

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 izvorna različica zaključnega dela.

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

Kvrgič, S., 2013. Poškodovanost zidanih stavb zaradi potresov v Posočju. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Dolšek, M., somentor Snoj, J.): 49 str.

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:

Kvrgič, S., 2013. Poškodovanost zidanih stavb zaradi potresov v Posočju. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Dolšek, M., co-supervisor Snoj, J.): 49 pp.

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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVA

MODUL KONSTRUKCIJE

Kandidatka:

SANJA KVRGIĆ

**POŠKODOVANOST ZIDANIH STAVB ZARADI
POTRESOV V POSOČJU**

Diplomska naloga št.: 96/B-GR

**DAMAGE OF MASONRY BUILDINGS DUE TO
EARTHQUAKES IN THE POSOČJE REGION**

Graduation thesis No.: 96/B-GR

Mentor:

izr. prof. dr. Matjaž Dolšek

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov

Ljubljana, 25. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Sanja Kvrgić izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Poškodovanost zidanih stavb zaradi potresov v Posočju«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 28. 8. 2013

Sanja Kvrgić

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.042.7(497.4)(043.2)
Avtor:	Sanja Kvrgić
Mentor:	izr. prof. dr. Matjaž Dolšek
Somentor:	Jure Snoj, univ. dipl. inž. grad.
Somentor:	izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov
Naslov:	Poškodovanost zidanih stavb zaradi potresov v Posočju
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	49 str., 6 pregl., 20 sl., 4 en., 2 pril.
Ključne besede:	potresno inženirstvo, zidane stavbe, potres, poškodbe objekta, stroški obnove, Posočje

Izvleček

V diplomski nalogi analiziramo poškodovanost in stroške sanacije in rekonstrukcije izbrane skupine zidanih stavb, ki sta jih poškodovala potresa v Posočju leta 1998 in leta 2004. Vso potrebno dokumentacijo za devet opečnih stavb, pet kamnitih stavb in tri stavbe iz betonskih zidakov, od katerih sta dve stanovanjski zgradbi, smo pridobili od Državne tehnične pisarne v Tolminu in Bovcu.

Poškodovanost objektov smo analizirali na osnovi vrste razpok (horizontalne, vertikalne in diagonalne) in njihove velikosti, v smislu širine, dolžine in globine, za kar uvedemo indeks poškodovanosti. Hkrati analiziramo tudi tem poškodbam ustrezne ukrepe sanacije in utrditve s stališča stroškov in stroške sanacije oz. rekonstrukcije na kvadratni meter bruto tlorisne površine zidane stavbe ter razmerja med stroški obnove in novogradnje obravnavanih zidanih stavb.

Rezultati kažejo, da se indeks poškodovanosti za obravnavane objekte giblje od 0.01 do 0.65, kar približno pomeni tudi delež poškodovanih sten v objektu. Ugotovili smo, da visoke stroške sanacije zidanih stavb, za katere indeks poškodovanosti ne preseže vrednosti 0.65, ne povzročajo stroški sanacije še tako velikega števila razpokanih oz. poškodovanih elementov, temveč ukrepi, ki bi preprečili nastanek teh poškodb, kot je vgradnja zidnih vezi in drugi nekonstrukcijski ukrepi (novi ometi, razna dela na strehi, fasaderska dela ter popravilo električnih in strojnih inštalacij), ki so posledica poškodb konstrukcijskih elementov ali dotrajanosti objekta.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	624.042.7(497.4)(043.2)
Author:	Sanja Kvrgić
Supervisor:	Assoc. Prof. Dr. Matjaž Dolšek
Co-supervisor:	Jure Snoj, B. Sc.
Co-supervisor:	Assoc. Prof. Dr. Vlatko Bosiljkov
Title:	Damage of masonry buildings due to earthquakes in Posočje region
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	49 p., 6 tab., 20 fig., 4 eq., 2 ann.
Key words:	earthquake engineering, masonry buildings, earthquake, damage, retrofit costs, Posočje region

Abstract

The damage and retrofit costs of the selected group of masonry buildings, which were damaged by the earthquake in the Upper Posočje region in 1998 and 2004, is analyzed in the thesis. All the necessary documentation for the nine buildings made by clay brick, five stone buildings and three buildings made by concrete blocks, was obtained at the National technical office in Tolmin and Bovec.

The buildings' damage was analyzed on the basis of the type of crack (horizontal, vertical and diagonal) and their sizes in terms of width, length and depth. The damage index is introduced in order to characterize damage with single parameter. Additionally, the measures for rehabilitation and retrofit of buildings were analyzed even in terms of costs per square meter of gross floor area and in terms of the proportion between the costs of rehabilitation and those required for construction of new masonry building.

The results show that the damage index for the analyzed buildings varies from 0.01 to 0.65, which roughly means a proportion of the damaged wall of the structure. We found that the high cost of rehabilitation of masonry buildings for which the damage index does not exceed 0.65, do not cause the cost of rehabilitation of structural elements, but measures to prevent the occurrence of these damage, such as the installation of wall ties and other non-structural measures (new plaster, various works on the roof, façade works and repair of electrical and piping installations) as a consequence of the damage to structural elements or inadequacy of some parts of buildings.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Matjažu Dolšku.

Posebna zahvala gre tudi somentorju Juretu Snoju univ. dipl. inž. grad., ki me je vpeljal v delo in bil na voljo za dodatna pojasnila in nasvete.

Zahvaljujem se tudi somentorju izr. prof. dr. Vlatku Bosiljkov, ki je podal predloge za izboljšavo diplomske naloge.

Vsekakor sem dolžna posebno zahvalo tudi g. Stanislavu Begušu, dr. Blažu Dolinšku in dr. Mojmiru Uranjku iz Državne tehnične pisarne Tolmin in Bovec, saj so posredovali projekte popotresne obnove zidanih stavb zgornjega Posočja, brez katerih izdelava diplomske naloge ne bi bila mogoča.

