

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Krumpestar, D., 2015. Ocena poškodovanosti opečnih sten v odvisnosti od pomikov ter stroški popravila. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Dolšek, M., somentor Snoj, J.): 30 str.

Datum arhiviranja: 02-10-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Krumpestar, D., 2015. Ocena poškodovanosti opečnih sten v odvisnosti od pomikov ter stroški popravila. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Dolšek, M., co-supervisor Snoj, J.): 30 pp.

Archiving Date: 02-10-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

DAVID KRUMPESTAR

**OCENA POŠKODOVANOSTI OPEČNIH STEN V
ODVISNOSTI OD POMIKOV TER STROŠKI
POPRAVILA**

Diplomska naloga št.: 109/OG-MK

**ASSESSMENT OF DAMAGE OF MASONRY WALLS AS A
FUNCTION OF DISPLACEMENTS AND REPAIR COSTS**

Graduation thesis No.: 109/OG-MK

Mentor:

izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

Somentor:

asist. dr. Jure Snoj

Ljubljana, 24. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani David Krumpestar izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Ocena poškodovanosti opečnih sten v odvisnosti od pomikov«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 11. 9. 2015

Podpis:

David Krumpestar

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 624.012.2(043.2)
- Avtor:** David Krumpestar
- Mentor:** izr. prof. dr. Matjaž Dolšek
- Somentor:** asist. dr. Jure Snoj
- Naslov:** Ocena poškodovanosti opečnih sten v odvisnosti od pomikov ter stroški popravila
- Tip dokumenta:** Diplomaska Naloga – visokošolski strokovni študij
- Obseg in oprema:** 30 str., 16 tabel, 19 sl.
- Ključne besede:** analiza baze cikličnih testov, opečne stene, stanja poškodovanosti, primeri sanacij, ocena stroškov, primerjava stroškov sanacije različnih materialov

IZVLEČEK:

V diplomski nalogi smo na kratko predstavili bazo cikličnih testov na opečnih stenah. Cilj analize je bil, da s temi eksperimenti ugotovimo odnos med poškodbami ter pomiki opečnih zidov. V nadaljevanju naloge smo predstavili še nekaj tipičnih porušitev opečnih zidov in določili mejna stanja poškodovanosti. V nalogi je opisanih nekaj postopkov sanacije, kot so injektiranje, prezidava, prefugiranje, armiranocementna obloga, trakovi iz polimernih laminatov ter utrjevanje z vertikalnimi in horizontalnimi armiranobetonskimi vezmi. Za vse te postopke smo določili stroške, ki bi nastali tekom sanacije. Iz baze cikličnih testov smo izbrali šest preizkušancev, ki smo jih podrobneje analizirali ter določili ustrezno sanacijo in stroške. Za vsa mejna stanja poškodovanosti smo ocenili stroške sanacije in primerjali strošek sanacije (utrditve) s stroškom novogradnje. Na koncu smo primerjali še načine sanacije pri zidovih iz različnih materialov ter njihove stroške. Rezultati so pokazali, da so postopki in stroški sanacije odvisni od poškodb in materiala iz katerega je element sestavljen. Večina popravil poškodovanih zidov iz votlih opek je na enoto površine dražja od prezidave poškodovanega zidu ali stroška novogradnje, zato se pri takih zidovih redkokdaj odločamo za sanacijo.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.012.2(043.2)

Author: David Krumpestar

Supervisor: Assoc. Prof. Matjaž Dolšek

Cosupervisor: Assist. Dr. Jure Snoj

Title: Assessment of damage of masonry walls as a function of
displacements and repair costs

Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies

Scope and tools: 30 p., 16 tab., 19 fig.

Keywords: analysis of the base of cyclic tests, brick walls, the degree of
damage, examples rehabilitation, cost estimate, comparison of costs

ABSTRACT

An overview of a database of cyclic tests of masonry walls is firstly presented in this thesis. The objective of the analysis of the database was to estimate the relationship between the damage and displacements of the masonry walls. A discussion on the typical failure mechanisms of masonry walls and definition of damage states is then presented in the first part of the thesis which addresses also the issue of rehabilitation and strengthening of masonry walls by different techniques. The aim of the thesis was to estimate costs of rehabilitation and strengthening of masonry walls. For this reason six From the base of cyclic tests were selected from the database and analyzed in more details. The cost of repairing the damage in masonry walls was estimated and compared to the costs of construction of new wall. The results have shown that the procedures and repairing costs depend on the damage and the type of masonry. The cost of repairing of damaged walls per unit area is greater than the cost of replacing the wall or the cost of new construction. Therefore it not likely that hollow brick masonry will be repaired in the case of extensive damage.

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Matjažu Dolšku in somentorju asist. dr. Juretu Snoju za strokovno pomoč, pozitiven odnos, usmerjanje ter spodbudne besede pri pisanju diplomskega dela. Posebej se zahvaljujem tudi podjetju SANING INTERNATIONAL, d.o.o., Kranj, za potrebne informacije. Iskreno se zahvaljujem tudi svoji družini, ki mi je omogočila študij in mi med študijem ves čas stala ob strani. Prav tako pa se zahvaljujem tudi vsem, ki ste s svojimi idejami, nasveti, izkušnjami in spodbudo pomagali pri nastanku mojega diplomskega dela.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.....	I
IZJAVA O AVTORSTVU.....	II
BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
Zahvala.....	V
1.0 UVOD.....	1
2.0 PREGLED BAZE CIKLIČNIH TESTOV NA OPEČNIH ZIDOVIH.....	2
2.1 Zidovje.....	2
2.2 Porušni mehanizmi (načini porušitve).....	4
2.3 Pregled cikličnih testov.....	6
3.0 RAČUN STANJ POŠKODOVANOSTI ZA IZBRANE OPEČNE ZIDOVE.....	7
3.1 Opis izbranih opečnih zidov.....	7
3.2 Analiza poškodovanosti.....	9
3.3 Histereze opečnih zidov.....	9
3.4 Mejna stanja.....	10
3.4.1 Mejno stanje razpok (DS1).....	11
3.4.2 Mejno stanje nosilnosti (DS2).....	11
3.4.3 Mejno stanje blizu porušitve (DS3).....	12
3.4.4 Mejno stanje porušitve (DS4).....	12
4.0 OCENA STROŠKOV SANACIJE.....	13
4.1. Porušitev starega in izgradnja novega zidu.....	15
4.2 Prezidava.....	15
4.3 Injektiranje.....	17
4.4 Oblaganje z armirano cementno oblogo.....	18
4.5 Prefugiranje.....	20
4.6 Trakovi iz polimernih laminatov.....	22
4.7 Utrditev zidov z armiranobetonskimi vezmi.....	22
4.7.1 Vertikalne vezi.....	22
4.7.2 Horizontalne vezi.....	24
4.8 Stroški sanacij.....	25
4.9 Stroški sanacije izbranih zidov.....	25
4.9.1 Stroški sanacije pri mejnem stanju poškodb.....	26
4.9.2 Stroški sanacije pri mejnem stanju nosilnosti.....	26
4.9.3 Stroški sanacije pri mejnem stanju blizu porušitve.....	27

4.9.4 Stroški sanacije pri poružitvi	27
4.10 Primerjava sanacij različnih zidov	29
5.0 ZAKLJUČEK.....	31
VIRI.....	32

Kazalo tabel

Tabela 1: Karakteristike izbranih šestih preizkušancev iz baze podatkov (Snoj, 2014)	6
Tabela 2: Lastnosti preizkušancev iz baze podatkov	7
Tabela 3: Stroški porušitev starega in izgradnja novega opečnega zidu	15
Tabela 4: Stroški prezidave kamnitega zidu	16
Tabela 5: Stroški prezidave opečnega zidu	16
Tabela 6: Stroški injektiranja kamnitega zidu	18
Tabela 7: Stroški injektiranja manjših razpok	18
Tabela 8: Stroški armirano cementne obloge na zidu iz polne opeke	19
Tabela 9: Stroški armirano cementne obloge na zidu iz votle opeke	20
Tabela 10: Stroški Prefugiranja zidu iz polne opeke	21
Tabela 11: Prefugiranje zidu iz votle opeke	21
Tabela 12: Stroški trakovi iz polimernih laminatov	22
Tabela 13: Stroški vertikalne armiranobetonske vezi	23
Tabela 14: Stroški horizontalne armiranobetonske vezi	24
Tabela 15: Stroški sanacij	25
Tabela 16: Ocena stroškov sanacije v primerjavi s poškodovanostjo za opečni zid	28
Tabela 17: Ocena stroškov sanacije v primerjavi s poškodovanostjo za kamnite zidove	29

Kazalo slik

Slika 1: (a) Zidovje iz votle opeke, (b) zidovje iz betonskih zidakov in (c) zidovje iz avtoklaviranega celičnega betona (Internetni vir, pridobljeno 25.6.2015)	2
Slika 2: (a) Polna opeka, (b) perforirana opeka, (c) votla opeka in (d) celičast beton (Internetni vir, pridobljeno 26.6.2015).....	3
Slika 3: Različni tipi vertikalnih reg (a) prazne vertikalne rege, (b) z malto zapolnjene vertikalne rege (Bosiljkov et al., 2004), (c) stik na pero in utor in (d) maltni žepek (Internetni vir, pridobljeno 28.6.2015).....	4
Slika 4: (a) Strižna porušitev z zdrsom horizontalno, (b) Strižna porušitev z zdrsom stopničasto, (c) Strižna porušitev z diagonalnimi razpokami, (d) Strižna porušitev s porušitvijo tlačnih diagonal in (e) Upogibna porušitev (Snoj, 2014).....	5
Slika 5: Način porušitve odvisno od nosilnosti in normirane osne obremenitve (Snoj, 2014) ..	5
Slika 6: (a) Zid BZL1, (b) zid BPL1, (c) zid BNL 4 in BNL 6 (Bosiljkov et al., 2004) (d) zid BNW3 (Bosiljkov et al.,2006) in (e) zid BWL2 (Bosiljkov et al., 2004)	9
Slika 7: Histerezne zanke preizkušancev (a) BZL1, (b) BPL1 (Bosiljkov et al., 2004), (c) BNW3 (Bosiljkov et al., 2006), (d) BNL4, (e) BNL6 in (d) BWL2 (Bosiljkov et al., 2004)	10
Slika 8: Idealizirana krivulja ovojnice s karakterističnimi točkami (Snoj, 2014)	11
Slika 9: (a) Mejno stanje razpok (DS1), (b) mejno stanje nosilnosti (DS2), (c) mejno stanje blizu porušitve (DS3) in (d) mejno stanje porušitve (DS4) (Bosiljkov et al., 2004).....	13
Slika 10: Prezidava kamnitega zidu (Tomaževič, 2009).....	16
Slika 11: Injektiranje (Internetni vir, pridobljeno 3.8.2015)	17
Slika 12: Armirano cementna obloga (Tomaževič, 2009)	19
Slika 13: Prefugiranje (Tomaževič, 2009).....	21
Slika 14: Vertikalne armiranobetonske vezi (Internetni vir, pridobljeno 5.8.2015)	23
Slika 15: (a) BNL6 (DS1), (b) BZL1 (DS1) (Bosiljkov et al., 2004) in (c) BNW3 (DS1) (Bosiljkov et al., 2006)	26
Slika 16: (a) BPL1 (DS2) (Bosiljkov et al., 2004) in (b) BNW3 (DS2) (Bosiljkov et al., 2006)	27
Slika 17: (a) BNL4 (DS3) (Bosiljkov et al.,2004) in (b) BNW3 (DS3) (Bosiljkov et al., 2006) .	27
Slika 18: (a) BNL6 (porušitev) in (b) BWL2 (porušitev) (Bosiljkov et al.,2004)	28
Slika 19: (a) Mejno stanje poškodb, (b) Mejno stanje nosilnosti, (c) Mejno stanje blizu porušitve in (d) Mejno stanje porušitve (Snoj, 2014).....	30

Ta stran je namenoma prazna.

1.0 UVOD

Zidovje sodi med najstarejše in najpomembnejše gradbene komponente. Prvi zidovi so bili zgrajeni iz neobdelanega kamna, kasneje se je začel uporabljati obdelan kamen, glina ali drugi podobni materiali. Ker je gradnja zidanih stavb dokaj enostavna je bilo veliko izvajalcev, ki so gradili takšne stavbe. Vsi izvajalci niso bili seznanjeni glede potresno varne gradnje, zato je kar nekajkrat prišlo do velikih nesreč ob potresih. V današnjih časih pa imamo standarde in pravila za potresno odporne stavbe, ki jih morajo upoštevati tako projektanti, kot tudi izvajalci.

Pri potresu pride v Zemljini notranjosti do nenadne sprostitve nakopičenih napetosti. Sproščena energija se razširja v vse smeri. Potresno gibanje tal povzroči v stavbah vztrajnostne sile, katerih velikost je odvisna tudi od mase posameznih delov stavbe in nastalih pospeškov. Kot posledica nihanja v elementih konstrukcije nastanejo dodatne upogibne in strižne napetosti, ki hitro presežejo trdnost materialov in povzročijo poškodbe (Tomažević, 2009). Poškodbe, ki nastanejo ob potresu, so lahko manjše ali večje razpoke v zidu, lahko pa se element v celoti poruši.

Dandanes je kar veliko stanovanjskih in drugih objektov zgrajenih iz opečnih zidakov. Tako je tudi v Sloveniji, ki spada po številu in moči potresov med dejavnejša območja, saj leži na potresno dejavnem južnem robu Evrazijske tektonske plošče. Zato lahko pričakujemo kakšen potres, ki bi lahko poškodoval objekte, ki niso zgrajeni po današnjih standardih in bi jih bilo potrebno sanirati. Ker po potresu zavladava panika, želijo ljudje čim hitreje obnoviti objekte, ne vedo pa koliko jih bo stala sanacija v primerjavi z novogradnjo. Poleg tega je odnos med poškodbami in ceno sanacije potreben vhodni podatek za študije potresnega tveganja v smislu denarnih izgub. Zaradi pomanjkanja teh podatkov, smo to področje obravnavali v tej diplomski nalogi.

