

UTRJEVANJE STAVB S KRIŽNO LEPLJENIMI LESENIMI PLOŠČAMI

STRENGTHENING OF BUILDINGS WITH CROSS-LAMINATED TIMBER PLATES

dr. Iztok Šušteršič, univ. dipl. inž. grad.

iztok.sustersic@innorenew.eu
InnoRenew CoE, Livade 6, 6310 Izola

dr. Bruno Dujič, univ. dipl. inž. grad.

bruno.dujic@cbd.si
CBD gradbeno in poslovno projektiranje, d. o. o.,
Lopata 19 g, 3000 Celje

Znanstveni članek

UDK 624.011.1:624.042.7

Povzetek | Članek obravnava protipotresno utrjevanje obstoječih konstrukcij s sistemom obložnih križno lepljenih lesenih (CLT) plošč. Izdelana je bila serija monotonih preiskav upogiba križno lepljenih plošč v ravnini, kvazistatičnih cikličnih preiskav neutrenjenih in utrjenega zidov iz nearmirane opečne zidovine ter dinamične preiskave neutrenjenega in utrjenega dvoetažnega armiranobetonskega (AB) okvirja z ali brez opečnih polnil na potresni mizi. Testi opečnih zidov so pokazali, da je možno z mehanskim pritrjevanjem CLT-plošč na konstrukcijo povečati nosilnost do 34 %, mejni pomik pa za 165 %. Testi AB-okvirja z opečnimi polnili so pokazali, da so CLT-ojačitve povrnile nihajne dobe poškodovane konstrukcije v prvotno stanje, zmanjšale so tudi torzijsko podajnost objekta. Izdelani so bili numerični modeli ter izračunana potresna odpornost testiranih vzorčnih primerov. Ugotovljeno je bilo, da je s predlaganim sistemom obložnih CLT-plošč možno zmanjšati obseg poškodb na testiranih AB-okvirju in AB-okvirju z opečnim polnilom. Na numeričnem 2D-modelu večje stene iz nearmirane opečne zidovine (del fiktivnega dvoetažnega objekta), ki ni izpolnjevala kriterijev za mejna stanja omejevanja poškodb in stanja na meji porušitve, smo po namestitvi ojačilnih plošč, sidranih v medetažno konstrukcijo, povečali njeno potresno odpornost. Ključne besede: eksperimentalna analiza, križno lepljene lesene plošče, potresna analiza, utrjevanje stavb, potresna sanacija, nearmirano zidovje, armiranobetonske konstrukcije, opečna polnila

Summary | The paper deals with the seismic strengthening of existing structures with a cladding system of cross laminated timber (CLT) plates. An experimental series of monotonic in-plane bending tests of cross laminated timber plates was performed, as well as a quasi-static cyclic testing series of unstrengthened and strengthened unreinforced masonry walls and a series of dynamic tests on a shaking table, where a two-story unstrengthened and strengthened reinforced concrete frame with and without masonry infill was analysed. The masonry wall tests showed that by using a mechanically connected CLT plate, the load bearing capacity can be increased by 34 % and the ultimate displacement by 165 %. The RC frame tests with masonry infill showed that the CLT strengthening plates caused the vibration periods of an already damaged structure to return back to its initial state, and the building's torsional flexibility was also decreased. Numerical models of the tested structures were made, their seismic resistance was calculated. It was found that the proposed CLT cladding strengthening system can reduce the extent of damage on the tested RC frame and the frame with masonry infill. A 2D numerical model of a large unreinforced masonry wall (part of a fictional case study building) that did not meet the damage limitation and near collapse limit states, showed that after the instalment of the CLT plates anchored into the floor structure, the wall's seismic resistance was increased.

Key words: experimental analysis, cross-laminated timber plates, seismic analysis, building strengthening, seismic retrofit, unreinforced masonry, reinforced concrete structures, masonry infill

1 • UVOD

Potresi ogrožajo človeška življenja že tisočletja. Z izjemo popotresnih valov (cunami) in plazov, ki jih lahko sprožijo, potresi zahtevajo človeške žrtve predvsem zaradi podrhtevanih objektov, ki jih je zgradil človek. Na območjih, kjer je potresna ogroženost srednja do zmerna in so močnejši potresi redkejši pojav v primerjavi z drugimi naravnimi nesrečami, v človeški zavesti nemalokrat utonejo v pozabo. V svetu so bili osnovni protipotresni predpisi v gradbene standarde vpeljani šele v sredini dvajsetega stoletja (Spence, 2007), v mnogih državah še pozneje. Pri nas npr. s prvim pravilnikom leta 1963. Bolj primerni predpisi pa so v veljavi zgolj nekaj desetletij. To pomeni, da imamo obsežen gradbeni fond, ki je potresno ogrožen, sploh v primeru močnejših potresov. Kilar in Kušar (Kilar, 2009) npr. ugotavljata, da sodobnim zahtevam gradnje ustreza manj kot polovica obstoječih večstanovanjskih stavb. V Sloveniji bi tako zgolj na območju ljubljanske regije ob rušilnem potresu brez strehe nad glavo ostalo 30–70 % prebivalstva (Bosiljkov, 2015).