Nazadnje bi se rada zahvalila tudi mojim staršem in sestri, ki so mi stali ob strani tekom študija in me podpirali.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
2 SPLOŠNO O ZIDANIH KONSTRUKCIJAH IN NJIHOVEM OBNAŠANJU MED POTRESI	3
3 ZAHTEVE ZA USTREZNO ZASNOVO POTRESNOODPORNIH KONSTRUKCIJ	5
3.1 Enostavnost in pravilnost konstrukcije	5
3.2 Celovito delovanje konstrukcije med potresom	6
3.3 Strehe	6
3.4 Temeljenje	6
4 TIPI POŠKODOB ZIDANIH KONSTRUKCIJ MED POTRESI	7
5 SANACIJA IN UTRDITEV ZIDANIH STAVB	10
5.1 Zagotavljanje celovitega delovanja konstrukcije med potresom	10
5.1.1 Povezovanje zidov z zidnimi vezmi v nivoju stropov	10
5.1.2 Povezovanje zidov z navpičnimi zidnimi vezmi	11
5.1.3 Sidranje stropov	11
5.2 Utrjevanje zidov	12
5.2.1 Saniranje razpok v zidovih in stropih	12
5.2.2 Armirano-cementni omet in armiranobetonski omet	13
5.2.3 Ojačitev armiranobetonskih plošč	14
5.2.4 Injektiranje kamnitih zidov	14
5.2.5 Prezidava	15
5.3 Temelji	16
5.4 Nekonstrukcijski elementi	16

6	POTRESI V POSOČJU	17
6.1	Potres 12. aprila 1998	17
6.2	Potres 12. julija 2004	18
7	ANALIZA POŠKODOVANOSTI IN STROŠKOV SANACIJE OZ. REKONSTRUKCIJE ZIDANIH STAVB PO POTRESIH V POSOČJU	20
7.1	Opis objektov in dokumentacije	20
7.2	Opis tipičnih poškodb	21
7.3	Opis tipičnih ukrepov sanacije	24
7.4	Metodologija	29
7.4.1	Metodologija za vrednotenje poškodovanosti objektov	29
7.4.2	Proces vrednotenja ukrepov s stališča stroškov ter analiza razmerja med ceno sanacije in novogradnje	32
7.5	Rezultati s komentarji in ugotovitvami	33
7.5.1	Rezultati in ugotovitve na osnovi analiziranja poškodovanosti zidanih stavb	33
7.5.2	Rezultati in ugotovitve na osnovi analiziranja stroškov ukrepov in stroškov celotne sanacije oz. rekonstrukcije zidanih objektov	36
7.5.3	Zveza med poškodovanostjo in končno ceno sanacije oz. rekonstrukcije obravnavanih zidanih objektov	42
8	ZAKLJUČEK	46
	VIRI	48

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Splošni podatki o obravnavanih zidanih stavbah: naslov, tip in material iz katerega je sezidana zidana stavba ter leto gradnje, število etaž in velikost bruto tlorisne površine (BTP) zidane stavbe (DTP, 2012a).....	20
Preglednica 2: Število in delež objektov v %, ki je izvedlo določen konstrukcijski ali nekonstrukcijski ukrep.....	24
Preglednica 3: Indikatorji glede na globino razpoke (globina _{i,j}), širino razpoke v mm (š _{i,j}) in dolžino razpoke v m (l _{i,j}), kjer l _i predstavlja dolžino elementa v m.....	30
Preglednica 4: Poškodovanost zidane stavbe opisana s številom poškodovanih elementov in številom vseh elementov ter njihovim medsebojnim razmerjem oz. deležem vseh poškodovanih elementov, indeksom poškodovanosti DI, številom razpok, njihovo dolžino in deležem dolžine razpok.....	35
Preglednica 5: Vrste izvedenih ukrepov in njihova povprečna cena v €/m ² BTP ter njihov povprečen delež stroškov glede na ceno sanacije oz. rekonstrukcije zidanega objekta.....	37
Preglednica 6: Primerjava poškodovanosti in cene obnove glede na vrsto zidanih objektov.....	42

KAZALO SLIK

Slika 1: Mehanizem nihanja zidov med potresom (Tomažević, 2009: str. 33)	4
Slika 2: Deformacije zidane stavbe in obremenitve elementov ter poškodbe (Tomažević, 2009: str. 32)	7
Slika 3: Tipični mehanizmi porušitve zidu pri potresni obtežbi v ravnini zidu (Tomažević, 2009: str. 128)	8
Slika 4: Povezovanje kamnitih zidov z obojestranskimi jeklenimi vezmi (Tomažević, 2009: str. 228)	10
Slika 5: Navpična zidna vez v prerezu (levo) in tlorisnem pogledu (desno) (Tomažević, 2009: str. 237)	11
Slika 6: Sidranje in povezovanje naknadno vgrajenih monolitnih stropov (Tomažević, 2009: str. 233)	11
Slika 7: Armirano – cementna obloga (Tomažević, 2009: str. 244)	13
Slika 8: Injektiranje kamnitega zidu (Tomažević, 2009: str. 248)	15
Slika 9: Prezidovanje hudo poškodovanega kamnitega zidu (Tomažević, 2009: str. 255)	15
Slika 10: Dobetoniranje (levo) in podbetoniranje (desno) temeljev (Tomažević, 2009: str. 256)	16
Slika 11: Prikaz ojačitve zidanega dimnika z armirano-cementno oblogo (Tomažević, 2009: str. 257)	16
Slika 12: Leto gradnje obravnavanih zidanih objektov (DTP, 2012a)	21
Slika 13: Diagonalni razpoki v višini robov okna (DTP, 2012a)	22
Slika 14: Horizontalna razpoka pod stropom v kamnitem zidu v območju jeklenih vezi (DTP, 2012a)	22
Slika 15: Vertikalna razpoka na stiku dveh kamnitih sten (DTP, 2012a)	23
Slika 16: Pojav lesnih gob, plesni in črvičnosti lesa strešne konstrukcije (DTP, 2012a)	28
Slika 17: Primer obravnavanega opečnega objekta, kjer se zatrejni zid nagne proti notranjosti za 5 cm (DTP, 2012a)	29
Slika 18: Razmerje med DI in deležem poškodovanih elementov zidane stavbe	34
Slika 19: Razmerje med DI in deležem dolžine razpok oz. razmerjem med dolžino vseh razpok v zidani stavbi in dolžino vseh elementov v zidani stavbi	34
Slika 20: Zveza med končno ceno sanacije v €/m ² BTP zidane stavbe in DI zidane stavbe	45