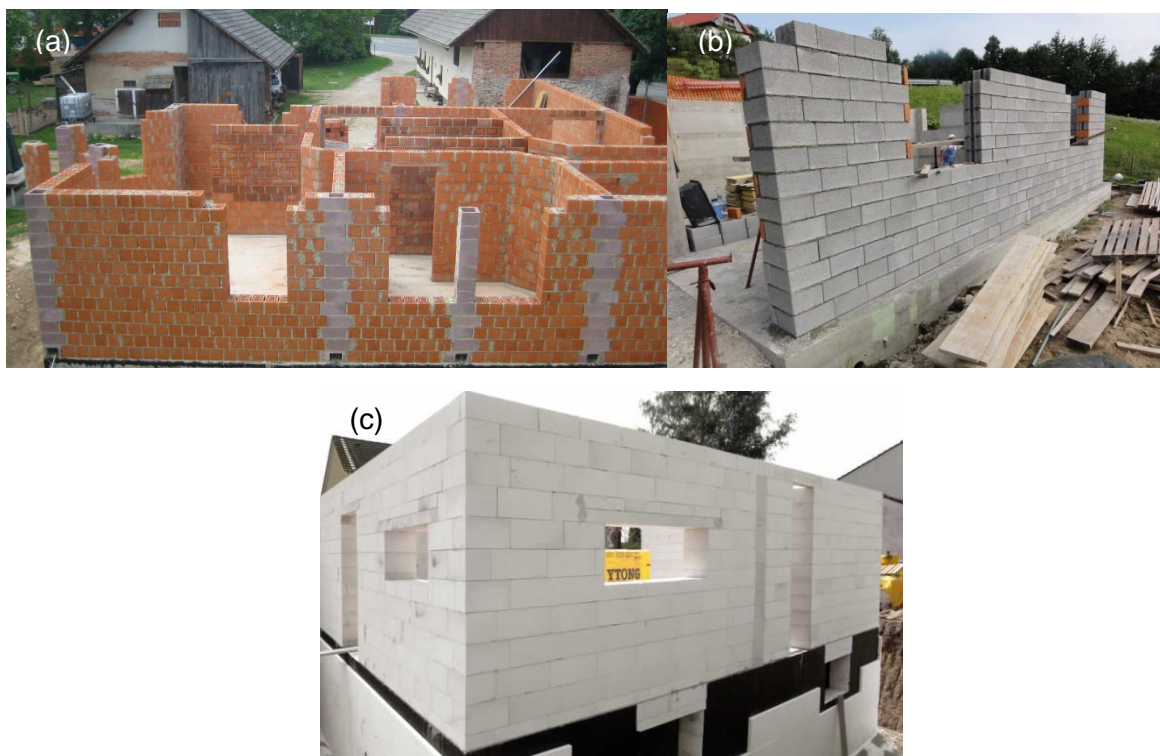
V diplomski nalogi so najprej predstavljeni različni materiali za gradnjo zidov, ki se dandanes še uporabljajo ali pa se jih lahko sanira. Ti materiali so naravni kamen, opeka, beton, kalcijev silikat ali avtoklaviran celičen beton. Nato so predstavljeni strižni in upogibni porušni mehanizemi. V nadaljevanju so rezultati cikličnih testov, ki so jih naredili različni preiskovalci na podlagi katerih je ugotovljeno stanje poškodovanosti v odvisnosti od zasuka.

V drugem delu naloge je opisanih nekaj postopkov, ki se jih običajno uporablja pri sanaciji poškodovanih zidov. Za te postopke sanacije in utrditve so priložene ocene stroškov, ki bi nastali tekom obnove. V nadaljevanju so za izbranih šest zidov ocenjeni sanacijski stroški. Na koncu je primerjava različnih sanacij na različnih vrstah zidov ter ocena njihovih stroškov v odvisnosti od poškodovanosti.

2.0 PREGLED BAZE CIKLIČNIH TESTOV NA OPEČNIH ZIDOVIH

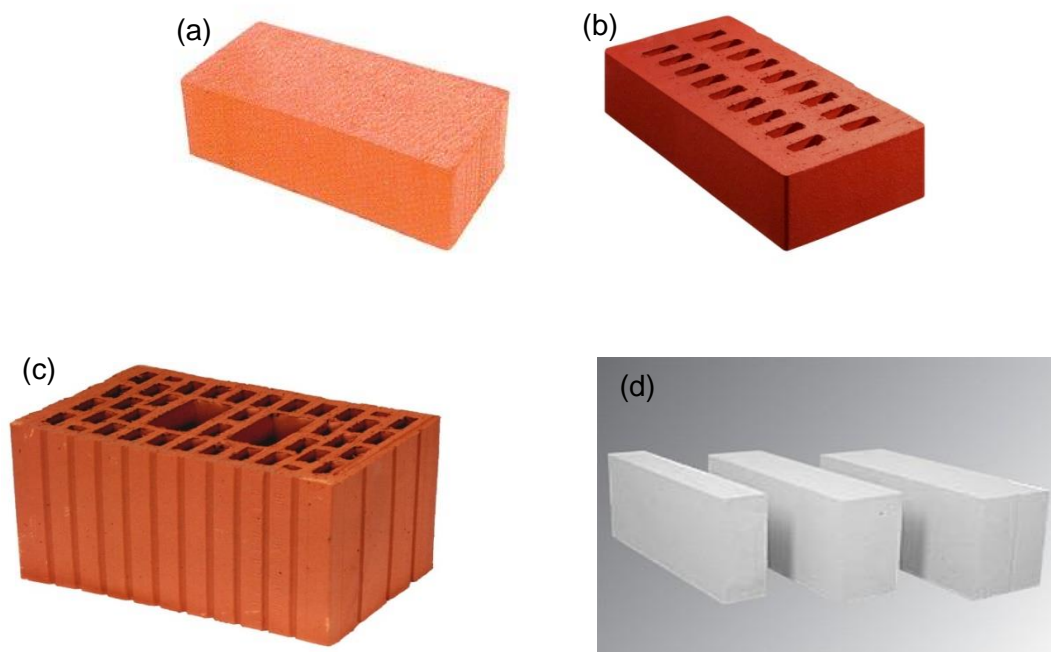
2.1 Zidovje

Zidovje je kompozitni in anizotropni material, ki se ga uporablja pri gradnji po celem svetu. Zidovi so navpične podporne konstrukcije, ki delijo prostore v zgradbi, nosijo breme in nudijo zavetje ter varnost. Ločimo jih glede na funkcijo, ki jo opravljajo, na material iz katerega so zgrajeni, glede na debelino samega zidu ter glede na sistem zidanja. Glede na funkcijo poznamo nosilne zidove, ki prenašajo obtežbo drugih elementov konstrukcije na temelj oziroma na temeljno ploščo, predelne zidove, ki služijo ločevanju prostorov v objektu, požarne zidove, ki so namenjeni zaščiti pred širjenjem ognja med zgradbami, ter podporne in oporne zidove, ki služijo zavarovanju pred posipanjem brežine in plazovi. Material za zidake, ki so običajno povezani v zid z vezivom oziroma malto, je lahko obdelan naravni kamen, opeka (slika 1a), ki je mešanica zemlje in gline, kalcijev silikat, beton (slika 1b) ali avtoklaviran celičen beton (slika 1c).



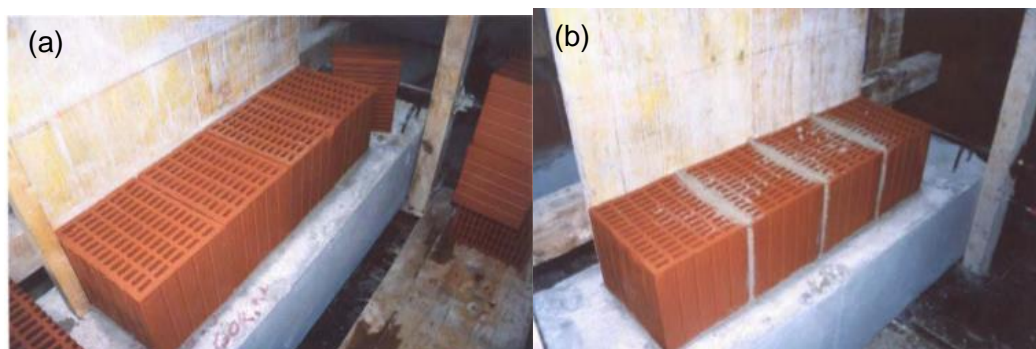
Slika 1: (a) Zidovje iz votle opeke, (b) zidovje iz betonskih zidakov in (c) zidovje iz avtoklaviranega celičnega betona (Internetni vir, pridobljeno 25.6.2015)

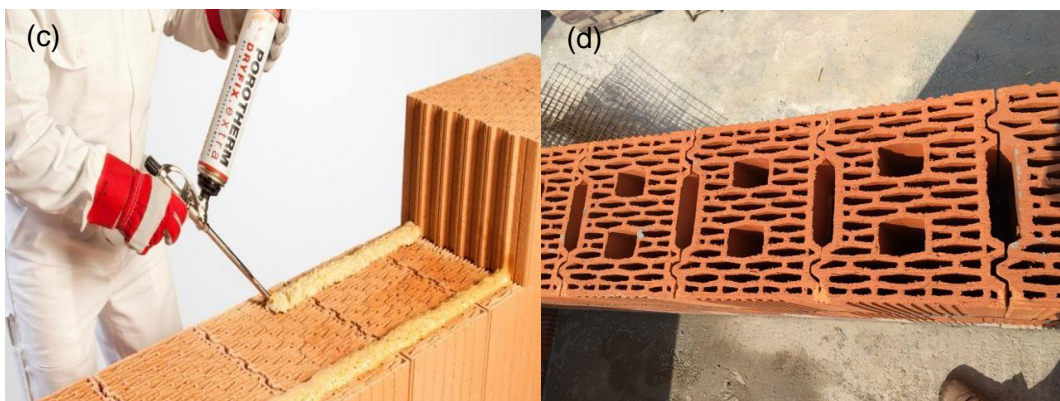
Debelina zidu je pogojena s funkcijo zidu in z materialom, ki se ga uporabi pri zidanju. Glede na sistem zidanja ločimo nearmirano zidovje, ki ga sestavljajo samo zidaki in malta. Poznamo še povezano zidovje kateremu so poleg zidakov in malte dodane še horizontalne in vertikalne armiranobetonske vezi. V armiranem zidovju pa se v zidovje vgradi še armatura. Zidaki so lahko polni (brez lukenj) (slika 2a), perforirani (prostornina navpičnih lukenj ne presega 25%) (slika 2b), votli (prostornina navpičnih lukenj je med 25% in 55%) (slika 2c) oziroma celičasti (prostornina navpičnih lukenj je večja od 55%) (slika 2d) (SIST EN 1996-1, 2006).



Slika 2: (a) Polna opeka, (b) perforirana opeka, (c) votla opeka in (d) celičast beton (Internetni vir, pridobljeno 26.6.2015)

Malta, ki povezuje zidake v zidovje je mešanica agregata in anorganskih veziv (apno in/ali cement). Evrokod 6 (SIST EN 1996-1, 2006) razvršča malto v tri skupine. Tankoslojno malto, kjer debelina rege ne presega 3 mm. Za lahko malto je značilno, da se običajni agregat nadomesti s perlitom, ekspanzirano glino ali žlindro, kar omogoča, da njihova gostota ne presega 1500 kg/m^3 (Tomažević, 2009, cit. po Snoj, 2014) in malto za splošno uporabo. V zadnjem času pa se za povezavo zidakov uporabljajo tudi posebna lepila. Glede na sistem zidanja ločimo enoslojni zid, dvoslojni zid, zid z votlino ter zid z zalito votlino. Dvoslojni zid je sestavljen z dvema vzporednima enojnima zidovoma z vmesno vzdolžno rego, ki je običajno debeline 25 mm in zapolnjena z malto. V zidu z votlino je prostor med enoslojnima zidovoma širši in zapolnjen z izolacijo, lahko pa je tudi prazen. Zidova sta povezana s stremeni oziroma z armaturo. Pri zidu z zalito votlino sta enoslojna zidova oddaljena več kot 50 mm, votlina pa je zapolnjena z betonom. Po načinu zidanja obstaja tudi več vrst zidarskih vez in možnosti za medsebojno povezovanje zidakov: prazne vertikalne rege (slika 3a), vertikalne rege, ki so zapolnjene z malto (slika 3b), stik » na pero in utor« (slika 3c), ali pa so narejeni maltni žepki (slika 3d). Zidani konstrukciji je težko določiti dejanske materialne karakteristike, kar je posledica velikega števila možnosti izvedbe zidane konstrukcije.



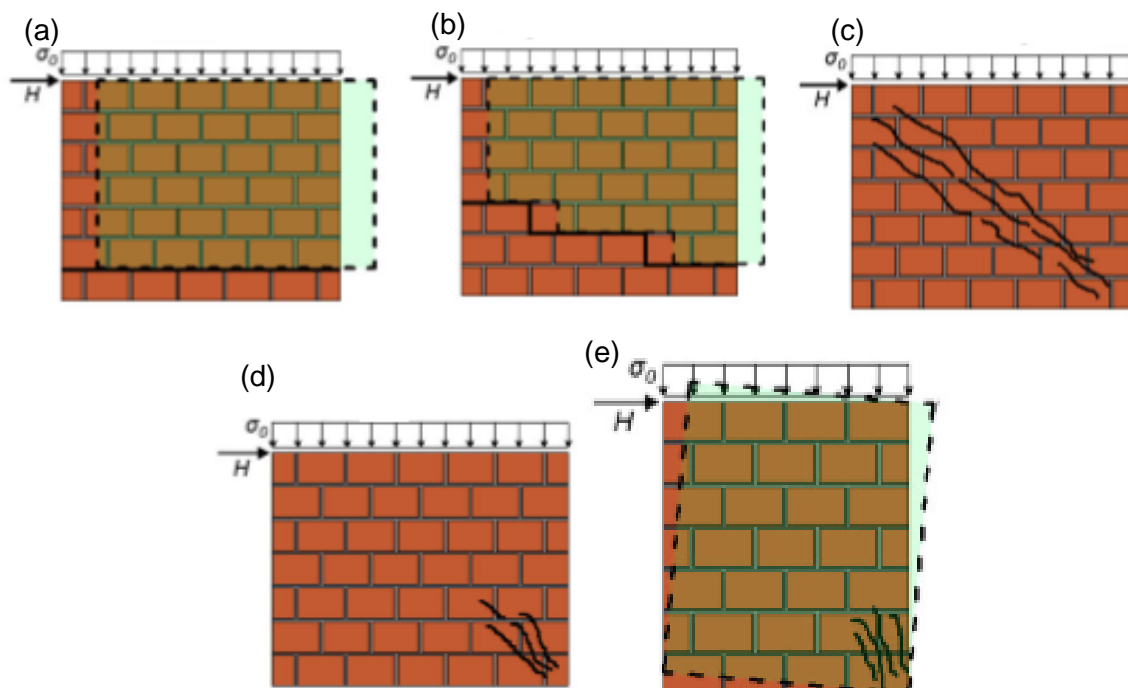


Slika 3: Različni tipi vertikalnih reg (a) prazne vertikalne rege, (b) z malto zapolnjene vertikalne rege (Bosiljkov et al., 2004), (c) stik na pero in utor in (d) maltni žepek (Internetni vir, pridobljeno 28.6.2015)

2.2 Porušni mehanizmi (načini porušitve)

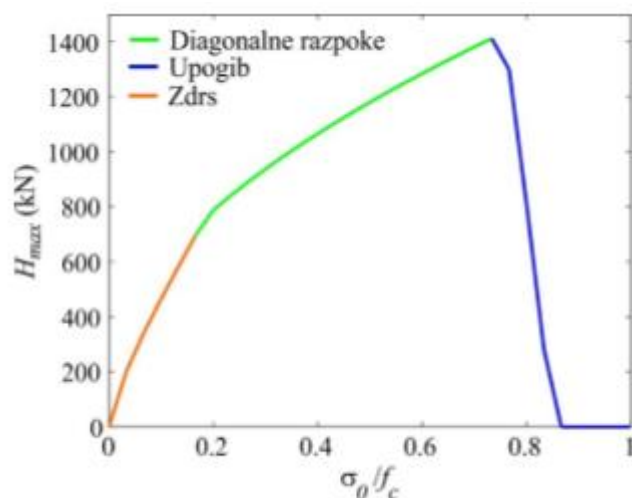
Najbolj pogosta porušitev zidov med potresom je strižna porušitev, ki prevladuje pri dolgih zidovih. V standardu Evrokod 6 (SIST EN 1996-1,2006) je več različnih načinov porušitve. Prvi način je strižna porušitev z zdrsom oziroma prestrižni porušni mehanizem. Pri tem mehanizmu zdrsa ploskev poteka horizontalno po regi (slika 4a) ali pa stopničasto po stičnih regah v več vrstah (slika 4b). Ko je prekoračena strižna trdnost zidu, ki je odvisna od vertikalnih tlačnih napetosti σ_0 , koeficienta trenja μ ter začetne strižne trdnosti f_{v0} , pride do prestriga zidu. Do take porušitve pride takrat, ko so tlačne napetosti v elementu majhne in so zidaki povezani z malto slabe kakovosti. Največkrat se zidovi prestrižejo v zgornjih nadstropjih stavbe, kjer so tlačne napetosti majhne, pospeški zaradi potresa pa največji. Drugi način strižne porušitve je, ko v zidu nastanejo diagonalne razpoke (slika 4c), saj glavne natezne napetosti pri določeni kombinaciji navpične in vodoravne obtežbe prekoračijo natezno trdnost zidovja f_t . Take razpoke se širijo od sredine proti vogalom. Pri zidovih, ki imajo manjšo vertikalno obremenitev, razpoke potekajo stopničasto po naležnih in navpičnih regah med zidaki. V zidovih z večjo vertikalno obremenitvijo pa razpoke potekajo tudi po zidakih. Do strižne porušitve lahko pride s porušitvijo tlačne diagonale, kjer je prekoračena tlačna trdnost zidu v diagonali, kjer se vzpostavijo glavne tlačne napetosti, zato tam pride do drobljenja zidakov (slika 4d). Pri tej porušitvi ima pomembno vlogo prekrivanje zidakov, ker določa naklon tlačnih diagonal (Snoj, 2014).