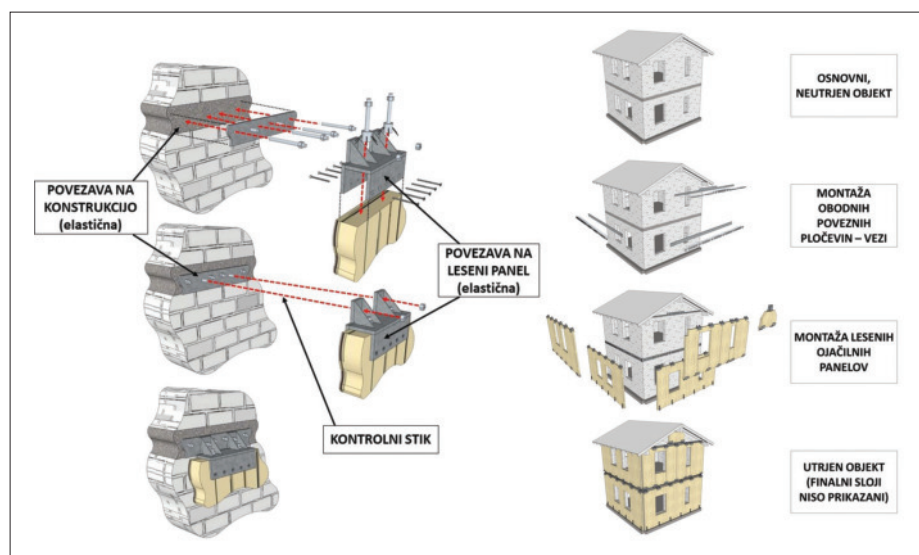
V zadnjem obdobju se pojavljajo tudi umetni potresi, ki jih z rudarjenjem povzročata človek. Na Nizozemskem v regiji Groningen, na primer, takšni potresi nastajajo zaradi črpanja zemeljskega plina. Ocenjujejo, da bi bilo treba več kot 70 % tamkajšnjih zgradb protipotresno utrditi (de Voogt, 2015).

Dodatna težava starejših zgradb je njihova energetska neučinkovitost. Toplotna izolacija zgradb se je začela uporabljati šele v sedemdesetih letih dvajsetega stoletja, njena širša uporaba pa šele v osemdesetih. Na splošno to pomeni, da smo soočeni z velikim številom zgradb, ki so potresno ogrožene in energetska neučinkovite. V članku predstavimo sistem, ki je bil razvit z mislijo reševanja obeh prej omenjenih težav hkrati. Na zgradbe name-

stimo nov zunanji ovoj. Ta je narejen iz križno lepljenih lesenih (CLT) plošč, ki služijo za nosilno konstrukcijo in so pritrjene na obstoječo zgradbo s posebnimi spoji. Na CLT-plošče se lahko predhodno namestijo tudi dodatni sloji, npr. izolacija, okna, fasada itd. S tem se sicer nismo poglobljeno ukvarjali, več o tovrstnih rešitvah je moč prebrati v literaturi (Heikkinen, 2009).

Za križno lepljene lesene plošče se odločimo zaradi njihove male mase (ne prispevajo mnogo k povečevanju potresnih sil) in visoke nosilnosti (les ima enega najboljših razmerij med težo in nosilnostjo), obenem pa omogočajo visoko stopnjo prefabrikacije, kar pomeni, da na terenu ni potrebnega veliko dela. Rešitev je tudi ekološko sprejemljiva, saj les skladišči ogljikov dioksid (približno 1 tona na kubični meter) v nasprotju s klasičnimi gradbenimi materiali (opeka, beton, jeklo), ki za svojo proizvodnjo zahtevajo tudi znatno večjo porabo energije.

Koncept sistema utrjevanja je prikazan na sliki 1. Glede na vrsto gradnje (beton ali opeka) se elementi sidrajo v zgradbo na nivojih etaž v betonske plošče ali opečne stene. Jeklena vez, ki se namesti po obodu objekta, je namenjena preprečitvi porušitve zidov izven ravnine na nivoju stropov, obenem pa služi za enakomeren raznos potresnih sil iz zgradbe na ovoj iz CLT-plošč, tj., preprečuje koncentracije napetosti. V primeru armiranobetonskih medetažnih plošč takšna vez načeloma ni potrebna. CLT-plošče so na objekt pritrjene preko posebnih jeklenih čevljev, ki omogočajo visoko nosilnost. Spoj je tristopenjski; zunanja dela spoja, tj. pritrditev na CLT-plošče in zid, sta predimenzionirana. Srednji, varovalni element spoja se sicer obnaša krhko, vendar obenem omogoča predvidljivo porušitev celotnega spoja. S spoji lahko tako nadzorujemo obnašanje sistema utrjevanja. Izjema so primeri, kjer v CLT-ploščah nastopajo velike odprtine in moramo poleg spojev upoštevati tudi omejeno nosilnost lesenih plošč.



Slika 1 • Osnovni koncept sistema utrjevanja.