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Gibanje tal med potresi je prostorsko, kar pomeni, da se potresni valovi širijo v vse smeri od izvora potresa, vendar ti valovi ne povzročajo direktne obremenitve na konstrukcijo. Konstrukcije na površju so občutljive predvsem na strižne valove na površju (Love-jevi valovi), ki povzročajo horizontalno nihanje objekta, deloma pa tudi na Rayleighove površinske valove, ki povzročajo vertikalno nihanje objekta. Ker je večina starejših objektov projektirana zgolj na vertikalno obtežbo, ne pa tudi na vodoravno obtežbo, ki jo povzroča potres, je velika večina teh objektov potresno ogrožena. V primeru močnega potresa se zato starejši objekti močno poškodujejo, v najslabšem primeru pa celo porušijo. Poškodovane objekte je potrebno sanirati, za kar so med drugim potrebni tudi precejšnji finančni viri.

Območje Slovenije sodi v kategorijo s srednjo stopnjo potresne nevarnosti. V zadnjem času sta se zgodila dva močnejša potresa v zgornjem Posočju, in sicer leta 1998 in leta 2004, ki sta povzročila poškodbe na objektih. Tako je tudi večina zidanih stavb v zgornjem Posočju ob nastalih potresih utrpela veliko poškodb, saj so te stavbe večinoma grajene v obdobju med letoma 1900 in 1970 in zato niso potresno odporne. Še posebej to velja za stavbe, ki so grajene iz slabega neobdelanega kamna in imajo lesene strope. Take stavbe so med potresom najbolj občutljive.

Glede na precejšnje posledice potresov v zgornjem Posočju smo v sklopu diplomske naloge preučevali nastalo škodo na obravnavanih zidanih stavbah in temu ustrezne sanacijske ukrepe in njihove stroške ter stroške celotne obnove posamezne zidane stavbe. Na tak način smo poskušali pridobiti zvezo med poškodovanostjo zidanih stavb in končno ceno obnove teh stavb. Analizirali smo sedemnajst zidanih objektov grajenih iz modularne opeke, betonskega zidaka in kamna, ki se nahajajo na območju Bovca, Čezsoče in Trente. Za pridobitev podatkov potrebnih za to raziskavo, smo se skupaj s fakulteto obrnili na Državno tehnično pisarno v Tolminu in Bovcu, kjer so nam posredovali projekte popotresne sanacije oz. rekonstrukcije teh sedemnajstih zidanih stavb iz zgornjega Posočja.

Diplomska naloga je razdeljena v več sklopov. V prvih petih poglavjih je opisana problematika s področja odziva zidanih stavb med potresi. Podan je opis zahtev za zagotovitev čim večje potresne odpornosti zidanih stavb in opis tipičnih poškodb in temu ustreznih sanacijskih in utrditvenih ukrepov na zidanih stavbah. V šestem poglavju smo podali nekaj podatkov o potresih, ki so prizadeli zgornje Posočje leta 1998 in 2004. Sledi jedro diplomske naloge, kjer smo opisali metodologijo dela, poškodbe, ki so se pojavljale na obravnavanih zidanih stavbah, in izvedene ukrepe utrditve ali sanacije objekta. Na koncu smo podali izsledke študije s komentarji in ugotovitvami, kjer analiziramo stopnjo poškodovanosti posameznih skupin stavb, stroške posameznih ukrepov in njihov delež stroškov glede

na končno ceno sanacije oz. rekonstrukcije objekta, razmerja med ceno obnove in novogradnje zidane stavbe ter ceno sanacije na kvadratni meter bruto florisne površine stavbe.

2 SPLOŠNO O ZIDANIH KONSTRUKCIJAH IN NJIHOVEM OBNAŠANJU MED POTRESI

Zidane konstrukcije so konstrukcije škatlastega tipa. Njihove navpične konstrukcijske elemente predstavljajo zidovi, horizontalne konstrukcijske elemente pa stropi. Najpogostejše vrste zidanih stavb s katerimi se srečujemo na območju Slovenije, so glede na material sledeče: kamnite stavbe (najstarejše), opečne stavbe in stavbe iz betonskih zidakov.

Zidane konstrukcije prenašajo vertikalno obtežbo (lastno težo in koristno obtežbo) preko strehe in stropov, ki delujejo v svoji ravnini kot upogibni elementi, v zidove, katere vertikalna obtežba obremenjuje tlačno in od tod v temelje in temeljna tla. Potres lahko poenostavljeno opišemo kot ekvivalentno statično horizontalno obtežbo s prijemališčem v centru mas. Ta obtežba se prenese preko stropov v zidove, v katerih se pojavijo strižne in upogibne obremenitve, od tod pa v temelje in temeljna tla.

Za zidane konstrukcije velja, da se ne uvrščajo ravno med konstrukcije, ki niso potresno ogrožene. Po navadi šibkejše potrese še prenesejo brez večjih poškodb, ob močnejših potresih pa se dokaj hitro močno poškodujejo ali celo porušijo. Obnašanje med potresom tudi vseh različnih vrst zidanih konstrukcij glede na material, je odvisno predvsem od zasnove konstrukcije ter kakovosti materialov in same gradnje (Tomaževič, 2009).