Poleg strižnih porušitev, poznamo tudi upogibne porušitve (slika 4e). Pri ekscentričnosti obtežbe ($e < l/2$) se v spodnjem delu zidu pojavijo horizontalne razpoke, ker ima zid pravokotno na naležne rege zelo majhno natezno trdnost. Če povečujemo obtežbo, se razpoke na natezni strani zidu širijo oziroma večajo, na drugi strani zidu pa se tlačna cona zmanjšuje, povečujejo pa se tlačne napetosti v tlačnem vogalu. Ko so tlačne napetosti v tlačnem vogalu večje od tlačne trdnosti zidu, pride do drobljenja zidakov. Če so zidaki zdrobljeni, zid nima takšne tlačne nosilnosti in lahko se zgodi, da zid ne opravlja osnovne funkcije, katera mu je bila dana. Običajno do take porušitve pride pri zelo vitkih zidovih, ker je velika osna sila, kar še dodatno poveča tlačno silo v tlačnem vogalu zidu in pripomore k hitrejšemu drobljenju zidakov (Snoj, 2014).



Slika 4: (a) Strižna porušitev z zdrsom horizontalno, (b) Strižna porušitev z zdrsom stopničasto, (c) Strižna porušitev z diagonalnimi razpokami, (d) Strižna porušitev s porušitvijo tlačnih diagonal in (e) Upogibna porušitev (Snoj, 2014)

V praksi velja, da pri nižjih osnih obremenitvah pri dolgih elementih prevladuje strižna porušitev z zdrsom, pri vitkih elementih pa upogibni mehanizem porušitve. V elementih s srednjo tlačno napetostjo se običajno zgodi strižna porušitev z nastankom diagonalnih razpok. Če pa je element obremenjen z visoko osno silo pa se pojavi upogibna porušitev, ki povzroči še dodatno tlačno napetost v tlačnem vogalu, zaradi zmanjšanja tlačne cone. Na sliki 5 je prikazana odvisnost med nosilnostjo H_{max} elementa in normirano tlačno napetostjo σ_0/f_c in katera porušitev je merodajna pri posamezni osni obremenitvi zidu. Nastanek poškodb je v največji meri odvisen od materiala ter geometrije zidu in od same gradnje. (Snoj, 2014)



Slika 5: Način porušitve odvisno od nosilnosti in normirane osne obremenitve (Snoj, 2014)

2.3 Pregled cikličnih testov

Ciklične teste na votlih opečnih zidovih so izvajali v Italiji v raziskovalnem centru EUCENTRE v Paviji, v Nemčiji na Univerzi Kassel, na tehnični univerzi v Dortmundu in Münchnu in tudi v Ljubljani na Zavodu za Gradbeništvo Slovenije (Bosiljkov, V., Tomažević, M. 2006 in Bosiljkov, V., Tomažević, M., Lutman, M. 2004). Najboljši rezultati bi bili, če bi informacije o poškodbah in mejnih zasukih zidu dobili iz stavb, ki so bile resnično poškodovane ob potresu, vendar je takšne podatke izjemno težko pridobiti. Zato so v laboratorijih zgradili zidove na katerih so potem pridobivali potrebne informacije.

Raziskovalci so uporabili zidake različnih velikosti, povezane z različnimi maltami. Malta je bila lahko splošna, tankoslojna ali pa lahka. Elementi preizkusa so se razlikovali tudi po tem ali so polno vpeti zgoraj in spodaj, ali pa so imeli en prosti rob, kot konzole. Vertikalne rege so bile lahko zapolnjene z malto po celotni širini zidaka ali pa delno oziroma je bil narejen maltni žepek. Zidaki so se lahko tudi stikali na pero in utor, v nekaterih primerih pa so bile vertikalne rege nezapolnjene z malto. Pri delu v laboratoriju je skoraj vedno težava pri velikosti preizkušanca, saj je prostor v laboratoriju omejen. Poleg omejenega prostora so bili raziskovalci omejeni tudi z velikostjo naprav, ki so jih uporabljali pri testih. Preizkušanci so imeli debelino od 0,17 m do 0,37 m, največ pa jih je imelo debelino 0,30 m. Dolžine zidov so se gibala od 1,00 m do kar 2,70 m, višina pa od 1,50 m do 2,50 m. Testi so bili narejeni na zidovih, katerih razmerje med višino in dolžino zidu se giblje med 0,7 do 2,5.

Iz baze podatkov, ki jo je izdelal Snój 2014, sem izbral šest zidov. Pri izbiri sem upošteval, da se trije preizkušanci porušijo strižno, trije pa upogibno. V tabeli 1 so prikazani osnovni podatki teh šestih zidov.

Tabela 1: Karakteristike izbranih šestih preizkušancev iz baze podatkov (Snój, 2014)

Oznaka	Vpetost zidu	Velikost zidaka			Tip malte	Vertikalne rege	Velikost zidu		
		<i>l</i> (mm)	<i>t</i> (mm)	<i>h</i> (mm)			<i>l</i> (m)	<i>t</i> (m)	<i>h</i> (m)
BNL4	konzola	245	298	237	splošna	zapolnjene	1,03	0,30	1,51
BNL6	konzola	245	298	237	splošna	zapolnjene	1,03	0,30	1,51
BPL1	konzola	245	299	236	splošna	maltni žep	0,99	0,30	1,51
BWL2	konzola	246	300	237	splošna	maltni žep	0,99	0,30	1,51
BZL1	konzola	243	298	235	splošna	pero in utor	0,99	0,30	1,51
BNW3	konzola	244	297	236	splošna	zapolnjene	2,58	0,30	1,75

V tabeli 2 je prikazana vertikalna obtežba na zid med preizkusom, ki je podana kot delež tlačne nosilnosti zidu. Navedene so tudi materialne karakteristike, ki so bile eksperimentalno določene. Te materialne karakteristike so tlačna trdnost f_c , natezna trdnost f_t , strižni modul zidovja G in elastični modul zidovja E . Poleg vsakega preizkušanca je določen tudi način porušitve. Zidovja so se lahko porušila strižno, upogibno, mešano – strižno, če je prevladovala strižna porušitev ali mešano – upogibno, če je prevladovala upogibna porušitev. Razmerje med višino in dolžino elementa določa vitkost, ki običajno določa kako se bo preizkušavec obnašal pri obremenjevanju. Pri bolj vitkih elementih prevladuje upogibna porušitev, pri daljših zidovih pa strižna porušitev. Od 63 preizkušancev se jih je 23 porušilo upogibno, strižno 36, pri štirih preizkušancih pa ni bilo možno ugotoviti na kakšen način so se porušili, zato je tip porušitve dvomljiv.

V tabeli 2 so prikazani mejni zasuki elementov, ki povzročijo različno močne poškodbe. Mejne zasuke so raziskovalci razdelili v tri mejna stanja, da bi videli kakšen mora biti zasuk elementa, da ima določene poškodbe. Prvo mejno stanje je označen s δ_{el} , kjer se pojavijo prve razpoke. Močnejše razpoke se pojavijo v drugem mejnem stanju, ki je označen s δ_{Hmax} kjer je vrednost zasuka izmerjena takrat, ko obremenitev doseže mejno stanje nosilnosti elementa. Tretje mejno stanje pa je, ko nosilnost elementa upade pod 80% nosilnosti. Označimo ga s δ_u in ga enačimo z mejnim stanjem blizu porušitve, saj ima velike poškodbe. Prve manjše razpoke, pri prevladujoči strižni porušitvi, so se pojavile pri zasuku med 0,056% in 0,176%, pri upogibni porušitvi pa med 0,024% in 0,152%. Močnejše razpoke so imeli tisti elementi, ki so pri strižni porušitvi imeli zasuk med 0,11% in 0,66%, pri upogibni pa od 0,23% do 1,32%. Ko pa so bili zasuki pri strižni porušitvi od 0,11% do 1,00% ali upogibni od 0,80% do 2,42%, pa je bil element že v tretjem mejnem stanju in blizu porušitve.

Tabela 2: Lastnosti preizkušancev iz baze podatkov

Oznaka	Obtežba	Materialne karakteristike				Tip porušitve	Mejni zasuki elementov		
	σ_v (delež f_c)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	G (MPa)	E (MPa)		δ_{el} (%)	δ_{Hmax} (%)	δ_u (%)
BNL4	0,29	4,13	0,23	369	3088	upogib	0,112	0,66	0,97
BNL6	0,15	4,13	0,15	342	3088	upogib	0,064	0,83	2,32
BPL1	0,2	5,97	0,21	323	4815	strig	0,123	0,40	0,82
BWL2	0,21	5,79	0,22	320	4733	upogib	0,122	0,66	0,92
BZL1	0,2	6,09	0,19	379	5548	strig	0,087	0,39	0,44
BNW3	0,22	4,13	/	/	/	strig	0,115	0,29	0,86

3.0 RAČUN STANJ POŠKODOVANOSTI ZA IZBRANE OPEČNE ZIDOVE

Iz baze podatkov (Snoj, 2014), smo izbrali tri zidove, ki so bili porušeni strižno in tri, ki so se porušili upogibno. Pri izbiri smo upoštevali, da zasuki, ki nastanejo pri mejnem stanju nosilnosti ne odstopajo veliko od mejnih stanj poškodovanosti, ki jih je določil Snoj. Vsi zidovi so zgrajena na armiranobetonskem temelju zato, da so primerna za transport od gradbišča do naprave za testiranje. Na vrhu vsakega zidu pa je narejena armiranobetonska vez, zato da lahko preizkusimo obnašanje zidu.

3.1 Opis izbranih opečnih zidov

Prvi izbrani zid je BZL1 (slika 6a), ki je dolžine 0,99 m, širine 0,30 m ter višine 1,51 m in je vpet samo z enim robom, drugi rob pa je prost. Zid sestavljajo zidaki, ki imajo 48% lukenj ter so širine 298 mm, dolžine 243 mm in višine 235 mm. Splošna apneno cementna malta, ki je uporabljena za horizontalne rege je gostote $1,57 \text{ kg/dm}^3$ in spada v razred M5, zato smo za njeno tlačno trdnost privzeli 5 MPa. Cement in hidratizirano apno sta v razmerju 1:0,5 – 1,25, peska pa je od 2,25 do 3 krat toliko, kot je cementa in apna skupaj. V vertikalni smeri se

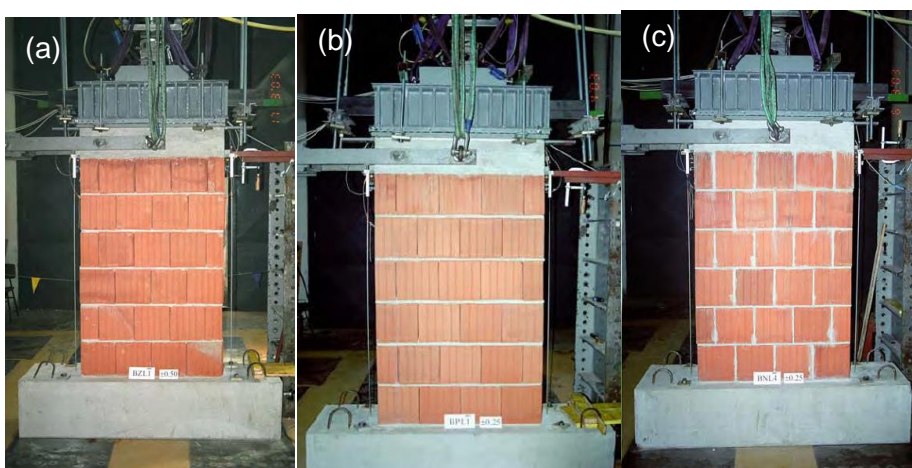
zidaki stikajo na pero in utor brez malte. Vertikalna obtežba med preizkusom je bila 1,19 Mpa, kar je 29% tlačne trdnosti.

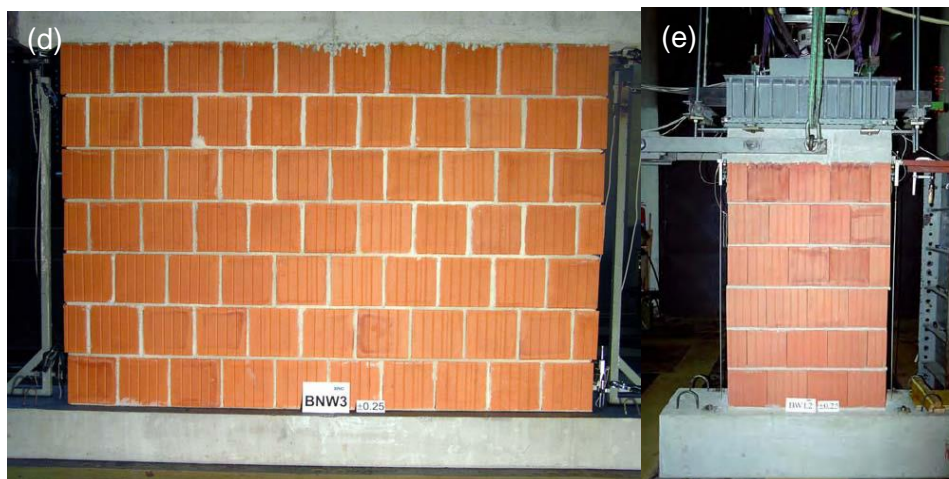
Drugi zid ima oznako BPL1 (slika 6b) in je enakih dimenzij kot prvo, dolžine 0,99 m, širine 0,3 m in višine 1,51 m. Zid je vpet na eni strani, na drugi pa je prosti rob. Zidaki imajo 52% lukenj in so širine 299 mm, dolžine 245 mm ter višine 236 mm. Za horizontalne rege je uporabljena splošna malta M5, v vertikalnih regah pa je narejen maltni žepek. Gostota malte je $1,63 \text{ kg/dm}^3$, tako za horizontalne, kot za vertikalne rege. Vertikalna obtežba na zid med preizkusom je 1,19 MPa, kar je 20% tlačne trdnosti.

