

POTRESI IN STARE ZIDANE ZGRADBE

Miha Tomaževič*

V članku je analizirano obnašanje starih zidanih hiš med potresi. Z eksperimentalnimi in analitičnimi raziskavami je ugotovljeno, da je potresna odpornost starih zidanih hiš razmeroma majhna, zato so bili razviti tehnični ukrepi, s katerimi je mogoče stare hiše ustrezno ojačiti. Dokazano je že bilo, tako na hišah po potresih kot tudi s poskusi na modelih, da so ti ukrepi učinkoviti in hkrati ekonomični.

S stališča potresno varnega grajenja so »stari« objekti pravzaprav vsi objekti, projektirani in grajeni pred uveljavitvijo predpisov, ki urejajo grajenje na potresnih območjih. V Sloveniji so prvi tovrstni predpisi izšli šele leta 1963. To pomeni, da so nekateri »stari« objekti po letih še razmeroma zelo mladi in niso dosegli niti polovice življenjske dobe, za katero so bili predvideni. V prispevku se ne bomo spuščali v problematiko teh »starih« objektov, ali bolje rečeno objektov, katerih potresna odpornost ne ustreza današnjim načelom: le-ti so po konstrukciji in namenu preveč različni, da bi jih lahko obdelali na nekaj straneh. Omejili se bomo le na resnično stare, zidane hiše v zgodovinskih mestnih in vaških središčih, pri čemer pa bomo izvzeli monumentalne stavbe.

Zakaj se bomo ukvarjali ravno s starimi hišami? Zato, ker te še vedno predstavljajo precejšen del gradbenih objektov v starih mestih in vaseh, ki pa, kot vemo, navadno ležijo na območjih z visoko stopnjo potresne aktivnosti. Iz zgodovinskih podatkov je znano, da so potresi na ozemlju Jugoslavije (katere 75 % ozemlja je potresno aktivnega) v preteklosti porušili ali močno poškodovali precej antičnih in srednjeveških naselij. Prebivalci so nekatera med njimi obnovili ali na novo zgradili v bližini porušeni, nekatera pa so morali zapustiti. Ljubljano sta na primer opustošila katastrofalna potresa v letih 1511 in 1895 (po današnji seizmološki karti leži mesto na območju VIII. in IX. stopnje potresne jakosti po Mercalli-Cancani-Siebergovi lestvici). Tudi potresi, ki so prizadeli našo domovino v zadnjem času (potresi na Kozjanskem leta 1974, v Posočju leta 1976 in v Črni gori leta 1979), so največ škode pa tudi človeških žrtev zahtevali prav v zgodovinskih mestnih in vaških središčih. Potresna odpornost starih hiš torej v splošnem ni ustrezna.

Kljub temu protipotresni zaščiti starih stavb do nedavnega nismo posvečali posebne pozornosti. Tudi če smo stare hiše rekonstruirali, se je večkrat dogajalo, da smo sicer solidno sezidane hiše pregradili in nadzidali v tolikšni meri, da smo ogrozili celo njihovo stabilnost pri normalnih pogojih, da o možnem potresu

niti ne govorimo. Če pa smo že mislili na potres, smo se problemov protipotresne ojačitve starih hiš največkrat lotevali zelo površno, na osnovi subjektivnih občutkov. Da tak pristop ni pravičen, so nam potrdili potresi sami: vedno so bile najprej poškodovane in porušene ravno neustrezno rekonstruirane in adaptirane hiše. Pri nas so morda najbolj znane žalostne izkušnje v Furlaniji leta 1976. Potresi, ki so hudo prizadeli tudi Posočje, so namreč pokazali vso neučinkovitost tako imenovanih »kozmetičnih« popravil in posegov, ponovno pa so razkrili tudi posledice neustreznih rekonstrukcij in adaptacij starih stavb. Medtem ko so se stavbe, ki so bile po majskem potresu popravljene le na zunaj z zapiranjem razpok in s popravili ometa, med septembrskimi potresi množično rušile ali pa so bile zelo poškodovane, so — na žalost zelo redke — tehnično strokovno popravljene hiše septembrske potrese enake jakosti prestale brez poškodb.

Vprašanje, ali je mogoče stare hiše sanirati in ojačiti v tolikšni meri, da bodo lahko brez hujših posledic prestale bodoče, z določeno verjetnostjo pričakovane potrese, se je najprej pojavilo v primerih, ko je bilo treba obnoviti po potresih poškodovana naselja. Vprašanje potresne varnosti pa je postalo na splošno pereče, ko smo začeli prenavljati stara mestna in vaška središča. S prenovo starih hiš največkrat ne želimo le posodobiti obstoječih stanovanjskih prostorov, ampak hočemo z nadzidavami in s preureditvami podstrešnih prostorov tudi povečati število stanovanj (to je postalo zanimivo predvsem v času ekonomske stabilizacije). Z dvigom stanovanjskega standarda moramo ustreči tudi zahtevam po spremljajočih dejavnostih, zato preurejamo pritličja starih stanovanjskih mestnih hiš v raznovrstne poslovne prostore.

Običajno prenavljamo stara mestna in vaška središča, ki predstavljajo našo kulturno dediščino. S tem, ko jih vračamo v življenje, jih ohranjamo bodočim generacijam. Vsi vemo, da je prenova draga, zato se moramo hkrati v vprašanju, kako prenoviti hišo, tudi vprašati, kaj je z nje potresno varnostjo, saj bomo v nasprotnem primeru po potresu lahko samo brez moči opazovali ruševine.

Zavedajoč se resnosti problematike in velikega potresnega tveganja, kateremu so izpostavljene stare zidane hiše v mestnih in vaških središčih, se v proces prenove in protipotresnega ojačevanja starih hiš strokovnjaki Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij (ZRMK) aktivno vključujejo že od vsega začetka. Zavodovi strokovnjaki raziskujejo dinamično obnašanje starih hiš, preiskujejo lastnosti materialov, iz katerih so stare

hiše zgrajene, hkrati pa razvijajo tudi raznovrstne tehnične ukrepe za njihovo protipotresno ojačevanje, katerih učinke pred uveljavitvijo preizkusijo v laboratoriju.

Zavodovi strokovnjaki razvijajo metode za preračunavanje potresne odpornosti starih hiš, vključujejo pa se tudi v pripravljanje tehnične regulative, ki zajema področje sanacij in ojačevanja starih in po potresih poškodovanih hiš. Po navodilih strokovnjakov ZRMK so bile sanirane in ojačene po potresu poškodovane hiše na Kozjanskem in v Posočju, izkušnje zavoda pa so bile osnova tudi za tehnične predpise za sanacijo in ojačitev objektov, poškodovanih po potresih v Italiji (Furlanija leta 1976 in Basilicata leta 1980) in v Črni gori leta 1979. Izsledki zavodskih raziskav, o katerih bomo na kratko spregovorili v tem prispevku, so pomagali pri pripravi »Strokovnega poročila za adaptacije in rekonstrukcije objektov visoke gradnje na potresnih območjih«, ki ga je izdal Republiški komite za industrijo in gradbeništvo v zvezi z adaptacijami starih mestnih hiš in s preureditvami podstrešij v stanovanjske namene.

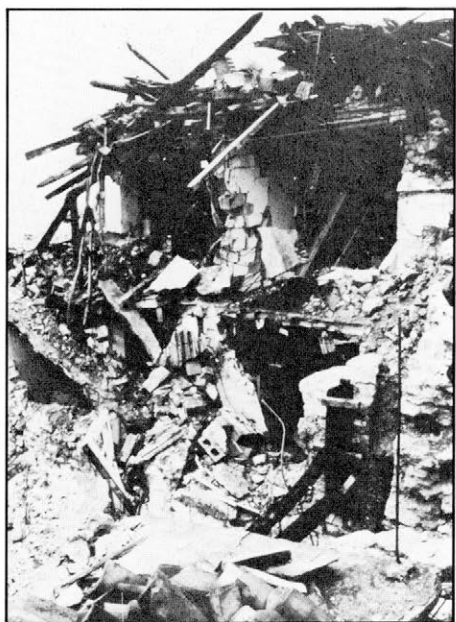
POTRESNA RANLJIVOST STARIH ZIDANIH STAVB

Obnašanje starih zidanih stavb med potresi

Ko pregledujemo stare zidane stavbe, ki jih je poškodoval potres, lahko med bolj ali manj poškodovanimi hišami (slika 1) vedno najdemo tudi take, ki so potres razmeroma ugodno prestale (slika 2), pa čeprav se po izgledu niso razlikovale od poškodovanih hiš. Seveda poskušamo z analizami poškodb ugotoviti, kako so se hiše med potresom obnašale, s primerjavo načinov zidanja bolj in manj poškodovanih hiš pa ugotoviti, kaj pravzaprav tudi starih hišam včasih zagotavlja potresno varnost.