Konstrukcije s pravilno in enostavno zasnovo konstrukcije, ki so zgrajene iz kvalitetnih materialov lahko potres prestanejo brez večjih poškodb, pa čeprav niso bile projektirane na potres. V starejših časih so stavbe zidali tudi na takšen način, da so imele nosilne zidove samo v eni smeri celotne konstrukcije. V primeru pojava potresa, ki povzroči nihanje v vseh smereh, je zato prišlo do katastrofe. Zidani objekti morajo torej imeti zadostno število nosilnih zidov v obeh smereh, prav tako pa morajo biti nosilni v obeh smereh tudi stropi, da so sposobni prenašati obtežbo v različne smeri ter povezati objekt v celoto.

Zidana konstrukcija bolje prenaša potresno obtežbo, če so zidovi poleg monolitnih stropov medsebojno povezani tudi z zidnimi vezmi, ki so v ravnini stropov. Poleg tega je za čim boljše sipanje potresne energije pomembno, da so v vogalih in sečiščih zidov vgrajene tudi vertikalne zidne vezi, ki so povezane s horizontalnimi vezmi vse do strešne konstrukcije. Sicer same zidne vezi, tako

horizontalne kot vertikalne, nimajo odločilne vloge pri prenosu obtežbe, temveč je njihova vloga povezava zidov in s tem povečanje odpornosti in duktilnosti celotne zidane konstrukcije.

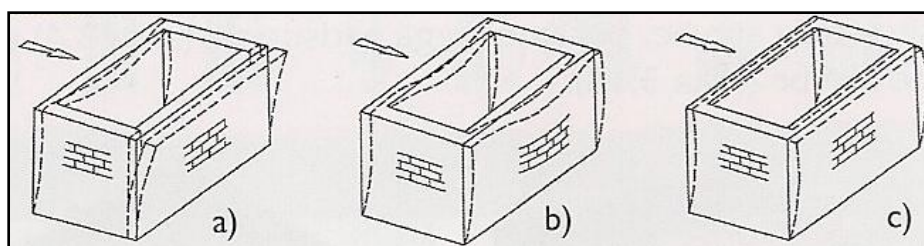
Poznamo več vrst izvedbe zidnih vezi. V zadnjem času se uporabljajo predvsem armiranobetonske vezi ali pa jeklene vezi (utrđitev), včasih pa so se uporabljale tudi lesene, katere se danes načeloma ne vgrajuje več. Po navadi se zidane stavbe, ki so primerno povezane z vezmi, bistveno bolje potresno odporne kot tiste brez zidnih vezi.

V starejših zidanih stavbah, kot so kamnite stavbe, so zidovi povezani le z lesenimi stropi, ki pa v potresu delujejo kot podajne vodoravne diafragme. Takšni objekti prenašajo potresno obtežbo zelo slabo. Zidovi nihajo neuskkljeno, zato se pojavi možnost ločevanja zidov ali celo izpada dela zidu in porušitev le-tega (slika 1a). V najboljšem primeru pa takšni objekti utrpijo močne poškodbe v obliki razpok.

Tudi opečno zidani objekti in objekti zidani iz betonskih zidakov ter monolitnih armiranobetonskih plošč, ki delujejo sicer kot toge diafragme, prav tako utrpijo močne poškodbe, če nimajo horizontalnih zidnih vezi, ki bi zidove povezovala v celoto. Toge plošče sicer v tem primeru zmanjšajo verjetnost ločevanja in porušitve dela zidov.

Če v nivoju lesenih stropov zidove povežemo tudi z zidnimi vezmi, se bo takšna stavba med potresom bolje obnašala, vendar je nihanje zidu pravokotno na njihovo ravnino še zmeraj kritično (slika 1b).

Šele kadar imamo monolitne plošče v kombinaciji z zidnimi vezmi, se izkoristi celotna potresna odpornost (slika 1c). Takrat potresno obtežbo prevzamejo zidovi, ki stojijo v smeri delovanja potresa, zidovi, ki stojijo pravokotno na smer delovanja potresa, pa delujejo kot plošča, ki je vpeta na vseh štirih robovih, in je že njena običajna nosilnost zadostna da prevzame lokalne potresne obremenitve, s tem pa vpliv upogiba postane minimalen (Fajfar, 1995).



Slika 1: Mehanizem nihanja zidov med potresom (Tomažević, 2009: str. 33)

3 ZAHTEVE ZA USTREZNO ZASNOVO POTRESNOODPORNIH KONSTRUKCIJ

Minuli potresi so pokazali, da na zagotavljanje primerne obnašanja konstrukcije med potresi vsekakor vpliva pravilna zasnova konstrukcije, pa tudi dobra kakovost materialov. Zidane stavbe, ki imajo pravilno razporeditev zidov, ki so ustrezno medsebojno povezani v vertikalni in horizontalni smeri in so sezidane iz kvalitetnih materialov so se pogosto med potresi obnašale zelo dobro, čeprav sploh niso bile projektirane na potres.

Tomažević (2009) meni, da moramo pri zasnovi potresno odporne zidane konstrukcije vedno upoštevati naslednja osnovna načela.

3.1 Enostavnost in pravilnost konstrukcije

Veliko boljše je, če je oblika stavbe kvadratna ali pravokotna brez dozidkov ali izzidkov, nosilni in vezni zidovi pa morajo biti enakomerno in simetrično porazdeljeni v obeh nosilnih smereh tako glede togosti kot tudi glede porazdelitve nosilnosti, saj nikoli ne vemo v kateri smeri bo potresna obtežba prevladovala. S tem se težnostna in potresna obtežba na jasen, nemoten način prenašata iz elementa v element. Potresna energija se bo s tem tudi enakomerno sipala po celotni konstrukciji, tako da bodo poškodbe, če bo do njih prišlo, enakomerno porazdeljene po konstrukcijskih elementih. V primeru, da konstrukcijski elementi niso enakomerno in simetrično porazdeljeni po tlorisu in po višini zidane konstrukcije, pride do manjšega ali večjega odmika masnega težišča od težišča togosti, posledično s tem pa nastanejo torzijska nihanja med potresom in preobremenitve elementov pretežno v enem delu konstrukcije. V splošnem je zelo pomembna tudi robustnost konstrukcije oz. možnost prerazporeditve obtežbe s poškodovanih na manj poškodovane zidove.

