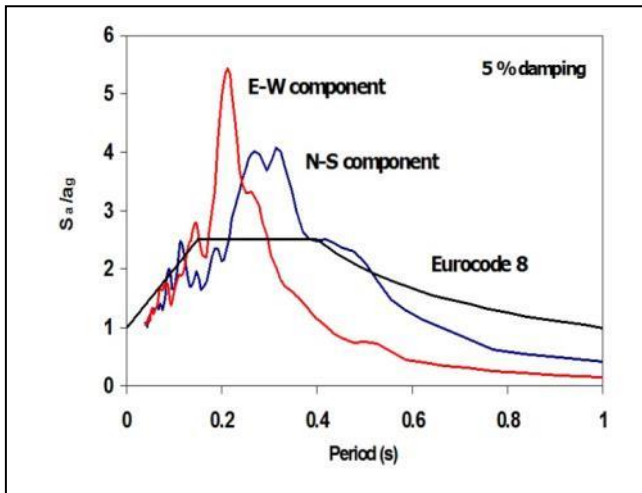
$$\Phi_{du} = \min \{ \Phi_{0,8R_{max}}; 3 \Phi_{cr} \}$$

Osnovni pospešek tal a_g	0.05	0.10	0.20	0.25
Približna intenziteta po EMS lestvici	VI	VII	VII-VIII	VIII-IX
Projektni pospešek tal Sa_g za $S = 1.2$	0.06	0.12	0.24	0.30
BSC_d za $q = 1.5$	0.10	0.20	0.40	0.50
BSC_d za $q = 2.0$	0.08	0.15	0.30	0.38
BSC_d za $q = 2.5$	0.06	0.12	0.24	0.30

Vrednosti pospeškov so podane v deležu pospeška prostega pada g
 BSC je razmerje med potresno obtežbo in teži stavbe v pritličju

Pri pogoju, da zidane stavbe izpolnjujejo pogoje za povezanost zidovja in pravilnost konstrukcije v tlorisu in po višini, predlagane vrednosti ne znižujejo bistveno kriterijev mejnega stanja porušitve, dopuščajo pa nekoliko povečan obseg poškodb

Primer analize zanesljivosti računskih modelov



Bovec, 2004

Preverjanje potresne odpornosti obstoječih stavb

Materiali: zahteve Evrokoda 8-3

$$f_d = \frac{f}{C_F \gamma_M}$$

f_d – projektna vrednosti trdnosti materiala,

f – srednja vrednost trdnosti, dobljena s preiskavo,

C_F – faktor zaupanja, odvisen od nivoja poznavanja konstrukcije (KL),

γ_M – delni faktor za materiale, kot da definira Evrokod 6-1

Trdnost materialov se ugotavlja s preiskavo

Priporočilo

***Namesto „srednje“ naj se uporablja
„karakteristična“ vrednost trdnosti
zidovja, kot jo določa standard za
preiskavo tlačne trdnosti***

$$f_k^* = \min (f/1,2; f_{\min})$$

f – s preiskavo dobljena srednja vrednost

*** V primeru, ko se preišče samo en vzorec, naj se vrednost zmanjša s faktorjem 1,2!**



Trdnost materialov

Delni faktor varnosti γ_M

Delnega faktorja varnosti, kot ga definira Evrokod 6, v primeru starih zidanih stavb praviloma sploh ne moremo uporabljati.

Ker se pri starih stavbah lastnosti materialov določajo s preiskavami, uporabljajo pa se tudi drugi kriteriji, ki uoštevajo raztros vrednosti, dodatna redukcija eksperimentalnih vrednost z delnim faktorjem nima nobenega smisla

Material		γ_M				
		Class				
		1	2	3	4	5
	Masonry made with:					
A	Units of Category I, designed mortar ^a	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5
B	Units of Category I, prescribed mortar ^b	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
C	Units of Category II, any mortar ^{a, b, c}	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0
D	Anchorage of reinforcing steel	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
E	Reinforcing steel and prestressing steel	1,15				
F	Ancillary components ^{c, d}	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
G	Lintels according to EN 845-2	1,5 to 2,5				
^a Requirements for designed mortars are given in EN 998-2 and EN 1996-2.						
^b Requirements for prescribed mortars are given in EN 998-2 and EN 1996-2.						
^c Declared values are mean values.						
^d Damp proof courses are assumed to be covered by masonry γ_M .						
^e When the coefficient of variation for Category II units is not greater than 25 %.						