Stare hiše v zgodovinskih mestnih in podeželskih središčih pri nas so zidane stavbe, katerih višina le izjemoma presega štiri etaže. Osnovni konstrukcijski elementi starih hiš so kamniti, mešani ali opečni zidovi, ki jih včasih, ko je bilo v zidu potrebno pustiti večjo odprtino, zamenjajo loki. Stropi so največkrat leseni, pri čemer so stropniki prosto položeni v utore zidu. Nad kletjo pa velikokrat najdemo opečne oboke, ki zaradi svoje raznolikosti navadno predstavljajo najvrednejši del stare hiše.

* Dr., izredni profesor, Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij, Dimičeva 12, Ljubljana, (061) telefon 344-061.



Slika 1. Stari, zgodovinski del Ulcinja, ki ga je porušil potres 15. maja 1979. (Slikal M. Tomažević)



Slika 2. Kamnita hiša v starem delu Ulcinja, ki je potres 15. maja 1979 preživel.

Po potresih največkrat opazimo posledice nezadostne povezanosti med zidovi in strepi. Hudič poškodb in porušitev starih hiš je bila velikokrat kriva nepravilna tlorisna razporeditev zidov, ravno tako pa tudi velike odprtine, oziroma premajhno število zidov v eni smeri stavbe. Seveda je v veliki meri prav slaba kakovost zidnih materialov, posebno malte, povzročila nastanek razpok, razpad zidov ali njihovo porušitev, pa čeprav je konstruktivna zasnova stavbe ustrezala.

Kljub temu srečamo primere, ko so graditelji starih stavb, ki so mislili na rušilno moč potresov, poskrbeli za razmeroma solidno potresno odpornost svojih hiš z vrsto ukrepov:

- z veznimi kamni, ki so povezovali oba nosilna sloja kamnitega ali mešanega zidu v enakomernih presledkih;
- z uporabo pravilno klesanih kamnov na vogalih stavb in na stikih zidov, da

bi zidove v kritičnih območjih med seboj bolje povezali;

- z železnimi vezmi (slika 3), s katerimi so v višini stropov med seboj povezovali tudi zidovje celotne stavbe.

Na žalost te ukrepe največkrat srečujemo le v obdobjih po potresih: s časovno odmaknjenostjo od potresa se zmanjšuje tudi njihova prisotnost v stavbah.

Čeprav se načini zidanja hiš v starih mestnih in vaških središčih na različnih območjih razlikujejo, lahko poškodbe, ki smo jih opazili po potresih, razvrstimo po enotnem sistemu na:

- horizontalne razpoke na stikih zidov in stropov,
- vertikalne razpoke na vogalih in stikih zidov,
- ločitev zunanjih zidov,
- porušitev zunanjih zidov izven njihove ravnine,
- razpoke v prekladnih in parapetnih delih zidov,
- poševne razpoke v zidovih,
- delni razpad ali porušitev zidu,
- delno ali celotno porušitev stavbe.

lovale tako vertikalne kakor tudi horizontalne vztrajnostne sile, v konstrukciji sami, ki je pred potresom prenašala samo vertikalno obtežbo, pa nastanejo dodatne obremenitve.

Analize poškodb starih hiš po potresih in razikave obnašanja modelov hiš na potresnih mizah (napravah, ki nam omogočajo bolj ali manj natančno ponazoritev potresa v laboratoriju) so pokazale, da je nihanje stavbe močno odvisno od tega, kako so zidovi stavbe medsebojno povezani (slika 4).

Če zidovi stare hiše med seboj niso povezani z vezmi in leseni stropniki niso sidrani v zidove, se med potresom skušajo posamezni zidovi ločiti med seboj. Na vogalnih stikih zidov nastanejo vertikalne razpoke, ki se pojavijo bodisi v čelnih zidovih zaradi upogiba zidov izven njihove ravnine (slika 4 a) bodisi na koncih zidov, ki stoje v smeri delovanja potresa (slika 4 b) zaradi tega, ker je njihova natezna trdnost premajhna, da bi prevzeli vztrajnostne sile, nastale v čelnih zidovih. V takšnih pogojih postanejo nihanja posameznih zidov med seboj neusklajena, zidovi, ki stoje pravokotno na smer delovanja potresa, pa se lahko tudi prevrnejo.

Če so zidovi povezani med seboj z zidnimi vezmi, so med potresom prisiljeni nihanje med seboj usklajeno (slika 4 c). Obnašanje stavbe je boljše, vendar je zaradi podajnosti lesenih stropov in zidnih vezi še vedno zelo močan vpliv upogiba zidov izven njihove ravnine. Le-ta pa v precejšnji meri zmanjšuje potresno odpornost stavbe.

Potresna odpornost vseh zidov stavbe se izkoristi v celoti le takrat, ko so zidovi povezani med seboj z zidnimi vezmi in masivnimi strepi, ki so togi v svoji ravnini (slika 4 d). Med potresom nihajo zidovi med seboj usklajeno, vpliv upogiba zidov pravokotno na njihovo ravnino pa postane neznaten, saj so skoraj togo podprti na vseh štirih robovih.

Zaradi vztrajnostnih sil, ki delujejo na stavbo med potresom, se stavba deformira. Deli zidovja med okenskimi in vratnimi odprtinami (medokenski slopi) so precej bolj podajni kot pas zidovja nad odprtinami ali pod njimi (prekladni in parapetni pas zidu), zato se tudi najbolj deformirajo in običajno tudi poškodujejo.

Pri tem posamezni zidovi prenašajo največje upogibne napetosti na mestih vpetosti, največje strižne napetosti pa na sredini zidu. Velikost napetosti je odvisna od velikosti vertikalne obtežbe, ki jo prenašajo posamezni zidovi, ter od velikosti med potresom nastalih horizontalnih vztrajnostnih sil. Če so zidovi preobremenjeni, nastanejo razpoke: navadno zaradi tega, ker natezne napetosti, ki se razvijejo v zidu med potresom, dosežejo natezno trdnost zidu. Nekaj značil-

Analiza poškodb pokaže dobre in slabe strani različnih načinov zidanja. Z analizo poškodb lahko ugotovimo mehanizme porušitve zidnih elementov ter celotnega konstrukcijskega sistema stavbe. Seveda pa ne moremo ničesar reči o velikosti potresnih obremenitev oziroma o potresni odpornosti stavb, dokler z dodatnimi raziskavami ne ugotovimo dinamičnih lastnosti stavb ter mehanskih lastnosti materialov, elementov konstrukcije in stavb v celoti.

Mehanizmi porušitve

Potresno gibanje tal povzroča v stavbi vztrajnostne sile, katerih velikost je sorazmerna pospeškom in masam, na katere pospeški delujejo. Pospeški tal se s časom spreminjajo in povzročajo nihanje stavbe. Ker je gibanje tal prostorskega značaja, je tak tudi odziv stavbe: na konstrukcijo stavbe bodo med potresom de-

nih vrst nateznih razpok (ki jih včasih imenujemo tudi strižne razpoke) lahko vidimo na sliki 5 a.

Pri starih zidanih stavbah niso vedno zidovi tisti elementi stavbe, ki se najprej poškodujejo: lahko se zgodi, da se zaradi delovanja prečnih sil in momentov najprej poškodujejo prekladni in parapetni deli zidu (slika 5 b). Takšne poškodbe so nevarne predvsem pri stavbah brez zidnih vezi in okenskih preklad: če se poškoduje prekladni del, izgubi oporo tudi del lesene stropne konstrukcije.

Potresna obtežba

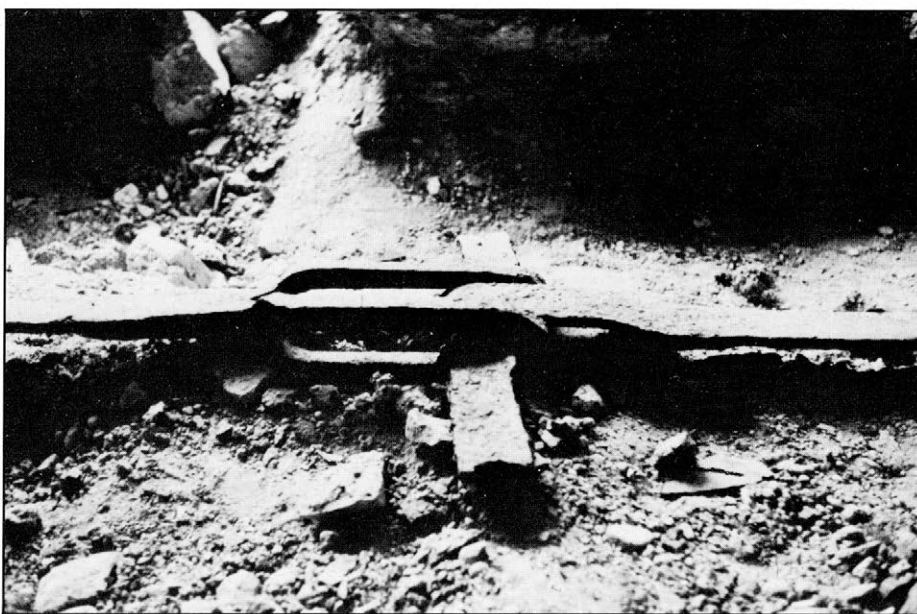
Rekli smo že, da potresno gibanje tal povzroča v stavbi časovno in prostorsko spreminjajoče se vztrajnostne sile — potresne sile. Glede na to, da — razen izjemoma — vertikalna komponenta potresnih sil ne predstavlja posebne nevarnosti za naše stavbe, jo običajno zanemarimo in v naših računih upoštevamo le njihovo horizontalno komponento.