2 • CLT-STENE OBREMENJENE V RAVNINI

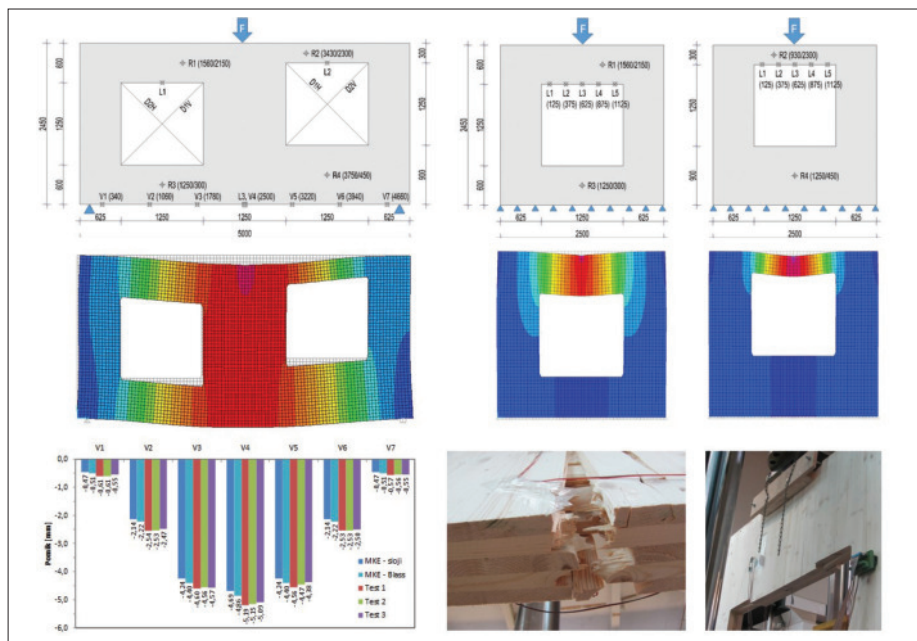
Z namenom zanesljivega napovedovanja obnašanja CLT-elementov, ki jih uporabljamo za utrjevalne panele, smo modele končnih elementov CLT-plošč kalibrirali na podlagi rezultatov eksperimentalnih preiskav (Šušteršič, 2017). Tri- in petslojne CLT-plošče (oboje debeline 95 mm) so bile testirane pri upogibu v lastni ravnini kot

stenski nosilci pri tritočkovnem upogibu s preprečenim uklonom tlačne cone ali pa kot momentno vpeti nosilci nad okenskimi odprtinami. Uporabili smo ploskovne končne elemente in dva pristopa k modeliranju; rombično anizotropijo (trije elastični, trije strižni moduli in trije Poissonovi količniki), ki smo jih pripisali

vsakemu sloju posebej. Ter koncept homogenizacije slojev (Blass, 2004), kjer izračunamo nadomestni prerez glede na število, debelino in orientacijo posameznih slojev v CLT-plošči.

Rezultati obeh metod za izračun pomikov (slika 2) dajejo sprejemljiva odstopanja glede na meritve (3–15 %). Sploh ker smo upoštevali materialne lastnosti lesa, ki jih podaja standard. Izračunane deformacije se sicer ne ujemajo vedno z

izmerjenimi vrednostmi, saj so bile meritve podvržene tudi lokalnim defektom v lesu. Preprostejši model s homogenizacijo prereza se obnaša presenetljivo natančno glede na njegovo enostavnost. Izračunane porušne obtežbe sten so za faktor 1,45 do 1,85 manjše od izmerjenih, se pravi, da so rezultati numeričnega modela na varni strani, če upoštevamo materialne karakteristike po standardu. Odstopanja med meritvami in izračunanimi vrednostmi se sicer zdijo precejšnja, vendar so še vedno v skladu s pričakovanji. Za trdnost materiala smo v numeričnem modelu namreč upoštevali karakteristične vrednosti, ki so občutno nižje od srednjih vrednosti. Ker je izbrani model končnih elementov dobro predvidel deformiranje CLT-sten, obenem pa konservativno predvidel njihovo porušitev, smo ga izbrali tudi za nadaljnje analize.

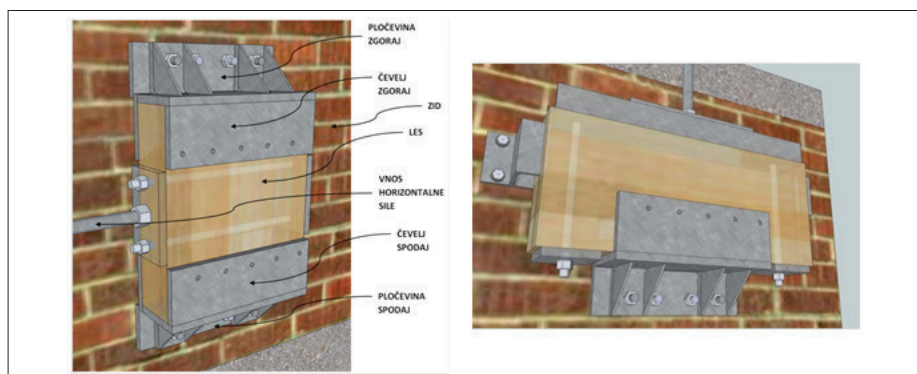


Slika 2 • Primerjava eksperimentalnih rezultatov z modeli končnih elementov in porušitveni mehanizmi CLT-plošč.

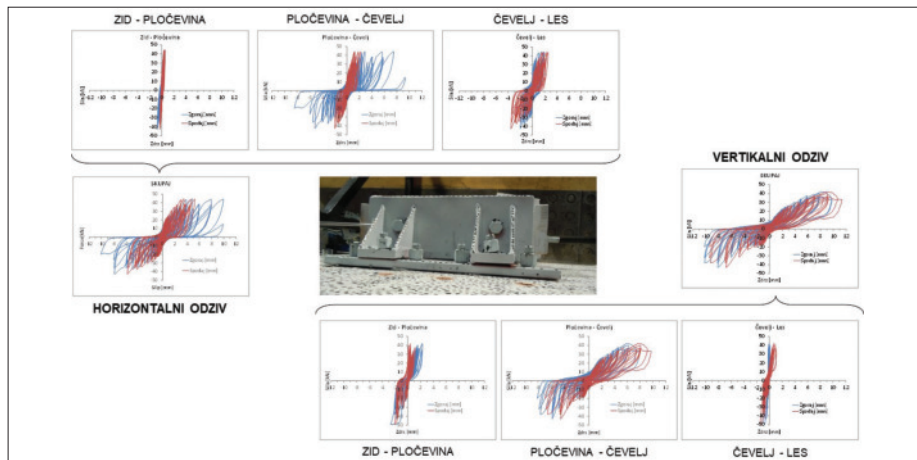
3 • SPOJI

Da bi ocenili njihovo obnašanje, so bili spoji eksperimentalno preizkušeni. Opravljeni so bili kvazistatični ciklični testi v horizontalni in vertikalni smeri spoja (slika 3). Pomiki oz. zdrsi posameznih segmentov spoja (zid-pločevina, pločevina-čvelj, čvelj-les) so bili merjeni ločeno, s čimer smo lahko natančno iz vrednotili njihov odziv in preverili, ali srednji del spoja dejansko deluje kot varovalka.