END OF NOTE

Trdnost materialov

Faktor zaupanja CF

Raven poznavanja KL3: celovito poznavanje konstrukcije. Lastnosti materialov so ugotovljene z laboratorijskimi ali in-situ preiskavami: CF = 1.0 (Evrokod: CF = 1.0)

Raven poznavanja KL2: običajno poznavanje. Lastnosti materialov so le delno ugotovljene s preiskavami: CF = 1.2 (Evrokod : CF = 1.2)

Raven poznavanja KL1: omejeno poznavanje. Lastnosti materialov so povzete iz banke podatkov, opravljena je le njihova identifikacija: CF = 1.35 (Evrokod : CF = 1.35)

Dodatno priporočilo:

Raven poznavanja KL1: omejeno poznavanje. Lastnosti materialov so povzete iz banke podatkov, brez identifikacije na terenu: CF = 1.75 (Evrokod nima priporočila)

Sanacija ali utrditev zidanih stavb

Sanacija: poseg, s katerim poškodovano konstrukcijo le popravimo in povrnemo v prvotno stanje. S sanacijo ne povečamo odpornosti konstrukcije

Utrditev: povečamo odpornost konstrukcije – konstrukcijo utrdimo. Pri tem odpravimo razloge za neustrezno obnašanje med potresom: zagotovimo celovitost obnašanja konstrukcije, povečamo odpornost nosilnih elementov in konstrukcije kot celote ter izboljšamo temeljenje

Do katere ravni je treba obstoječe stavbe utrditi?

- ***Stavbe v stalni uporabi (stanovanjske, javne, ipd.): na splošno morajo biti utrjene do iste ravni varnosti in uporabnosti kot v primeru novogradnje, vendar se včasih ne moremo izogniti zmanjšanju projektnih potresni sil***
- ***Spomeniško zaščitene stavbe (kulturni spomeniki): vsaka stavba zase je poseben primer. Način in stopnja utrditve je kompromis med inženirskimi zahtevami in zahtevami spomeniškega varstva***

Utrjevanje in prenova: spoštujmo nauke potresov!

- ***Zagotovimo celovitost delovanja konstrukcije***
- ***Izboljšajmo zasnovo konstrukcije***
- ***Izboljšajmo odpornost konstrukcije***
- ***Preverimo in izboljšajmo temeljenje***

Vse to moramo upoštevati tudi takrat, ko prenavljamo stavbe, tako celoto kot tudi posamezna stanovanja!