BNW3 (slika 6d) je tretji zid iz opečnih zidakov, ki je večje od prvih dveh, saj je dolg kar 2,58 m, širok 0,30 m in visok 1,75 m. Zid deluje kot konzola, saj ima en vpet in en prost rob. Zidaki iz katerih je zgrajen imajo 51% lukenj in so širine 297 mm, dolžine 244 ter višine 236 mm. Opečni votlaki so v horizontalni smeri povezani s splošno malto razreda M5. Vertikalne rege so polno zapolnjene tudi s splošno malto gostote $1,68 \text{ kg/dm}^3$. Vertikalna obtežba na zid med preizkusom je 22% tlačne nosilnosti, kar znaša 0,89 MPa.

Zidova BNL4 in BNL6 (slika 6c) sta si zelo podobna. Dolžina obeh zidov je 1,03 m, širina 0,3 m in višina 1,51 m. Oba zidova sta vpeti samo na eni strani. Zidova sestavljajo zidaki širine 298 mm, dolžine 245 mm ter višine 237 mm in imajo 50% lukenj. Uporabljena je splošna malta oznake M5 tako za horizontalne rege kot za vertikalne rege, ki so polno zapolnjene. Gostota malte je $1,59 \text{ kg/m}^3$. Razlika med zidoma je samo v vertikalni obtežbi, saj na BNL4 deluje obtežba vrednosti 1,19 MPa, kar znaša 29% tlačne nosilnosti, na BNL6 pa je vrednost obtežbe 0,60 MPa kar znaša 0,15% tlačne trdnosti.

Zadnji obravnavani zid ima oznako BWL2 (slika 6e). Dolžina tega zida je 0,99 m, širina 0,3 m ter višina 1,51 m. Zid je vpet samo na eni strani. Zidaki, ki sestavljajo element imajo 53% lukenj in so dimenzij $300 \text{ mm} \times 246 \text{ mm} \times 237 \text{ mm}$. Za horizontalne rege je uporabljena splošna malta M5, pri vertikalnih regah pa je narejen maltni žepek. Gostota malte je $1,55 \text{ kg/dm}^3$. Vertikalna obremenitev na element je 1,19 MPa, kar je 0,21% tlačne trdnosti zidovja.





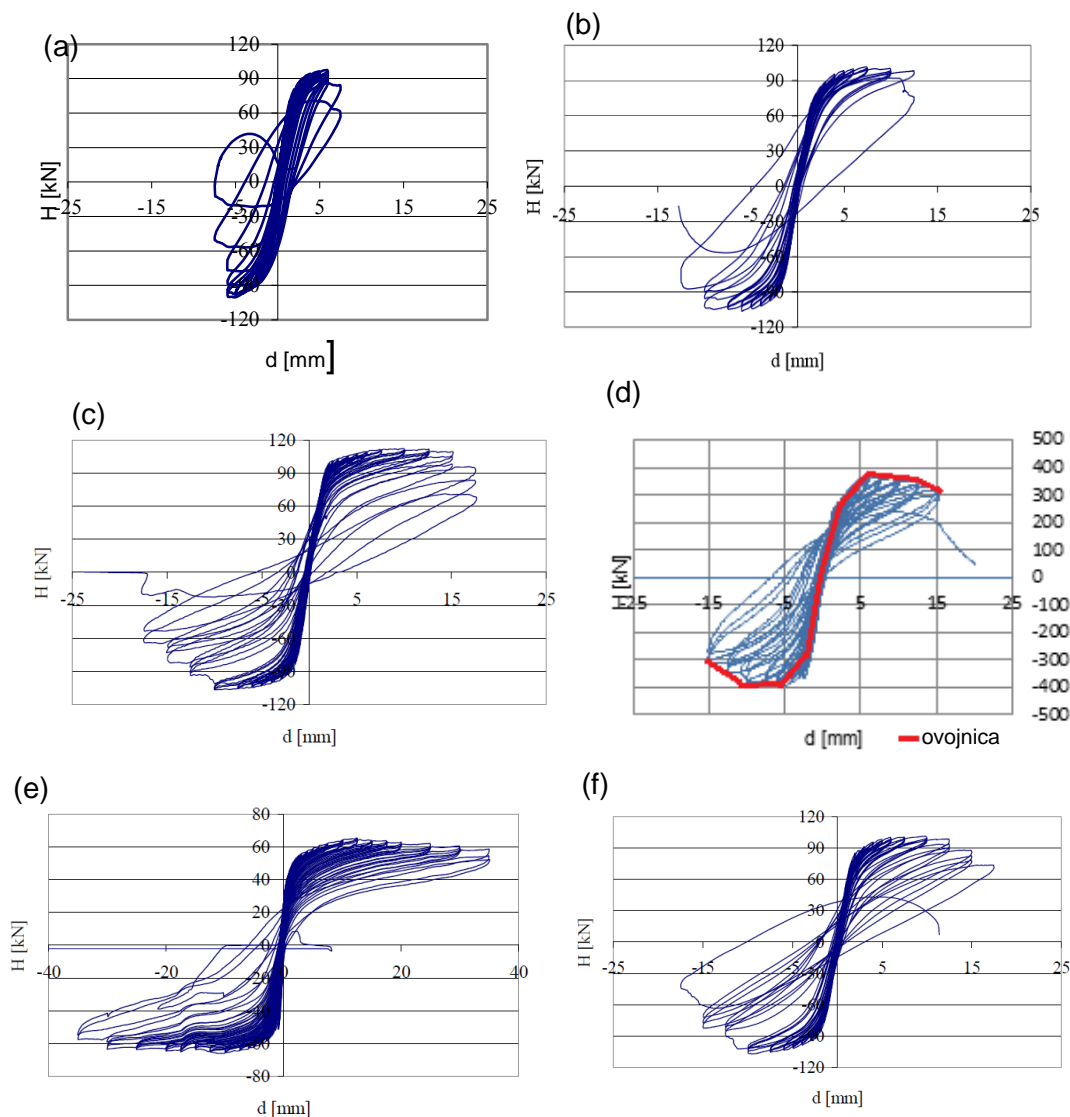
Slika 6: (a) Zid BZL1, (b) zid BPL1, (c) zid BNL 4 in BNL 6 (Bosiljkov et al., 2004) (d) zid BNW3 (Bosiljkov et al., 2006) in (e) zid BWL2 (Bosiljkov et al., 2004)

3.2 Analiza poškodovanosti

Analiza poškodovanosti lahko poteka na globalnem ali na lokalnem nivoju. Na globalnem nivoju ocenjujemo poškodovanost in možnost prenašanja različnih obremenitev celotne konstrukcije. Pri lokalni analizi pa opazujemo samo posamezne komponente zgradbe. V tej diplomski nalogi se bomo dotaknili le lokalne analize za šest izbranih opečnih zidov. Rezultat analize poškodovanosti je povezava med poškodovanostjo posamezne komponente zgradbe in parametri potresnega odziva (*angl. Engineering demand parameters EDPs*). Ti parametri potresa so običajno pomiki oziroma zasuki posameznih elementov. Pri analizi se najprej določijo mejna stanja elementov. Nato pa se na podlagi analize obnašanja konstrukcije določi pogojno verjetnost, da bo pri določenem pomiku oziroma zasuku poškodovanost elementa večja kot smo predpostavili. Pogojna verjetnost predstavlja t.i. funkcijo ranljivosti, ki jo je mogoče prikazati tudi grafično v obliki krivulje ranljivosti.

3.3 Histereze opečnih zidov

Med potresom so vsi konstrukcijski elementi podvrženi potresnim silam, ki spreminjajo smer delovanja ter moč in v njih povzročajo deformacije. Histerezne zanke dobimo pri eksperimentih in predstavljajo odvisnost med silo in pomikom elementa. Raziskovalci, kateri so naredili teste na opečnih zidovih (Tomažević, Bosiljkov, Lutman, 2004 in 2006), so zidovje obremenili v dveh smereh in z različno močjo, ter sproti zapisovali deformacije, ki so nastale na elementu. Na koncu so vse prikazali v obliki histereznih zank. Iz histereznih zank lahko do neke mere sklepamo tudi način porušitve preizkušanca. Če se je porušil strižno so histerezne zanke široke z veliko sipanja energije in majhno kapaciteto pomika. Če pa je upogibni porušni mehanizem so histereze v obliki črke S z manj sipanja energije in veliko kapaciteto pomika. Na sliki 7 so prikazane histereze šestih izbranih zidov.



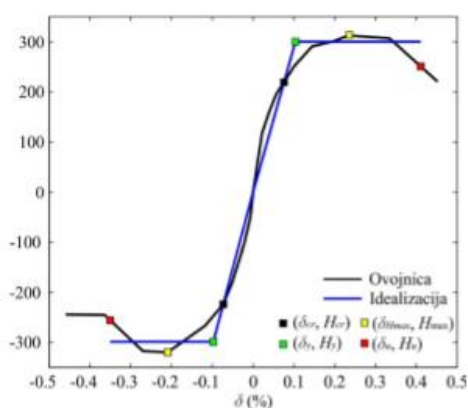
Slika 7: Histerezne zanke preizkušancev (a) BZL1, (b) BPL1 (Bosiljkov et al., 2004), (c) BNW3 (Bosiljkov et al., 2006), (d) BNL4, (e) BNL6 in (d) BWL2 (Bosiljkov et al., 2004)

3.4 Mejna stanja

Mejna stanja določajo stopnjo poškodovanosti, ki jo naredi potresna obremenitev. Mejna stanja povezujemo tudi z ustreznimi sanacijskimi deli za popravilo poškodovanega elementa. V diplomski nalogi bomo predpostavili tri karakteristična mejna stanja zidanih elementov: mejo nastajanja razpok, mejo največje nosilnosti in končno mejno stanje blizu porušitve (Snoj, 2014).

Na sliki 7d je prikazana histereza zida BNL4, ki so ga raziskovalci obremenili s potresnimi silami. Odnos med silo in pomikom nam pove, da se je zid porušil po upogibnem mehanizmu. Z debelejšo rdečo črto je narisana ovojnica odnosa sila-pomik. Na sliki 8 je prikazana ovojnica sila-zasuk nekega elementa. Zasuk predstavlja razmerje med vodoravnim pomikom na vrhu in višino elementa. Prikazana je tudi enostavna elasto-plastična idealizirana krivulja, ki je v pomoč pri določanju mejnih stanj. Na ovojnicah so prikazane karakteristične točke, ki predstavljajo mejo mejnih stanj v zidanem preizkušancu. Prva točka

je (δ_{cr}, H_{cr}), kjer idealizirana krivulja seka ovojnico pri 70% nosilnosti oziroma meja nastanka razpok. Druga točka (δ_y, H_y) je meja elastičnosti, ko idealizirana krivulja pride do preloma. Točka (δ_{Hmax}, H_{max}) je pri meji največje nosilnosti zidu. Zadnja točka (δ_u, H_u) je točka končnega mejnega stanja blizu porušitve, kjer nosilnost pade pod 80% največje nosilnosti zidu. Pri določanju mejnih stanj in karakterističnih zasukov smo upoštevali samo zidove, ki so bili testirani v laboratoriju in ne takšnih, ki so bili zgrajeni za splošno uporabo. Zid v konstrukciji in zid v laboratoriju se razlikujeta, saj so v realnosti stanje materiala, obtežba in njen časovni potek ter robni pogoji v zidovih drugačni kot v laboratoriju. Zato pa je lahko tudi obnašanje zidov v konstrukciji drugačno, kot pri eksperimentih (Snoj, 2014).



Slika 8: Idealizirana krivulja ovojnice s karakterističnimi točkami (Snoj, 2014)

3.4.1 Mejno stanje razpok (DS1)

Mejno stanje razpok (slika 9a) je prvo mejno stanje, ker je poškodovanost zidov majhna. Prve razpoke v zidovih iz opečnih votlakov se običajno pojavijo že pri zelo majhnih zasukih elementa. Na elementih, ki se obnašajo strižno se pojavijo komaj vidne strižne razpoke v sredini zidu, ki se sčasoma širijo proti vogalom. Pri elementih, ki so obojestransko vpeti in je njihov porušni mehanizem upogib, pa nastanejo majhne lasaste horizontalne razpoke ob vpetju elementa, na tisti strani, ki je v nategu. Tudi v histerezni zanki lahko vidimo kdaj so nastale prve razpoke v elementu. Prve poškodbe zidu se pojavijo, ko se spremeni naklon odnosa med silo in pomikom oziroma, ko se spremeni togost elementa. Takšne poškodbe so zelo majhne ter se jih razmeroma hitro in enostavno popravi. Zasuk pri katerem nastane malo zelo majhnih razpok je zasuk elementa na meji elastičnosti, kjer pride do preloma v elasto-plastični idealizaciji ovojnice histerezne zanke. Ta zasuk je največkrat enak zasuku pri 70% maksimalne nosilnosti (Snoj, 2014).

3.4.2 Mejno stanje nosilnosti (DS2)

Pri mejnem stanju nosilnosti (slika 9b) so poškodbe elementa srednje. Pomik oziroma zasuk elementa je izmerjen takrat, ko je dosežena maksimalna nosilnost elementa. Ko enkrat obremenitev doseže nosilnost elementa, je poškodovanost zidu takšna, da začne nosilnost upadati. Pri elementih, kjer prevladuje strižno obnašanje se pojavijo prve večje diagonalne razpoke, vendar imajo te razpoke še vedno debelino manjšo od 0,2 mm (Tomažević, 2007). Na elementih z upogibnim obnašanjem se pojavijo številne upogibne razpoke ob vpetju, še

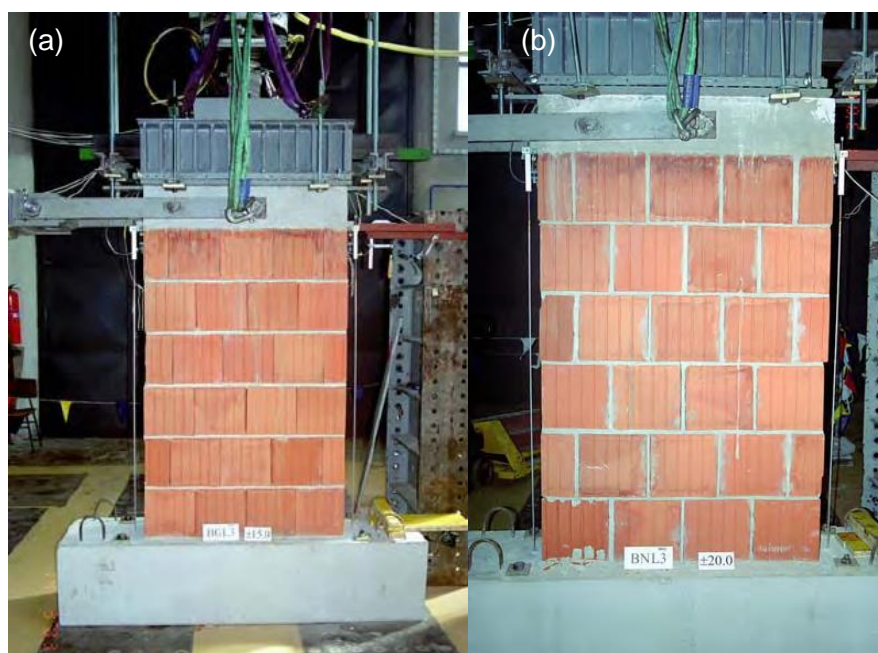
vedno z majhno debelino. Pri nekaterih zidovih pa lahko pride do pokanja zidakov v tlačnem vogalu, kjer je tlak zelo velik (Snoj, 2014).

