

EKSPERIMENTALNE RAZISKAVE ZA ZAGOTAVLJANJE POTRESNE VARNOSTI HIŠ V ZGODOVINSKIH MESTNIH JEDRIH

Miha Tomaževič*

UDK 699.841

Protipotresno ojačevanje hiš v zgodovinskih mestnih jedrih je del kompleksnega postopka zavarovanja kulturne dediščine. Ko ojačujemo konstrukcijo starih hiš, moramo upoštevati zahteve umetnostnih zgodovinarjev, restavradorjev in konzervatorjev, ki močno omejujejo uporabo marsikaterih tehnično tudi možnih rešitev. Zato razvijamo metode, ki ustrezajo tako merilom nosilnosti kot tudi merilom zaščite kulturno-zgodovinskih spomenikov. Raziskave so dokazale, da se kamnito zidovje lahko ustrezno ojači z zidovju prijaznimi injekcijskimi mešanici, v katerih večjo količino cementa zamenjamo z ustreznimi lokalnimi materiali in s tem zmanjšamo negativne vplive cementa na sprejemljivo mero. Raziskave so tudi pokazale, da zamenjava lesenih stropov z armiranobetonskimi ploščami z vidika zagotavljanja potresne varnosti nikakor ni nujno potrebna. Enaki učinki se dosežejo z vgrajevanjem dovolj močnih in delno prednapetih jeklenih zidnih vezi.

Stare hiše v zgodovinskih mestnih jedrih večine srednjeevropskih in sredozemskih dežel so potresno zelo ranljive. To se je v zadnjih dveh desetletjih pokazalo v vseh potresih, ki so prizadeli te dežele. Pri nas smo neposredno občutili posledice potresov na Kozjanskem leta 1974 in v Furlaniji leta 1976, posredno pa potresa v Črni gori leta 1979. Sosednjo Italijo in bližnjo Grčijo je prizadela tudi serija potresov v osemdesetih letih. Medtem ko stavbe, ki so bile grajene po načelih potresno varnega grajenja, teh potresov skoraj niso občutile, je zgodovinske stavbe niso odnesle tako poceni. Razmeroma močno so se poškodovale že pri zmernih potresih, pri močnih potresnih sunkih pa so se praviloma rušile in tako povzročile veliko škode in človeških žrtv.

Z rastočim življenjskim standardom, ki je prinesel tudi kulturno osveščenje, so se ljudje začeli zavedati, da stare hiše niso samo »stare hiše«, v katerih praviloma domuje revščina, pač pa predstavljajo kulturno dediščino, ki jo je treba ohraniti bodočim rodovom. Stara mestna in podeželska jedra so začeli prenavljati, da bi vanje pritegnili mlade ljudi, hkrati pa so začeli razmišljati, kako izboljšati njihovo potresno varnost, ne da bi pri tem preveč prizadeli zahteve konzervatorjev in restavradorjev, ki pri prenovi seveda ne vidijo radi bistvenih posegov v konstrukcijo kulturnozgodovinskih spomenikov. Da pa je treba, če želimo stare hiše napraviti potresno odpornejše, nekaj storiti tudi z nosilno konstrukcijo in da ne smemo ostati samo pri lepotni obnovi ali restavraciji stavbe, je učinkovito pokazalo že zaporedje treh skoraj enako močnih potresov v Furlaniji leta 1976.

V osemdesetih letih se je potresni problematiki starih stavb v zgodovinskih mestnih in podeželskih jedrih začela posvečati tudi stroka v deželah, kjer te probleme občutijo. Predvsem v deželah Evropske skupnosti so raziskovalci začeli ugotavljati vzroke za neustrezno obnašanje zgodovinskih hiš, razvili so različne tehnološke postopke za njihovo odpravo, začeli pa so tudi s sistematičnimi akcijami prenove starih mestnih jeder in kulturnozgodovinskih spomenikov. V drugi polovici osemdesetih let so začeli organizirati redna mednarodna srečanja in delavnice, na katerih strokovnjaki iz Evrope in drugih delov sveta izmenjujejo svoje izkušnje pri obnovi arhitektonske kulturne dediščine na potresnih območjih. Šele pred dobrimi desetimi leti je bila tudi na kongresih, ki obravnavajo probleme potresnega inženirstva, zagotavljanju potresne odpornosti starim stavbam posvečena posebna sekcija. Pod okriljem Organizacije združenih narodov je bila konec osemdesetih let organizirana serija mednarodnih projektov, ki naj bi dali pregled stanja in napotke, kaj storiti s starimi mestnimi jedri v Sredozemlju. Tudi v okviru zadnje večje akcije OZN, Mednarodnega desetletja za zmanjševanje posledic naravnih nesreč, ki poteka v zadnjem desetletju tega tisočletja, so močno poudarjene prav akcije za ohranitev kulturne dediščine na potresno ogroženih območjih. V ZDA, ki so ena od vodilnih držav na področju potresnega inženirstva, so k organizirani akciji in k vladno financiranim projektom na tem področju pristopili šele nedavno.

Zato ni čudno, da Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij v Ljubljani s svojimi izkušnjami na tem področju potresnega inženirstva predstavlja enega

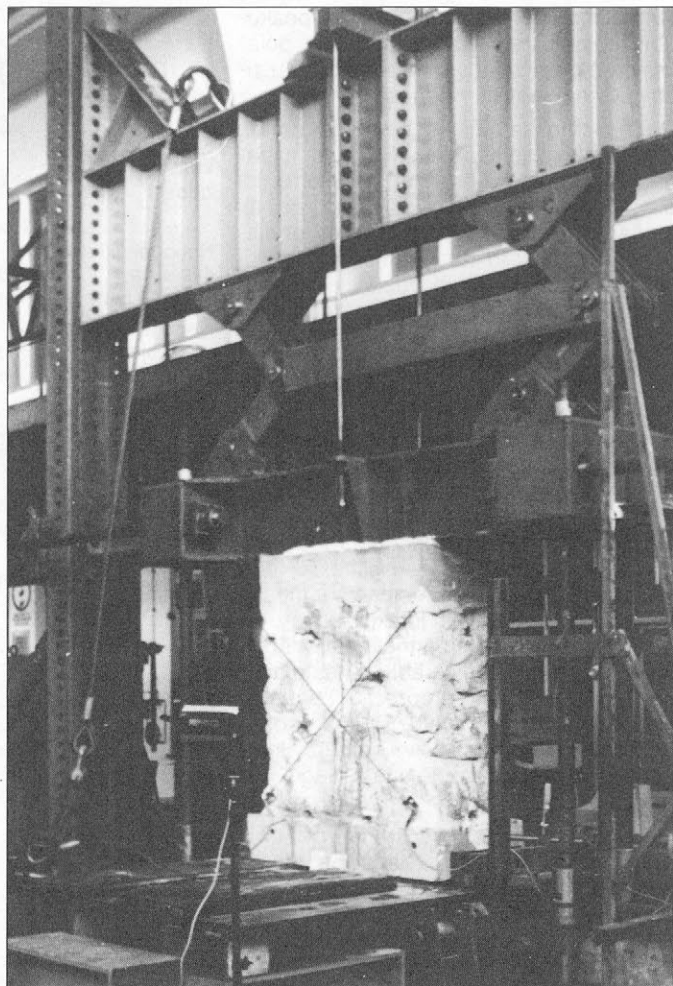
od centrov, ki ga upoštevajo tudi v svetovnem merilu. Strokovnjaki Zavoda so bili s problemi, kako sanirati in ojačiti po potresu poškodovane zidane stavbe, soočeni že davnega leta 1963, ko je potres porušil Skopje v Makedoniji. Že takrat so razvili nekaj načinov ojačitve opečnega zidovja in učinkovitost posegov dokazali tudi z eksperimenti. Takrat so se omejili na opečne zidane stavbe, potresno odpornost kamnitih stavb, ki predstavljajo večino vseh hiš v starih mestnih in podeželskih jedrih, obenem pa tudi večino kulturnozgodovinskih spomenikov pri nas, pa so začeli raziskovati leta 1974 po potresu na Kozjanskem. Z denarjem takratne Raziskovalne skupnosti Slovenije in z lastnim denarjem, namenjenim za razvoj, so razvili in preizkusili znano metodo ojačevanja zidanih stavb s povezovanjem zidov v višini stropov z jeklenimi zidnimi vezmi in z injektiranjem s cementno suspenzijo. Metoda je bila široko uporabljena na Kozjanskem, pa tudi dve leti kasneje v Posočju in sosednji Italiji. Metoda je bila kasneje predpisana tako doma kot tudi v Italiji, O tej, pa tudi drugih metodah ki se uporabljajo za protipotresno ojačitev starih zidanih stavb, smo obširno poročali v prvi številki Ujme.

Raziskovalci Zavoda tudi danes ne zastajamo za svetom. Čeprav sta pri nas s časovno odmaknjenostjo od zadnjega potresa in zaradi stanja v gradbeništvu upadlo zanimanje in pripravljenost za sodelovanje tudi pri tistih financiranih raziskav, katerim je zagotavljanje potresne odpornosti starih stavb pri nas življenjskega pomena, smo na ZRMK nadaljevali z raziskovalnim delom. O nekaterih uporabnih rezultatih najnovejših raziskav poročam v tem prispevku.

* Dr., Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij, Dimičeva 12, Ljubljana.



Slika 1. Tako se med potresom razsloji kamniti zid, sezidan iz dveh slojev neobdelanega kamna. (Foto: M. Tomaževič).



Slika 2. Preiskava injektiranega kamnitega zidu v laboratoriju ZRMK-ja v Ljubljani. (Foto: M. Tomaževič).

Ojačevanje kamnitega zidovja z injektiranjem zidovju prijaznih mešanic

Zidovje je bilo od nekdaj obrtniški gradbeni material. Zidovi so bili predvideni le za prenašanje navpičnih obtežb, njihovo nosilnost pa je določala debelina, ki je bila odvisna od kakovosti materiala, ki so ga graditelji imeli na razpolago. Zaradi prostorsko delujočih, s časom spreminjajočih se vztrajnostnih sil pa med potresom v zidovih poleg obremenitev zaradi navpičnih sil nastanejo dodatni strigi in nategi, ki jih staro kamnito zidovje praviloma ni sposobno prevzemati. V zidovju nastanejo razpoke, lahko pa se zaradi premajhne odpornosti zid celo poruši. Eden od osnovnih pogojev za zagotavljanje potresne odpornosti starim hišam je torej napraviti njihovo zidovje dovolj močno, da bo lahko prevzelo potresne sile, na katere graditelji zgodovinskih stavb niso mislili.

Pri nas se je kamnito zidovje v vseh svojih različicah več stoletij uporabljalo kot osnovni material za grajenje. Kamnito zidovje starih stavb v zgodovinskih mestnih in podeželskih jedrih je navadno sezidano iz dveh zunanjih, nosilnih slojev iz večjih kosov nepravilno obdelanega kamna z vmesnim nasutjem iz manjših kosov in odpadkov, vse skupaj pa je povezano z apneno malto. Pravilno ali deloma obdelano kamenje se je uporabljalo za zidanje javnih ali monumentalnih stavb, včasih pa tudi za zidanje vogalov in stikov zidov pri navadnih stavbah. Ponekod je samo fasadni sloj zidu, ki ni ometan, sezidan iz obdelanega kamna, medtem ko je notranji sloj zidu iz lomljenca nepravilnih oblik. Zelo redko je iz pravilno obdelanega kamna sezidan celoten zid.

Zaradi načina zidanja je v kamnitem in mešanem zidu veliko votlin, ki so enakoverno razporejene po celi prostornini zidovja. Med potresom zato večkrat pride do razslojevanja in razpadanja takšnega zidovja (slika 1), kar ima za posledico lahko tudi porušitev celotne stavbe. Če to upoštevamo, zapolnitev votlin z vtiskanjem vezne mešanice v notranjost zidovja predstavlja vsekakor eno očitnih, vendar učinkovitih metod za ojačitev zidu. Potem ko se injekcijska masa strdi, poveže z votlinami ločene dele zidovja v kompaktno celoto.

Učinek injektiranja kamnitega in mešanega zidovja s cementno mešanico na potresno odpornost smo preverili eksperimentalno z laboratorijskimi in terenskimi preiskavami obstoječih in ojačenih zidov. S preiskavami smo ugotovili, da se odpornost na vodoravne sile poveča tudi za več kot dvakrat. Stopnja povečanja je seveda odvisna od kakovosti osnovnega zidu, zanimiva pa je ugotovitev, da je trdnost s cementom zainjektiranega zidovja v vseh primerih podobna, ne glede na vrsto in trdnost osnovnega zidu.

Injektiranje cementne suspenzije ima veliko prednost pred drugimi metodami ojačevanja konstrukcije kulturnozgodovinskih spomenikov, kjer moramo upoštevati principe konzervacije in restavracije spomenikov, ki močno omejujejo uporabo mnogih drugih, tehnično tudi možnih rešitev. Zal pa je injektiranje cementa v zidovje neustrezno z nekaterih drugih vidikov. Predvsem gre za pojav vlage v zidu, ki je posledica dejstva, da smo z injektiranjem zapolnili zračne votline, po katerih ni bil mogoč transport vlage, z materialom, ki je kapilarno aktiven. Kamnite hiše so po sanaciji zaradi povečane vlage pogosto bolj neprijetne za bivanje kot pred njo. Po merilih umetnostnih zgodovinarjev in konzervatorjev je cement material, ki zaradi zgodovinskih razlogov ne sodi v staro zidovje, sezidano z apneno malto, re-

144 stavratorje pa predvsem motijo poškodbe, ki se zaradi vplivov cementa pojavljajo na poslikavah, ki dajejo staremu zidovju zgodovinsko vrednost.

Da bi stranske učinke cementa omilili, zidovju pa z injektiranjem kljub vsemu zagotovili ustrezno nosilnost, razvijamo zidovju prijazne injekcijske mešanice, tj. mešanice, ki bodo ustrezale tako trdnostnim merilom, ki jih zahtevamo gradbeniki, kot tudi merilom, ki jih postavljajo umetnostni zgodovinarji in konzervatorji ter uporabniki stavb. Raziskave, ki jih izvajamo, so pokazale nekatere možnosti za rešitev problema. Z zamenjavo dela cementa z drugimi materiali in z dodajanjem sredstev za hidrofohiranje se že močno približamo zahtevam umetnostnih zgodovinarjev, konzervatorjev in uporabnikov stavb. Dodatke za hidrofohiranje smo razvili sami. To so na poseben način pripravljene soli maščobne kisline, ki jih v prašnati ali tekoči obliki vsipamo v mešalnik, kjer se pripravlja injekcijska mešanica, med procesom strjevanja hidravličnega veziva pa se vgradijo v nastajajoči kapilarni sistem in preprečijo nastanek vodnega filma v gradivu. Dodatki so na trgu poznani pod različnimi komercialnimi imeni. Najbolj poznana sta »vlagin« in »fobin«.

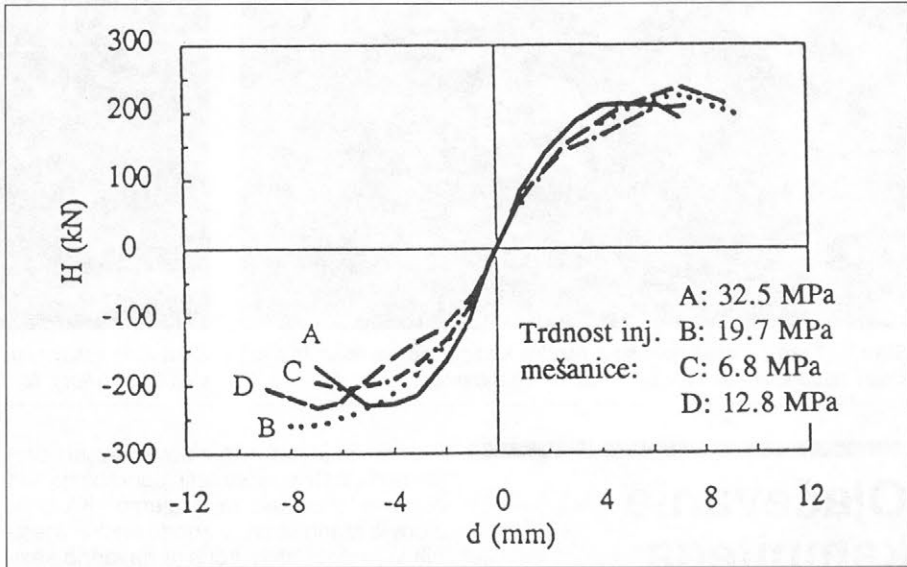
Cement zamenjujemo s kremenčevim in apnenčevim peskom. Glede na to, da zmanjšanje količine cementa bistveno zmanjša trdnost injekcijske mešanice, smo vpliv trdnosti mešanice na potresno odpornost kamnitega zidovja posebej raziskali. V ta namen smo v laboratoriju ZRMK-ja na enak način kot v zgodovinskih hišah sezidali osem zidov, ki smo jih zainjektirali s štirimi različnimi injekcijskimi mešanicami, katerih trdnost se je gibala med 32,5 MPa (čista cementna mešanica) in 6,8 MPa (mešanica, pri kateri je bilo 30 % cementa zamenjanih s kremenčevim peskom, dodano pa je bilo tudi sredstvo za hidrofohiranje). Zainjektirane zidove smo preiskali v posebni preizkuševalni napravi, ki omogoča obremenjevanje zidov s konstantno navpično obtežbo, pri čemer lahko vodoravno obtežbo, ki jo izvajamo v obliki vsiljenih pomikov, poljubno spreminjamo (slika 2).

Rezultati preiskave so bili presenetljivi, saj so pokazali, da trdnost injekcijske mešanice praktično ni vplivala na potresno odpornost zidov. Statistično se je dalo vse zidove razvrstiti v isti kolektiv, povprečna vrednost natezne trdnosti, s katero je v večini primerov določena tudi potresna odpornost zidu, pa je znašala 0,33 MPa pri koeficientu raztrosa 20 %, kar je običajna vrednost pri tovrstnem zidovju. To se lepo vidi tudi na sliki 3, ki prikazuje odvisnost med silami in deformacijami, izmerjenimi na zidovih med preiskavo.

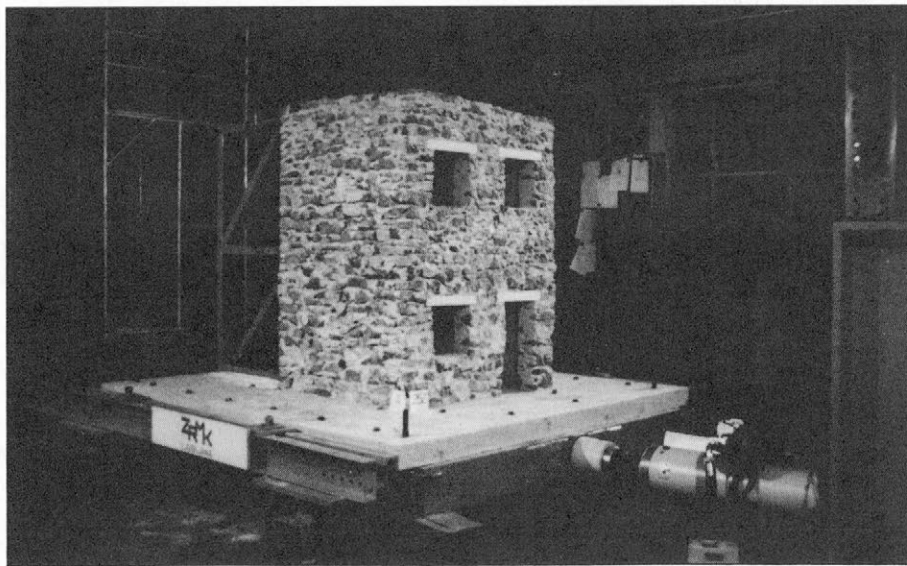
Vrednosti nekaterih značilnih mehanskih lastnosti neojačenega in z injektiranjem ojačenega kamnitega zidovja, ki smo jih dobili s preiskavami zidov v laboratoriju in na terenu in ki jih v svojih računih lahko uporabljajo tudi projektanti, navajamo v preglednici 1. V odvisnosti od vrste zidovja in trdnosti injekcijske mase so v pre-

Preglednica 1. Mehanske lastnosti osnovnega in injektiranega zgodovinskega kamnitega in mešanega zidovja.

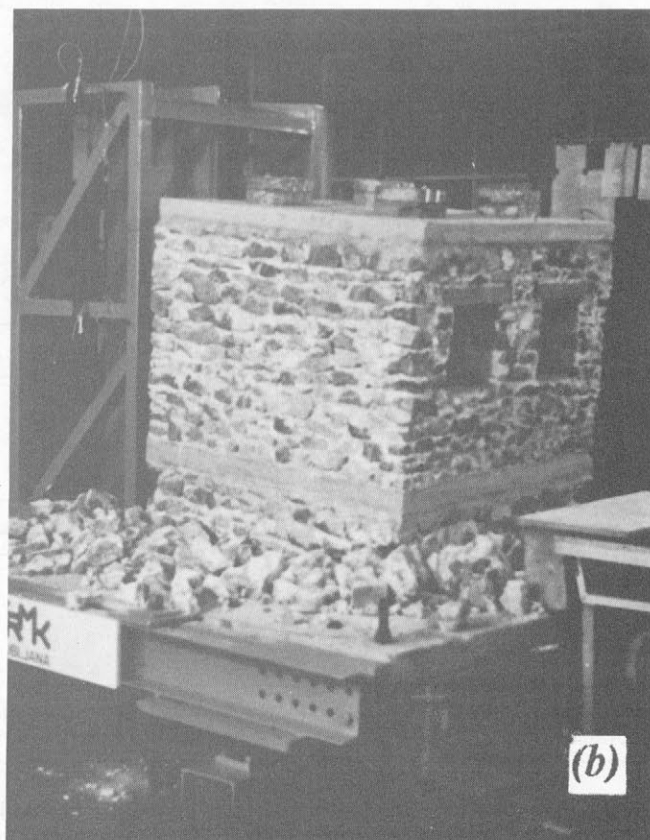
Vrsta zidovja	Stanje	Trdnost injekc. mase	Tlačna trdnost f_c (MPa)	Natezna trdnost f_t (MPa)	Modul elastičnosti E (MPa)	Strižni modul G (MPa)
Neobdelan kamen, dva sloja, blaten pesek	osnovni:	—	0,5	0,02	197	70
	injektiran:	33	1,0	0,12	825	100
Neobdelan kamen, dva sloja, čisti pesek	osnovni:	—	0,77	0,10	390	87
	injektiran:	33	2,14	0,25	2744	145
Neobdelan kamen, dva sloja, čisti pesek	osnovni:	—	—	0,10	—	—
	injektiran:	31	—	0,14	—	100
Neobdelan kamen, mešan zid, čisti pesek	osnovni:	—	—	0,14	—	40
	injektiran:	24	—	0,19	—	450
Neobdelan kamen, dva sloja, čisti pesek (te preiskave)	injektiran:	6,8–32,5	3,71	0,33	1761	141



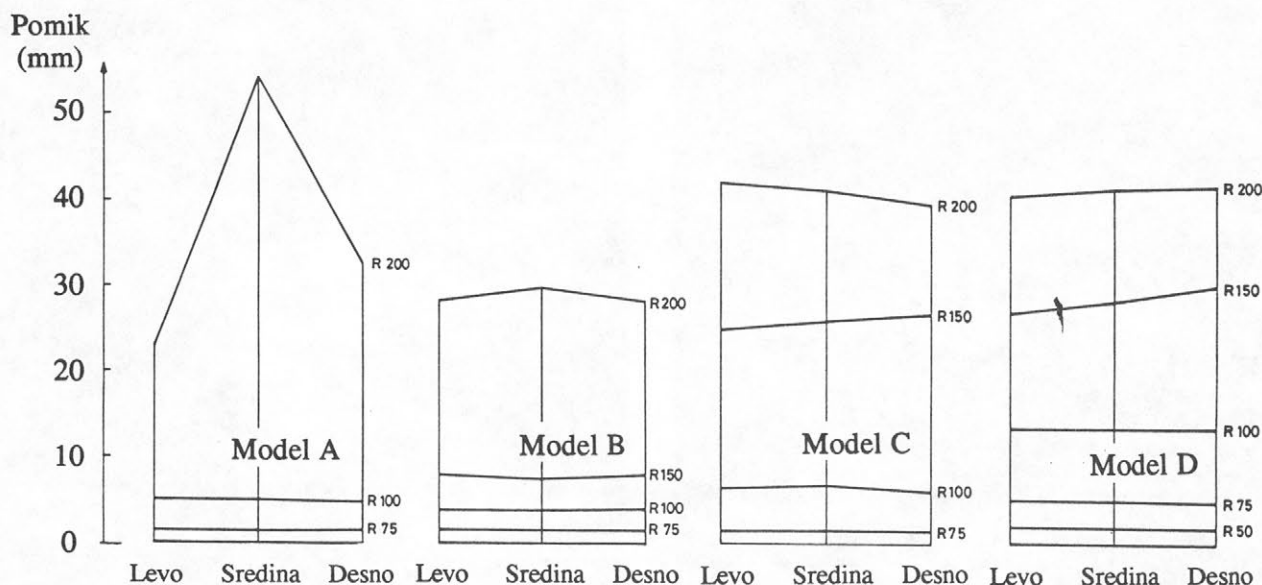
Slika 3. Na diagramih, ki kažejo odvisnost med nosilnostjo in deformacijami preiskanih zidov, ni videti bistvenih razlik med zidovi, zainjektiranimi z različnimi injekcijskimi mešanicami.



Slika 4. Potresna miza v laboratoriju za konstrukcije Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij v Ljubljani. (Foto: M. Tomažević).



Slika 5. Tako so se med preiskavo na potresni mizi v laboratoriju ZRMK-ja v Ljubljani porušili modeli dvoetažnih kamnitih hiš: (a) model hiše z lesenimi stropi in nepovezanimi zidovi; (b) model hiše, kjer so lesene strope zamenjale polne armiranobetonske plošče; (c) model hiše z lesenimi stropi, ki je imela zidove povezane z jeklenimi vezmi; (d) podobno kot (c), le da je bil nad pritličjem opečni obok. (Foto: M. Tomaževič).



Slika 6. Diagrami amplitud pomikov nihanja posameznih delov zgornjega stropa modelov med preiskavo na potresni mizi tudi kažejo na učinek povezovanja zidov.

glednici podane vrednosti tlačne in natezne trdnosti ter modula elastičnosti in strižnega modula za posamezne vrste kamnitega in mešanega zidovja.

Vpliv togosti stropov in povezav zidov na potresno odpornost starih hiš

Čeprav je osnovna funkcija stropov prenos navpične obtežbe (lastna in koristna obtežba), morajo med potresom zagotoviti tudi enakomeren raznos vztrajnostnih sil, ki nastanejo zaradi nihanja stavbe, na nosile zidove. V svoji ravnini toge stropne konstrukcije povezujejo in bočno podpirajo zidovje, preprečujejo nihanja zidov pravokotno na ravnino in zagotavljajo, da se zidana stavba med potresom obnaša kot škatlasta, prostorska konstrukcija.

Pri starih zidanih stavbah v zgodovinskih mestnih in podeželskih jedrih, pri katerih so stropi večinoma leseni, vprašljiv pa je tudi obstoj ali vsaj pravilna razporeditev vodoravnih zidnih vezi, enakomeren raznos potresnih sil na zidove in prostorsko nihanje stavb med potresom seveda ni zagotovljen. Da bi lahko ugotovili, kako različne vrste stropov in povezanost stropov z zidovi vplivajo na obnašanje starih stavb, smo na enostavni potresni mizi, ki

jo imamo v laboratoriju za konstrukcije na ZRMK-ju, preiskali vrsto modelov kamnitih hiš, ki so predstavljali idealizirano dvoetažno hišo tipičnega starega mestnega jedra. Prvi model (model A) je imel lesene stropne s stropniki prosto položeni na nosilne zidove, medtem ko so bili stropi drugega modela (modela B) masivne armiranobetonske plošče z zidnimi vezmi. Pri tretjem modelu (model C) z lesenimi stropi so bili zidovi povezani z jeklenimi vezmi v višini stropov, pri četrtem (model D), ki je ravno tako imel povezane zidove, pa je bil lesen strop nad pritličjem zamenjan z opečnim obokom.

Za preiskavo modelov smo uporabili prvih 24 sekund zapisa pospeškov črnogorskega potresa iz leta 1979, zapisa iz Petrovca, pri katerem je bil izmerjen največji pospešek tal v velikosti 0,43 g (43 % pospeška prostega pada). Kot je znano, je bil to potres IX. stopnje po MSK-lestevici potresne intenzitete. Modele smo preiskali v nekaj zaporednih fazah tako, da smo postopoma povečevali jakost vzbujanja s potresno mizo in pri tem opazovali, kako se obnašajo. Da ne bi modelov takoj porušili, smo jakost potresa najprej zmanjšali na četrtno jakosti osnovnega potresa. Če uporabim zelo grobo primerjavo, bi lahko rekel, da smo preiskavo začeli s potresom VI. in VII. stopnje. Ker se modeli pri potresih z jakostjo, ki je ustrezala jakosti potresa v Črni gori, še niso porušili, smo jakost vzbujanja s potresno mizo na koncu preiskave povečali za toliko, da bi pravi potres ustrezal potresu, ki je bil skoraj 2-krat močnejši od črnogorskega. Ugotovimo lahko, da so bili mehanizmi obnašanja in porušitve preiskanih mode-

Preglednica 2. Potresna odpornost prototipnih hiš.

Intenziteta vzbujanja (*) (%)	Opis stanja modela	Razmerje med prečno silo in težo modela
Model A		
25	Začetek preiskave Ni vidnih poškodb	0,11
100	Začetek ločevanja zidov, 0,43 poševne razpoke	0,43
150	Poševne razpoke, začetek razpada modela	0,34
200	Delna porušitev modela	0,28
Model B		
25	Začetek preiskave Ni vidnih poškodb	0,12
100	Manjše poškodbe, vogalov	0,42
200	Drobljenje vogalov	0,36
300	poškodbe okenskih slopov Porušitev pritličja modela –	–
Model C		
25	Začetek preiskave Ni vidnih poškodb	0,16
100	Nastanek vidnih razpok	0,40
200	Poševne razpoke, začetek drobljenja vogalov	0,26
300	Porušitev modela	–
Model D		
25	Začetek preiskave Ni vidnih poškodb	0,16
100	Nastanek vidnih razpok	0,43
200	Poševne razpoke, začetek drobljenja vogalov	0,29
300	Porušitev modela	–

(*) 100 % predstavlja intenziteto potresa v Petrovcu, privzetega za krmiljenje potresne mize.

lov različni (glej slike 5a do 5d). Čeprav razlike v potresnih silah, ki so nastale med preiskavo, niso bile bistvene, pa je bila jakost potresa, ki je povzročil porušitev, od primera do primera različna. Medtem ko so se modeli B, C in D, pri katerih so bili zidovi povezani bodisi s togimi ploščami bodisi z vezmi, obnašali monolitno in so se porušili šele po potresu, precej močnejšem od IX. stopnje, je model A z lesenimi stropi in nepovezanim zidovjem razpadel od zgoraj navzdol že pri potresu VIII. stopnje (glej preglednico 2).

Razlike v obnašanju modelov in vpliv vezi na povečanje togosti stropov se še najbolj vidijo na diagramih, ki kažejo, kako so nihali posamezni deli zidov v višini zgornjega nadstropja modelov (slika 6). Porazdelitev pomikov dokazuje izrazita nihanja pravokotno na ravnino pri modelu A z nepovezanimi zidovi, medtem ko pri ostalih treh modelih povečanih deformacij na sredini razpetine stropa skoraj ni opaziti. Razlika v amplitudah nihanja pri enakomernih potresih gre na račun različnih poškodb pritličja pri posameznih modelih.

Kot so pokazale analize, ki so povzete v preglednici 2, je potresna odpornost preiskanege tipa hiš razmeroma visoka. Glede na rezultate preiskav lahko sklepamo, da bodo stare kamnite hiše, ki po zasnovi in velikosti ustrezajo preiskanim modelom, razmeroma dobro prestale tudi najmočnejše pričakovane potrese. Seveda pa moramo upoštevati, da so preiskani modeli predstavljali stavbe, sezidane iz dobrega kamnitega zidovja, katerega trdnost je bila že blizu vrednostim, ki jih dosegajo s cementno mešanico zainjektirano zidovje. Pri oceni potresne odpornosti se moramo tudi zavedati, da se nosilnost obstoječega zidovja starih kamnitih hiš v zgodovinskih mestnih jedrih giblje v širokem razponu (glej preglednico 1). Zavedati se moramo tudi tega, da so bile preiskane hiše razmeroma nizke: pri višjih hišah, ki v zgodovinskih mestnih jedrih niso redke, je treba pri posploševanju sklepov z zvezi s potresno odpornostjo upoštevati tudi vpliv višine stavb.

Sklepi

Raziskave, ki smo jih predstavili v tem prispevku, so pokazale, da za zagotavljanje potresne varnosti starim hišam v zgodovinskih mestnih in podeželskih jedrih niso vedno nujni radikalni ukrepi, ki pomenijo vgrajevanje modernih materialov, predvsem cementa in armiranega betona. Dokazali smo, da s premišljenimi tehnološkimi rešitvami lahko v veliki meri upoštevamo zahteve konzervatorjev in restavradorjev kulturnozgodovinskih spomenikov in obstoječe stavbe v zadovoljivi meri ojačamo z njimi prijaznimi materiali, ne da bi grobo posegali v njihovo konstrukcijo.

Za ojačevanje kamnitega in mešanega zidovja se kot najprimernejša metoda uporablja injektiranje, tj. zapolnjevanje votlin v zidovju z ustreznim materialom. Kot dokazujejo opisane raziskave, se lahko name-

sto precejšnjega dela cementa v sestavi injekcijskih mešanic uporabljajo lokalni materiali, kompatibilni z materiali osnovnega zidovja. S tem se na najmanjšo možno mero zmanjšajo morebitni neugodni učinki cementa, sestava mešanice, ki bo skoraj popolnoma ustrezala tudi zahtevam konzervatorjev, ki ne dovoljujejo posegov v konstrukcijo z materiali, ki so tuji njeni osnovni zgodovinski strukturi, pa bo zidovju še vedno zagotovila ustrezno trdnost. Seveda se je treba v vsakem primeru pred končno odločitvijo o uporabi novih mešanic na zidovju zgodovinskih hiš z laboratorijskimi preiskavami prepričati o vseh vidikih njihove ustreznosti in učinkovitosti.

Rezultati modelnih preiskav na potresni mizi so nam dali dragocene podatke tudi o vplivu togosti stropnih konstrukcij in povezovanja zidov na potresno odpornost starih kamnitih hiš. Za prakso pri njihovi prenovi je še posebej važna ugotovitev, da zamenjava lesenih stropov z masivnimi ploščami, kar je drago in zamudno opravilo, z vidika zagotavljanja potresne varnosti nikakor ni nujno potrebna. Praktično enako dobro obnašanje zagotavlja tudi poceni in enostavno povezovanje zidov. Pri hišah normalne velikosti sicer zadostujejo vezi iz navadnega betonskega jekla profila 16 mm, kot ga običajno uporabljamo. Ker pa so prej opisane preiskave pokazale, da je zaradi večje učinkovitosti treba vezi prednapeti, je bilo izdano priporočilo, naj se v primeru, ko ohranimo lesene stropne, dimenzija vezi poveča na profil 22 mm. Povečanje preza jeklenih vezi je vsekakor cenejše kot vgrajevanje masivnih stropov.

Preiskave na potresni mizi so tudi pokazale, da ni vseeno, kako so sezidani vogali starih hiš. Način, kako stare hiše nihajo med potresom, povzroča koncentracije obremenitev v vogalih in zato zahteva, da so vogali skrbno sezidani. Tega so se k sreči zavedali že stari graditelji, ki so v vogalih uporabljali klesani kamen. V primeru, da ni tako, moramo vogale še posebej ojačiti, za to pa izbrati takšno rešitev, da z njo zidovja ne bomo še dodatno oslabilili.

Z raziskavami nadaljujemo. Upamo, da bomo za njihovo nadaljevanje ponovno zainteresirani tudi potencialne financirje, predvsem mesto Ljubljana. Le-to je danes, ob bližajoči se stoletnici potresa leta 1895, pozabilo, da je potresno ogroženo, saj kljub opozorilom problematike potresne zaščite obstoječega gradbenega fonda ni uvrstilo med prioritete programa. Mestnega sekretariata za izobraževanje, raziskovalno dejavnost, kulturo in šport za raziskovalno-razvojne projekte za leto 1993. Mesto Ljubljana je tako prekinilo nekajletno financiranje raziskovalnega programa, ki ga za zmanjšanje potresnega tveganja starih hiš izvaja ZRMK.

Rezultati nadaljevanja raziskav bodo osnova za optimizacijo posegov v stare stavbe, s čimer se bodo stroški ojačitve nosilne konstrukcije, ki že danes ne presegajo 10–15 % vrednosti kvadratnega metra novogradnje, še zmanjšali.

Rezultati raziskav bodo tudi dobra osnova za izvajanje programa protipotresne zaščite obstoječega gradbenega fonda potem, ko se bodo uredile razmere v našem gradbeništvu. Da pa so raziskave, ki jih izvaja ZRMK, pomembne celo v svetovnem merilu, kaže zanimanje svetovne javnosti. Strokovnjaki ZRMK-ja so samo v letu 1992 na povabilo tujih organizacij rezultate predstavili v Italiji, Nemčiji, Grčiji in Mehiki.

1. Tomaževič, M., Apih, V. Ojačevanje kamnitega zidovja z zidovju prijaznim injektiranjem. Gradbeni vestnik, priloga Informacije ZRMK, ZDGI, Ljubljana, 1993 (v tisku).
2. Tomaževič, M., Velechovsky, T., Lutman, M., 1992, Obnova starih hiš v zgodovinskih mestnih jedrih na potresnih območjih: je zamenjava lesenih stropov z masivnimi res potrebna? Zbornik, 14. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije, M. Fischinger, J. Lopatič, F. Saje, ur., DGK, DPI, Bled, str. 113–120.

Miha Tomaževič

Experimental Research in seismic protection of buildings in historical urban nuclei

Aseismic strengthening of buildings in historical urban nuclei is part of the complex procedure of restoration and preservation of cultural heritage. When strengthening historical buildings, the requirements of art historians, restorators and conservators should be taken into account, which severely limit the application of many possible technical interventions. Therefore, technological procedures, which fulfil the criteria of load-bearing capacity of the structure as well as protection of cultural monuments, are under development. It has been shown by experimental investigations, that stone-masonry walls can be adequately strengthened by injecting the masonry-friendly grouts, where substantial quantity of cement is replaced by locally available materials and, consequently, negative effects of cement are reduced to an acceptable level. Experiments have also shown that the replacement of wooden floors with rigid reinforced-concrete slabs in historical buildings is not always necessary. Similar effects as regards the improvement of seismic behaviour can be achieved by means of efficient tying of the walls with partially prestressed steel ties.