***Postopke in pravila določa Evrokod 8-3: Ocena in prenova stavb
(SIST EN 1998-3)***

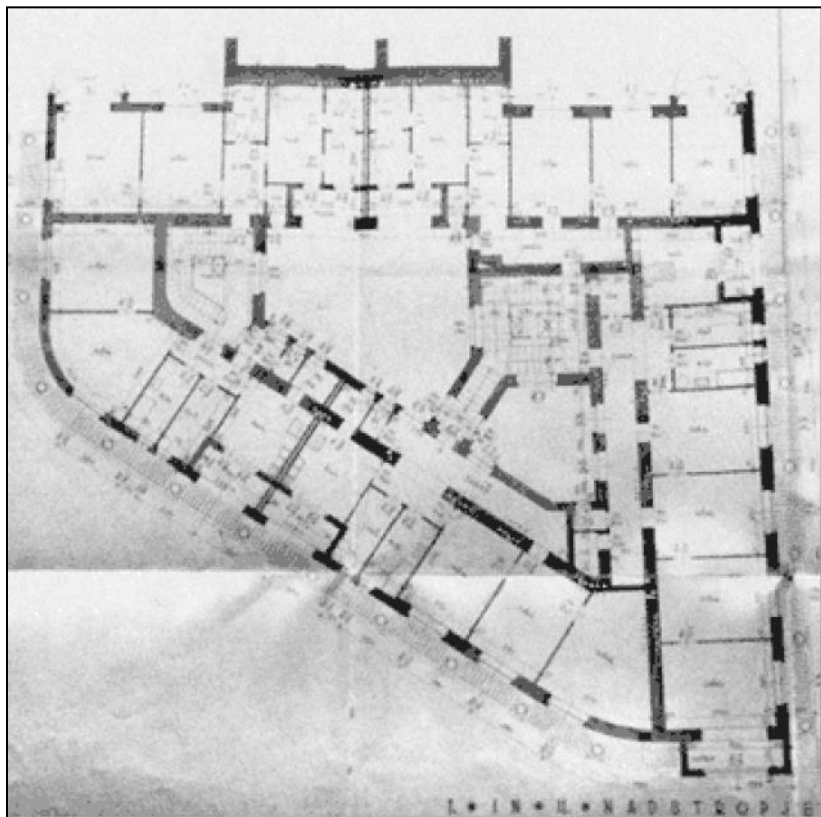
Izbira metode

Kriteriji: zahtevana raven utrditve, materiali, razpoložljiva tehnologija in usposobljena delovna sila, uporabnost stavbe med posegi, stroški, zahteve za ohranitev arhitekturne dediščine...

Učinkovitost uporabljene rešitve mora biti eksperimentalno (ne zgolj računsko!) preverjena

S sodobnimi prenovitvenimi posegi ne smemo poslabšati potresne odpornosti stavb!

Primer prenove stanovanja v Ljubljani



(Delo in dom, druge spletne objave.

Tloris: www.arhitekturni-vodnik.org)

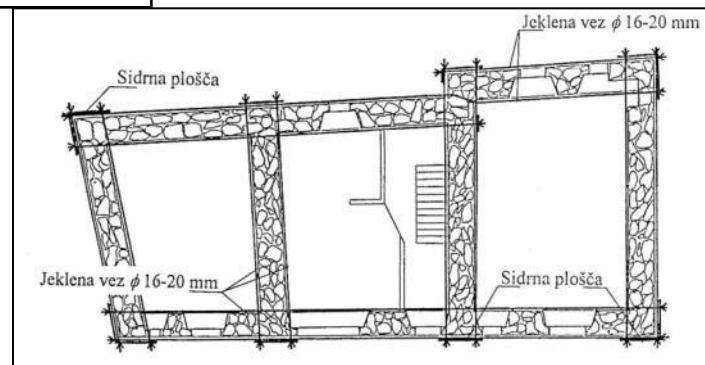
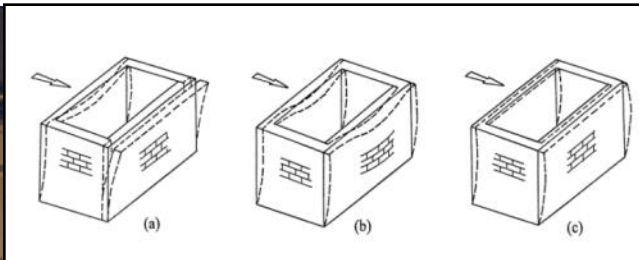
Pred prenovo stanovanja se je treba prepričati, če konstrukcija dopušča radikalne posege. Tako ni vsaka predelna stena samo „predelna stena“!

„Prostori so bili v skladu s tistim časom funkcionalno ločeni in manjši, zato je bil eden od temeljnih posegov ob prenovi stanovanja, ki je nastalo v avtorstvu arhitektov xy, rušenje predelnih sten. Prej pregrajene prostore v več manjših so z rušitvijo predelnih sten povezali v krožno zasnovan tloris. Na tak način so stanovanje naredili zračno in fluidno.“

V potresno ranljivi stavbi, ki ne ustreza današnjim zahtevam za potresno odporne zidane konstrukcije (višina, sistem zidanja, porazdelitev zidov) so odstranili vezne zidove in jo s tem naredili še bolj ranljivo! Po drugi plati pa:

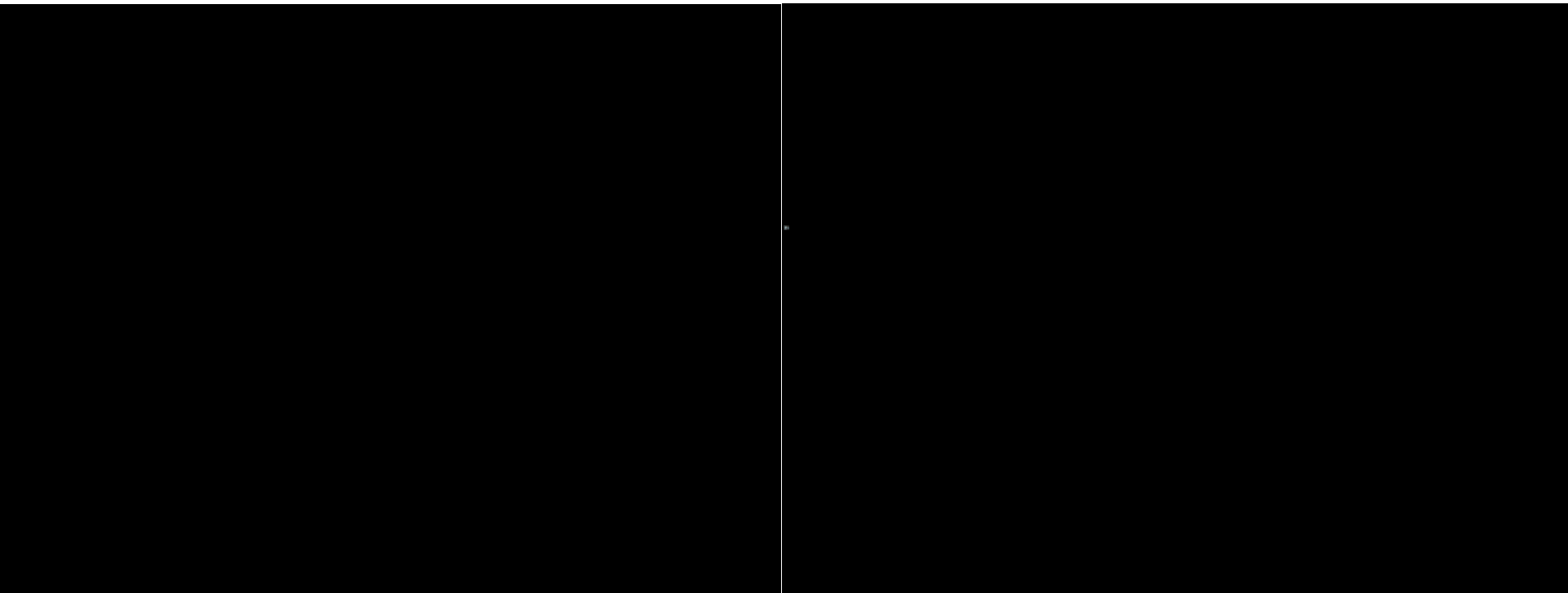
„Čeprav so bila okna v precej slabem stanju, smo se jih vseeno odločili obnoviti zaradi njihove kakovosti in spoštovanja do arhitekturne dediščine. Prenovili smo jih in tako obdržali. Želeli smo, da se ambient časa, v katerem je bila hiša zgrajena, začuti v stanovanju.“

Zagotavljanje celovitosti delovanja konstrukcije

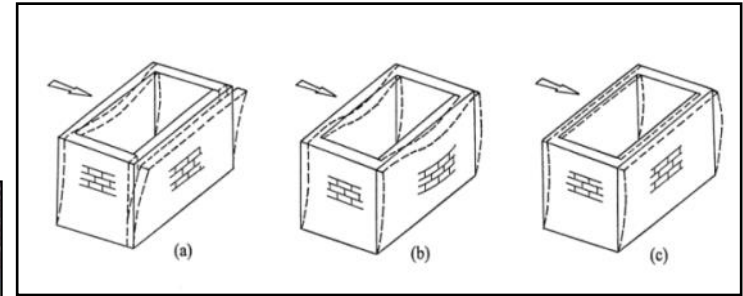


Modela kamnitih hiš z lesenimi stropi, nepovezanim in s povezanim zidovjem, med preiskavo na potresni mizi