Eksperimenti so predvideni koncept potrdili. Izračunana efektivna togost srednjega dela spoja (varovalka) je tri- do šestkrat nižja od zunanjih dveh delov spoja (slika 4). Spoj se je tudi vedno porušil v srednjem delu, zunanja pa sta ostala tako rekoč nepoškodovana. Na podlagi izmerjenega odziva smo določili idealizirano ovojnico odziva spoja v obeh smereh. To smo potem uporabljali za nadaljnje numerično modeliranje.



Slika 3 • Postavitev za testiranje spojev v horizontalni in vertikalni smeri.



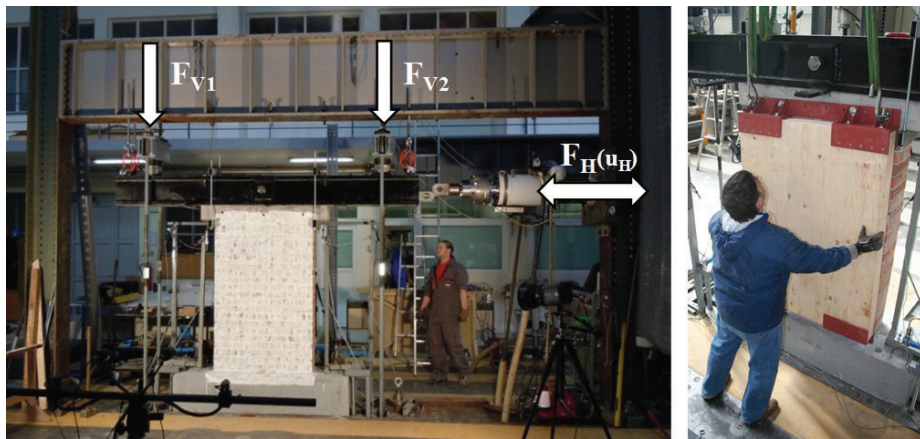
Slika 4 • Horizontalni in vertikalni odziv spoja za primer sidranja v opečni zid.

4 • NEARMIRANI OPEČNI ZIDOVI

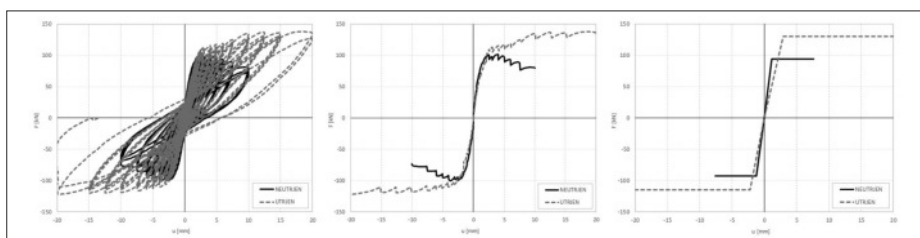
4.1 Eksperimentalni testi

Testirali smo serijo zidov iz nearmirane opečne zidovine (URM). Zidovi so bili debeli

drobno opisani detajli izvedbe stikov in postopek njihovega izpopolnjevanja. Idealizirana nosilnost spodnjega vzorca (dobljena iz



Slika 5 • Zid iz nearmirane opečne zidovine; neutrjen in utrjen z eno od izvedb z mehanskim pritrjevanjem.



Slika 6 • Primerjava eksperimentalnega odziva najbolj izpopolnjene izvedbe mehansko utrjenega zidu – histerezi, ovojnic in bilinearizirana odziva.

25 cm, široki 100 cm in visoki 150 cm. Opravili smo kvazistatične ciklične teste. Zidaki in malta so bili po najboljših močeh prilagojeni, tako da bi lahko simulirali obnašanje starih opečnih zidov. Ker so danes vsi zidaki trdnješi (izbran je bil trdnostni razred 20 MPa), je bilo to možno le delno. Zato smo predvsem prilagodili malto. Razmerje cementa, apna in peska je bilo 0,25 : 1 : 8. Cement je bil dodan le z namenom hitrejšega doseganja ciljne tlačne trdnosti (1 MPa). Tlačni test enega od zidov je pokazal, da trdnost zidu znaša 4,59 MPa.