Velikost vztrajnostnih sil, to je potresne obtežbe, ki deluje na stavbo, je odvisna tako od dinamičnih lastnosti potresa kakor tudi od dinamičnih lastnosti stavbe, saj se potresno gibanje tal zaradi resonančnih pojavov na konstrukciji stavbe lahko bolj ali manj ojači. Koliko se nihanje pri pričakovanem potresu lahko ojači, povedo tako imenovani spektri odziva (slika 6), ki za dani, izmerjeni potres ali skupino potresov prikazujejo, kolikšni bodo največji pospeški, hitrosti ali pomiki na stavbah z različnimi dinamičnimi lastnostmi, ki se navadno izrazijo z lastnim nihajnim časom stavbe ali frekvenco.

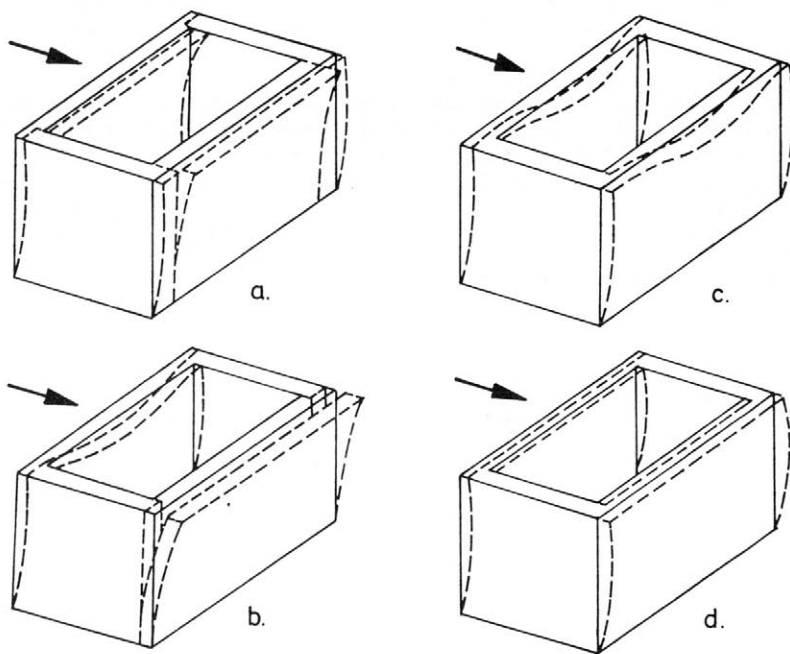
Kot so pokazale nedavne preiskave, ki smo jih izvršili v sodelovanju s skopskim Inštitutom za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo v okviru akcije prenovne stare Ljubljane, so lastni nihajni časi starih hiš v mestnih in vaških središčih zelo kratki in praktično niso odvisni od tlorisne zasnove in višine stavbe (0,24 s pri dvoetažni in 0,26 s pri štirietažni hiši). Meritve kažejo, da stare hiše ležijo ravno v območju največje dinamične ojačitve, kar pomeni, da bodo med potresom nanje delovale zelo velike potresne sile.

K sreči so stare hiše pred poručitvijo sposobne absorbirati razmeroma veliko količino energije, pa čeprav je njihovo zidovje razmeroma krhek konstrukcijski material. S tem, ko se med močnim potresom poškodujejo, se spremenijo njihove dinamične lastnosti, močno pa se poveča tudi njihovo notranje dušenje.

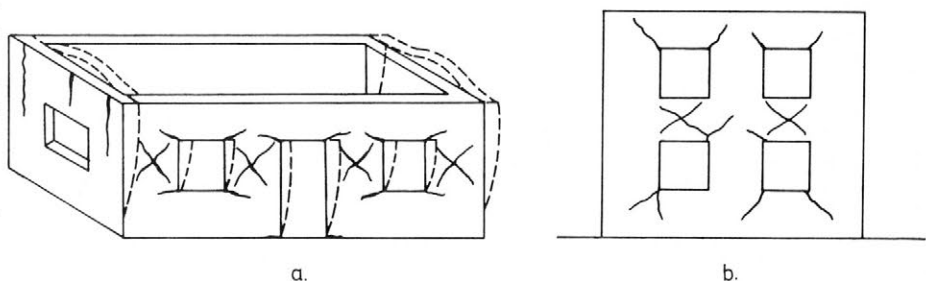
Na ZRMK smo s pomočjo potresne mize raziskovali dinamično obnašanje modela kamnite, enonadstropne vaške hiše, zgrajenega v merilu 1:5 (1). Čeprav je bila tlorisna zasnova modela enostavna, enostavno pa je bilo tudi potresno vzbujanje s sinusnimi valovi, smo na modelu



Slika 3. Železna vez nad oboki stare opečne hiše v Ljubljani. (Slikal R. Žarnić)



Slika 4. Nihanje zidanih stavb med potresi (2).



Slika 5: Tipične poškodbe zidanih stavb zaradi potresov (3)



Slika 6. Normalizirani elastični spektri odziva, predloženi za protipotresno projektiranje inženirskih konstrukcij (4)

uspešno ponazorili nastanek enakih poškodb, kot smo jih opazili po potresu na stavbah (glej sliko 7). V preglednici 1 lahko vidimo, kako so se z naraščajočo potresno obtežbo, izraženo z velikostjo pospeškov tal, večale poškodbe na modelu, istočasno pa zmanjševala dinamična ojačitev. Rezultate, ki jih navajamo v preglednici 1, smo preračunali in veljajo za resnično, nezmanjšano hišo.

PREGLEDNICA 1.
Sprememba dinamične ojačitve med preiskavo modela kamnite hiše na potresni mizi (11)

Opis poškodbe	Pospešek tal	Faktor dinamične ojačitve
Prva razpoka na stikih zidov	0,04 g	3,7
Ločitev prečnega zidu	0,06 g	2,1
Porušitev prečnega zidu	0,17 g	1,2

Table 1: Changes in dynamic amplification during the stone-masonry house shaking-table test (5)

Če poznamo potresno obtežbo (navadno statistično iz vrednotimo vplive večje števila izmerjenih potresov na danem potresnem območju), t. j. spektre odziva, in vemo, kako se naše stavbe med potresom obnašajo, lahko tudi računsko ocenimo velikost pričakovanih potresnih sil. Običajno spektre odziva normaliziramo, kar pomeni, da v njih ne prikazujemo dejanske vrednosti največjih pospeškov tal med potresom, ampak povemo, kolikokrat bodo pospeški na stavbi večji od največjega izmerjenega pospeška tal. Faktor povečanja imenujemo faktor dinamične ojačitve ali na kratko dinamični faktor. Potrepe razvrstimo po stopnjah jakosti, kot merilo jakosti potresa pa izberemo tako imenovane efektivne pospeške tal, ki jih zaradi lažje predstave o velikosti izrazimo v obliki deleža pospe-

ška prostega pada ($g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$). V eni od modernih lestvic potresne jakosti, ki so jo predložili Medvedev, Sponheuer in Karnik (MSK lestvica), so možne vrednosti efektivnih pospeškov tal tudi ocenjene. Potresne sile navadno izrazimo s t. i. strižnimi koeficienti, ki predstavljajo razmerje med dejansko potresno silo in težo stavbe. Z drugimi besedami, pravo velikost potresne sile dobimo, če strižni koeficient pomnožimo s težo stavbe.

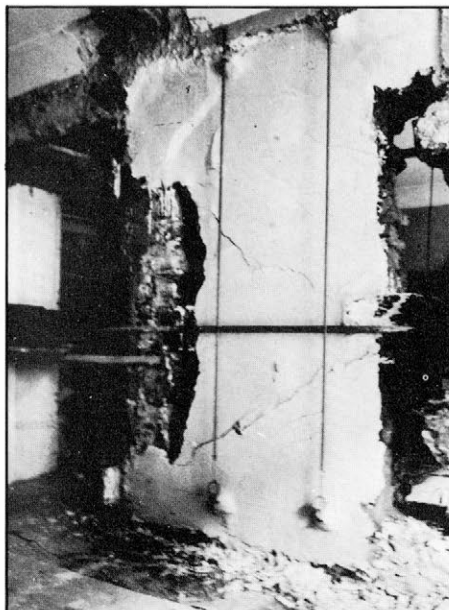
Izkazalo se je, da bi bila velikost potresnih sil, ki bi jo dobili z enostavnim množenjem efektivnih pospeškov tal, dinamičnega faktorja in teže stavbe, prevelika. Seveda bi ta postopek veljal, če bi se stavba ves čas potresa obnašala elastično. Ker pa vemo, da se stavba lahko med potresom nekoliko poškoduje brez nevarnosti za njeno stabilnost — pravimo, da je konstrukcija stavbe duktilna — s poškodbami pa se, kot smo videli, zmanjša dinamična ojačitev, elastične sile zmanjšamo s t. i. faktorjem obnašanja konstrukcije. Le-ta je odvisen od vrste konstrukcije: večji bo za duktilne, jeklene in armiranobetonске konstrukcije, manjši pa za manj duktilne zidane stavbe. V preglednici 2 smo izračunali vrednosti strižnih koeficientov (v angleščini je udomačen izraz »base shear coefficient«, BSC), ki predstavljajo velikost potresnih sil, ki bodo v posameznih potresnih območjih delovale na stare zidane hiše.