Učinek zidnih vezi: razlika je očitna

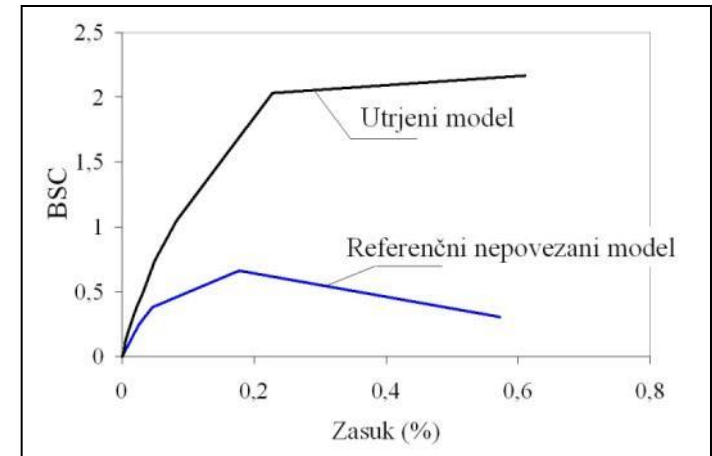


Zagotavljanje celovitosti delovanja konstrukcije



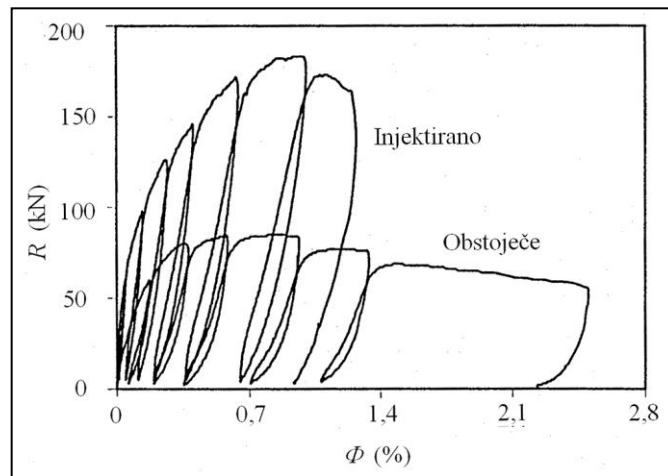
Je zamenjava lesenih stropov z masivnimi ploščami res vedno najboljša rešitev?