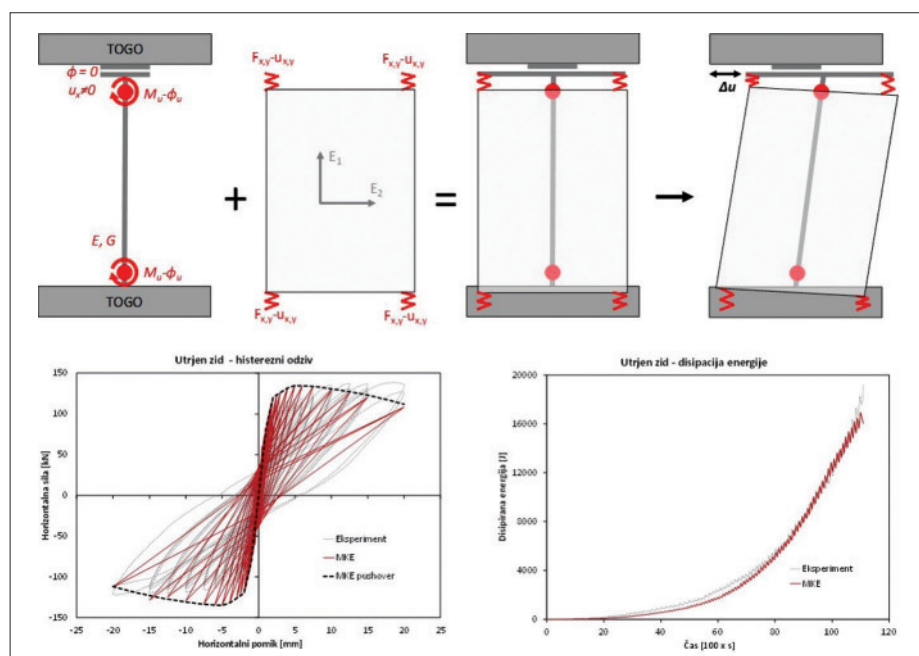
Preizkusili smo tako utrjevanje zidov s CLT-ploščo (3-slojno debeline 100 mm), nalepljeno na opečni zid (z epoksidnim lepilom), kot tudi mehansko pritrjeno. Slednje smo med tremi preizkusi še izpopolnjevali, da smo dosegli čim boljši odziv. Na sliki 6 prikazemo samo rezultate zadnjega vzorca zidu, ki je dosegel najboljše rezultate, preostali podatki pa so na voljo v literaturi (Šušteršič, 2017), kjer so ravno tako po-

bilinearizacije histerezne ovojnice) je bila za 31 % višja od neutrnjenega, pomik na meji porušitve pa za 166 %.

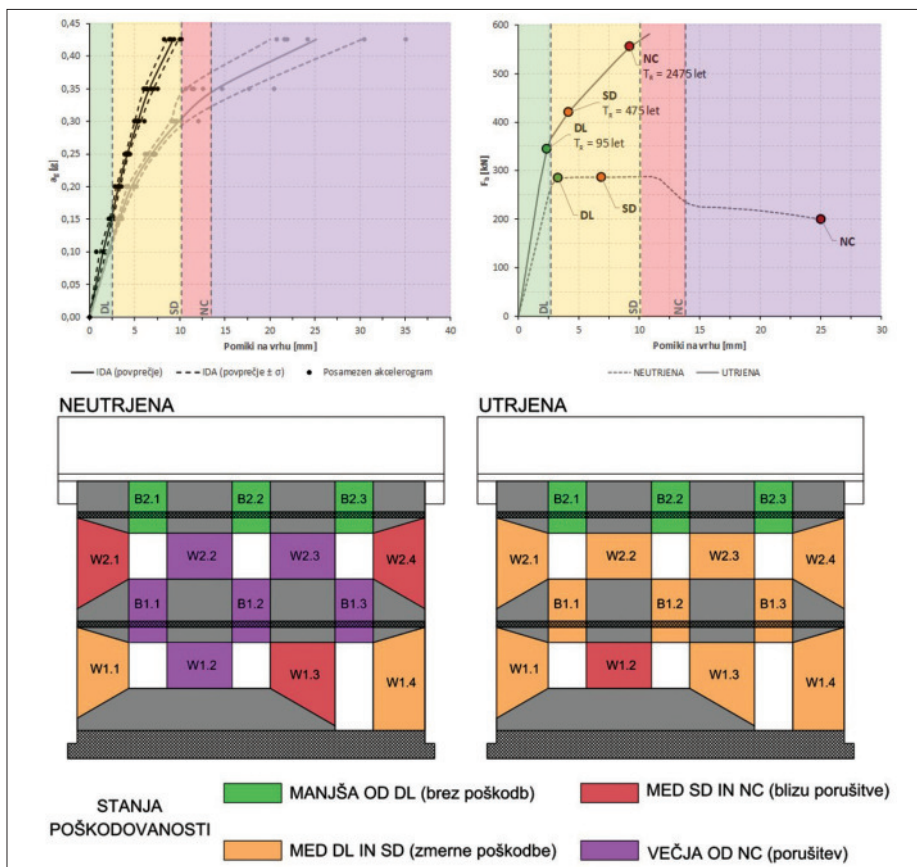
4.2 Numerični modeli

Za modeliranje nearmirane opečne zidovine smo uporabili model nadomestnega okvirja. Nelinearnost je bila skoncentrirana v momentnih rotacijskih členkih na konceh linijskih elementov. Karakteristike členkov smo iz vrednotili v skladu z napotki literature (Petrovčič, 2013). CLT smo modelirali z elastičnimi ploskovnimi končnimi elementi (linearno obnašanje, omejimo samo nape-tosti), spoje pa z nelinearnimi plastičnimi vzmetmi, katerih odziv smo povzeli po idealizirani ovojnici, pridobljeni iz eksperimentalnih testov. Za primerjavo numeričnih in eksperimentalnih modelov smo uporabili enak ciklični protokol kot za laboratorijske teste. Primerjali smo histerezni odziv in disipacijo energije. Rezultati kažejo (slika 7), da se izbrani model končnih elementov obnaša dobro in da so razlike med izračunanim in izmerjenim odzivom minimalne.