Prav tako morajo biti zidane stavbe pravilne tudi po višini. Mišljena je enakomerna porazdelitev elementov, ki prenašajo potresno obtežbo in enakomerna porazdelitev mas in togosti. Predvsem se izogibamo nenadnih sprememb togosti po višini, saj to privede do koncentracije napetosti na nivoju sprememb togosti in nadalje do hudih poškodb na tem mestu ali celo do porušitve stavbe. Najbolj znan primer hipne spremembe togosti po višini je primer »mehkega pritličja oz. mehke etaže«. To je stavba, ki ima podajno pritličje in zgornje etaže zelo toge (lahko povzroči že veliko število nekonstruktivnih elementov), zato je območje med mehkim pritličjem in bolj togo zgornjo konstrukcijo najbolj dostopno za sipanje seizmične energije in s tem dovzetno velikim poškodbam.

3.2 Celovito delovanje konstrukcije med potresom

Drugo pomembno načelo je celovito delovanje konstrukcije med potresom. To pomeni, da morajo biti zidovi dovolj močni, da prevzamejo potresne sile, medsebojno ustrezno povezani z vertikalnimi vezmi izvedenimi v vseh vogalih, v vseh stikih ali sečiščih, pa tudi s horizontalnimi vezmi in s stropnimi konstrukcijami, ki v vodoravni ravnini delujejo kot toge diafragme in porazdelijo potresne sile na posamezne zidove v razmerju togosti. Da bodo stropne konstrukcije delovale kot toge diafragme pa morajo biti po celotnem tlorisu stavbe v isti ravnini in morajo biti nosilne v obeh smereh, saj tako porazdelijo lastno in koristno obtežbo enakomerno na zidove v obeh glavnih smereh. Poleg tega pa so v ravnini stropov pomembne tudi horizontalne zidne vezi, ki zidove še boljše medsebojno povežejo in tako ne dovoljujejo, da bi potresna obtežba, ki deluje pravokotno na ravnino stropov povzročila ločevanje zidov vzdolž stikov.

3.3 Strehe

Strešna konstrukcija mora biti za dobro prenašanje potresne obtežbe in nadalje prenos teh potresnih sil na zidove »zavetrovana« v obeh pravokotnih smereh, na pravilen način povezana in predvsem ustrezno sidrana v zidno vez oz. zidove, ki jo nosijo. Če streha ni »zavetrovana«, lahko povzroča velike bočne pritiske na zidove, to pa naprej povzroči razrivanje podstrešnih zidov, nastanek navpičnih razpok na stikih in tudi možnost ločevanja zidu (Tomažević, 1987). Pomembno je tudi, da ni masivna. Čim lažja je, tem manjše potresne sile bomo s tem dosegli.

3.4 Temeljenje

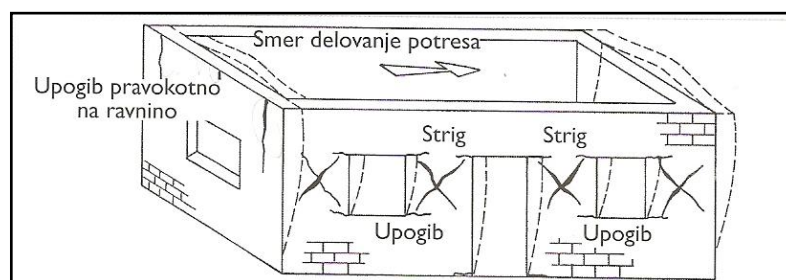
Ne smemo pozabiti tudi ustreznega temeljenja, saj je konec koncev potrebno zagotoviti tudi ustrezen prenos vseh obremenitev iz zgornjega dela konstrukcije na sistem temeljev in nadalje temeljnih tal. Če se temeljna tla porušijo še preden zgornja konstrukcija sploh doseže mejno nosilnost tvegamo, da se konstrukcija med potresom razmeroma malo poškodovana prevrne (Tomažević, 2009).

4 TIPI POŠKODOB ZIDANIH KONSTRUKCIJ MED POTRESI

V tem poglavju so predstavljene tipične poškodbe zidanih stavb in vzroki za nastanek le-teh po povzetku zapisa dr. Tomaževiča (2009). Ne glede na to ali so zidane stavbe zgrajene iz kamna ali modularne opeke, ali pa so to modernejše zidane stavbe iz betonskih zidakov, lahko ob potresu utrpijo naslednje vrste poškodb:

- navpične razpoke na medsebojnih stikih zidov in v vogalih zidov,
- vodoravne razpoke na stikih med zidom in stropom,
- poševne razpoke v zidnih slopih,
- razpoke v parapetnih delih zidov,
- ločitev zunanjih zidov,
- porušitev zunanjih zidov izven njihove ravnine,
- delni razpad ali porušitev zidov,
- delna ali popolna porušitev zgradbe (Tomaževič, 1987).

Deformacije zidane stavbe in obremenitve elementov ter poškodbe so prikazane na sliki 2.



Slika 2: Deformacije zidane stavbe in obremenitve elementov ter poškodbe (Tomaževič, 2009: str. 32)

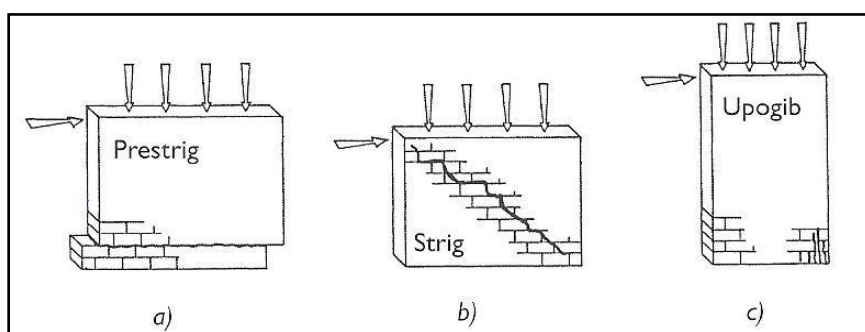
Razpoke se pojavljajo predvsem na mestih kjer so obremenitve največje, to pa je v spodnji etaži zidane stavbe, najpogosteje v oslabljenih delih, kot so deli zidov med okenskimi in vratnimi odprtinami. Če je potres dolgotrajen lahko pride tudi do porušitev spodnjih etaž in s tem porušitve celotne stavbe, saj spodnja etaža ni več sposobna prevzemati vertikalne obtežbe (Tomaževič, 2009).