Zagotavljanje celovitosti delovanja konstrukcije

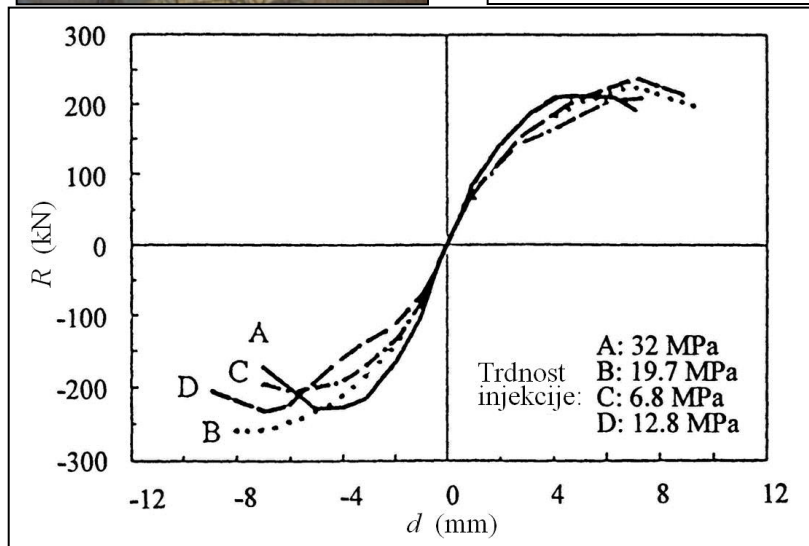


Preiskava možnosti uporabe karbonskih lamel za povezovanje zidovja

Utrjevanje kamnitih zidov z injektiranjem



Tipični rezultat terenskih strižnih preiskav kamnitega zidu

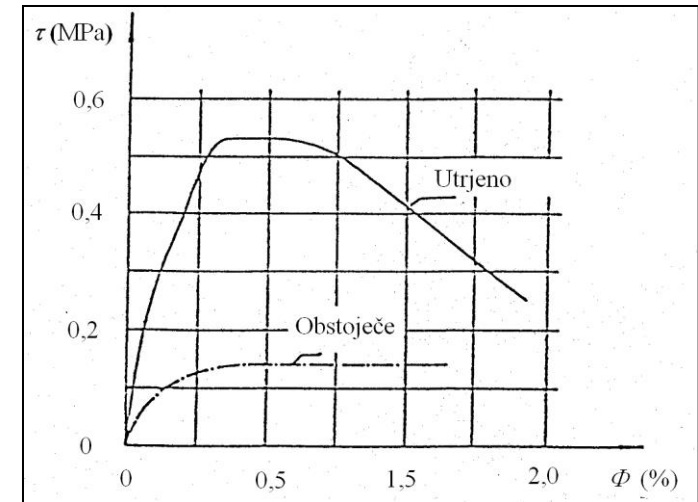


Sestavo injekcijske mešanice lahko prilagodimo zahtevam spomeniškega varstva

Utrjevanje opečnega zidovja z oblaganjem



Klasična armirano cementna obloga

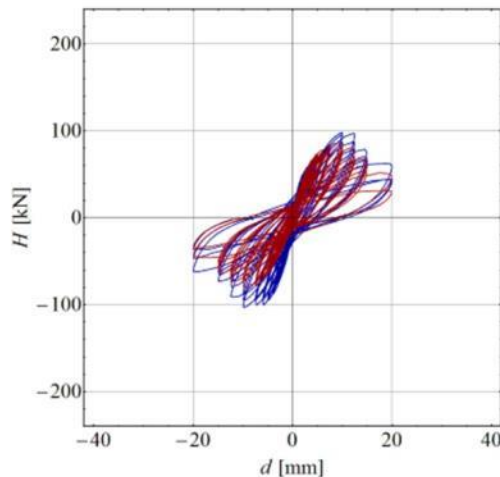


Utrjevanje opečnega zidovja z oblaganjem



*Diagonalno položena,
nesidrana GFRP mreža in z
vlakni ojačena malta*

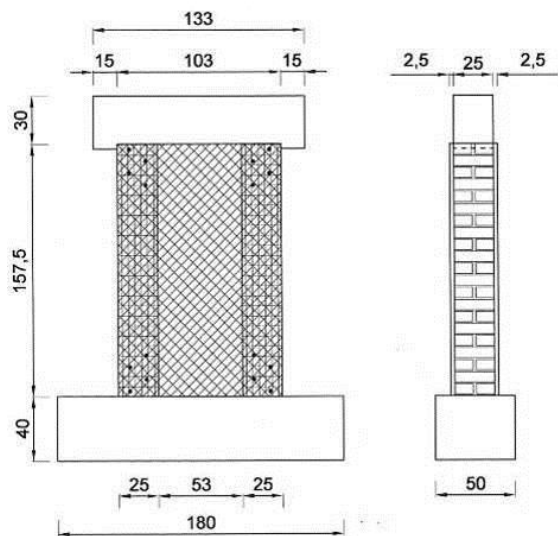
Polimerne obloge



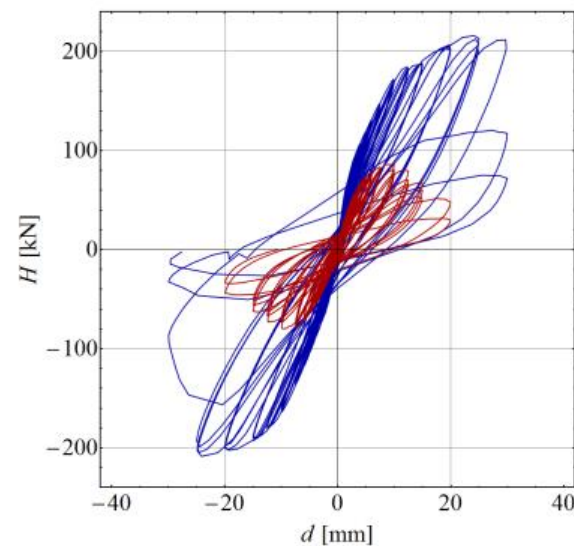
*Diagonalno nalepljene
karbonske lamele*

Ni učinka!

Utrjevanje opečnega zidovja z oblaganjem



Polimerne obloge



Diagonalno položena GFRP mreža z navpičnimi robnimi trakovi, sidrana v vogalih zidu, in z vlakni ojačena malta