Enak model smo nato uporabili za modeliranje fiktivne dvoetažne zgradbe iz nearmirane zidovine. Izhajali smo iz modelov zgradbe Pasticierja (Pasticier, 2009), ki smo jo prilagodili. Podrobno smo analizirali samo enega od zunanjih zidov zgradbe. Izdelali smo inkrementalno dinamično ana-



Slika 7 • Koncept modela končnih elementov z nadomestnim okvirjem zidu, ploskovnimi elementi za CLT in vzmetmi za spoje ter primerjava eksperimentalnega in numeričnega odziva utrjenega zidu iz nearmirane opečne zidovine.



Slika 8 • Primerjava IDA in potisnih krivulj ter primerjava poškodovanosti izbrane stene objekta pri pospešku tal 0,425 g – neutrjena bi se praktično porušila, medtem ko bi utrjena utrpela le zmerne poškodbe.

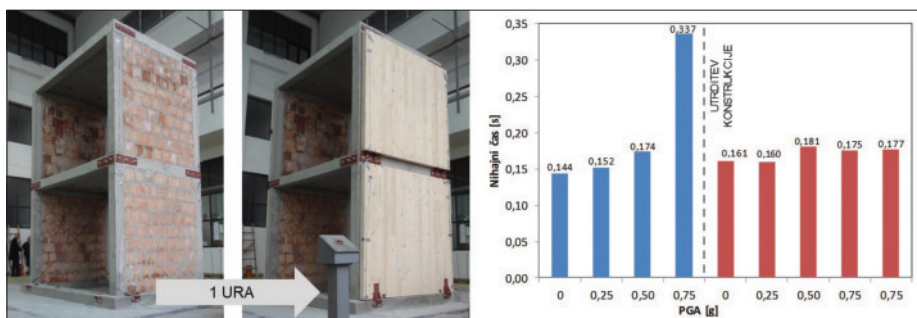
lizo, uporabili smo set 7 akceleroگرامov, ki smo jih predhodno modificirali tako, da so se bolje prilegali Evrokodovemu (CEN, 2008) elastičnemu spektru za tla tipa A (skala). Neutrjena zgradba ni izpolnila zahteve za potrese s povratno dobo 95 let (mejno stanje DL, omejevanje poškodb), je pa izpolnila zahteve za potres s povratno dobo 475 let (mejno stanje SD, omejevanje večjih poškodb). Obenem tudi ni izpolnjevala zahteve za potrese s povratno dobo 2475 let (stanje NC, blizu porušitve). Model zgradbe smo nato utrdili s troslojnimi 100 mm debelimi CLT-ploščami, ki smo jih na model pripeli v nivoju medetaž, spoji so bili postavljeni na razdaljah 1 m. Pri modeliranju smo uporabili vse principe, opisane na začetku tega podpoglavja. Utrjena zgradba je izpolnila zahteve za vsa mejna stanja, obenem pa je zahtevo za stanje NC izpolnila pri stopnji poškodovanosti, ki se sicer zahteva za stanje SD. Tako bi poškodbe dotičnega utrjenega objekta ostale omejene tudi po zelo močnih potresih.

5 • ARMIRANOBETONSKI OKVIRJI Z OPEČNIMI POLNILI

5.1 Eksperimentalni testi

Dvoetažni armiranobetonski okvir s florisnimi dimenzijami 2,7 x 3,7 m, etažno višino 2,5 m ter opečnimi polnili, vgrajenimi čez obe etaži krajše florisne stranice, smo testirali na potresni mizi. Uporabljali smo modificirani akceleroگرام Landers, ki enakomerno pokriva širok spekter frekvenc oziroma nihajnih dob. Posledično se zgradba zato odziva konsistentno, ne glede na

poškodbe, ki se razvijejo med preizkušanjem. Pospešek tal (PGA) smo povečevali od 0,25 g pa do 0,75 g. Pri slednjem se je na neutrjenem objektu močno poškodovalo eno od opečnih polnil konstrukcije, posledično pa se je znatno povečal lastni nihajni čas konstrukcije (slika 9). Tudi torzijski odziv konstrukcije je bil znaten, saj je razlika v pomiku med vrhom leve in desne strani zgradbe dosegla 60 %.



Slika 9 • Sprememba nihajnih dob po namestitvi ojačitnih CLT-plošč na poškodovani armiranobetonski okvir z opečnimi polnili.

Po namestitvi utrditvenih CLT-plošč v smeri vzbujanja konstrukcije, ki smo jih v vsakem vogalu etaže pritrtili z enakimi stiki, opisanimi v predhodnih poglavjih, smo ponovili protokol testiranja. Poškodovanost zgradbe se ni povečevala. Nihajne dobe utrjene konstrukcije so se povrnila na raven pred začetkom testiranja neutrjene konstrukcije (pred poškodbo polnil). Tudi pri ponavljanju potresa s pospeškom tal 0,75 g so nihajne dobe ostale tako rekoč enake. Zmanjšala se je tudi torzijska podajnost zgradbe, razlika med pomikoma vrhov leve in desne strani je znašala le še 25 %.