Vzroki za nastanek poškodb oz. razpok na nosilnih zidovih so različni. Zidana stavba, ki ima lesen strop brez horizontalne vezi, slabo medsebojno povezuje nosilne zidove in ne deluje kot toga diafragma, ki porazdeli potresno obtežbo na zidove v razmerju togosti, pač pa vsak zid zase nosi vso obtežbo, ki pade nanj. Vedno pa so tu najbolj kritični tisti zidovi, ki so postavljeni v smeri pravokotno na delovanje vztrajnostnih sil, ki jih povzroča potres, saj se lahko zaradi tega upognejo izven svoje

ravnine in posledično s tem nastanejo navpične razpoke na teh zidovih. V tem primeru navadno nastanejo razpoke tudi na zidovih, ki so postavljeni v smeri delovanja potresne obtežbe, le-te pa so horizontalne razpoke na stiku stropa in zidov in vertikalne razpoke na vogalih zidov. Slednje so posledica premajhne natezne ali vertikalne strižne trdnosti vzdolžnih zidov, ki ne morejo prevzeti vztrajnostnih sil, ki nastanejo v prečnih zidovih, posledično s tem pa nastopijo neusklajena nihanja posameznih zidov in možnost za porušitev zunanjih zidov. Če pride do zelo močnega potresa, lahko zidove v smeri pravokotno na delovanje potresa, potres celo iztrga oz. deli takih zidov lahko izpadejo ali pa izpadejo tudi celotni fasadni zidovi (D'Ayala, Speranza, 2003).

Potresno bolj obremenjeni zidovi pa so zidovi v smeri potresne obtežbe. Tako obremenjeni zidovi se običajno porušijo na tri načine. Pri običajnih dimenzijah zidov prevladujejo mehanizmi porušitve, ki so povezani s strigom. Prvi tak mehanizem porušitve v zidanih stavbah po navadi nastopi v zadnji etaži pod strešno konstrukcijo, kjer so navpične obremenitve najmanjše in največji pospeški med potresom. Nastopi prestrig zidu na dva dela, kjer zgornji del drsi po enem izmed naležnih reg (slika 3a). Drugi strižni mehanizem porušitve pa je posledica potresnih horizontalnih sil, ki povzročijo na sredini zidu maksimalne natezne napetosti v smeri diagonale, zato na tem mestu nastane diagonalna razpoka, ki je lahko samo ena v primeru močnega sunka potresa ali kratkotrajnega potresa, ali pa imamo dve diagonali razpoki, v obliki črke X, ki nastaneta ob časovno daljših potresih (slika 3b). Diagonalne razpoke lahko potekajo bodisi po naležnih in navpičnih regah, bodisi po diagonali med zidaki, bodisi deloma po regah in deloma po zidakih.

Zadnji mehanizem porušitve pa nastopi zaradi prekoračene tlačne nosilnosti pri upogibu. Upogibna obremenitev prevladuje nad strižno, ki je sicer tipična obremenitev zidov med potresi, takrat, kadar imamo opravka z zidovi, ki so visoki in ozki. V takšnih zidovih se običajno pojavijo horizontalne razpoke na stikih med zidaki in malto. Poleg tega je značilno, da se pojavi drobljenje na robu tlačnega dela zidu. Poševne strižne razpoke (slika 3c) se pri »čisti« upogibni porušitvi ne pojavijo.



Slika 3: Tipični mehanizmi porušitve zidu pri potresni obtežbi v ravnini zidu (Tomažević, 2009: str. 128)

Veliko poškodb na sami zidani konstrukciji pa je lahko tudi posledica poškodovanih ali celo porušeni temeljev. Le-ti pa so se poškodovali zaradi posledic potresa, kot so zdrs pobočja, ta pa nadalje povzroči posedke temeljev in s tem nagib celotne stavbe, likvefakcije z vodo prepojenih peskov, ki zopet povzroči posedke temeljev in s tem potopitev zgradbe, nagib ali celo prevrnitev. Zelo občutljive med potresom pa so tudi stavbe, ki so grajene na pilotih, kjer zopet pride do posedkov in s tem do nagiba ali celo prevrnitve stavbe (Tomaževič, 2009).

Pogoste pa so tudi poškodbe nekonstrukcijskih elementov kot so predelne stene, dimniki, kritina, ki se rušijo že pri manjših potresih. Ravno tako krovne konstrukcije, ki niso »zavetrovane«, lahko povzročajo velike bočne pritiske na zidove, kar povzroči razrivanje podstrešnih zidov in nastanek vertikalnih razpok na stikih ali pa ločevanje zidu. Predelne stene kot tipičen primer sekundarne konstrukcije niso ločene od nosilnih zidov, zato sledijo njenim deformacijam, ker pa so še dodatno zgrajene iz navadno manj kvalitetnejših materialov so sploh podvržene poškodbam, kot so odpadanje malte in krušenje v nastopu potresa (Tomaževič, 2009).

V splošnem je potrebno omejiti tako poškodbe konstrukcijskih kot nekonstrukcijskih elementov, saj lahko pretirane poškodbe oz. porušitve konstrukcijskih elementov povzročijo veliko škodo še na sekundarnih elementih in obratno.