PREGLEDNICA 2.

Potresna obtežba v obliki mejnih strižnih koeficientov — $BSC = K_s K_d / K_p$

Potresna stopnja	Pospeški tal MSK lestvica K_s	Faktor dinamične ojačitve K_d	Faktor obnašanja konstrukcije K_p	BSC
IX.	0,2—0,4 g			0,33—0,67
VIII.	0,1—0,2 g	2,5	1,5	0,17—0,33
VII.	0,05—0,1 g			0,08—0,17

Table 2: Seismic loading in the form of ultimate base shear coefficients — $BSC = K_s K_d / K_p$



Slika 7. Preiskava modela preproste vaške kamnite hiše na potresni mizi (1). (Slikal J. Kutnar)

Mehanske lastnosti zidovja starih hiš

Če hočemo oceniti potresno ranljivost starih hiš, seveda ni dovolj, da poznamo le potresno obtežbo, ki bo na hiše delovala. Poznati moramo tudi njihovo potresno odpornost, kajti le s primerjavo potresne obtežbe in potresne odpornosti hiše lahko sklepamo o njeni potresni varnosti. Potresno odpornost stavb izračunamo; da bi bili naši računi točni, moramo v njih upoštevati dejanske mehanske lastnosti materialov, iz katerih so stavbe zgrajene.

Praviloma ne moremo ugotavljati mehanskih lastnosti starega zidovja s preiskavami mehanskih lastnosti sestavnih materialov. Vrednosti, ki jih rabimo v naših računih, dobimo s preiskavami zidov kot osnovnih konstrukcijskih elementov zidanih stavb z obtežbo, ki v zidovih povzroča enake obremenitve kot potresna obtežba. Izkušnje so pokazale, da lastnosti obstoječega zidovja ne moremo ponazoriti z zidanjem ustreznih vzorcev v laboratoriju, pa čeprav smo kemične in mehanske lastnosti malte in kamna oziroma opeke prej določili z natančnimi kemičnimi analizami in mehanskimi preiskavami. Zaradi tega nosilnost zidovja starih hiš zadnje čase preiskuje-



Slika 8. Preiskava nosilnosti starega kamnitega zidu na objektu. (Slikal M. Tomažević)

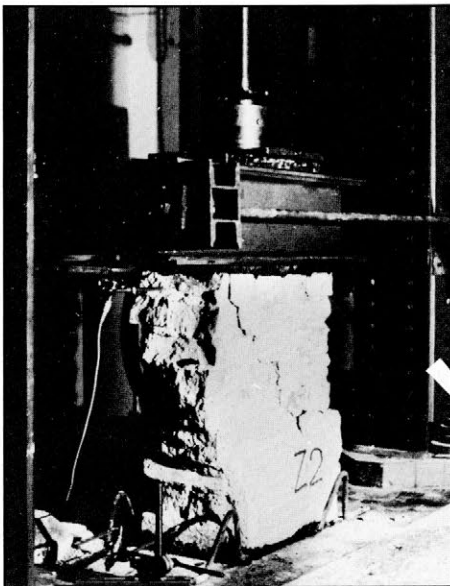
mo na stavbah (in-situ preiskave, slika 8) ali pa preizkusne vzorce izrežemo iz obstoječega zidovja in jih preiščemo v laboratoriju (slika 9).

Struktura kamnitega in mešanega zidovja, iz katerega so sezidane stare hiše v mestnih in vaških središčih, se na posameznih območjih nad seboj razlikuje; medtem ko je zidovje hiš na Kozjanskem in Posočju ter na širšem območju Sredozemlja sezidano iz dveh zunanjih slojev neobdelanega kamna z vmesnim zasutjem (slika 11), je na primer zidovje hiš v stari Ljubljani sezidano iz razmeroma kompaktne mešanice kamna, opeke in malte, v katerih ni izrazitih meja med zunanjima nosilnima in notranjim slojem zidu.

Kot kažejo rezultati preiskav (12, 9, 5 in 7), ki jih navajamo v preglednici 3, različna struktura zidu vpliva na njegove mehanske lastnosti. Po navadi zidove po preiskavah v obstoječem stanju saniramo in ponovno preiščemo, pri čemer lahko ugotovimo učinek uporabljene tehnične rešitve za ojačitev zidu na njegovo nosilnost. V preglednici 3, kjer podajamo vrednosti nekaterih osnovnih količin, od katerih je odvisna potresna odpornost zidane stavbe — tlačna (f_c) in natezna (f_t) trdnost zidu, elastični (E) in strižni (G) modul zidu — je stopnja povečanja nosilnosti zidov, ki so bili na ustrezen način sanirani, jasno razvidna.

Potresna odpornost starih zidanih stavb

Za račun potresne odpornosti starih zidanih stavb praviloma uporabljamo t. i. metode mejnih stanj, s pomočjo katerih lahko sledimo obnašanju stavb med potresom vse do porušitve. Seveda moramo pri takem računu upoštevati dejanske vrednosti mehanskih lastnosti materialov, sama računska metoda pa mora tudi odražati dejansko obnašanje stavbe med potresi.



Slika 9. Enostavna laboratorijska preiskava nosilnosti vzorca opečnega zidu, odvzetega iz objekta. (Slikal M. Tomažević)

da so jo italijanske regionalne oblasti uzakonile kot obvezno za preverjanje potresne odpornosti saniranih in ojačenih hiš, poškodovanih po potresih v Furlaniji leta 1976 in Basilicati leta 1980.

Pri prenovi stare Ljubljane smo na ZRMK natančno preiskali in analizirali potresno odpornost 22 starih zidanih hiš različne višine in tlorisne zasnove. Rezultate računske analize potresne odpornosti hiš navajamo v obliki izračunanih vrednosti mejnih strižnih koeficientov v preglednici 4. Glede na to, da smo strižne koeficiente izračunali s predpostavko, da so zidovi stavb medsebojno povezani z zidnimi vezmi in masivnimi stropi, smo jih pri stavbah brez vezi in z lesenimi stropi ustrezno zmanjšali. V preglednici 4 torej primerjamo dejansko potresno odpornost starih hiš z odpornostjo, ki bi jo te imele, če bi bili njihovi zidovi med seboj dobro povezani.

PREGLEDNICA 3.
Mehanske lastnosti starih zidov (v MPa).

Vrsta zidu	Obstoječe stanje				Ojačeno stanje			
	f_c	f_t	E	G	f_c	f_t	E	G
Dvoslojni kamniti zid v apneni malti z blatnim peskom*	0,3	0,02	200	65	0,6	0,08	800	100
Dvoslojni kamniti zid v apneni malti s čistim peskom	0,5	0,08	1000	90	1,4	0,18	3000	160
Mešani kamnito-opečni zid v apneni malti s čistim peskom*	0,9	0,08	1000	50	1,8	0,16	3000	300
Opečni zid**	2,0	0,09	800	100	—	0,30	5000	500

* ojačeno z injektiranjem s cementno maso
** ojačeno z armiranocementno oblogo (podatki veljajo za homogen prerez)

Table 3: Mechanical properties of old masonry walls (in MPa)

PREGLEDNICA 4.
Potresna odpornost tipičnih starih hiš v stari Ljubljani.

Število analiziranih hiš	Število etaž	Vrsta zidu	Natezna trdnost zidu f_t (MPa)	Mejni strižni koeficient	
				Dejansko stanje Nepovezani zidovi	Možna odpornost Povezani zidovi
1	1	kamen	0,03	0,14	0,20
7	2	mešano	0,08	0,20	0,29
5	3	mešano	0,08	0,16	0,23
4	4	mešano	0,08	0,13	0,19
3	2	opeka	0,08	0,17	0,24
1	3	opeka	0,09	0,18	0,26
1	6	opeka	0,12	0,11	0,15

Table 4: Earthquake resistance of typical old masonry buildings in the historic part of the city of Ljubljana

Neposredna posledica raziskav obnašanja zidanih stavb med potresi je računska metoda za preverjanje potresne odpornosti zidanih zgradb, ki smo jo razvili na ZRMK (8). Metoda, ki seveda sloni na določenih predpostavkah, izpolnjuje zgoraj navedene zahteve v tolikšni meri,

S primerjavo izračunane potresne odpornosti starih hiš (preglednica 4) in velikostjo potresne obtežbe, ki bo v posameznih potresnih območjih delovala na stare hiše (preglednica 2), lahko na znanstveno utemeljen način ugotovimo pravzaprav isto, kar so nam pokazali že sami

potresi: stare zidane hiše se v manjši ali večji meri poškodujejo že pri zmernih potresih (potresih VII. in VIII. stopnje potresne jakosti), medtem ko pri močnih potresih (potresih IX. stopnje) lahko z veliko verjetnostjo pričakujemo njihovo množično porušitev.