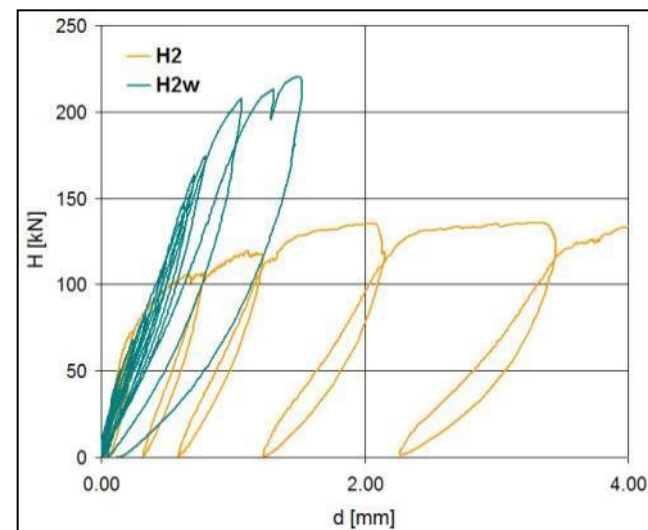
Opazno izboljšanje

Utrjevanje opečnega zidovja z oblaganjem



Polimerne obloge

In-situ preiskava

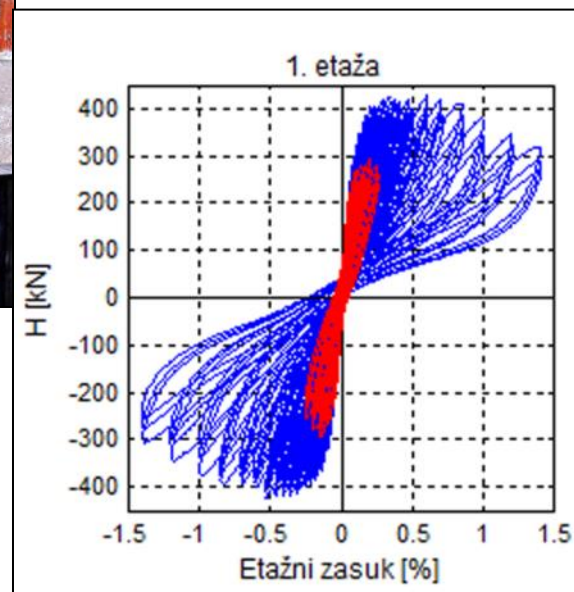
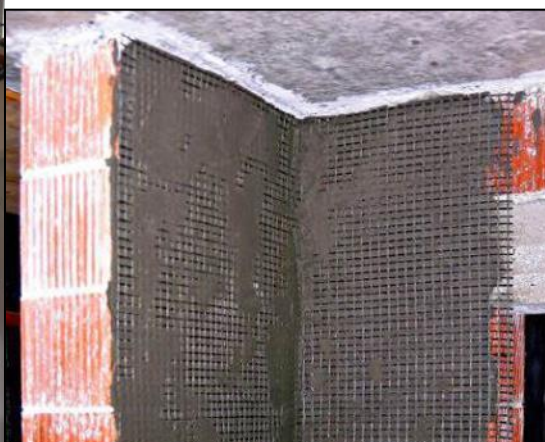


*Zid je bil povit v treh nivojih
in utrjen z diagonalno
položenimi trakovi iz CFRP
tkanine v epoksidni matriki*

Utrjevanje opečnoga zidovja z oblaganjem

Polimerne obloge

Laboratorijska preiskava trinadstropne hiše v naravnem merilu



Preprojektiranje starih zidanih stavb

Evrokod 8-3: Ocena in prenova stavb (SIST EN 1998-3)

Ocena stanja konstrukcije

Stopnja poznavanja, faktor zaupanja (lastnosti materialov)

Izbor metode utrjevanja

Skladno s potrebo in v odvisnosti od vrste konstrukcije. Učinkovitost še ne preizkušenih metod je treba dokazati z eksperimentalno preiskavo.

Preprojektiranje

Uporabljeni računski modeli morajo ponazarjati dejansko obnašanje in mehanizme porušitve. Odpornost konstrukcije ocenimo na podlagi poznavanja dejanskih lastnosti materialov

Izvedba del

Spremljamo izvedbo del in po potrebi ter skladno z ugotovljenim stanjem predlagamo spremembe projekta utrditve oziroma prenove

Namesto sklepa: je na področju utrjevanja starih zidanih stavb kaj novega?

Razvite so bile nove metode za ugotavljanje stanja in vrednotenje konstrukcij

Na podlagi analize poškodb potresih in obsežnih eksperimentih so bili razviti različni modeli za oceno potresne odpornost

Razvite in eksperimentalno preverjene so bile številne tehnološke rešitve za utrjevanje, osnovane na uporabi tako tradicionalnih kot tudi sodobnih materialov in tehnologij

Možnosti in orodja, pa tudi ustrezna regulativa so na razpolago. Treba jih je samo resno vzeti in upoštevati

Sklepi

Če spoštujemo pravila in uporabimo preverjene metode, lahko tudi starim stavbam izboljšamo potresno odpornost



***Po potresu leta 1998 poškodovane
Drežniške Ravne***



***Prenovljena vas med
potresom leta 2004 ni
bila poškodovana***



HVALA!