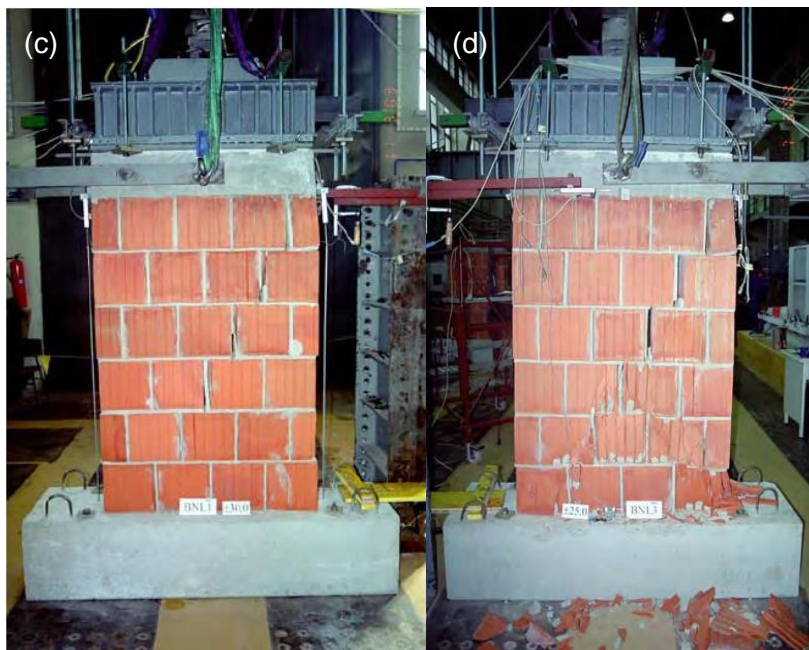
3.4.3 Mejno stanje blizu porušitve (DS3)

Mejno stanje blizu porušitve (slika 9c) je takrat, ko je zid močno poškodovan in ko nosilnost elementa upade pod 80% nosilnosti H_{max} . V elementih, ki se obnašajo strižno, se pojavi veliko diagonalnih razpok. Razpoke so debeline od 1 mm do 10mm. Pri takšnih zidovih se lahko pojavi tudi drobljenje zidakov vzdolž tlačne diagonale. Na elementih z upogibnim mehanizmom porušitve se pojavijo razpoke, ki so večje, v tlačnih vogalih pa se zgodi tlačna porušitev zidakov. V primerih, kjer prevladuje upogib se pogosto zgodi, da nosilnost elementa sploh ne upade pod 80% nosilnosti, čeprav preizkušance preverjajo pri zelo velikih zasukih ($> 2\%$) (Snoj, 2014).

3.4.4 Mejno stanje porušitve (DS4)

Pri mejnem stanju porušitve (slika 9d) je element že zelo močno poškodovan in je tik pred porušitvijo ali pa je že porušen. Nosilnost zidu na horizontalno obtežbo je takrat zelo majhna oziroma zanemarljiva. V elementu se pojavijo močne razpoke večje od 10 mm, drobljenje zidakov vzdolž diagonal in v vogalu elementa, ki je v tlaku in se upogibno poruši. V laboratorijih običajno z eksperimentom končajo preden se zid poruši, da ne bi poškodovali laboratorijske opreme. Pri elementih, kjer prevladuje upogibno obnašanje, pa je deformacija zidu tako velika, da laboratoriji nimajo takšne opreme, ki bi porušila element. Zaradi teh razlogov je določitev zasuka zelo nezanesljiva in ni določena (Snoj, 2014).





Slika 9: (a) Mejno stanje razpok (DS1), (b) mejno stanje nosilnosti (DS2), (c) mejno stanje blizu porušitve (DS3) in (d) mejno stanje porušitve (DS4) (Bosiljkov et al., 2004)

4.0 OCENA STROŠKOV SANACIJE

Sanacija pomeni, da popravimo konstrukcijo, ki jo je poškodoval potres tako, da poskušamo vzpostaviti stanje v katerem je bila pred potresom. Kadar pa stavbi povečamo nosilnost in duktilnost pa govorimo o utrditvi konstrukcije. Odločitev o tem, ali bomo konstrukcijo po potresu sanirali ali utrdili je odvisna od njene potresne odpornosti. Če so med potresno obremenitvijo nastale pričakovane poškodbe (predvidena disipacija energije) se konstrukcija samo popravi in vrne v stanje pred potresom. Kadar pa so poškodbe večje od pričakovanih, pa je očitno, da potresna odpornost objekta ni bila dovolj velika in da bo potrebna utrditev konstrukcije. Pri utrditvi stavbe se izdelata ali popravi nosilni sistem konstrukcije, do te mere, da bo s predpisano stopnjo varnosti prevzel obtežbo pričakovanega potresa. Za kakšen poseg se bomo odločili je odvisno od računske analize potresne odpornosti, od stopnje poškodovanosti, pomembnosti objekta in finančnih zmogljivosti investitorja. Vsaka utrditev objekta vključuje tudi sanacijo vseh poškodovanih tako konstrukcijskih, kot tudi nekonstrukcijskih elementov stavbe (Tomažević, 2009).

Pri sanaciji in utrditvi konstrukcij je zelo pomembno, da ne utrdimo le posameznega poškodovanega oz. šibkega elementa ali sklopa konstrukcije, ampak moramo zagotoviti ustrezno obnašanje konstrukcije v celoti. Utrditev posameznega elementa konstrukcije, še posebej pri zidanih objektih, lahko povzroči poslabšanje konstrukcije, saj se spremeni porazdelitev togosti. Potresne sile se na konstrukcijske elemente porazdelijo v razmerju togosti posameznega elementa, kar pomeni, če je element bolj tog, bo prevzel večjo silo od tistega, ki ima manjšo togost. Element, ki bi prevzel večjo potresno silo je potrebno računsko preveriti, če ima večjo nosilnost kot obremenitev. Običajno računsko analiza pokaže, da se bo element zrušil in še poslabšal predhodno stanje, zato stremimo k temu, da porazdelimo utrditvene ukrepe čim bolj enakomerno po vseh zidovih etaže. Konstrukciji moramo zagotoviti njeno uporabnost s tem, da omejimo prevelike deformacije med potresom in tako

preprečimo hude poškodbe sekundarnih konstrukcijskih elementov in opreme (Tomažević, 2009).

Da izboljšamo potresno odpornost zidanih konstrukcij, moramo zagotoviti celovitost delovanja konstrukcije in na ustrezen način povezati nosilno zidovje. Stropna konstrukcija mora biti dovolj toga v svoji ravnini in povezana z nosilnimi elementi, da se zagotovi enakomerna porazdelitev potresnih sil na nosilne zidove. Nosilne zidove moramo porazdeliti simetrično in enakomerno v obeh nosilnih smereh konstrukcije. Togost se po višini ne sme skokovito spreminjati. Izboljšati je potrebno odpornost konstrukcije in utrditi nosilne zidove, tako da bodo dovolj močni za prevzem pričakovane potresne obtežbe. Po potrebi lahko izboljšamo nosilnost temeljev, ki morajo zagotoviti prenos zgornje konstrukcije v temeljna tla (Tomažević, 2009).

Ko izbiramo ustrezne vrste utrjevanja, moramo upoštevati tip konstrukcije ter vrsta in kakovost materialov. Od vrste konstrukcije in njenega stanja je odvisna tudi izvedljivost in učinkovitost posegov, s katerimi nameravamo izboljšati odpornost. Pred končno odločitvijo moramo proučiti tudi nekaj kriterijev, ki so povezani s stroški posegov in pomembnostjo stavbe, razpoložljivostjo ustrezne tehnologije in usposobljenostjo delovne sile, ter trajanjem del in problemi bivanja. Manjši izbor primernih ukrepov imamo pri kulturnozgodovinskih spomenikih, saj je potrebno upoštevati principe, ki veljajo za ohranitev arhitekturne dediščine. V praksi se uporablja veliko metod, ki se pri zidanih konstrukcijah razlikujejo bolj po uporabljenih tehnoloških rešitvah in ne toliko po principu delovanja (Tomažević, 2009).

S sanacijskimi in utrditvenimi posegi je potrebno (Tomažević, 2009):

- na ustrezen način odpraviti vse ugotovljene napake
- če ima objekt nepravilno zasnovo (porazdelitev togosti, nasilnosti elementov), jo je treba kar najbolj izboljšati
- ustrezno zavarovati in preprečiti rušenja nekonstrukcijskih elementov
- po posegu morajo biti izpolnjene vse zahteve ustreznih Evrokodov
- težiti k čim manjšemu spreminjanju lokalnih togosti
- težiti k povečanju lokalne duktilnosti kritičnih točk in paziti, da se ta s predvidenimi ukrepi ne zmanjša
- zagotoviti trajnost novih in obstoječih elementov

Da bi se zidan objekt ustrezno obnašal med potresom, morajo biti zidovi med seboj ustrezno povezani z vezmi in stropi, ki morajo zagotoviti prenos potresnih sil na zidove. Zidovi morajo biti enakomerno porazdeljeni v obeh smereh stavbe in dovolj odporni, da bodo prevzeli pričakovano potresno obtežbo. Tudi pri prenovi, spremembi namembnosti, rekonstrukciji ali adaptaciji je potrebno upoštevati pravila za potresno odpornost objektov, saj se običajno pozablja na potresno obremenitev (Tomažević, 2009).

Vse cene, ki so navedene v diplomski nalogi sem pridobil v podjetju SANING INTERNATIONAL, d.o.o., Kranj v poletnih mesecih, v katerih je gradbeništvo na letnem vrhuncu, zato so cene lahko tudi zavajajoče. Stroškov sanacij različnih izvajalcev nisem primerjal, zato lahko pride do kakšnih dodatnih stroškov pri drugih izvajalcih. Stroški vseh sanacij so izračunani za zid debeline 30 cm.

4.1. Porušitev starega in izgradnja novega zidu

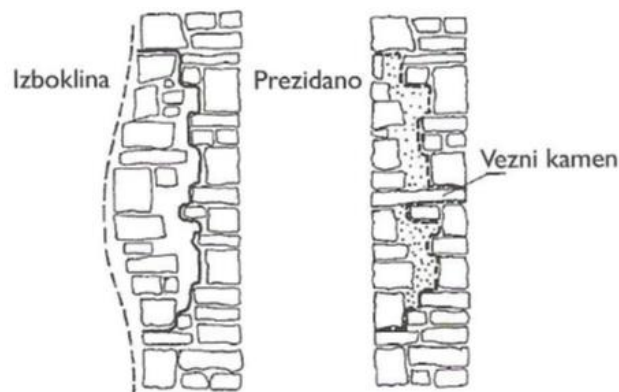
Preden bomo začeli z gradnjo novega zidu je potrebno star poškodovan zid odstraniti in ga odpeljati na primerno deponijo. Porušitev in odvoz staneta 22,50 EUR/m². V tabeli 3 je prikazan strošek porušitev starega in izgradnje novega zidu debeline 30 cm. V strošku za izgradnjo novega zidu so upoštevane tudi vertikalne in horizontalne armiranobetonske vezi. Predpostavili smo, da je na m² zidu 0,5 m' tako vertikalne, kot horizontalne armiranobetonske vezi.

Tabela 3: Stroški porušitev starega in izgradnja novega opečnega zidu

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranjevanje zidu	m ²	19,50
2. Odvoz poškodovanega zidu na deponijo	m ²	3,00
3. Nabava, dobava in zidanje nosilnih zidov z opečnimi zidaki deb. 29 cm s podaljšano apneno cementno malto 1 : 3 : 9	m ²	78,00
4. Izdelava in nanos grobega in finega ometa	m ²	16,00
5. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
	Skupaj:	130,60

4.2 Prezidava

V primeru, ko je kamnito ali opečno zidovje močno poškodovano, kot je razslojevanje, odpadanje posameznega sloja zidu je potrebno prezidati poškodovane dele zidovja. Preden pričnemo z odstranjevanjem kamnov iz nosilnih zidov je potrebno ustrezno zavarovanje preostale konstrukcije pred porušitvijo. Pri kamnitih zidovih lahko uporabimo odstranjeni material, vendar je potrebno kamenje pred ponovno uporabo ustrezno obdelati. Pri sanaciji opečnih zidov pa uporabimo nove zidake, ki so po obliki in mehanskih lastnostih podobni originalnim. Tako pri kamnitih, kot tudi pri opečnih zidovih za vezivo uporabimo močnejšo malto, ki je zmešana s podobnimi sestavinami kot osnovna malta. Pri prezidavi je potrebno poskrbeti, da se novi del dobro poveže s starim delom zidovja. Kamnito zidovje povežemo tako, da se med oba nosilna sloja na vsak kvadratni meter površine vgradi vezne kamne (slika 10). Za še večje izboljšanje homogenosti zidu pa lahko zid po končani prezidavi utrdimo z injektiranjem. Pri opečnih zidovih moramo stik med novim in obstoječim delom zidovja izvesti »na zob«, če je potrebno pa oba dela povežemo s kovinskimi sidri ali stremeni. V nekaterih primerih pa zid utrdimo z armiranocementno oblogo. Zamenjava poškodovanega dela zidu z močnejšim materialom, kot je uporabljen v obstoječem delu zidu ni priporočljiva, saj togi in močni del zidu prevzame veliko potresno obtežbo in predstavlja nevarnost za nastanek hudih poškodb (Tomažević, 2009). V tabeli 4 so prikazani stroški, ki nastanejo pri prezidavi kamnitega zidu. Tabela 5 pa prikazuje prezidavo opečnega zidu. V obeh primerih je podpiranje konstrukcije računano tako, da moramo za 1 m² podpreti 2 m' konstrukcije (Tomažević, 2009).



Slika 10: Prezidava kamnitega zidu (Tomažević, 2009)

Tabela 4: Stroški prezidave kamnitega zidu

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev ometa	m ²	11,50
2. Podpiranje konstrukcije	m ²	36,00
3. Prezidava zidu z odstranjenim materialom in novo malto	m ²	65,00
4. Izdelava in nanos grobega in finega ometa	m ²	16,00
5. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
Skupaj:		142,60

Tabela 5: Stroški prezidave opečnega zidu

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Podpiranje konstrukcije	m ²	36,00
2. Odstranjevanje poškodovanega zidu	m ²	19,50
3. Odvoz poškodovanega zidu na deponijo	m ²	3,00
4. Nabava, dobava in zidanje nosilnih zidov z opečnimi zidaki deb. 29 cm s podaljšano apneno cementno malto 1 : 3 : 9	m ²	78,00
5. Izdelava in nanos grobega in finega ometa	m ²	16,00
7. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
Skupaj:		166,60

4.3 Injektiranje

Kamnito zidovje je običajno zgrajeno iz neobdelanega kamna in malte slabe kakovosti, zato med potresom utrpijo veliko poškodb. Zaradi strukture in debeline kamnitega zidu je najboljša izbira injektiranje suspenzije veznih in polnilnih materialov pod pritiskom v votline zidovja. S tem ukrepom povečamo nosilnost in togost zidu, zato je pomembno, da injektiranje izvedemo po vseh zidovih, saj bi v primeru neenakomernega injektiranja zidov lahko prišlo do hujših poškodb v bolj togih elementih. Z injektiranjem preprečimo razpadanje in razslojevanje zidu med potresom (Tomažević, 2009).