Dosedanje analize nam torej dokazujejo, da je potresna ogroženost starih zidanih hiš v mestnih in vaških središčih izredno visoka na območjih, kjer lahko pričakujemo močne potrese. To z drugimi besedami pomeni, da moramo protipotresni zaščiti starih hiš posvetiti več pozornosti. Ker pa so finančne možnosti za njihovo sistematično protipotresno ojačevanje danes minimalne, moramo pravočasno predvideti in sprejeti vsaj tiste nujne ukrepe, s katerimi bomo ublažili posledice katastrofalnih potresov. Seveda pa ne smemo pozabiti na potresno nevarnost takrat, kadar stare hiše prenavljamo ali preurejamo.

Na ZRMK se seveda nismo zadovoljili s tem, da smo pokazali, kako velika je potresna ranljivost starih zidanih hiš. Študije obnašanja starih hiš med potresi in ugotovitve njihovi šibkih točk so nam bile le osnova za razvijanje tehničnih ukrepov in metod za njihovo protipotresno ojačevanje. V nadaljevanju tega prispevka bomo nekatere ukrepe na kratko obrazilili.

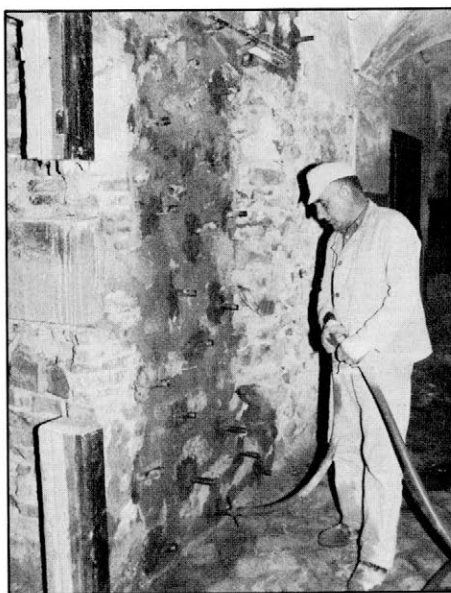
TEHNIČNE MOŽNOSTI ZA PROTIPOTRESNO OJAČITEV STARIH ZIDANIH STAVB

Splošne zahteve

Če hočemo stare zidane hiše ojačiti v tolikšni meri, da bodo z zahtevano stopnjo varnosti prevzele pričakovano potresno obtežbo, moramo izpolniti naslednje osnovne zahteve:

- zidovi morajo biti enakomerno porazdeljeni v obeh pravokotnih smereh stavbe, seveda pa jih mora biti dovolj oziroma morajo biti dovolj močni, da bodo lahko prevzeli pričakovano potresno obtežbo;
- zidovi morajo biti na ustrezen način povezani med seboj. Predvsem je važno, da zagotovimo togo delovanje stropov v njihovi ravnini, hkrati pa ustrezno povežemo stropne zidove, da bi preprečili upogibno obnašanje zidov izven njihove ravnine;
- zidovi morajo biti temeljni s takimi temelji, ki bodo omogočili prenos mejnih obremenitev zgornje konstrukcije na temeljna tla.

Nekatere tehnične ukrepe, s katerimi navedene zahteve lahko izpolnimo, smo razvili, pa tudi preverili s poskusi, na Za-



Slika 10. Ojačevanje obstoječih temeljev (10)

vodu za raziskavo materiala in konstrukcij. Ukrepi, ki jih bomo na kratko opisali, so vsi tudi zelo ekonomični, kar je gotovo tudi zelo važno pri njihovi širši uporabi.

Ojačitev temeljev

V veliki večini primerov bo nosilnost obstoječih temeljev ustrezala, pa čeprav smo stavbo s protipotresnimi ukrepi ojačili. Seveda pa so včasih tudi pri temeljih potrebni posegi, bodisi zaradi pričakovane nestabilnosti tal, (zdrsa pobočja ali likvefakcije tal) zaradi diferenčnih posedkov temeljev, nastalih zaradi lokalnega izpiranja temeljnih tal, preobremenitve tal ali drugih razlogov.

V odvisnosti od vrste temeljnih tal ter od zahtevane nosilnosti tal lahko izbiramo med različnimi metodami ojačevanja temeljev. V nekaterih primerih dobimo ustrezne rezultate z injektiranjem mehkih peščenih ali prodnatih tal s cementnimi injektirami (slika 10 a). Včasih lahko povečamo nosilnost temeljev z mikropiloti (slika 10 b) ali pa z enostavno razširitvijo obstoječih temeljev s podbetoniranjem (slika 10 c). Če to ne pomaga, moramo uporabiti bolj zahtevne ukrepe, kot je lahko npr. gradnja nove rešetkaste armiranobetonske temeljne konstrukcije na pilotih pod obstoječimi temelji (slika 10 d).

Sanacija in ojačitev zidov

Tehnična rešitev, ki jo izberemo za ojačevanje zidov, ni odvisna samo od zahtevane stopnje ojačitve, ki jo običajno pokaže računska analiza, pač pa tudi od vrste zidovja.

Kamnito in mešano zidovje imata zaradi samosvojega načina zidanja veliko votlin (slika 11), ki so enakomerno razporejene v srednjem delu zidu ali pa po celi njegovi prostornini. Zaradi tega je sistematično injektiranje zidu s cementno mešanico, s katero zapolnimo votline v zidu,



Slika 11. Tipična struktura starega kamnitega zidu. (Slika M. Tomažević)

praktično edini učinkovit ukrep, s katerim lahko kamniti ali mešani zid ojačimo. Injekcijsko mešanico vtiskamo skozi posebne cevke, ki jih enakomerno razmaknjene (običajno so okoli 500 mm narazen) pritrdimo na površino zidu (slika 12). Pred tem seveda s cementom zapremo vse razpoke in mesta, kjer bi injekcijska mešanica lahko iztekala. Če imamo opravka s kulturnozgodovinskimi spomeniki, pri katerih mora kamnita površina zidu ostati nedotaknjena, namesto cementa za zapiranje razpok uporabimo poseben glinast omet, ki ga po končanem injektiranju z vodo speremo z zidu. Injekcijska mešanica je navadno sestavljena iz cementa in opalske breče v razmerju 9:1, lahko pa uporabljamo tudi druge dodatke, ki mešanici zagotavljajo plastičnost. Pred injektiranjem mešanico zmešamo z vodo; količina dodane vode — oziroma gostota mešanice — je odvisna od vrste zidu, pri čemer se prostorninsko razmerje med suho mešanico in vodo giblje okrog 1:1. Pred injektiranjem, ki ga izvajamo pod pritiskom do največ 4 bar, zid običajno izperemo z vodo. Pri normalnih pogojih rabimo za injektiranje kubičnega metra kamnitega zidu od 75 do 150 kg suhe injekcijske mase.

Opečni zid lahko saniramo in ojačimo na več načinov:

- z injektiranjem razpok v zidu s cementno maso ali z drugim vezivom, kar pa bistveno ne poveča njegove nosilnosti;
- z oblaganjem zidu z armirano cementno oblogo, pri čemer smo prej zainjektirali razpoke;
- s prednapenjanjem zidu v vertikalni ali horizontalni smeri, pri čemer ravno tako prej zainjektiramo razpoke. S prednapenjanjem spremenimo napetostno stanje v zidu, kar povzroči, da zid lahko prenaša večje horizontalne obtežbe.



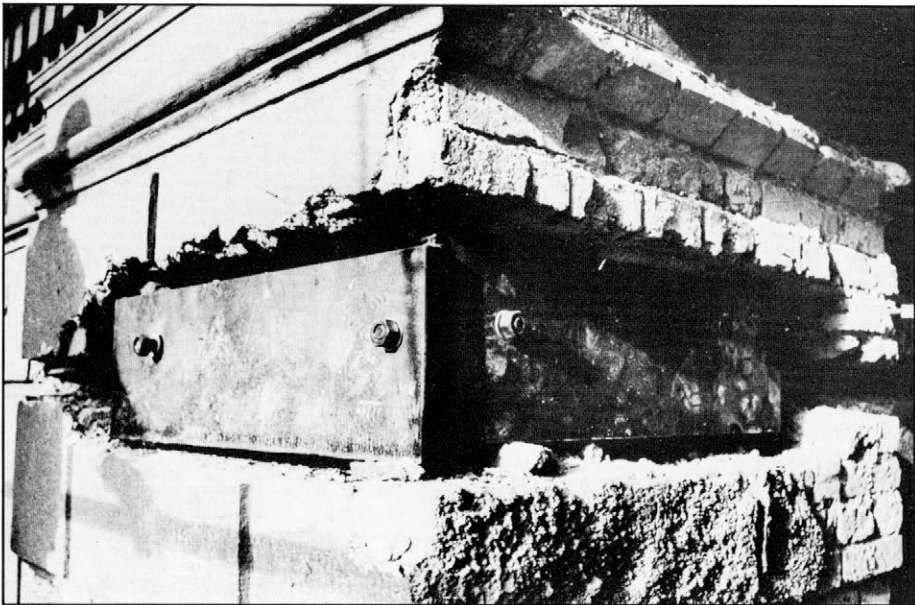
Slika 13. Oblaganje opečnega zidu z armiranim cementnim ometom. (Slikal M. Tomažević)

Kot so pokazale preiskave, dosežemo najboljši učinek z oblaganjem zidu z armiranocementno oblogo. Če se odločimo za ta način ojačitve, moramo z obstoječega starega zidu odstraniti omet ter iz zidnih fug izpraskati malto 10 do 15 mm globoko. Skozi zid izvrtamo luknje (okoli 5 lukenj na vsak kvadratni meter zidu), skozi katere vložimo sidra, jeklene palice premera 6 mm, s katerimi bomo povezali armaturni mreži, položeni na vsako stran zidne površine. Zid na obeh straneh omečemo s cementnim ometom, na ometano površino pa položimo armaturno mrežo (običajno jo sestavljajo palice debeline 5 mm v medsebojni razdalji po 150 mm) in jo medsebojno povežemo s sidri (slika 13). Na koncu armaturno mrežo prekrijemo z drugim slojem cementnega ometa tako, da celotna debelina ometa ne presega 30 mm.

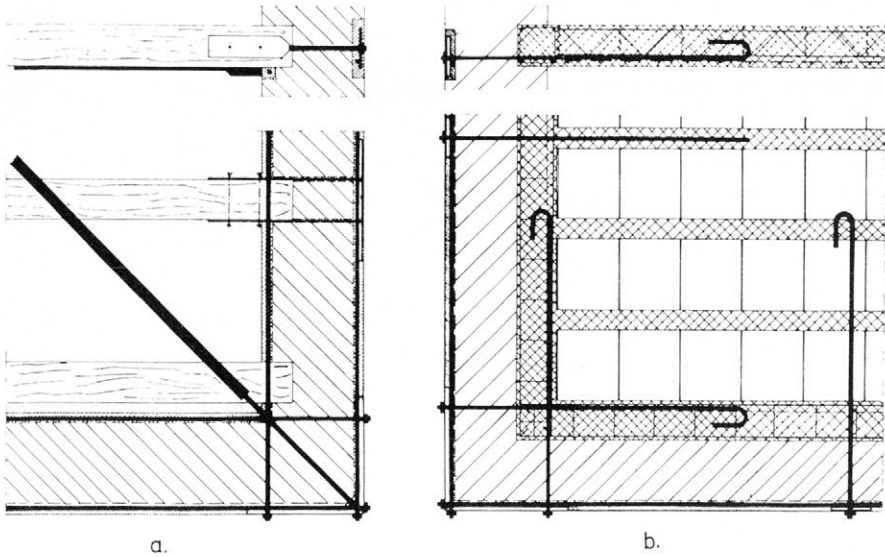
Povezovanje zidov in ojačitev stropov

Stropi predvsem prenašajo vertikalno obtežbo, ki jo povzročajo uporabniki stavbe, na nosilne zidove: brez stropov stavbe ne bi mogle opravljati svojega osnovnega namena. Med potresom pa postane naloga stropov tudi drugačna: stropi prenašajo vztrajnostne sile, ki nastanejo med potresom, na posamezne zidove, s svojo togostjo in povezanostjo z zidovi pa poskrbijo, da se te sile enakomerno porazdelijo, v sorazmerju s podajnostjo in nosilnostjo zidov. Med potresom morajo stropi tudi povezovati zidove in jih podpirati v horizontalni smeri, kajti le tako bodo potresne sile prevzemali vsi zidovi, tisti, ki stoje pravokotno na smer delovanja potresa, pa se ne bodo mogli upogibati in porušiti izven njihove ravnine.

Ker pa imajo stare mestne in vaške hiše zelo redkokdaj toge strope z zidnimi



Slika 12. Injektiranje kamnitega zidu s cementno maso. (Slikal M. Zupanc)



Slika 15. Tipični detajli ojačevanja in sidranja stropov (10)

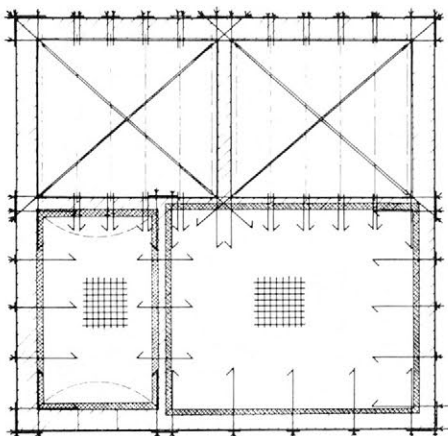
vezmi, ki bi lahko opravljali vse zgoraj navedene naloge — običajno so njihovi stropi leseni, brez povezave z zidovi — moramo s posebnimi tehničnimi ukrepi doseči, da bodo med potresom stropi opravili vsaj najvažnejšo nalogo, t. j. da bodo povezovali zidove med seboj.

Prej omenjene raziskave modela vaške hiše na potresni mizi (4) so pokazale, da že samo enostavno povezovanje zidov v višini stropov z obojestransko položenimi jeklenimi armaturnimi palicami (»betonsko železo« premera 16 mm je dovolj močno za hiše normalne velikosti), sidranimi na koncih zidov z maticami na jeklenih sidrnih ploščah, bistveno pripomore k izkoriščenju dosegljive potresne odpornosti stavbe. Model kamnite hiše smo po preiskavi v obstoječem stanju popravili, zidove povezali v višini stropa z vezmi, in ga ponovno preiskali z enakim potresnim vzbujanjem. Rezultati meritev, ki jih zaradi zanimivosti navaja-

PREGLEDNICA 5.
Rezultati preiskave modela kamnite hiše na potresni mizi (1)

Opis poškodbe	Pospeški tal	
	Nepovezana hiša	Povezana hiša
Prva razpoka na stikih zidov	0,04 g	0,05 g
Ločitev prečnega zidu	0,06 g	—
Porušitev prečnega zidu	0,17 g	—
Porušitev vzdolžnega zidu	—	0,42 g

Table 5: Results of the stone-masonry house model shaking-table tests



Slika 14. Tipične možnosti povezovanja zidov ter ojačevanja in sidranja stropov (10)

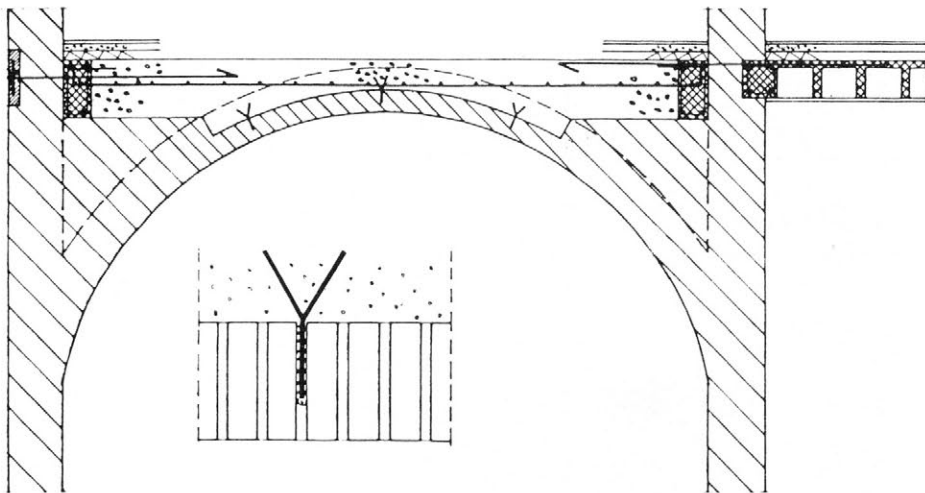
mo tudi v tem prispevku v preglednici 5, lepo kažejo, da se je z vgraditvijo zidnih vezi potresna odpornost modela bistveno povečala.

Seveda je bolje, če lesene stropne šele dodatno ojačimo in povežemo z zidovi (slika 14). Navadno z jeklenimi vijaki in s sidrnimi ploščami sidramo v zid tudi lesene stropnike, sam strop pa povežemo z jeklenimi diagonalnimi vezmi, ki jih na vogalih sidramo v zidove (slika 15 a). Včasih so leseni stropi tako slabi, da jih moramo zamenjati. V takem primeru vgradimo bodisi polne armiranobetonske plošče bodisi si pomagamo z montažnimi, armiranobetonskimi ali armiranoopečnimi elementi, ki jih sidramo v zidove in zalijemo z vsaj 40 mm debelo armiranobetonsko povezovalno ploščo (slika 15 b).

Oboki, ki jih najdemo predvsem nad kletmi in pritličji, so najbolj dragoceni deli starih hiš, zato jih večinoma poskušamo ohraniti. Pri tem navadno odstranimo težke nasipe in pode nad oboki, sam obok popravimo, če je to potrebno, s cementnimi injekcijami, zasujemo z lažjim materialom, pode pa naredimo kot nosilne plošče, povezane z zidom. V zadnjem času veliko uporabljamo penobeton, t. j. lahek, vendar nosilen beton (tehnologijo zanj smo razvili na ZRMK), ki nam omogoča, da nasutje in ploščo zabetoniramo istočasno (slika 16).

Strehe in nekonstruktivni elementi

Težka ostrešja, neustrezno povezana in nezadostno sidrana v zidove, so bila pogosto eden od glavnih krivcev za resne poškodbe starih zidanih hiš med potresi. Čeprav jih seveda ne upoštevamo v računu, kadar analiziramo potresno odpornost stavbe, pa moramo vendar preprečiti, da bi ostrešja povzročala razpiranje zidov in tako izničevala učinek povezovanja. To storimo tako, da elemente ostrešja ustrezno povežemo, samo konstrukcijo pa sidramo v armiranobetonske vezi na zaključkih zidov.



Slika 16. Tipični detajli ojačevanja opečnih obokov (10)



Slika 17. Bardó (Lusevera), Furlanija: ojačena hiša ni utrpela nobenih poškodb po septembrskih potresih leta 1976. (Slikal E. Vugrinec)

Pozornost moramo posvetiti tudi sidranju nekonstruktivnih elementov, posebno še dimnikov, t. i. atik in različnih okrasikov. Vsi ti lahko s svojim padcem povzročijo poškodbe nosilne konstrukcije, pa tudi nepotrebne človeške žrtve.

UČINEK PROTIPOTRESNIH OJAČITEV

Potem ko so bile po navodilih strokovnjakov ZRMK v letih 1974 in 1975 uspešno ojačene po potresu poškodovane stare hiše na Kozjanskem, je bila ekipa zavodovih strokovnjakov angažirana tudi pri sanacijskih delih v slovenskih vaseh Benečije v Italiji, ki jih je prizadel potres v Furlaniji maja leta 1976. V okviru pomoči slovenske vlade Slovencem v zameno se je ekipa ZRMK med drugimi odločila sanirati in protipotresno ojačiti tudi trietažno kamnito hišo v Bardó (Lusevera), ki leži v epicentralnem območju furlanskih potresov in jo je majski potres

tako poškodoval, da so jo italijanske oblasti obsodile na porušitev. Zavodova ekipa je hišo sanirala ter ojačila s sistematičnim injektiranjem zidovja s cementno malto in s povezovanjem zidov z jeklenimi vezmi (slika 17) na enak način, kot smo opisali v tem prispevku. Ko so hišo prizadeli septembrski potresi, po jakosti enaki majskemu potresu, so bila končana šele groba sanacijska dela, vendar je natančen pregled pokazal, da hiša ni utrpela prav nobene poškodbe. Da so bili septembrski potresi res močni, dokazujejo zapisi pospeškov tal v 12 km oddaljenemu Breginju, ki kažejo, da so pospeški dosegli velikost 0,53 g (53 % vrednosti pospeška prostega pada).

Primer hiše v Bardó je torej najbolj zgovoren dokaz, da je mogoče tudi stare hiše, za katere smo ugotovili visoko stopnjo potresne ranljivosti, z razmeroma enostavnimi posegi napraviti potresno varne.

Čeprav imamo na razpolago eksperimentalne dokaze, po navadi potresno odpornost ojačenih starih hiš preverja-

PREGLEDNICA 6.**Potresna odpornost tipičnih prenovljenih in protipotresno ojačanih hiš v stari Ljubljani.**

Število analiziranih hiš	Število etaž	Vrsta zidu	Natezna trdnost zidu f_t (MPa)	Mejni strižni koeficient
6	2	mešano	0,16	0,35
5	3	mešano	0,16	0,34
4	4	mešano	0,16	0,31
2	2	opeka	0,18	0,34

Table 6: Earthquake resistance of typical renewed and aseismically strengthened old masonry houses in the historical part of the city of Ljubljana

mo tudi z računom. Vsekakor je računsko preverjanje potresne odpornosti potrebno tam, kjer zidov ne ojačujemo sistematično. Ojačevanje posameznih zidov ima namreč lahko za posledico koncentracijo togosti in s tem neugodno obnašanje stavbe med potresom.

V preglednici 6 navajamo rezultate računskih analiz 17 starih zidanih hiš v stari Ljubljani, ki so bile ali pa še bodo prenovljene in protipotresno ojačane (hiše leže v mejnem območju med VIII. in IX. stopnjo potresne jakosti). Seveda smo v projektih ojačitve predvideli razen samega ojačevanja zidov tudi vse tiste ukrepe, ki bodo omogočili polno izkoriščenost nosilnosti zidov v primeru potresa (zidne vezi, sidranje in ojačitve stropov, zamenjavo stropov ipd.).

Za koliko smo povečali potresno odpornost starih hiš, lahko ugotovimo, če vrednosti iz preglednice 6 primerjamo s potresno odpornostjo, ki so jo iste hiše imele, preden smo jih ojačili (preglednica 4). Če pa hočemo ugotoviti uspešnost naših posegov, moramo potresno odpornost ojačenih hiš primerjati s pričakovano potresno obtežbo (preglednica 2). Obe primerjavi kažeta, da bodo naši posegi uspešni — pod pogojem seveda, da bodo tudi strokovno izvedeni — in bodo starim hišam zagotovili zahtevano stopnjo potresne varnosti.

ZAKLJUČEK

Protipotresna zaščita gradbenih objektov je družbeni problem: sprejemljiva raven potresnega tveganja, ki se v potresnih predpisih odraža z velikostjo predpisane potresne obtežbe ter z raznovrstnimi konstrukcijskimi zahtevami, ki jih moramo izpolnjevati med gradnjo objektov, je odraz ekonomske moči družbene skupnosti.

Osnovno načelo potresno varnega grajenja je zagotoviti gradbenim objektom ustrezno, družbeno sprejemljivo stopnjo protipotresne zaščite. To običajno pomeni, da se stavbe v primeru zmernih potresov, ki so lahko razmeroma pogosti v njihovi življenjski dobi, ne smejo poškodovati. V primeru močnih, toda redko nastopajočih potresov pa se lahko poškodujejo, ne smejo se pa porušiti. Seve-

da morajo biti poškodbe omejene na tako raven, da jih tudi po močnem potresu lahko hitro in poceni popravimo in objekte vrnemo v normalno obratovanje.

Potresni predpisi skrbijo za grajanje novih objektov, malo pozornosti (ali skoraj nič) pa posvečajo problemom protipotresne zaščite tistih objektov, ki so bili zgrajeni pred njihovo uveljavitvijo, torej tudi problemom protipotresne zaščite starih hiš v mestnih in vaških središčih. Potresi sami, kakor tudi raziskave potresne ranljivosti starih hiš, pa kažejo, da potresna odpornost starih hiš v veliki večini primerov ni zadostna. Kaj torej storiti s starimi hišami? Ugotovili smo že, da je težko najti finančna sredstva za njihovo sistematično ojačevanje, ki je, kot smo videli, tehnično vsekakor možno in niti ne tako zelo drago: ekonomske analize, ki smo jih opravili na ZRMK (6), kažejo, da stroški posegov v stare hiše, ki so potrebni za doseganje ustrezne protipotresne zaščite, v glavnem ne pressegajo 15 % vrednosti odgovarjajoče novogradnje.

V Sloveniji že od leta 1978 velja »Zakon o seizmološki službi«. Zakon, ki sicer ni tehnični predpis, zadolžuje upravjalce javnih objektov in upravno strukturo, da preverijo potresno odpornost važnejših objektov in poskrbijo za njihovo protipotresno ojačitev, če računske analize pokažejo, da je to potrebno. V »Odloku o tem, kateri objekti se štejejo za pomembnejše«, ki je pred kratkim izšel kot dopolnilo »Zakonu«, so važnejši objekti kategorizirani in naštet: med njimi so tudi stare hiše v zgodovinskih mestnih in vaških središčih, ki smo jih uvrstili med kulturnozgodovinske spomenike. Takih pa ni malo!

Kljub temu pa problemov protipotresne zaščite starih hiš še vedno ne rešujejo tehnični predpisi. Še vedno je odprto celo osnovno vprašanje: v kolikšni meri oz. ali sploh je potrebno protipotresno ojačevati stare hiše med prenovo, adaptacijami ali rekonstrukcijami?

Dokler to osnovno vprašanje ne bo rešeno, se bomo morali vsaj pri prenovi in preureditvi starih hiš zavedati, da imamo opravka z objekti, katerih potresna varnost je morda vprašljiva: zaradi tega bomo pred posegom v konstrukcijo ocenili njeno potresno varnost (isto bomo

storili tudi takrat, ko bomo nameravali preurediti podstrešje v stanovanja). Če bomo ugotovili, da le-ta ni na neki sprejemljivi, družbeno dogovorjeni ravni, kot to npr. priporoča »Strokovno priporočilo za adaptacije in rekonstrukcije objektov visoke gradnje na potresnih območjih« Republiškega komiteja za industrijo in gradbeništvo Slovenije, bomo morali obenem s preureditvijo predvideti vsaj tiste minimalne ukrepe, ki bodo hiši to družbeno dogovorjeno raven potresne varnosti tudi zagotovili.

- Boštjančič, J., P. Sheppard, S. Terčelj, V. Turnšek, 1976. Use of a modelling approach in the analysis of the effects of repairs to earthquake-damaged stone-masonry buildings. Bolletino di geofisica teorica ed applicata, Vol. XIX., No. 72. Udine, 1091—1116;
1984. Building construction under seismic conditions in the Balkan region, Volume 3: Design and construction of stone and brick-masonry buildings, UNIDO/UNDP. Vienna.
1980. Guide-lines for earthquake resistant non-engineered construction. Final draft. International Association of Earthquake Engineering.
1984. Komentar ka nacrtu »Pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima«. IZIS, Skopje (neobjavljen material).
- Sheppard, P. F., 1985. In-situ test of the shear strength and deformability of an 18-th century stone-and-brick-masonry wall. 7-th International Brickmasonry Conference, Volume 1. Melbourne. 149—160.
- Sheppard, P., 1985. Ocena ekonomske efikasnosti protipotresnih sanacionih zahvata pri obnovi starih stambenih zgrada. Simpozijum '85, Knjiga ARSZ. Savez društava građevinskih konstruktora Jugoslavije, Dubrovnik, 338—345.
- Sheppard, P., M. Tomažević, 1986. In-situ ispitivanja nosivosti zidova starih zidanih zgrada. IV. kongres saveza društava za seizmičko građevinarstvo Jugoslavije. Zbornik radova 2. Cavtat, 85—92.
- Tomažević, M., 1980. Proračunavanje seizmičke otpornosti zidanih zgrada. Iskustva i uslovi za projektovanje i građenje posle zemljotresa u SR Crnoj Gori. Savez građevinskih inženjera i tehničara SR Srbije, Njivice. 423—450.
- Tomažević, M., P. Sheppard, 1982. The strengthening of stone-masonry buildings for revitalization in seismic regions. 7-th European Conference on Earthquake Engineering, Volume 5. Athens. 275—282.
- Tomažević, M., R. Žarnić, 1985. Aseismic strengthening of masonry buildings in old urban and rural nuclei. International Conference on Reconstruction, Restauration and Urban Planning of Towns and Regions in

Seismic Prone Areas, Skopje. 399—406.

11. Tomažević, M., P. Sheppard, R. Žarnić, 1985. Assessment of earthquake resistance of old urban and rural nuclei. US-Yugoslav Workshop on Protection of Historic Buildings and Town Centres in Seismic Regions. Petrovac/Budva (v tisku).
12. Turnšek, V., S. Terčelj, P. Sheppard, M. Tomažević, 1978. The seismic resistance of stone-masonry walls and buildings. 6-th European Conference on Earthquake Engineering, Volume 3. Dubrovnik, 255—262.

Miha Tomažević

Protection of Older Masonry Buildings against Earthquakes

In the paper, some problems concerning the seismic resistance of existing masonry buildings in historical urban and rural nuclei are discussed.

In the first part, the behaviour of older masonry buildings in past earthquakes is analysed. The observed damage is classified, and the typical failure mechanisms are defined. Next, some results of experimental investigations recently carried out in order to assess the seismic resistance of existing buildings are presented, including ambient vibration tests of buildings and earthquake simulator tests of model buildings. The results of in-situ, lateral-load carrying capacity tests, carried out to determine the mechanical properties of existing stone-, mixed stone-and-brick- and brick-masonry walls, are also presented. On the basis of the experimentally obtained data, the vulnerability of existing older masonry buildings has been analysed, and the necessity for their aseismic strengthening emphasised.

Some techniques for the repair and strengthening of existing old masonry buildings are also described. The effect of the proposed techniques having been studied both theoretically and experimentally, it was possible to evaluate the seismic resistance of strengthened buildings. This indicated a satisfactory degree of reduction of the vulnerability of old houses by applying the proposed technical measures.

It has been pointed out that, in the process of the renewal and reconstruction of existing old buildings, special attention should be paid to the problems concerning their resistance to earthquakes, from both the legislative and the design and construction points of view.

NAPOVEDOVANJE POŽARNE OGROŽENOSTI

Andrej Pečenko* Boris Stevanović**

Požari v naravnem okolju naredijo zaradi uničenja vegetacije in kasnejše erozije tal veliko škode. Vzroki za nastanek požarov so predvsem v posegih človeka v naravo, seveda pa morajo biti dani vsi pogoji za nastanek požara. Vreme in klima sta faktorja, ki najbolj vplivata na verjetnost nastanka in nadaljnega širjenja požara, saj se največji požari največkrat pojavijo v klimatsko milejših krajih in ob lepem in suhem vremenu. Glede na ta dejstva se lahko na osnovi izmerjenih vrednosti meteoroloških elementov in ob upoštevanju klime posameznih krajev izračuna kazalce verjetnosti nastanka in širjenja požara. V svetu uporabljajo več metod. Tako izračunajo na osnovi meteoroloških in fenoloških podatkov indekse, ki nam dajo možnost nastanka požara. Izmed vseh metod smo izbrali kanadsko in vzhodnonemško in pogledali obnašanje indeksov v Sloveniji. Za analizo indeksov in požarov smo izbrali priobalno-kraško območje, kjer je mila, sredozemska klima in imamo zabeleženo največje število požarov v Sloveniji. Na osnovi analiziranih indeksov za Portorož v letu 1983 smo določili mejne vrednosti za priobalno-kraško območje, s katerimi bodo določene stopnje nevarnosti nastanka požarov. Rezultati so pokazali dobro ujemanje stopenj nevarnosti požara in pojava požara.

Vzroki za nastanek požarov so predvsem v posegih človeka v naravo, seveda pa morajo biti dani vsi pogoji za nastanek.

Ti pogoji so predvsem funkcije vremenskih parametrov, saj se požari najpogosteje pojavljajo v obdobjih toplega in lepega vremena brez padavin. Zato je razlika v številu požarov v naravnem okolju med kontinentalnim in priobalnim območjem. Priobalno-kraško območje ima bolj milo, sredozemsko klimo z manjšim številom padavinskih dni in daljšim trajanjem sončnega obsevanja. V poletnih mesecih imamo tudi daljša sušna obdobja, ki jih v notranjosti Slovenije prekinjajo občasne nevihte in plohe, v priobalno-kraškem območju pa ponavadi ni vpliva oslavljenih nevihtnih front. Kraška tla se tudi bistveno razlikujejo od tal v notranjosti Slovenije. Zaradi plitve plasti prsti in apnenčaste podlage ne morejo zadržati večje količine vode. Prizemna vegetacija, kjer se ponavadi začne gozdni požar, je v notranjosti bolj zelena. Iz analize vzrokov nastanka požarov se vidi, da so požari v naravnem okolju v večini primerov povezani z delom človeka v naravi. V pozni zimi in zgodaj spomladi kmetje zažigajo travo in tako pripravljajo polja za obdelavo: tak požig se velikokrat spremeni v požar. Poleti povzročijo veliko požarov predvsem izletniki zaradi nepazljivosti. Pri nas je torej sezona gozdnih požarov predvsem zgodaj spomladi, bistveno manj pa jih je poleti in jeseni. To potrjujejo tudi tabela 1 in slika 1. Na tabeli 2 pa vidimo razporeditev požarov glede na vzroke.

Požari se največkrat pojavijo na livadah in smetiščih, sledijo pa požari v gozdovih (tabela 3).

Tabela 1.
Število gozdnih požarov po mesecih za obdobje 1966—1978 na območju Slovenije (5).

Mesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Število	32	129	466	327	53	14	35	66	18	25	14	28
%	3	11	39	27	4	1	3	5	2	2	1	2

Tabela 2.
Pregled vzrokov gozdnih požarov za obdobje 1966—1978 v Sloveniji (Kovačević, 1981).

Vzroki	Število	%
Stroji in naprave (lokomotive, daljnovodi)	117	14
Pripadniki JLA	34	3
Izkoriščanje gozda	43	3
Čiščenje zemljišča	276	22
Izletniki in rekreacija	48	4
Otroška igra	71	6
Strela	26	2
Namerni	97	7
Neznani	496	39
Skupaj	1268	100

* Hidrometeorološki zavod SR Slovenije, Vojkova 1 B, Ljubljana.

** Republiški inšpektorat za požarno varnost, Trdinova 8, Ljubljana.