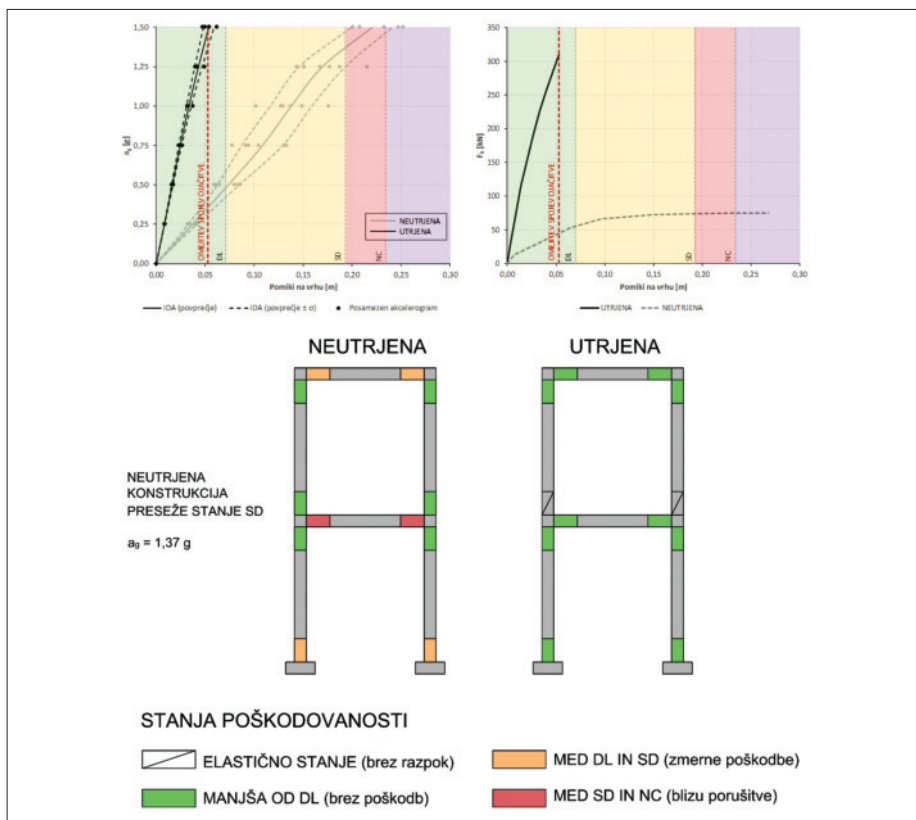
5.2 Numerični modeli

Zgradbo, ki smo jo preizkušali na potresni mizi, smo modelirali z metodo končnih elementov ter ocenili njeno obnašanje z inkrementalno dinamično analizo. Uporabili smo enak set akceleroگرامov kot pri opečni zgradbi v prejšnjem poglavju. Uporabili smo linijski model s koncentrirano plastičnostjo v členkih na konceh elementov stebrov in prečk. Za modeliranje opečnih polnil smo

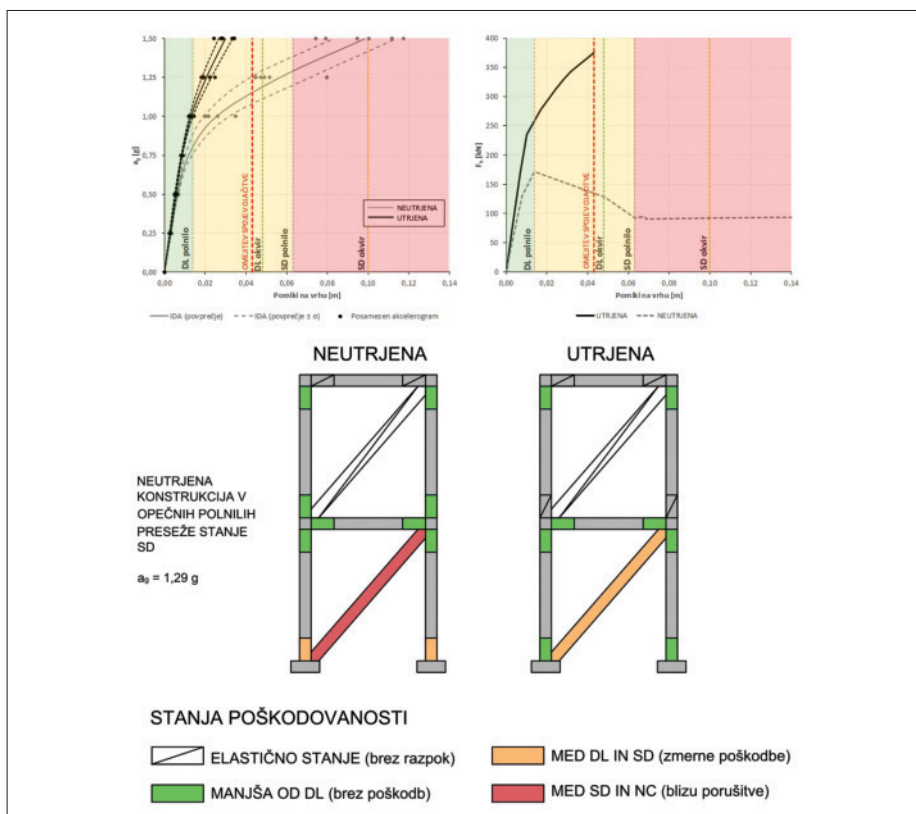
uporabili nadomestne diagonale. Nelinearne lastnosti smo modelirali v skladu z napotki Evrokoda in izbrane literature (Celarec, 2012).

Na začetku smo naredili model armiranobetonskega okvirja brez polnil (takšna konstrukcija sicer na potresni mizi ni bila preizkušena pri visokih pospeških). Analiza je pokazala (slika 10), da ko elementi neutrjenega okvirja dosežejo mejno stanje med SD in NC, ostaja utrjena konstrukcija nepoškodovana.

Model armiranobetonskega okvirja s polnili pokaže, da ko se polnilo neutrjene konstrukcije zmerno poškoduje, ostaja utrjeno nepoškodovano. Ko pa se neutrjeno polnilo približuje porušitvi (slika 11), ostaja utrjeno zmerno poškodovano.