Suhi del injekcijske mešanice je sestavljen iz 90% portlandskega cementa in 10% opalske breče, nato pa se doda še toliko vode, da se volumetrično razmerje med suhim delom in vodo giblje 1:1 do 1:0,9. Da se prepreči kasnejše kapilarno dviganje vlage po zidovju se mešanici lahko doda tudi različne dodatke za hidrofobiranje. Najprej med kamni izvrtamo luknje, ki segajo vsaj do polovice debeline zidu. Vanje vstavimo kovinske ali plastične cevke, ki jih zapremo s hitrovezočo malto. Če stena ni obdelana z ometom, je potrebno stike med kamni premazati tudi s hitrovezočo malto. Zid pred injektiranjem omočimo. Skozi cevke, ki so enakomerno razporejene po celotni površini zidu, vtiskamo mešanico od spodaj navzgor, toliko časa, da injekcijska mešanica pri sosednji cevki ne priteče iz zidu (slika 11). Nato cevko zamašimo in postopek ponovimo pri sosednji cevki. Med vtiskanjem injekcijske mase pa ves čas s suhim cementom preprečujemo izcejanje mase iz zidu. Poraba mešanice je od 50 kg do 150 kg na kubični metre zidovja (Tomažević, 2009).

Pri opečnih zidovih, ki so sezidani iz polne ali votle opeke se razpoke, ki nastanejo ob potresu zlepijo z epoksidnimi injekcijami, če je njihova širina manjša od 1 mm (tabela 7), ali pa s cementnimi injekcijami, če je širina razpoke manjša od 3 mm (Tomažević, 2009).



Slika 11: Injektiranje (Internetni vir, pridobljeno 3.8.2015)

V tabeli 6 so prikazane cene posameznih del pri injektiranju kamnitega zidu. Najprej je potrebno odstraniti omet kar stane 11,50 EUR/m². Pripravljalna dela, kot so vrtanje lukenj, pranje zidu ter vstavljanje cevk stanejo 12,00 EUR/m². Nato se lahko začne injektirati z injekcijsko maso, kateri je dodan dodatek za hidrofobiranje. Stroški samega injektiranja so 32,00 EUR/m². Po končanem injektiranju je potrebno narediti še omet, ki je sestavljen iz grobega ter finega nanosa in stane 16,00 EUR/m². Na koncu je potrebno zgladiti stene, nanesti na njih kit in jih prepleskati, kar stane 14,10 EUR/m². V tabeli 7 pa so prikazani stroški, ki nastanejo pri sanaciji zidu z epoksidnimi injekcijami. Stroški so podobni, kot pri injektiranju kamnitega zidu, razlika je samo v tem, da so epoksidne injekcije dražje od injekcijske mase.

Tabela 6: Stroški injektiranja kamnitega zidu

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev ometa	m ²	11,50
2. Priprava zidu za injektiranje (vrtanje lukenj, pranje lukenj,...)	m ²	12,00
3. Injektiranje z mešanico, kateri je dodan dodatek za hidrofobiranje (količina suhe mešanice je 50 kg/m ²)	m ²	32,00
4. Izdelava in nanos grobega in finega ometa	m ²	16,00
5. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
	Skupaj:	85,60

Tabela 7: Stroški injektiranja manjših razpok

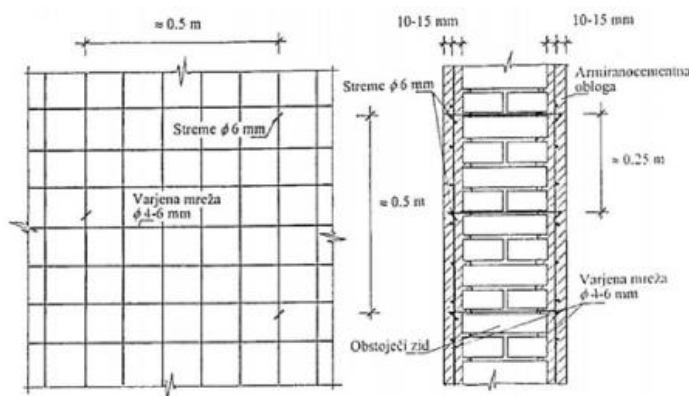
POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev poškodovanega ometa (20% zidu je poškodovanega)	m ²	11,50
2. Injektiranje razpok širine manjših od 1mm	m ²	50,00
3. Krpanje ometa (20% celega zidu)	m ²	16,00
4. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
	Skupaj:	91,60

4.4 Oblaganje z armirano cementno oblogo

Tako pri zidovih iz polne ali votle opeke, ki so resneje poškodovani in poleg sanacije potrebujejo utrditev lahko uporabimo oblaganje zidu z armirano oblogo z ene ali obeh strani (slika 12). S takšno oblogo izboljšamo strižno odpornost zidu, nosilnost, duktilnost in sposobnost sipanja energije (Tomažević, 2009).

Najprej odstranimo obstoječi omet, kar stane 11,50 EUR/m² in malto med zidaki od 10 -15 mm globoko. Stroški odstranjevanja malte pri zidu iz polne opeke so 19,00 EUR/m², pri zidu iz votle opeke pa 6,50 EUR/m². Nato se zainjektirajo razpoke ter očisti in omoči celotna površina zidu, na katero se nanese cementni obrizg. Skozi zid se izvrtajo luknje, skozi katere se vgradi sidra oziroma stremena, s katerimi se medsebojno poveže armatura. Priprava zidu stane 7,50 EUR/m². Potem se nanese prvi sloj cementnega ometa debeline 10 – 15 mm, kar znaša 18,00 EUR/m². Nanj se položi armaturna mreža, ki se poveže že s prej pripravljenimi sidri. Armaturna mreža mora imeti palice pramera vsaj 4 – 6 mm v medsebojni razdalji 100 – 150 mm in se jo ob vogalih in sečiščih zidov ustrezno sidra proti uklonu. Stroški armature in sider, ki so potrebni pri sanaciji so 24,20 EUR/m². Ko je armatura položena se nanese še

drugi sloj cementnega ometa, ki stane 24,00 EUR/m², tako da je debelina celotne obloge debela 30 mm. Običajno se danes namesto klasične armaturne mreže uporabljajo sintetični materiali, ki omogočajo, da se cementni omet z dodatki nanaša strojno na zid (Tomažević, 2009). Vsi stroški takšne sanacije so prikazani v tabeli 8 za zid iz polne opeke in v tabeli 9 za zid iz votle opeke (Tomažević, 2009).



Slika 12: Armirano cementna obloga (Tomažević, 2009)

Tabela 8: Stroški armirano cementne obloge na zidu iz polne opeke

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev obstoječega ometa	m ²	11,50
2. Odstranitev malte iz reg (10 - 15 mm globoko, 12,5m ² /m ²)	m ²	19,00
3. Priprava zidu (5x vrtanje lukenj/m ² , očiščenje, pranje,...)	m ²	7,50
4. Prvi sloj cementnega ometa debeline 10 - 15 mm	m ²	18,00
5. Dobava in vgradnja armaturne mreže Q226	m ²	6,20
6. Dobava in vgradnja sider (armaturne palice 5Φ6 mm/m ²)	m ²	18,00
7. Drugi sloj cementnega ometa debeline 15 - 20 mm	m ²	24,00
8. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
	Skupaj:	118,30

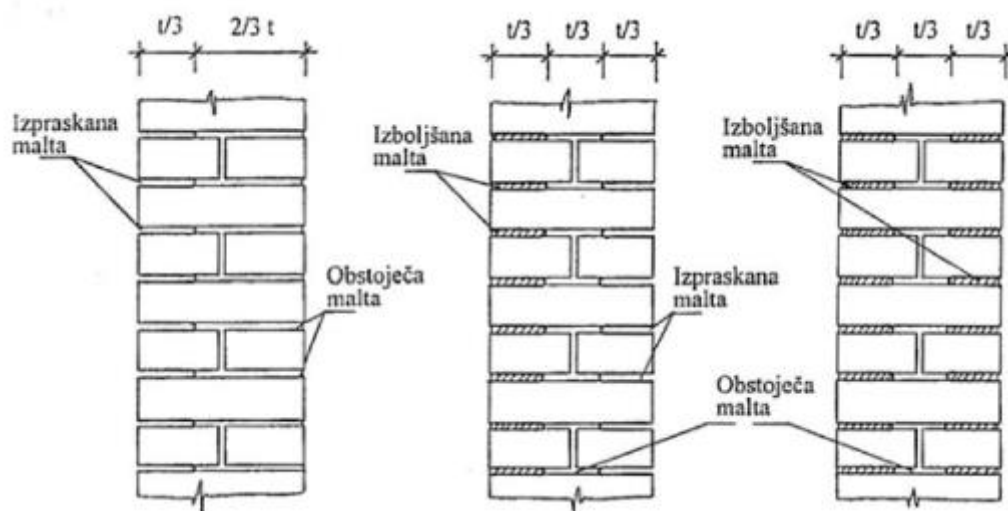
Tabela 9: Stroški armirano cementne obloge na zidu iz votle opeke

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev obstoječega ometa	m ²	11,50
2. Odstranitev malte iz reg (10 - 15 mm globoko 4m ³ /m ²)	m ²	6,50
3. Priprava zidu (5x vrtanje lukenj/m ² , očiščenje, pranje,...)	m ²	7,50
4. Prvi sloj cementnega ometa debeline 10 - 15 mm	m ²	18,00
5. Dobava in vgradnja armaturne mreže Q226	m ²	6,20
6. Dobava in vgradnja sider (armaturne palice 5Φ6 mm/m ²)	m ²	18,00
7. Drugi sloj cementnega ometa debeline 15 - 20 mm	m ²	24,00
8. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
	Skupaj:	105,80

4.5 Prefugiranje

Prefugiranje pomeni zamenjavo slabe malte v vodoravnih regah obsoječega zidovja (slika 13). Z zamenjavo izboljšamo odpornost zidovja na navpično in vodoravno obtežbo. Običajno utrjujemo samo opečne zidove, ki so sestavljeni iz polnih ali votlih opek, lahko pa tudi kamnito zidovje, vendar je delo zahtevno (Tomažević, 2009).

Najprej odstranimo obstoječi omet, kar stane 11,50 EUR/m². Strojno ali ročno izpraskamo malto iz reg v globino 5 cm. Če imamo zid iz polne opeke višine 8 cm, potem imamo 12,5 m reg/m² in odstranjevanje malte stane 40,00 EUR/m². Če pa imamo zid iz votle opeke višine 25 cm, kar pomeni da je 4 m reg/m² pa so stroški nižji in sicer 24,00 EUR/m². Nato rege in površino očistimo in omočimo. Stroški tega so 4 EUR/m². Za izboljšanje duktilnosti in nosilnosti v vsako tretjo do peto rego položimo armaturno palico premera 6 mm, ki jo na koncu ustrezno sidramo. Pri zidu iz polne opeke v rege položimo 4 armaturne palice na m², pri zidu iz votle opeke pa 3 armaturne palice na m². Na koncu rege zapolnimo s cementno malto, kar pri polni opeki stane 25,00 EUR/m², pri votli pa 19,00 EUR/m². Da se zid ne bi porušil ta postopek najprej naredimo na eni strani in potem na drugi strani zidu (Tomažević, 2009). Celotni stroški za prefugiranje zidu iz polne opeke so prikazani v tabeli 10, za zid iz votle opeke pa v tabeli 11 (Tomažević, 2009).



Slika 13: Prefugiranje (Tomažević, 2009)

Tabela 10: Stroški Prefugiranja zidu iz polne opeke

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev obstoječega ometa	m ²	11,50
2. Izpraskanje reg (5 cm v globino, 12,5m ²)	m ²	40,00
3. Priprava zidu (čiščenje, omočitev)	m ²	4,00
4. Dobava in vgradnja armature (armaturne palice Φ 6 mm 4 palice/m ² zidu = 4m ²)	m ²	6,00
5. Zapolnitev reg s cementno malto (0,0125 m ³ /m ² zidu)	m ²	25,00
6. Izdelava in nanos grobega in finega ometa	m ²	16,00
7. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
Skupaj:		116,60

Tabela 11: Prefugiranje zidu iz votle opeke

	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev obstoječega ometa	m ²	11,50
2. Izpraskanje reg (5 cm v globino 5m ²)	m ²	24,00
3. Priprava zidu (čiščenje, omočitev)	m ²	4,00
4. Dobava in vgradnja armature (armaturne palice Φ 6 mm 3 palice/m ² zidu = 3m ²)	m ²	4,50

5. Zapolnitev reg s cementno malto (0,005m ³ /m ² zidu)	m ²	19,00
6. Izdelava in nanos grobega in finega ometa	m ²	16,00
7. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
Skupaj:		93,10

4.6 Trakovi iz polimernih laminatov

Trakovi iz polimernih laminatov, ojačanih s karbonskimi vlakni ali steklenimi vlakni, imajo visoko natezno trdnost v smeri vlaken, pravokotno na vlakna pa niso nosilna. Zato je potrebno trakove nalepiti na zid v smeri pričakovanih nateznih napetosti. Trakovi morajo biti na konceh sidrani, da bodo kljub odlepljenju še vedno delovala oziroma bodo opravljala osnovno funkcijo. Po končani vgradnji jih moramo zaščititi pred požari in pred UV sevanjem (Tomažević, 2009).

Najprej odstranimo omet, kar stane 11,50 EUR/m². Ocenili smo, da bi na m² zidu namestili 3 m trakov iz polimernih laminatov. Ta ocena je bila narejena na zidu dimenzije 1 m x 1 m in če bi polimerne trakove namestili po obeh diagonalah, bi bila dolžina traku, ki bi ga porabili 3 m. Stroški tega z dobavo so 105 EUR/m². Zaščita trakov bi stala 15,00 EUR/m². Na koncu pa je potrebno narediti še omet in vse skupaj pobarvati. Vsi stroški so v tabeli 12.

Tabela 12: Stroški trakovi iz polimernih laminatov

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev obstoječega ometa	m ²	11,50
2. Dobava in montaža polimernih trakov (3 m/m ²)	m ²	105,00
3. Zaščita trakov	m ²	15,00
4. Izdelava in nanos grobega in finega ometa	m ²	16,00
5. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x	m ²	14,10
Skupaj:		161,60

4.7 Utrditev zidov z armiranobetonskimi vezmi

4.7.1 Vertikalne vezi

Vertikalne vezi je mogoče izvesti v objektih, ki so zgrajeni iz polne ali votle opeke, saj je pri kamnitih zidovih običajno na vogalih in stičiščih zidov obdelan kamen in bi z odstranitvijo tega naredili več škode kot koristi. Za pravilno delovanje konstrukcije po vgradnji vertikalnih

vezi moramo imeti tudi horizontalne vezi, ki so sestavni del togih stropnih konstrukcij (Tomažević).

V stavbah, ki so sezidane iz polne opeke lahko v vogalih stavbe in ob sečišču zidov ob vsaki strani zidu izdolbemo navpični žleb, v katerega vgradimo armaturne palice ustreznega premera, jih ustrezno sidramo in zalijemo s cementno ali epoksidno maso (Tomažević, 2009).