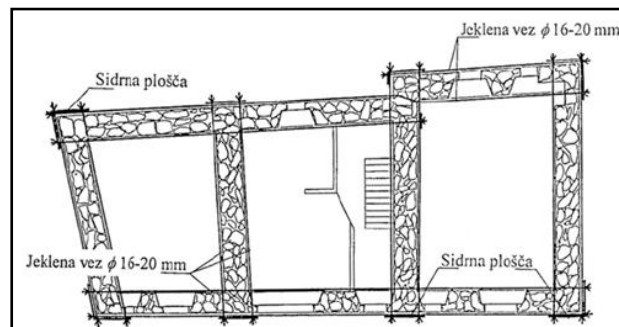
5 SANACIJA IN UTRDITEV ZIDANIH STAVB

V tem poglavju se osredotočimo na način izvedbe ukrepov sanacije in utrditve poškodovanih zidanih objektov po zapisih dr. Tomaževiča (2009). Odločitev o tem ali bomo konstrukcijo po potresu samo popravili oz. sanirali ali pa jo bomo utrdili je odvisna od njene potresne odpornosti. Če je bila potresna odpornost konstrukcije ustrezna in so nastale poškodbe v predvidenem dovoljenem obsegu poškodb, lahko takšno konstrukcijo samo popravimo in jo vrnemo v stanje pred potresom. V nasprotnem primeru, ko sta obseg in stopnja poškodb po potresu presegla predvideni obseg, je očitno, da konstrukcija ni imela zadostno potresno odpornost in jo bo zato potrebno z ustreznimi ukrepi, odvisno od računske analize potresne odpornosti, utrditi in sanirati (Tomaževič, 2009). Osnovni ukrep za izboljšanje potresne odpornosti zidane stavbe se nanaša na zagotovitev celovitega delovanja konstrukcije med potresom, kar dosežemo z vgradnjo manjkajočih zidnih vezi v sečiščih zidov in v nivoju stropov za dobro medsebojno povezavo zidov s stropi. Če so poškodbe posledica manjkajočih nosilnih zidov, se te na novo vgradi. V primeru, da zidovi niso zelo poškodovani, da bi bili potrebni porušitve, jih lahko utrdimo z armirano-cementnimi ometi ali pa z injektiranjem cementne silikatne mase. Kadar pa je potrebno izboljšanje nosilnosti temeljev izvedemo obbetoniranje in podbetoniranje temeljev.

5.1 Zagotavljanje celovitega delovanja konstrukcije med potresom

5.1.1 Povezovanje zidov z zidnimi vezmi v nivoju stropov

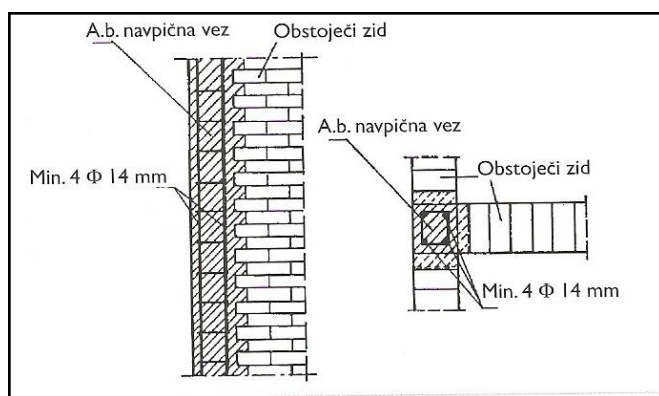
Prvi zelo pomemben ukrep je povezovanje zidov z zidnimi vezmi. Če imamo lesen strop, ki ni ustrezno sidran ali pa sploh ni sidran v zidovje, ta ne more preprečiti ločevanja zidov in s tem možne porušitve, katero pa lahko preprečimo, če zidove povežemo z jeklenimi vezmi (slika 4). Poleg tega, da vgradimo jeklene vezi na nivoju stropov, lahko lesene stropne tudi utrdimo in ustrezno sidramo v zidovje z jeklenimi vijaki in sidrnimi ploščami.



Slika 4: Povezovanje kamnitih zidov z obojestranskimi jeklenimi vezmi (Tomaževič, 2009: str. 228)

5.1.2 Povezovanje zidov z navpičnimi zidnimi vezmi

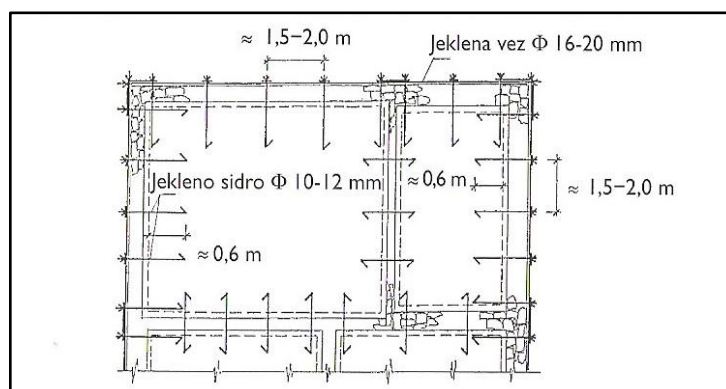
Utrditev zidovja z navpičnimi povezovalnimi elementi je v določenih primerih po Evrokodu 8 lahko tudi obvezno, saj ta zagotavlja veliko boljše povezanost zidovja, s tem pa se zagotovo izboljša potresna odpornost zidane stavbe. Ta ukrep pride predvsem v poštev pri novejših grajenih opečnih stavbah, kjer bi morala zidana stavba že imeti povezano zidovje z vodoravnimi armiranobetonskimi zidnimi vezmi in togimi stopnimi konstrukcijami. Na tak način bo lažje vgraditi tudi navpične vezi in sistem bo resnično deloval kot celota (slika 5), v primerjavi z starejšimi objekti, kjer tega nimajo.



Slika 5: Navpična zidna vez v prerezu (levo) in tlorisnem pogledu (desno) (Tomažević, 2009: str. 237)

5.1.3 Sidranje stropov

Včasih lesene stropje zamenjamo z monolitnimi armiranobetonskimi in jih ustrezno z jeklenimi sidri sidramo v zidovje ter jih tako povežemo med seboj. Način izvedbe takšnega ukrepa je prikazan na sliki 6.



Slika 6: Sidranje in povezovanje naknadno vgrajenih monolitnih stropov (Tomažević, 2009: str. 233)

5.2 Utrjevanje zidov

5.2.1 Saniranje razpok v zidovih in stropih

Razpoke, ki se pojavijo so lahko večje ali manjše. Meja med njima je po Evrokodu 8-3 10 mm, kar pa se ne ujema z eksperimentalno raziskavo, ki kaže, da je 1 mm največja sprejemljiva širina razpok za preprojektiranje zidanih stavb (Tomažević, 2009). Če imamo majhne širine razpok na majhni debelini zidu se te zaprejo z malto, če pa imamo opravka z debelejšim zidom se razpoke zaprejo s cementno injekcijsko maso. Razpoke se lahko tudi zlepijo z epoksidnimi injekcijami, če njihova širina ne presega 1 mm, ali pa s cementnimi injekcijami, če se širina razpok giblje med 0,3-3,0 mm. Za tanjše razpoke cementna injekcija ni primerna. Potek injektiranja s cementno injekcijsko maso sledi v zaporedju odstranitve poškodovanega ometa, vrtanja lukenj v razpoke in vstavljanje injekcijskih cevk v le-te. Sledi čiščenje razpok (z vodo) in površine zidu, zapiranje razpok in učvrstitev cevk s hitro-vezočo malto. Injekcijska mešanica je navadno sestavljena iz 90% portlandskega cementa in 10% opalske breče, pri injektiranju širših razpok pa je možen dodatek finega peska. Z injektiranjem dosežemo prvotno nosilnost ali celo izboljšamo nosilnost zidu, medtem ko se togosti zidu na ta način ne da povečati (Tomažević, 2009).

Če pa so v zidani stavbi razpoke zelo široke, se le-te zaprejo z cementno malto. V nosilnih zidovih se najprej odstrani omet in slaba malta iz rege ali razpoke do globine 7 cm izmenično obojestransko. Nato se razpoko očisti in zapolni s podaljšano cementno malto v razmerju 1:2:6. Predelne zidove se sicer sanira na podoben način po sledečem postopku. Odstrani se omet v območju razpoke, vendar se poglobi in razširi razpoka v obliki črke V do ene tretjine debeline zidu. Po čiščenju se razpoka zapolni s podaljšano cementno malto v razmerju 1:2:6. Sicer so tak način izvedbe saniranja razpok v nosilnih in predelnih zidovih določili gradbeni projektanti na izbranem vzorcu skupine zidanih stavb, ki jih obravnavamo v nadaljevanju. Pomembno je pripomniti, da bi lahko razširili razpoko kvečjemu do ene šestine debeline zidu, saj le tako ne povzročimo nategov, ki imajo lahko za posledico porušitev zidu.

V primeru razpok na kletnih zidovih, ki so po navadi pri sodobnih zidanih objektih tudi betonska, se razpoke sanirajo z nizko viskozno epoksidno smolo.

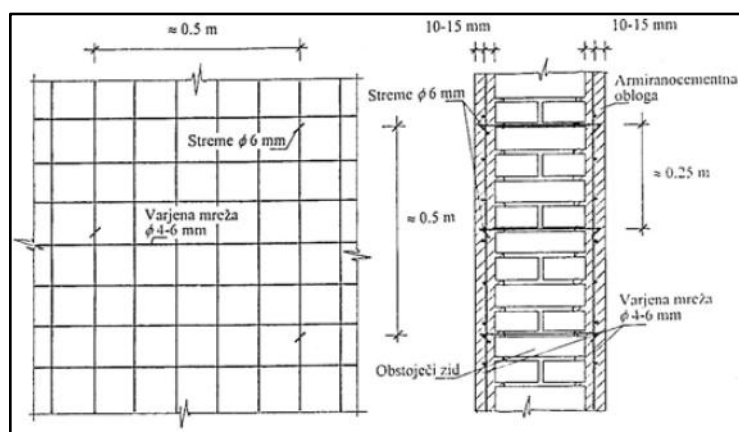
Pri novejših opečnih objektih in objektih grajenih iz betonskih zidakov imamo že monolitne armiranobetonske plošče, kjer pojav razpok v betonskih ploščah prav tako saniramo z nizko viskozno epoksidno smolo.

5.2.2 Armirano-cementni omet in armiranobetonski omet

Kadar imamo opečni zid zelo poškodovan, ki je hkrati potreben tudi utrditve, izvedemo oblaganje zidu z armirano oblogo z ene ali pa z obeh strani, s katero izboljšamo nosilnost, duktilnost in sposobnost sipanja energije. Dobra lastnost takšne utrditve zidu je, da nam armirana obloga zelo poveča strižno odpornost zidu in postane bolj kritična upogibna nosilnost na mestu največjega upogibnega momenta, kar je ugodnejši porušni mehanizem zidu med potresom (Tomažević, 2009).

Postopek izvedbe je sledeč. Najprej se odstrani obstoječ omet in sanira razpoke. Nato se očistijo spojnice med opekami do globine 10-15 mm, zatem pa se dobro očisti še zid, omoči in obrizga s cementnim obrizgom. V dobro razprašene vrtine v fino cementno malto se vgradi sidra (približno premera 8 mm in 4 kose sidra/m²), ki zagotavljajo medsebojno povezavo obeh slojev armiranega ometa (slika 7). Sledi nanos prvega sloja ometa, debeline od 10 mm do 15 mm, čez pa se postavi armaturna mreža, ki se poveže s predhodno pripravljenimi sidri z armaturno mrežo na drugi strani zidu. Sledi še nanos drugega sloja ometa, iste debeline. