

Matija GAMS*, Mario Farič**, Veronika Pučnik***

EKSPERIMENTALNE RAZISKAVE UTRJENIH PREKLADNIH DELOV KAMNITIH ZIDOV

Povzetek

V članku predstavljamo preliminarne rezultate eksperimentalnih raziskav prekladnih delov kamnitih zidov. Opisani so materiali in vzorci, preizkuševališče, instrumentacija in način preizkušanja zidov. Prikazani so rezultati dveh parov preiskav. V prvem paru smo zid najprej preizkusili do poškodb, ga popravili in utrdili z oblogo z ene strani ter ponovno preizkusili. V drugem paru smo zid preizkusili do poškodb, ga popravili, a tokrat utrdili z oblogami z obeh strani. Primerjamo odziv osnovnih in utrjenih zidov in odziv enostransko in dvostransko utrjenih zidov. Bistvena razlika je med odzivom neutrjenih in utrjenih zidov, kjer je prišlo do večkratnega povečanja nosilnosti in kapacitete pomikov. Razlika med enostranskimi in dvostranskimi oblogami je bila manjša. Dvostranske obloge so imele 20 % večjo nosilnost v primerjavi z enostranskimi.

Ključne besede: prekladni del zida, kamnito zidovje, utrjevanje, GFRP

Experimental research of strengthened stone masonry spandrels

Summary

This paper shows preliminary results of experimental research of stone masonry spandrels. Materials, samples, test setup, instrumentation and protocol of testing are described and two pairs of tests are presented. In the first pair, the spandrel was first tested until damage, then repaired and finally strengthened by one-sided coating and retested. In the second pair, the wall was tested up to damage, repaired, and strengthened by coating on both sides. The response of reference and strengthened walls is compared first, followed by a comparison of one and two-sided coating. The main difference was between unstrengthened and strengthened spandrels. Coatings increased strength and displacement capacity several fold. The difference between one and two sided coatings was smaller. Two sided coating had 20 % higher strength.

Key words: spandrel, stone masonry, strengthening, GFRP

1. UVOD

Gradnja novih kamnitih objektov v Sloveniji se je praktično končala v petdesetih letih prejšnjega stoletja [1]. Razen Grčije, kjer se še danes gradijo nove kamnite stavbe (v letih 2006-2011 jih je bilo tam zgrajenih približno deset tisoč [2]), je podoben trend možno zaznati v večini evropskih držav. Eden od razlogov, da se kamenja za gradnjo stavb ne uporablja več, je zagotovo razmeroma nizka potresna odpornost stavb sezidanih iz tega materiala. Te stavbe so namreč stare in dotrajane, sezidane v času gradnje brez kontrole kvalitete materialov, predvsem pa so bile grajene pred razumevanjem potresnih obremenitev na stavbe in pred razvojem inženirskih metod dokaza

* doc. dr. Matija GAMS, univ.dipl.inž.grad., Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana, matija.gams@fgg.uni-lj.si

** Mario FARIČ, dipl.inž.grad. (UN), Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana, mario.faric@fgg.uni-lj.si

*** Veronika PUČNIK, dipl.inž.grad. (UN), Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana, veronika.pucnik@fgg.uni-lj.si

nosilnosti. Da ne dosegajo kriterijev potresne odpornosti današnjih standardov kažejo opažanja popotresnih poškodb in računske analize (npr. [3]).

Da bi izboljšali potresno odpornost starih stavb, jih je potrebno utrditi. Tako utrjevanje pa je zapleten in drag postopek, pri katerem je skoraj nemogoče doseči standardov varnosti, funkcionalnosti in udobja, ki ga nudijo nove zidane ali kakšne druge stavbe. Poleg vsega pa je postopek utrjevanja izrazito neudoben za stanovalce, ki se morajo praviloma med takimi posegi začasno izseliti. Sploh v primeru večstanovanjskih stavb je tako zelo težko priti do odločitve za utrditev. V primeru izselitve pa je razmislek o rušitvi in nadomestni gradnji vedno na mestu.

Stare kamnite stavbe, še posebej kadar predstavljajo del starega mestnega jedra, so del kulturne dediščine in jih želimo ohraniti [4]. Poleg tega na trg prihajajo novi materiali in tehnologije utrjevanja, ki so bolj čiste, bolj preproste in omogočajo hitrejšo vgradnjo. Nove tehnike lahko temeljijo na uporabi steklenih in karbonskih vlaken [5, 6], ali pa celo na utrjevanju s podajnimi poliuretanskimi materiali [7]. Zato se še dandanes veliko vlaga v raziskave in razvoj metod utrjevanja.

V medregijskem evropskem Interreg projektu CONSTRAIN trije partnerji iz Slovenije (UL FGG, Igmata in Kolektor) in trije partnerji iz Italije (Univerza v Trstu, Fibrenet in VRC) razvijamo in preizkušamo nove metode utrjevanja. Razviti želimo učinkovito metodo utrjevanja z oblaganjem zidov le z zunanosti stavbe oz. le z ene strani. Na ta način se bi stanovalci veliko lažje odločili za ta korak. Seveda pa so enostransko nanešene obloge slabše od dvostranskih, zato je izziv velik.

Raziskovalni program je ambiciozen, saj eksperimentalno raziskujemo tako obnašanje zidnih slopov kot tudi prekladnih delov zidovja in učinkovitost zidnih vezi. Sistemsko obnašanje razvitih metod pa bomo preverili na dvoetažnem modelu hiše v naravnem merilu. V raziskavah sodelujejo vsi partnerji, na UL FGG pa imamo še nalogo eksperimentalno raziskati obnašanje prekladnih delov zidov. Preizkušanci za take raziskave so razmeroma veliki, preizkuševališče in izvedba testa pa zelo zapletena. Zaradi zahtevnosti so tovrstne raziskave redke celo v svetovnem merilu.

V tem članku prikazujemo preliminarne rezultate dveh parov eksperimentalnih raziskav. V prvem paru raziskav smo najprej preizkusili prekladni del kamnitega zidu s simulirano potresno obtežbo v obliki ciklično vsiljenih pomikov do večjih poškodb. Zatem smo poškodbe sanirali in zid utrdili z maltno oblogo, ki je bila armirana z mrežo iz steklenih vlaken. Oblogo smo nanesli le z ene strani, zato je bilo sidranje obloge v zid posebne vrste in je služilo tako povezavi obloge z zidom, kot tudi povezovanju obeh slojev kamnitega zidu. Rezultati so pokazali večkratno povečanje nosilnosti in izjemno povečano kapaciteto pomikov. V drugem paru raziskav smo kamniti prekladni zid ponovno obremenili najprej do večjih poškodb, ga zatem utrdili z dvostransko maltno oblogo, armirano z mrežico iz steklenih vlaken in preizkusili skoraj do porušitve. Tudi v tem primeru smo opazili veliko povečanje nosilnosti in kapacitete pomikov. Rezultati eksperimentov so obetavni in jih predstavljamo v tem prispevku.

2. MATERIALI IN PREIZKUŠANCI

2.1 Malta za zidanje

Malta za zidanje je bila mešanica peska in naravnega hidravličnega apna v masnem razmerju 8:1. Suho mešanico so pripravili v tovarni za cel projekt in jo zapakirano v vrečah dostavili v laboratorij. Pred vgradnjo je bilo potrebno malto le zmešati z odmerjeno količino vode.

Vzorci malte smo odvzeli med gradnjo preizkušancev in jih hranili pri istih pogojih kot vzorce

zidov. Vzorci so bili prizme dimenzij 160/40/40 mm, ki smo jih preizkusili v skladu s SIST EN 1015-11 [8] pri isti starosti, kot je bila starost vzorca ob preiskavi. Izmerjena upogibna trdnost je znašala 0,23 MPa (koeficient variacije 18 %) za prvi zid in 0,36 MPa (koeficient variacije 23%) za drugi zid. Tlačna trdnost malte prvega zidu je znašala 1,11 MPa (koeficient variacije 17 %), drugega pa 1,95 MPa (koeficient variacije 12 %).

2.2 Kamen

Kamne za gradnjo smo dobili iz kamnoloma v občini Credaro v severni Italiji. Pred gradnjo so bili kamni sortirani in grobo klesani s kladivom. Za gradnjo sta bila uporabljena dva tipa kamnov: apnenec (Medolo) in peščenjak (Berrettino). Mehanske lastnosti smo prevzeli iz podatkov proizvajalca [9]. Tlačna trdnost kamnov apnenca je znašala 165-175 MPa, tlačna trdnost peščenjaka pa 144-149 MPa. Upogibna trdnost apnenca je bila 23 MPa, peščenjaka pa 19 MPa.

2.3 Malta za utrjevanje

Za utrjevanje smo uporabili sodobno sanacijsko malto kvalitete M15. Karakteristike malte smo določili na vzorcih, ki smo jih odvzeli med gradnjo in preizkusili pri isti starosti kot zid. Tlačna in upogibna trdnost malte za utrjevanje prvega zidu sta bili 22,9 MPa (koeficient variacije 10 %) in 4,2 MPa (koeficient variacije 5 %). Malta za utrjevanje drugega zidu je imela tlačno trdnost 24,6 MPa (koeficient variacije 5 %) in upogibno trdnost 5,6 MPa (koeficient variacije 4 %).

2.4 Mreža za armiranje iz steklenih vlaken

Maltne obloge smo armirali z dvosmerno nosilnimi mrežami iz steklenih vlaken (GFRP mreže). Mehanske lastnosti smo prevzeli iz tehničnega lista [10]. Okna mreže so bila dimenzij 66/66 mm, povprečna debelina mreže pa je bila 3 mm. Vsaka nit mreže je imela prečni prerez 11,6 mm². Raztezek pri porušitvi je 1.45 %, povprečna natezna trdnost mreže na meter širine pa je 84 kN/m, karakteristična trdnost pa 64,5 kN/m.

2.5 Sidranje

Za sidranje smo uporabljali dve vrsti sider. Sidra za sidranje mreže v zid so bila iz steklenih vlaken v obliki črke L (slika 1, levo). Krajša stranica sider je znašala 10 cm, daljša pa 35 cm. Natezna trdnost sider je znašala 350 MPa, raztezek pri porušitvi pa 1,9 %.

Da bi zmanjšali koncentracije napetosti pod sidri, smo skladni s priporočili proizvajalca sider pod kljuko sidra vstavili dodatne mrežice dimenzij 15 x 15 cm, ki so imela velikost oken 33 x 33 mm (slika 1, desno). Sidra se vstavljajo v izvrtane luknje premera 16 mm in injektirajo s poliuretanskim lepilom.



Slika 1: L sidra za sidranje mreže (levo) in podložna mrežica (desno).

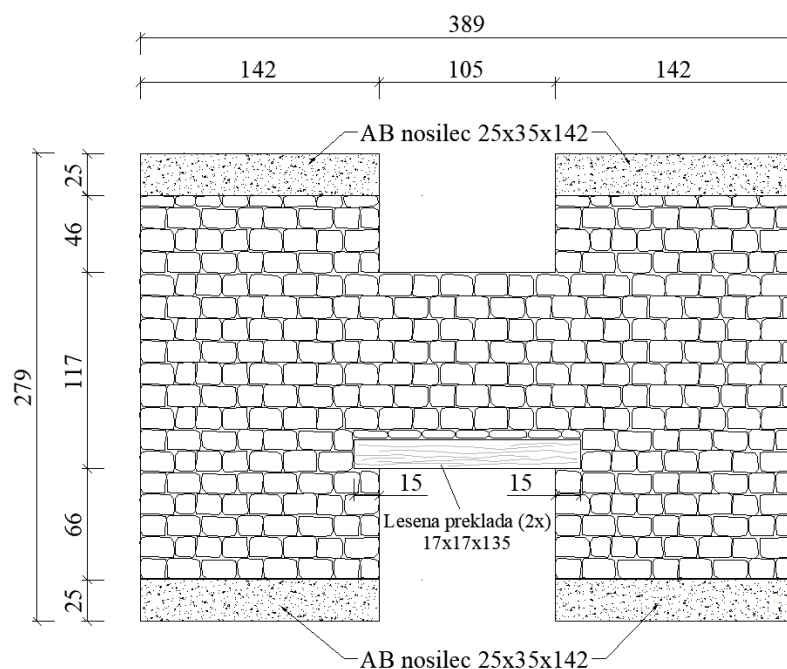
Sidra za sidranje mreže v zid z dodatno funkcijo povezovanja slojev zidu so bila narejena iz jeklenih navojnih palic M16 in ploščatih jeklenih sidrnih glav (slika 2, levo). Ta sidra, ki jih Italijani imenujejo diatoni, opravljajo tudi funkcijo veznih kamnov, ki povezujejo sloje zidov. Vgrajujejo se v kronsko izvrtane luknje premera 50 mm in injektirajo z injekcijsko malto (tlačno trdnost uporabljene komercialne injekcijske malte je bila 55 MPa). Premer diskastih sidrnih glav je 150 mm, debelina pločevine pa 5 mm.



Slika 2: Sidrna glava povezovalnih sider premera 150 mm (levo) in montaža sidra (desno).

2.6 Vzorci prekladnih delov zidov

Za analizo obnašanja kamnitih prekladnih zidov sta bila sezidana dva preizkušanca (sliki 3 in 4). Vsak je bil sestavljen iz dveh slopov in vmesnega prekladnega dela. Preizkušance so sezidali zidarji iz Kolektorja v Laboratoriju za konstrukcije Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Sezidani zidovi po kvaliteti materialov in gradnji posnemajo staro kamnito zidovje. Zid je tako dvoslojen in popolnoma brez veznih kamnov.



Slika 3: Dimenzije preizkusnih zidov (dimenzije v cm).

Za gradnjo smo uporabili grobo klesane kamne različnih razmerij širin in dolžin. Naležne in čelne rege so bile polno zapolnjene. Kamni so bili postavljeni tako, da ni bilo kontinuirnih navpičnih reg. Preizkušane je bil sezidan na armiranobetonskih temeljih, na vrhu stopenj pa so bili armiranobetonski nosilci. Armiranobetonski elementi so služili za vnos obtežbe v zid in raznos sile iz batov na večjo površino.

Zaradi občutljivosti in velikosti vzorcev, so bili preizkušanci sezidani neposredno na preizkuševališču. Debelina zidov je bila 35 cm. Kamnita slopa sta bila dimenzij dolžina/višina = 142/229 cm, prekladni del zidu pa dimenzij dolžina/višina = 105/117 cm.

Prekladni del zidu je bil sezidan na leseni prekladi, ki je bila sestavljena iz dveh vzporednih lesenih nosilcev dimenzij 17/17/135 cm (višina/debelina/dolžina).



Slika 4: Končni izgled preizkušanca.

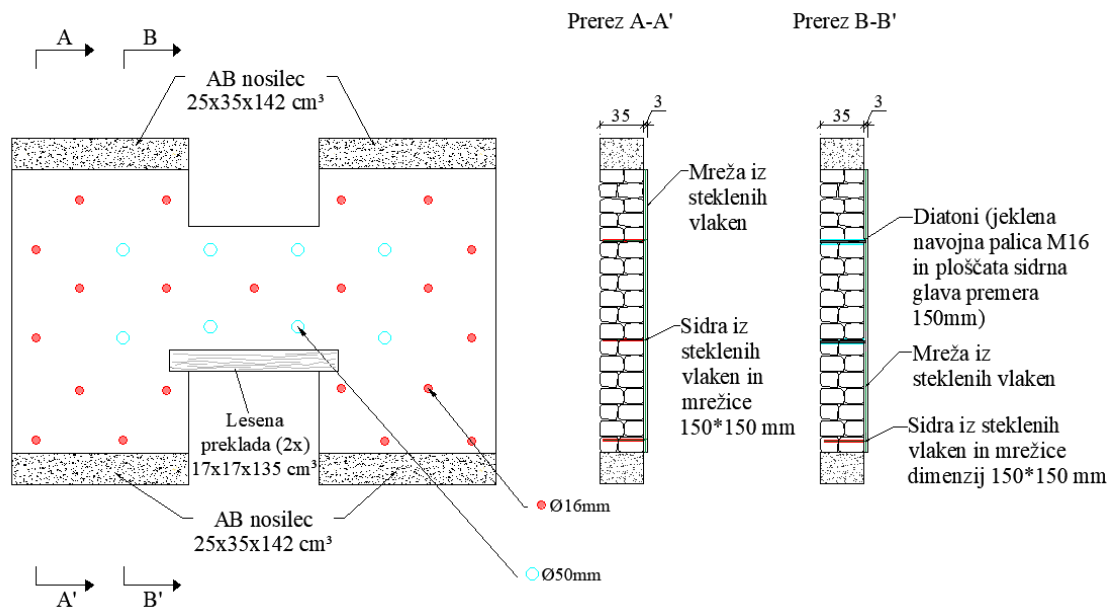
3. UTRJEVANJE

3.1 Enostransko

Prvi preizkušanec je bil utrjen z oblogo le z ene strani oz. enostransko. Obloga je bila iz cementne malte, ki je bila armirana z mrežo iz steklenih vlaken. Armirana obloga je bila v zid sidrana z dvema vrstama sider: s sidri iz steklenih vlaken in z jeklenimi povezovalnimi sidri (diatoni). Sidra iz steklenih vlaken so bila enakomerno razporejena po celem vzorcu, močnejša povezovalna sidra (diatoni), ki so povezovala oba sloja zidu, pa so bila le na območju prekladnega dela. Skupaj je bilo na oblogi 8 povezovalnih sider in 25 sider iz steklenih vlaken. Pozicije sider so vrisane na načrtu na sliki 5.

V prvem koraku faze utrjevanja so se izvrtale luknje za običajna in povezovalna sidra (diatone). Luknje za povezovalna sidra so potekala skozi celotno debelino zidu. Zatem so se vanje vstavile navojne palice, prazen prostor pa se je zapolnil z injekcijsko malto.

Mrežo iz steklenih vlaken smo postavili čez celotno sprednjo stran zidu in jo začasno podprli. Na navojne palice povezovalnih sider smo namestili sidrne glave, v odprtine za L sidra pa vstavili sidra ter podložne mrežice in jih injektirali s poliuretanom. Zatem smo celotno mrežo prekrili s 30 mm debelim slojem sanacijske malte. Koraki utrjevanja so prikazani na slikah 6 in 7.



Slika 5: Načrt enostranske utrditve.



Slika 6: Mreža in sidra (levo) in sidna glava povezovalnega sidra (desno).

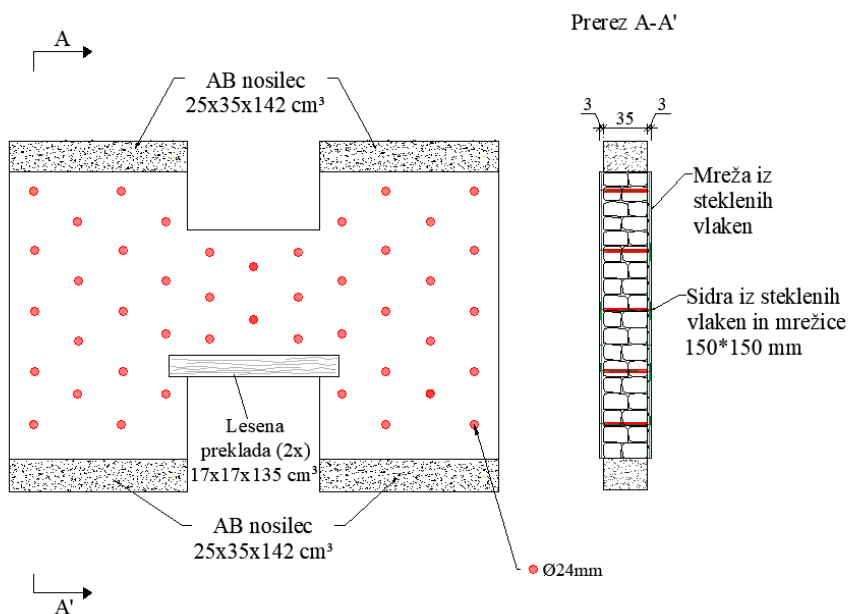


Slika 7: Montiranje L sider (levo) in podložna mrežica (desno).

3.2 Dvostransko

Pri dvostranskem utrjevanju je bila armirana obloga, s katero smo utrdili zid, nanešena na obe strani. V tem primeru smo uporabili le L sidra iz steklenih vlaken (montaža je prikazana na sliki 7, levo). Luknje za sidra so bile zvrtnane skozi zid in vanje smo vstavili sidra iz obeh strani.

Na območju prekladnega dela je bilo na vsaki strani 8 sider, na območjih slopov pa je bila gostota sider 6 sider/m². Shematsko so pozicije sider prikazane na načrtu na sliki 8.



Slika 8: Načrt dvostranske utrditve.

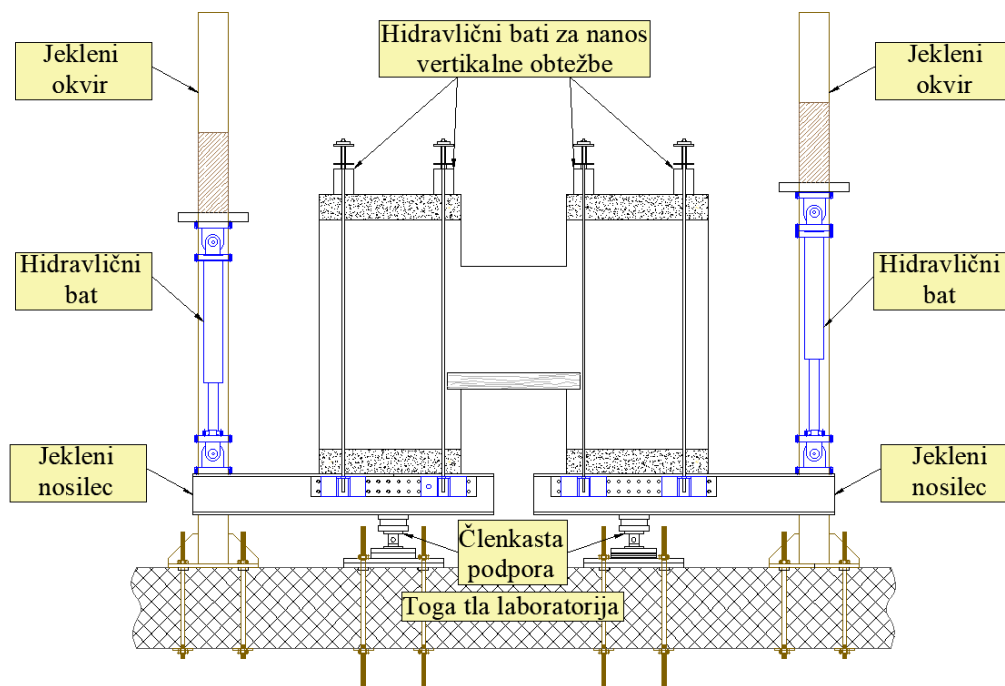


Slika 9: Nameščanje mreže (levo) in nanašanje obloge z ometavanjem (desno).

4. PREIZKUŠEVALIŠČE, INSTRUMENTACIJA IN NAČIN OBREMENJEVANJA

4.1 Preizkuševališče

Preizkuševališče je bilo sestavljeno iz dveh nosilcev, ki sta bila postavljena na podpori oz. členka (slika 10). Levi členek je bil rotacijski z možnostjo prenašanja obremenitev v tlaku in nategu ter vgrajenim merilnikom sile z merilnim območjem od -500 kN do +500 kN. Desni nosilec je bil na členku, ki je poleg rotacij omogočal še translacije (vodoravne pomike v smeri vzdolž nosilca). Tudi ta podpora je bila sprojektirana na tlačne in natezne obremenitve in je imela vgrajen merilnik sile z istim merilnim območjem kot leva. Na vsakega od nosilcev je bil postavljen en slop.



Slika 10: Glavni elementi preizkuševališča.

Skrajno levo in skrajno desno na prostih koncih jeklenih nosilcev sta bila pripeta servo-hidravlična bata zmogljivosti 250 kN in hoda ± 200 mm. Vsak hidravlični bat je bil na zgornji strani vpet v svoj jekleni okvir.

Na vrhu slopov so bili nameščeni štiri hidravlični bati, ki so v slopa vnašali tlačno silo (tlačna napetost v zidovih med preiskavo je bila 0,33 MPa). Hidravlični bati so bili preko jeklenih nosilcev in navojnih palic sidrani v jeklena nosilca. Vsi bati so bili povezani na isti tlačni sistem s plinsko vzmetjo, s čimer smo zagotavljali praktično nespremenljivo silo celoten čas testa.

Hidravlična bata sta se med preiskavo z enako hitrostjo premikala v nasprotnih smereh, kar pomeni, da sta se zidna slopa zasukala v isti smeri. To je v prekladnem delu zidu povzročilo upogibne in strižne obremenitve.

4.2 Instrumentacija

Med preiskavami smo z merilniki pomikov (LVDT) merili pomike preizkušanca v različnih točkah vzdolž nosilcev (pod bati in na obeh robovih zidov). Sile smo merili na vsakem od hidravličnih batov in v podporah. Tako smo lahko v vsakem trenutku preverili pravilnost meritev z računom ravnotežja.

Celotna površina zida je bila pobarvana z vzorcem, ki je omogočal optične meritve polja pomikov in deformacij na celotni površini vzorca.

4.3 Zaporedje preizkušanja in protokol obremenjevanja

Prvi zid smo najprej preizkusili v osnovnem oz. neutrjenem stanju. Preizkus smo prekinili, ko je v zidu prišlo do večjih poškodb, ki se jih je še dalo popraviti. Razpoke smo injektirali s cementno injekcijsko maso in na zid nanесли enostransko armirano oblogo. Po staranju obloge smo zid ponovno preizkusili – tokrat do stanja blizu porušitve.

Drugi zid smo prav tako najprej preizkusili do večjih poškodb, ga popravili in zatem utrdili. Utrditev smo izvedli z dvostransko oblogo in ga ponovno preizkusili.

V vsakem testu smo najprej v oba slopa vnesli tlačno obtežbo, ki je povzročila tlačno napetost 0,33 MPa. Zatem smo v prekladnem delu zidu simulirali delovanje potresne obtežbe tako, da smo hidravlična bata krmili s predpisanim pomikom. Tako smo tudi v prekladni del vnesli predpisani pomik oz. zamik (angl. drift). Pomike smo vnašali izmenično v pozitivni in negativni smeri, po vsakih treh ponovitvah pa smo amplitudo vsiljenih pomikov povečali.

Pri neutrjenih zidovih smo obremenjevanje zaključili pri zamiku prekladnega dela 0,4 %. Takrat je bil zid poškodovan, a ga je bilo še smotrno popraviti. Preiskavo utrjenih zidov smo prekinili tik pred porušitvijo vzorcev.

5. REZULTATI IN UGOTOVITVE

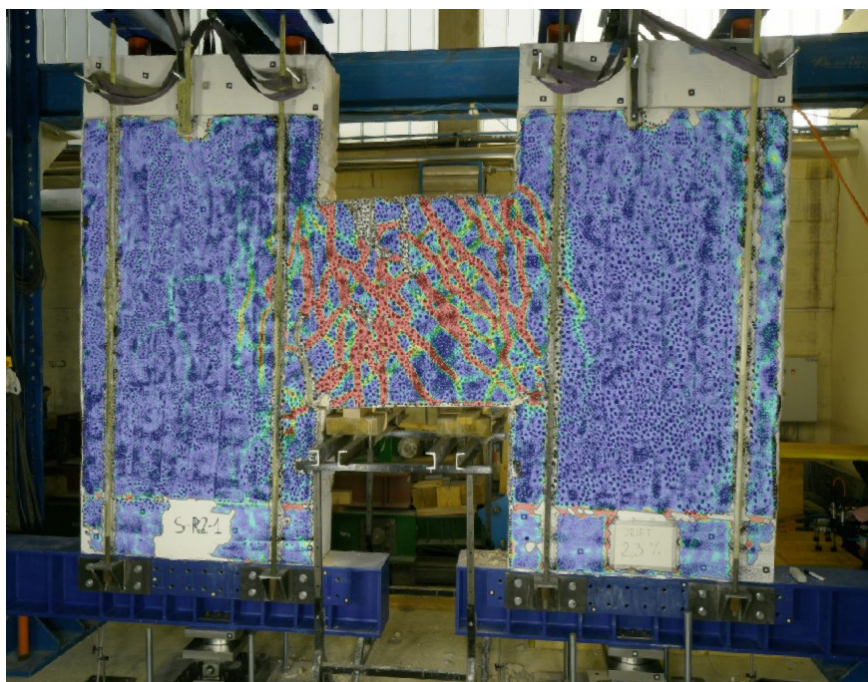
Odziv neutrjenih zidov je bil večinoma upogiben. Karakteristično za ta odziv je bilo, da sta se v prekladnem delu pojavili dve navpični razpoki na levi in na desni strani prekladnega dela (slika 11). Vse poškodbe so bile skoncentrirane le v teh dveh razpokah. Največja sila (55-60 kN) in pojav prvih razpok je bil dosežen zelo hitro (pri zamiku 0,02 – 0,04 %). Zatem je sila nekoliko padla (za približno 10-15 kN), temu pa je sledilo majhnih sprememb sile s povečevanjem vsiljenih pomikov . Ohranjanje nosilnosti po pojavu razpok je značilnost kamnitih zidov, ki so zelo malo tlačno obremenjeni in je mehanizem nosilnosti trenje v razpokah. Ker so bili v naših preizkusih prekladni deli tlačno praktično neobremenjeni, in je tako tudi v praksi, je bil ta pojav zelo očiten.



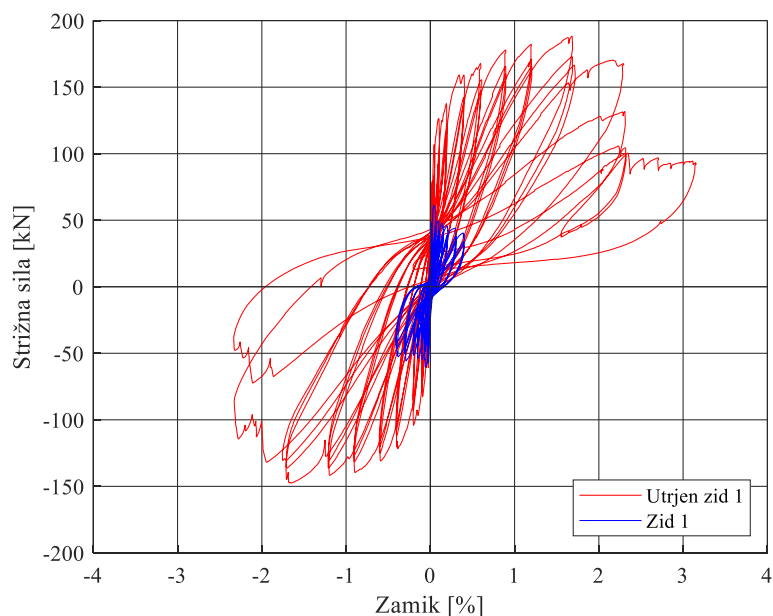
Slika 11: Upogibne razpoke v neutrjenem delu prekladnega zidu.

Odziv prvega zida po utrditvi z enostransko oblogo je bil drugačen. V oblogah so se najprej pojavile poševne razpoke, ki so nakazovale strižno obnašanje. S povečevanjem obtežbe, se je število razpok povečalo in na koncu je bila cela obloga prepredena s poševnimi razpokami. Na drugi strani, ki je bila brez obloge, je bilo razpok manj, a so tudi tam nakazovale strižni odziv. Kljub temu, da je obloga na večjem delu prekladnega dela odstopila od zida, kar smo preverili s pretrkavanjem, je še vedno sodelovala z zidom in prispevala k nosilnosti. Za tako delovanje so bila zelo pomembna močna povezovalna sidra. Ko smo se bližali porušitvi, so se niti mreže iz steklenih vlaken začele trgati, kar smo lahko med testom tudi slišali. Kasneje pa smo to preverili še med rušenjem vzorca.

Vzorec razpok blizu porušitve je prikazan na sliki 12. Pojav tako velikega števila razpok v prekladnem delu je zaželen, saj se tako ustvari veliko mest, kjer se lahko sipa energija.



Slika 12: Strižne razpoke na oblogi enostransko utrjenega zidu. Rdeča barva prikazuje lokacijo in širino razpok v povečanem merilu.



Slika 13: Histerezni odziv prvega zidu v osnovnem stanju in po utrditvi z enostransko oblogo.

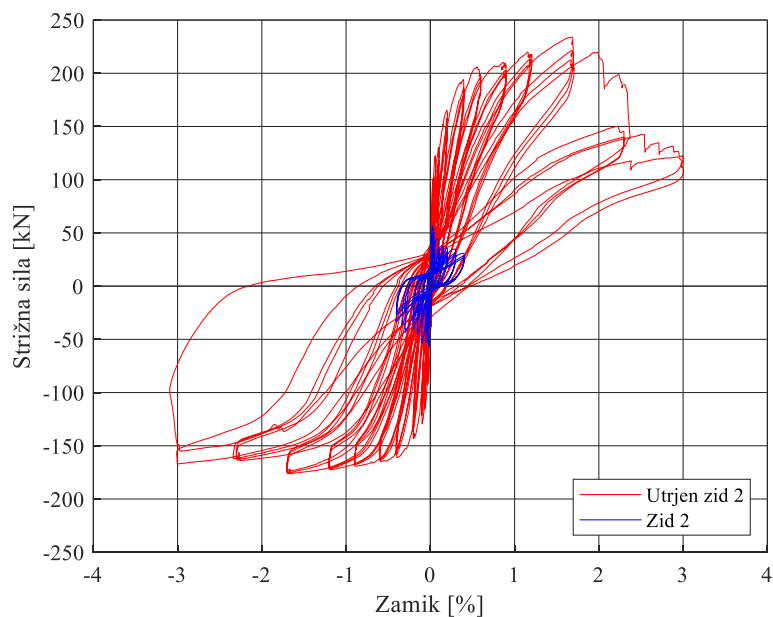
Utrjeni zid je dosegel bistveno višjo nosilnost kot neutrjeni (nosilnost je bila približno 168 kN, kar je približno 2,7 kratno povečanje). Dosegel pa jo je tudi pri bistveno večjem zamiku (pri približno 1,8 % zamika, oz. pri 4 do 5 krat večjem zamiku). Največji doseženi zamik je bil približno 3 %. Histerezni odziv v obliki strižne sile v odvisnosti od zamika zidu je prikazan na sliki 13. Utrjeni zid se je obnašal neprimerno bolje, območje, ki ga objamejo histerezne zanke pa nakazuje, da lahko ta

zid disipira veliko energije in občutno izboljša obnašanje med potresom.

Drugi neutrjeni zid se je odzval zelo podobno kot prvi. Odziv je bil pretežno upogiben. Kot že večkrat omenjeno, je bil drugi zid utrjen z obeh strani, a šibkeje sidran. Kljub temu je bil odziv in vzorec razpok podoben, kot v primeru prvega utrjenega zidu. Pojavilo se je več vzporednih poševnih strižnih razpok (slika 14), blizu porušitve pa so se trgale vrvi armaturne mreže iz steklenih vlaken.



Slika 14: Strižne razpoke na oblogi enostransko utrjenega zidu. Rdeča barva prikazuje lokacijo in širino razpok.



Slika 15: Histerezni odziv drugega zidu v osnovnem stanju in po utrditvi z dvostransko oblogo.

Največja odpornost (približno 205 kN) je bila ponovno dosežena pri približno 1,8 % zamiku, največji zamik je bil 3 %. Največja odpornost je torej bistveno večja od neutrjenega zidu, hkrati pa za dobrih 20 % višja kot v primeru enostranske utrditve. Histerezne zanke (slika 15) ponovno kažejo bistveno izboljšano potresno obnašanje od neutrjenega zidu.

6. ZAKLJUČKI

V laboratoriju smo preizkusili odziv dveh prekladnih kamnitih zidov. Oba zida smo najprej preizkusili do poškodb, zatem pa ju utrdili. Za utrditev smo uporabili 30 mm debele maltne obloge, ki so bile armirane s stekleno mrežico in sidrane v zid. En zid je bil utrjen z oblogo le z ene strani, drugi pa z obeh strani. V članku so prikazani preliminarni rezultati raziskav.

Bistvena razlika je bila med odzivom neutrjenih in utrjenih zidov, saj je bilo izboljšanje potresnega obnašanja v obeh primerih zelo veliko. Bistveno se je povečala nosilnost (2,5 do 3,5 krat), kapaciteta pomikov, pomik pri katerem je bila dosežena največja sila (4 do 5 krat) ter količina disipirane energije. Z vidika potresne odpornosti je bil boljši tudi odziv, saj so bile v primeru neutrjenih zidov poškodbe bolj lokalizirane. Bolj razpršene razpoke utrjenih zidov pa so omogočile večje disipiranje energije. Odziv neutrjenih zidov je bil upogibni. Utrjena zida pa sta se odzvala strižno praktično do porušitve, ko je prišlo do pretrga mreže.

Razlika v odzivu zidov z enostransko in dvostransko oblogo je bila manjša. Nosilnost v primeru dvostranskih oblog je bila le 20 % večja od enostranskih, kapaciteta pomikov in disipacija energije pa sta bili primerljivi. Kljub temu, da je bilo sidranje v primeru enostranske obloge močnejše in bolj zapleteno, se zdi, da bo možno predlagati enostransko utrjevanje kot dober in učinkovit način utrjevanja kamnitih zidov.

Zahvala

Raziskave so bile financirane v sklopu evropskega Interreg ITALIA-SLOVENIJA projekta CONSTRAIN. Za pomoč smo hvaležni.

7. LITERATURA

- [1] Geodetska uprava Republike Slovenije. Register nepremičnin. <https://eprostor.gov.si/imps/srv/api/records/26252870-5100-4408-a3e0-54ea80eb3612>, dostop 21.5. 2021
- [2] Grški nacionalni inštitut za statistiko (Hellenic Statistical Authority, ELSTAT), 2011.
- [3] Lutman M, Seismic Resistance Assessment of Heritage Masonry Buildings in Ljubljana, Int J Archit Herit. 2010, 4(3): 198-221.
- [4] Tomaževič M, Potresno odporne zidane stavbe, Tehnis, 2009.
- [5] Jarc Simonič M, Gostič S, Bosiljkov V, Žarnić R. In-situ and laboratory tests of old brick masonry strengthened with FRP in innovative configurations and design considerations. *Bulletin of earthquake engineering*, 2015.
- [6] Gams M, Tomaževič M, Berset T. Seismic strengthening of brick masonry by composite coatings : an experimental study. *Bulletin of earthquake engineering*, 2017.

-
- [7] Gams M, Akadiusz K, Zajac B, Tomaževič M. Seismic strengthening of brick masonry walls with flexible polymer coating. *9th International Masonry Conference, Guimarães, 7-9 July 2014.*
- [8] SIST EN 1015-11:2020, Metode preskušanja zidarske malte - 11. del: Določevanje upogibne in tlačne trdnosti strjene malte
- [9] Tehnični list za kamen, Pietra di Credaro, http://www.naturalstoneinfo.com/download/bgcamcom.pietra_credaro.pdf, dostop 28.9.2021
- [10] Tehnični list za mrežo iz steklenih vlaken, Fibrenet, <https://www.fibrenet.it/wp-content/uploads/2021/02/FB-01-STC-014-IT-07-FBCONL.pdf>, dostop 28.9.2021