Slika 10 • Primerjava IDA in potisnih krivulj ter primerjava poškodovanosti neutrjenega in utrjenega armiranobetonskega okvirja (brez polnil), ko neutrjeni okvir preseže stanje večjih poškodb.



Slika 11 • Primerjava IDA in potisnih krivulj ter primerjava poškodovanosti neutrjenega in utrjenega armiranobetonskega okvirja z opečnimi polnili, ko neutrjeni okvir preseže stanje večjih poškodb.

6 • SKLEP

Ugotovimo, da pri izbranih in analiziranih primerih sistem utrjevanja na osnovno konstrukcijo deluje pozitivno.

Z ugotovitvijo iz CLT-plošč uspemo vzorcem zidov iz nearmirane opečne zidovine povečati idealizirano nosilnost do 33 %, mejni pomik pa za 166 %. Z uporabo nadomestnega linijskega okvirja s koncentrirano plastičnostjo za nearmirano zidovino, linearno elastičnih ploskovnih elementov za CLT in nelinearnih vzmeti za spoje lahko zadovoljivo opišemo obnašanje preizkušenih zidov. Večji model izbrane stene fiktivne dvoetažne zgradbe iz nearmirane zidovine, ki ga modeliramo na prej opisani način, brez ugotovitve ne

izpolnjuje kriterijev za omejevanje poškodb (DL) ter stanja pred porušitvijo (NC). Z uporabo ugotovitve model izpolni zahteve za vsa mejna stanja. Obenem pri mejnem stanju za potrese s povratno dobo 2475 let (zahteva NC) izkazuje poškodbe, ki so sicer zahtevane za mejno stanje SD (potresi s povratno dobo 475 let).

Testi armiranobetonskega okvirja z opečnimi polnili na potresni mizi so pokazali, da so se nihajne dobe poškodovanega objekta po namestitvi CLT-utrditve povrnila v prvotno stanje. Po ugotovitvi se je zmanjšala tudi torzijska podajnost konstrukcije, razlika v pomikih ene in druge strani vrha konstrukcije se je znižala

s 60 % na 25 %. Nove poškodbe po namestitvi utrditve niso več nastajale. Numerični model utrjenega armiranobetonskega okvirja z opečnimi polnili ali brez njih izkazuje nižjo stopnjo poškodovanosti kot pa neutrnjena zgradba pri enaki intenziteti potresa.

Ne glede na sicer pozitiven prispevek sistema utrjevanja na izbranih primerih je treba opozoriti, da ima razviti sistem še vedno mnogo omejitev. Število preizkušenih vzorcev je bilo majhno, ravno tako je bil nabor numerično modeliranih zgradb omejen. V članku predstavljene analize so tako pokazale, da ima sistem utrjevanja zgradb s CLT-ploščami možnost, da se nekoč uporabi v praksi. Vendar ga je treba pred tem še bolj poglobljeno analizirati in preveriti na širšem spektru obstoječih in bolj reprezentativnih zgradb.

7 • ZAHVALA

Raziskavo je delno financirala Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada. Raziskava se je izvajala v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za

obdobje 2007–2013, 1. razvojne prioritete: Spodbujanje podjetništva in prilagodljivosti, prednostne usmeritve 1.1.: Strokovnjaki in raziskovalci za konkurenčnost podjetij.

Za vso pomoč in nasvete gre iskrena zahvala tudi prof. dr. Voju Kilarju in akad. prof. dr. Mihi Tomaževiču, mentorju in somentorju doktorskega dela v okviru katerega so bile izvedene raziskave.

8 • LITERATURA

Blass, H. J., Fellmoser, P., Design of solid wood panels with cross layers, 8th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2004, June 14-17, Lahti, Finland, 543–548, 2004.

Bosiljkov, V., D'ayala, D., Novelli, V., Evaluation of uncertainties in determining the seismic vulnerability of historic masonry buildings in Slovenia: use of macro-element and structural element modelling, Bulletin of earthquake engineering, ISSN 1570-761X, 2015, year. 13, no. 1: str. 311–329, 2015.

Celarec, D., Ricci, P., Dolšek, M., The sensitivity of seismic response parameters to the uncertain modelling variables of masonry-infilled reinforced concrete frames, Eng Struct 35:165–177, 2012.

de Voogt, S., NAM biedt Groningers excuses aan voor aardbevingen, <http://www.nrc.nl/nieuws/2015/04/21/nam-biedt-excuses-aan-voor-aardbevingen/>, 2015.

CEN, European Committee for Standardization, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, EN 1998-1, Brussels, 2003.

Heikkinen, P., Kaufmann, H., Winter, S., TES manual, TES EnergyFaçade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope, <http://www.tesenergyfaçade.com>, Funded by: Woodwisdom Net Research project from 2008-2009, 2009.

Kilar, V., Kušar, D., Ocena potresne ogroženosti večstanovanjskih zgradb v Sloveniji, Acta geographica Slovenica, 49-1, 89-118, 2009.

Pasticier, L., Amadio, C., Fragiaco, M., Non-linear seismic analysis and vulnerability evaluation of a masonry building by means of the SAP2000 V.10 code, Earthquake Engng Struct. Dyn., 37:467–485, 2008.

Petrovič, S., Kilar, V., Cost viability of a base isolation system for the seismic protection of a steel high-rack structure, Engineering Structures, 54, 9-22, 2013.

Spence, R., Saving lives in earthquakes: success and failures in seismic protection since 1960, Bull Earthquake Eng., 5,139–251, 2007.

Šušteršič, I., Utrjevanje stavb s križno lepljenimi lesenimi ploščami, doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodetiko, 2017.