Pri zidovih, ki so sestavljeni iz polnih ali votlih opek je vgradnja navpičnih vezi dokaj enostavna. Najprej zavarujemo objekt, da se tekom sanacije ne bi porušil, kar stane 18,00 EUR/m'. Nato na mestih kjer hočemo narediti vertikalne vezi odstranimo opeko, tako da stična površina med novim betonom in starim zidom ne bo gladka, ampak bodo nastali zobje, ki bodo omogočili dobro povezovanje med starimi in novimi elementi. Strošek odstranjevanja je 27,50 EUR/m'. Ko smo odstranili opeke, vstavimo armaturne palice vsaj 4 Φ 14 mm, ki jih dobro sidramo v temelje in v zgornjo horizontalno konstrukcijo. Palice povežemo s stremeni ali pa se vgradijo vodoravna sidra. Nato se vezi zaopažijo in zabetonirajo. Namesto opaža lahko uporabimo betonske vogalnike, ki nam jih ponujajo proizvajalci (Tomažević, 2009). Vertikalne vezi, ki smo jih upoštevali pri izračunu stroškov so dimenzije 30 x 30 cm. Glavna armatura v vezeh je 4 Φ 16. Stremena so Φ 6 ter dolžine 1,3 m in so razporejena na 25 cm. Na vsak meter vezi je potrebno popraviti 1m² ometa, ki se ga odstrani na začetku. Vsi stroški izdelave vertikalnih vezi so prikazani v tabeli 13.



Slika 14: Vertikalne armiranobetonske vezi (Internetni vir, pridobljeno 5.8.2015)

Tabela 13: Stroški vertikalne armiranobetonske vezi

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev obstoječega ometa (1m ² /m')	m'	11,50
2. Podpiranje konstrukcije	m'	18,00
3. Odstranitev opeke na vogalu	m'	27,50
4. Opaž in opaževanje vertikalne vezi dimenzij 30x30 cm	m'	24,00
5. Dobava in vgrajevanje glavne armature (4 Φ 16 mm)	m'	13,00
6. Dobava in vgradnja stremen (4x 1,3 m Φ 6mm/m')	m'	2,50

7. Dobava in vgradnja betona C25/30 (količina betona 0,09m ³ /m')	m'	18,00
8. Izdelava in nanos grobega in finega ometa (1m ² /m')	m'	16,00
9. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x, (1m ² /m')	m'	14,10
Skupaj:		144,60

4.7.2 Horizontalne vezi

Za boljšo razporeditev potresnih obremenitev je potrebno povezati stene z horizontalnimi vezmi ali togim stropom. Ta ukrep je možen pri vseh zidanih objektih, tako pri kamnitih, kot tudi pri opečnih.

Tako kot pri vseh posegih v nosilno konstrukcijo je potrebno tudi pri tem ukrepu najprej zavarovati objekt. Nato odstranimo opeke na mestu, kjer bomo naredili horizontalno vez. Potem vgradimo armaturne palice, ki jih ustrezno sidramo v vertikalne vezi. Na koncu horizontalno vez zaopazimo in zabetoniramo. V tabeli 14 smo upoštevali vez dimenzije 30 x 30 cm. Armatura, ki je potrebna za horizontalno vez je 4Φ16 in 4x1,3mΦ6 za stremena na m'. Na vsak meter je potrebno popraviti 1 m² ometa.

Tabela 14: Stroški horizontalne armiranobetonske vezi

POPIS DEL	ENOTA	CENA / ENOTO (EUR)
1. Odstranitev obstoječega ometa (1m ² /m')	m'	11,50
2. Podpiranje konstrukcije	m'	18,00
3. Odstranitev opeke	m'	29,00
4. Opaž in opaževanje horizontalne vezi dimenzij 30x30 cm	m'	32,00
5. Dobava in vgradnja glavne armature (4Φ16mm)	m'	13,00
6. Dobava in vgradnja stremen (4x1,3mΦ6mm/m')	m'	3,50
7. Dobava in vgradnja betona C25/30 (količina betona 0,09m ³ /m')	m'	18,00
8. Izdelava in nanos grobega in finega ometa (1m ² /m')	m'	16,00
9. Glajenje, kitanje sten z notranjim kitom in brušenje sten 2x, ter beljenje sten z notranjo disperzijsko barvo 3x, (1m ² /m')	m'	14,10
Skupaj:		155,10

4.8 Stroški sanacij

V tabeli 15 so prikazani stroški posameznih sanacijskih del na različnih zidovih in strošek novega zidu iz votle opeke. Prezidava je možna pri vseh vrstah zidov. Injektiranje je možno samo pri kamnitem zidu, saj bi pri opečnem porabili preveč injekcijske mase in ne bi zagotovili začetnega stanja. Z epoksidnimi injekcijami se lahko sanira razpoke manjše od 1 mm v opečnih zidovih, saj pri teh zidovih vidimo posamezne razpoke, pri kamnitih zidovih pa so te malo manj opazne. Armirano cementna obloga zidu se običajno uporablja samo pri opečnih zidovih. Tudi prefugiranje je možno izvesti samo pri opečnih zidovih, saj imajo ravne horizontalne rege v katere vstavimo armaturo. Trakovi iz polimernih laminatov se uporabljajo pri vseh zidovih, saj zanje ni pomemben material na katerega se pritrjujejo.

Armiranobetonske vezi tako vertikalne, kot horizontalne se lahko uporabijo pri opečnih zidovih, saj lahko tako odstranimo zidake, da naredimo dober stik med vezjo in starim zidom. Pri kamnitih zidovih pa bi s tem posegom še bolj poškodovali zid, saj so kamniti objekti najmočnejši prav na vgalih in stičiščih zidov. Običajno se nov zid izdelava iz votlih opek, zato smo tudi v tej diplomski nalogi primerjali samo novogradnjo opečnih sten s sanacijskimi deli.

Tabela 15: Stroški sanacij

	Kamnit zid	Zid iz polne opeke	Zid iz votle opeke
Prezidava	142,60 EUR/m ²	166,60 EUR/m ²	166,6 EUR/m ²
Injektiranje	85,60 EUR/m ²	/	/
Prezidava + injektiranje	186,60 EUR/m ²	/	/
Injektiranje razpok	/	91,60 EUR/m ²	91,60 EUR/m ²
Armirano cementna obloga	/	118,30 EUR/m ²	105,80 EUR/m ²
Prefugiranje	/	116,60 EUR/m ²	93,10 EUR/m ²
Trakovi iz polimernih laminatov	161,60 EUR/m ²	161,60 EUR/m ²	161,60 EUR/m ²
Armiranobetonske vertikalne vezi	/	144,60 EUR/m'	144,60 EUR/m'
Armiranobetonske horizontalne vezi	/	155,10 EUR/m'	155,10 EUR/m'
Rušenje in novogradnja	/	/	130,6 EUR/m ²

4.9 Stroški sanacije izbranih zidov

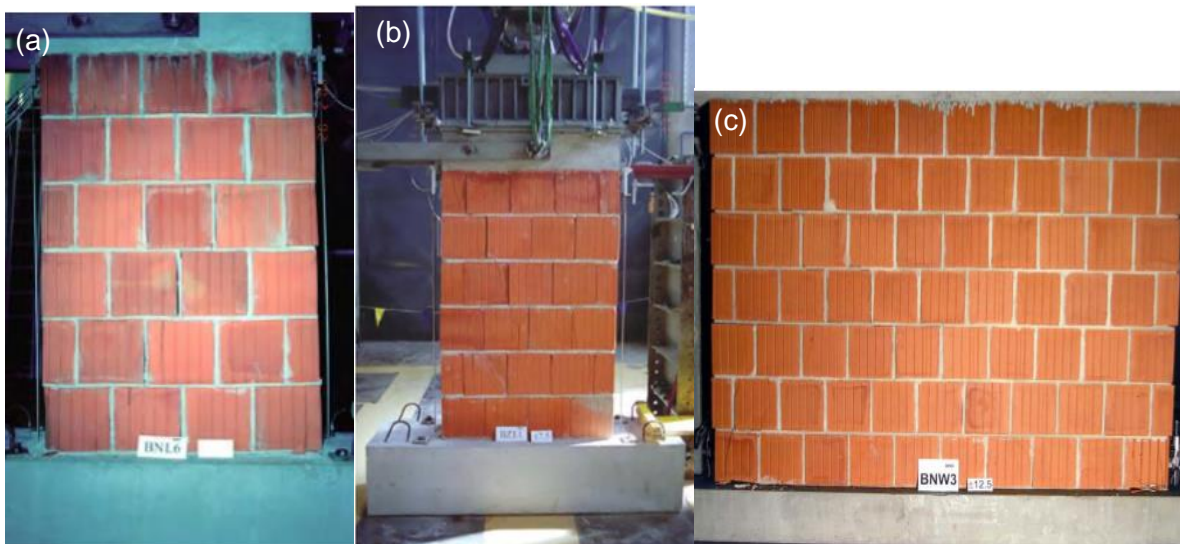
Iz baze podatkov (Snoj, 2014) smo pregledali vse mejne zasuke pri mejnem stanju nosilnosti. Skoraj vsi mejni zasuki pri strižnem porušnem mehanizmu so bili okoli 0,4%. Zidovja BZL1, BPL1 in BNW3 so imela strižni mehanizem porušitve, zato imajo mejni zasuk pri mejnem stanju nosilnosti približno 0,4%. Če so mejni zasuki večji od 0,4% je zidovje že v

mejnem stanju blizu porušitve. Da zidovje lahko uvrstimo v prvo mejno stanje, to je takrat, ko nastanejo prve razpoke, pa so mejni zasuki približno 0,1%.

Prav tako kot za strižni porušni mehanizem smo tudi za upogibni porušni mehanizem pregledali bazo podatkov (Snoj, 2014) in ugotovili, da se zasuki pri mejnem stanju nosilnosti gibljejo okoli 0,8%. Upogibni porušni mehanizem so imela zidovja BNL4, BNL6 in BWL2. Tako kot pri strižnih, se tudi pri upogibnih zidovih prve razpoke pojavijo, ko je mejni zasuk približno 0,1%. Ko je mejni zasuk večji od 0,8% pa zidovje uvrščamo v mejno stanje blizu porušitve.

4.9.1 Stroški sanacije pri mejnem stanju poškodb

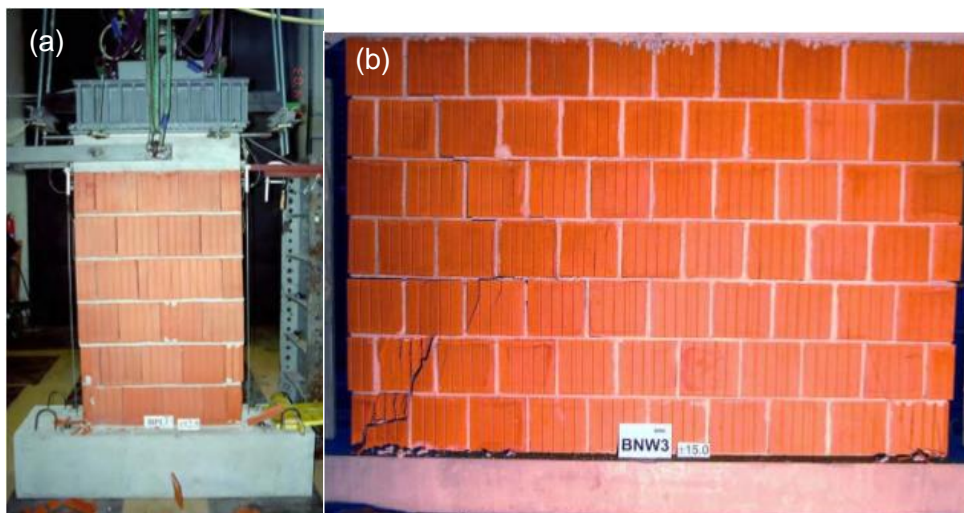
Zidovje uvrstimo v mejno stanje DS1, ko ima mejni zasuk približno 0,1%. Takrat na zidu nastanejo manjše razpoke. Običajno so te razpoke manjše od 1 mm, zato zid lahko samo popravimo s kitom in pleskanjem kar stane 14,10 EUR/m². Na sliki 15 lahko vidimo primere zidov, ki spadajo v mejno stanje DS1.



Slika 15: (a) BNL6 (DS1), (b) BZL1 (DS1) (Bosiljkov et al., 2004) in (c) BNW3 (DS1) (Bosiljkov et al., 2006)

4.9.2 Stroški sanacije pri mejnem stanju nosilnosti

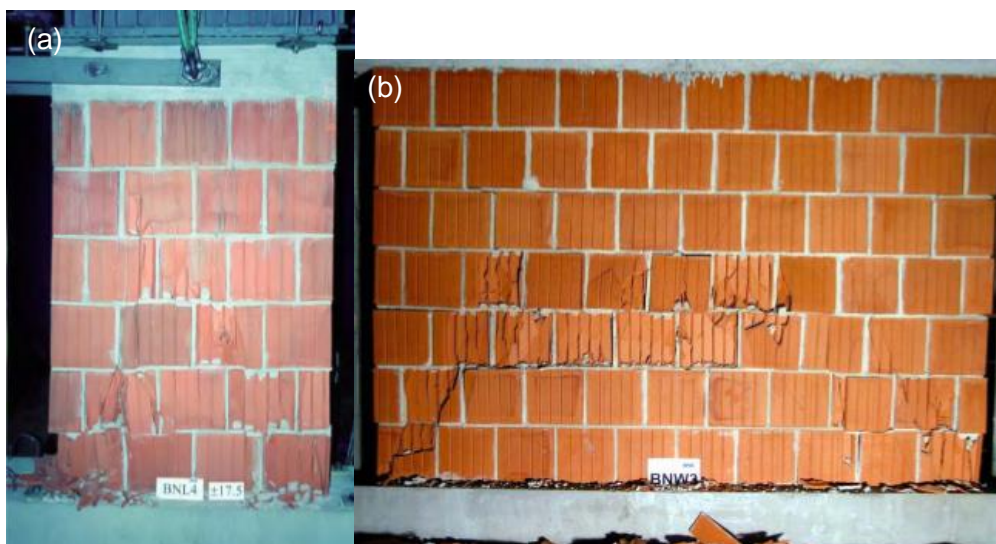
Kadar ima zidovje zasuk okoli 0,4% pri strižnem ali 0,8% pri upogibnem porušnem mehanizmu, ga uvrstimo v mejno stanje DS2. V zidu nastanejo močnejše razpoke, lahko odpadejo tudi manjši kosi opeke, zato takšne poškodbe lahko saniramo z injektiranjem posameznih razpok, kar stane 91,60 EUR/m². Če so poškodbe večje, takšne kot na sliki 16b pa lahko naredimo armirano cementno oblogo, ki stane 105,80 EUR/m².



Slika 16: (a) BPL1 (DS2) (Bosiljkov et al., 2004) in (b) BNW3 (DS2) (Bosiljkov et al., 2006)

4.9.3 Stroški sanacije pri mejnem stanju blizu porušitve

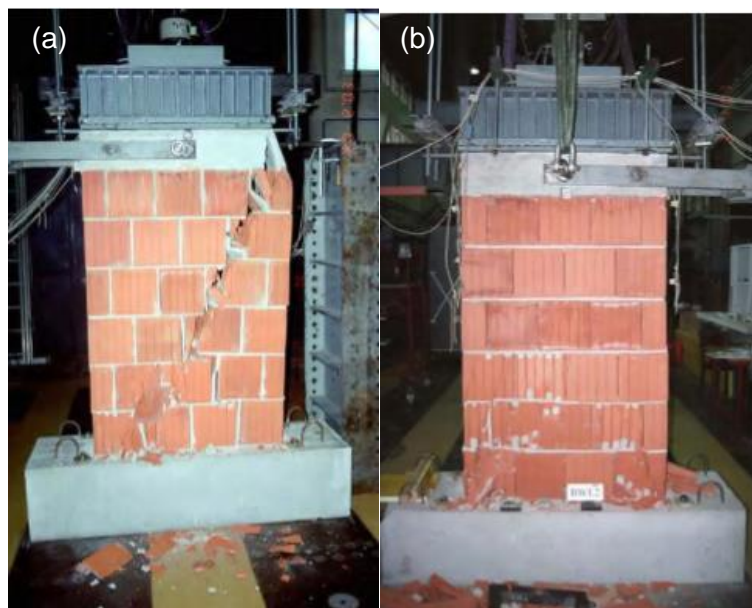
Kadar so zasuki večji od 0,4% pri strižnem mehanizmu in 0,8% pri upogibnem mehanizmu je zid kar zelo poškodovan. Pri takšni poškodbi je potrebna prezidava močno poškodovanih opek, kar stane 166,60 EUR/m². Če hočemo izboljšati potresno odpornost objekta pa lahko naredimo še armiranobetonske vezi, ki stanejo 150,00 EUR/m².



Slika 17: (a) BNL4 (DS3) (Bosiljkov e tal.,2004) in (b) BNW3 (DS3) (Bosiljkov e tal., 2006)

4.9.4 Stroški sanacije pri porušitvi

Ko je zidovje že tako močno poškodovano, kot je prikazano na slikah, ga ni mogoče sanirati, ampak je potrebno narediti novega. Strošek novega z rušenjem starega in odvoz na deponijo je 130,60 EUR/m².



Slika 18: (a) BNL6 (porušitev) in (b) BWL2 (porušitev) (Bosiljkov et al., 2004)

V tabeli 16 so prikazane okvirne cene sanacije glede na poškodovanosti zidov iz votle opeke. Pri poškodbah DS1 je za sanacijo dovolj samo kitanje in pleskanje, kar je najcenejše delo. Pri DS2 je lahko sanacija samo kitanje in pleskanje lahko pa je tudi armirano cementna obloga. Poškodovanost pri mejnem stanju DS3 je manjša, kot pri DS4 vendar je sanacija dražja, saj je izgradnja armiranobetonskih vezi veliko dražja, kot novogradnja. Pri gradnji armiranobetonskih vezi je gradnja bolj zahtevna, kot pri gradnji novega zidu.

Tabela 16: Ocena stroškov sanacije v primerjavi s poškodovanostjo za opečni zid

POŠKODOVANOST	VRSTA SANACIJE	CENA SANACIJE (EUR/m ²)
DS1	kitanje in pleskanje	14,1
DS2	kitanje in (ali) pleskanje ali armirano cementna obloga	14,10 – 105,80
DS3	armiranobetonske vezi in (ali) prezidava	150 - 316,6
DS4	Novogradnja	130,6

V tabeli 17 so prikazani stroški sanacije kamnitega zidu. Pri mejnem stanju DS1 je sanacija enaka, kot pri opečnih zidovih. Pri DS2 kamniti zid lahko injektiramo. Prezidava in injektiranje se običajno uporabljata pri mejnem stanju DS3 in sta dražja od novega opečnega zidu za več kot 50 EUR/m².

Tabela 17: Ocena stroškov sanacije v primerjavi s poškodovanostjo za kamnite zidove

DS1	kitanje in pleskanje	14,10
DS2	injektiranje	85,60
DS3	prezidava in injektiranje	186,60
DS4	Novogradnja	130,60

4.10 Primerjava sanacij različnih zidov

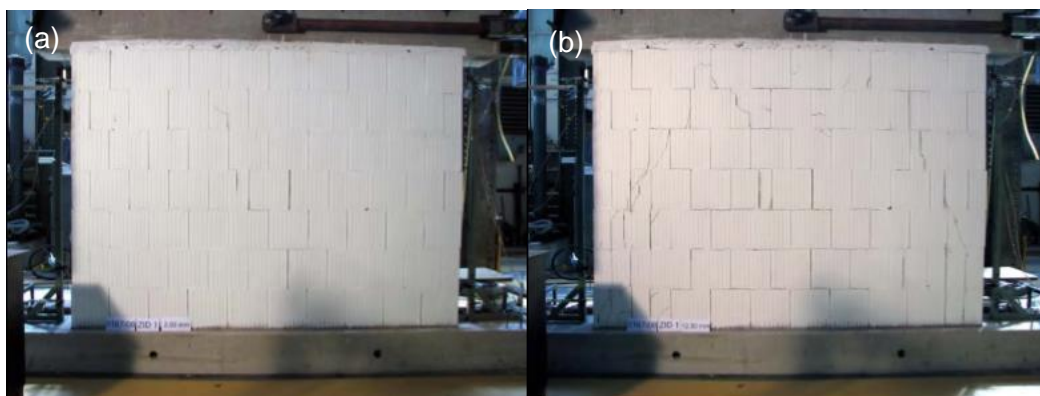
Stroški različnih sanacijskih del so si med seboj zelo različni zato bomo v nadaljevanju primerjali zidove različnih materialov, kot so kamniti zid, zid iz polne opeke ter zid iz votle opeke. Za vsa štiri mejna stanja bomo določili način sanacije za vse vrste zidov in njihove stroške, ki nastanejo tekom sanacije. Na sliki 19 so prikazani zidovi iz votle opeke pri različnih mejnih stanjih. Pokazali bomo kakšna je razlika med sanacijo kamnitega in opečnega zidu, ter razliko v stroških, če so zidovi enako poškodovani.

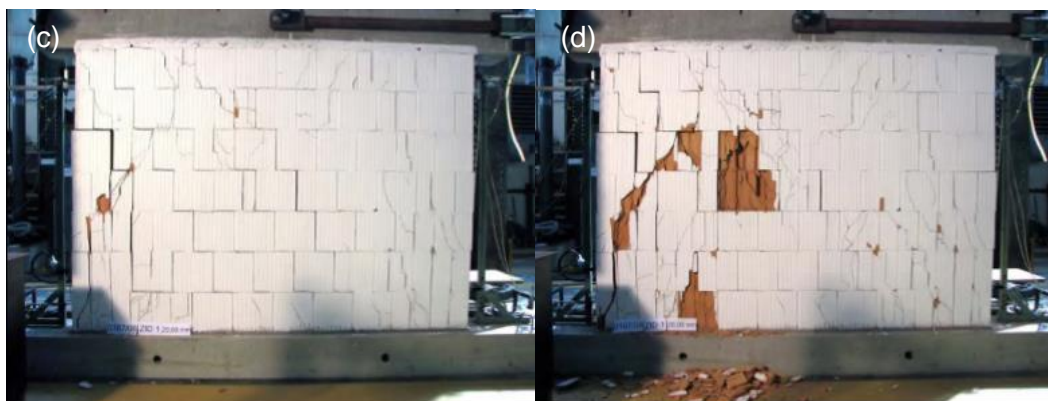
Pri mejnem stanju razpok (slika 19a) v zidu nastanejo manjše razpoke, ki so manjše od 1 mm. Zato lahko kamniti zid in zid iz polne ter votle opeke saniramo samo s kitanjem in pleskanjem. Strošek take sanacije znaša 14,10 EUR/m².

Pri mejnem stanju nosilnosti (slika 19b) so poškodbe že malo večje, kot pri mejnem stanju razpok, vendar so običajno še vedno manjše od 1 mm. Zato lahko kamniti zid, kot tudi zid iz polne opeke ali votle opeke saniramo s kitom in pleskanjem stene, kar stane 14,10 EUR/m².

Ko je zid v mejnem stanju blizu porušitve (slika 19c) pa je potrebno poškodovan kamnit zid prezidati, kar stane 142,60 EUR/m², običajno pa se prezidan zid še injektira kar še poveča ceno za 44 EUR/m². Če imamo tako poškodovan zid iz polne ali votle opeke ga je potrebno utrditi z armirano betonskimi vezmi. Stroški take sanacije so običajno večji, kot odstranitev starega zidu in postavitve novega, saj je cena armiranobetonskih vezi 199,85 EUR/m², cena novega pa 130,60 EUR/m².

Če je zid že toliko poškodovan, da smo ga uvrstili v mejno stanje blizu porušitve je običajno, da tak objekt porušimo in naredimo novega. Cena novega zidu je 130,60 EUR/m².





Slika 19: (a) Mejno stanje poškodb, (b) Mejno stanje nosilnosti, (c) Mejno stanje blizu porušitve in (d) Mejno stanje porušitve (Snoj, 2014)

5.0 ZAKLJUČEK

V okviru diplomske naloge smo pregledali bazo cikličnih testov, ki so bili narejeni v laboratoriju. Opisani so strižni in upogibni porušni mehanizem, ki se pojavijo pri obremenitvah opečnih zidov. Nato smo določili mejna stanja poškodovanosti zidu, s pomočjo danih rezultatov testov. Prvo mejno stanje smo poimenovali mejno stanje poškodb (DS1), kjer je zasuk enak, zasuku pri katerem obremenitev doseže 70% nosilnosti zidu. Zasuki pri tem menejnjem stanju se gibljejo okoli 0,1%. Pri drugem mejnem stanju DS2 je zasuk izmerjen, ki ustreza nosilnosti zidu. Zasuk pri strižnem porušnem mehanizmu je 0,4%, pri upogibnem pa 0,8%. DS3 je mejno stanje blizu porušitve, kjer je zasuk izmerjen, ko nosilnost zidu upade pod 80%. Takrat je zasuk večji od 0,4% in 0,8%, odvisno od načina mehanizma porušitve. Pri četrtem mejnem stanju DS4 pa je zidovje že tako močno poškodovano, da je nosilnost v horizontalni smeri zanemarljiva.

V diplomski nalogi so opisani postopki sanacije, ki so primerni za kamnitihe zidove ter zidove, ki so narejeni iz polne in votle opeke. Pri mejnem stanju DS1 smo za sanacijo izbrali kitanje in pleskanje, kar stane 14,10 EUR/m². Za opečni zid smo pri mejnem stanju DS2 uporabili armirano cementno oblogo, ki stane 105,80 EUR/m². Za kamnito zidovje pa smo izbrali injektiranje, kar stane 85,60 EUR/m². Za sanacijo mejnega stana DS3 smo izbrali prezidavo in injektiranje za kamniti zid, kar stane 186,60 EUR/m². Za opečni zid pa smo predlagali armiranobetonske vezi in prezidavo, kar skupaj stane 316,6 EUR/m². Pri mejnem stanju DS4 sta oba zidova že tako močno poškodovana, da je potrebno narediti novega, kar stane 130,60 EUR/m² za opečni zid. Ugotovili smo, da stroški sanacije naraščajo do mejnega stanja DS3, pri mejnem stanju DS4 pa so stroški nižji, kar je posledica novogradnje. Pri izbranih šestih opečnih zidovih smo določili primerno sanacijo glede na poškodovanost in ocenili stroške za izbrano popravilo. Ceno sanacije smo na koncu primerjali s ceno porušitve in novogradnje zidu. Pri skoraj vseh postopkih sanacije zidov iz votle opeke je cena sanacije višja od cene porušitve ter novogradnje. Samo pri kitanju in pleskanju, injektiranju posamezne razpoke, prefugiranju, ki se redkokdaj uporablja, in armirano cementni obogi je cena malo nižja od cene novogradnje. Običajno se ljudje odločajo za novogradnjo, čeprav je nekoliko dražja.

Strnemo lahko, da so postopki in stroški sanacije odvisni od poškodb in materiala iz katerega je element sestavljen. Večina popravil pri zidovih iz votlih opek je dražja, kot če bi zgradili nov zid. Zato se pri zidovih iz votlih opek redkokdaj odločamo za sanacijo in velikokrat za novo gradnjo. Ti stroški, ki so zbrani v tej diplomski nalogi so bili pridobljeni pri podjetju SANING INTERNATIONAL, d.o.o., Kranj. Seveda moramo opomniti, da bi ob močnejšem potresu, ki bi poškodoval objekte, bilo malo izvajalcev sanacijskih del in veliko povpraševanja po njih, zato bi se cene lahko tudi povečale.

VIRI

ARSO (Agencija Republike Slovenije za Okolje). Potresi. 2015.

<http://www.arso.gov.si/potresi/> (Pridobljeno 14. 8. 2015)

Bosiljkov, V., Tomaževič, M. 2006. Optimization of shape of masonry units and technology of construction for earthquake resistant masonry buildings: Part III – research report. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije: 115 f.

Bosiljkov, V., Tomaževič, M., Lutman, M. 2004. Optimization of shape of masonry units and technology of construction for earthquake resistant masonry buildings: Part I and II – research report. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije: 180 f.

Zidni bloki. Siporeks center. 2015. http://siporeks-center.si/porobetonski_elementi/zidni_bloki/ (Pridobljeno 26. 6. 2015)

Injektiranje. 2015. <http://www.inpro-projektiranje.com/strokovni-clanki/utr-ditev-zidanih-konstrukcij-stavb.html> (Pridobljeno 3. 8. 2015)

Kamnit zid. 2015.

<http://www.podsvojestreho.net/forum/download/file.php?id=742&sid=92df505f3d3d35bfeb0213509876aedc&mode=view> (Pridobljeno 24. 6. 2015)

Kržan, M. 2008. Parametrična analiza potresne odpornosti Kolizeja v Ljubljani. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Kržan): 95 f.

Kvrgič, S. 2013. Poškodovanost zidanih stavb zaradi potresov v Posočju. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Kvrgič): 49 f.

Maltni žepek. 2015. <http://www.podsvojestreho.net/forum/viewtopic.php?f=5&p=671059> (Pridobljeno 28. 6. 2015)

Perforirana opeka. 2015. Wienerberger. <http://www.wienerberger.si/terca-oxford-velike-luknje.html?lpi=1366066009512> (Pridobljeno 26. 6. 2015)

Pero in utor. Wienerberger. 2015. <http://www.peg-online.net/wienerberger> (Pridobljeno 28. 6. 2015)

Polna opeka. Porotherm. 2015. <http://www.peg-online.net/opecni-zidaki-porotherm-s-in-poroblok-1> (Pridobljeno 26. 6. 2015)

Snoj, J. 2014. Ocena potresnega tveganja zidanih stavb. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Snaj): 242 f.

Tomaževič, M. 2009. Potresno odporne zidane stavbe. Ljubljana, Tehnis: 219-257 str.

Vertikalne armiranobetonske vezi. 2015. <http://beodom.com/sr/education/entries/building-with-wienerberger-porotherm-visual-guide-part-2> (Pridobljeno 5. 8. 2015)

Votla opeka. Domtrade. 2015. <http://katalog.domtrade.si/products/show/H9ZCY62L> (Pridobljeno 26. 6. 2015)

Zid. Wikipedia. 2015. <https://sl.wikipedia.org/wiki/zid> (Pridobljeno 26. 6. 2015)

Zid iz avtoklaviranega celičnega betona. Ytong. 2015. http://www.spatiuconstruit.ro/gama-de-produse/beton-celular-autoclavizat-ytong-pentru-interior-si-exterior-ytong-xella-ro-srl-object_id=1040 (Pridobljeno 25. 6. 2015)

Zid iz betona. 2015. <http://www.masivca.si/2012/08/predpriprava/> (Pridobljeno 25. 6. 2015)

Zid iz votle opeke. 2015. <http://beodom.com/sr/news/entries/external-walls-of-amadeo-ii-ground-floor-with-klimabloc> (Pridobljeno 24. 6. 2015)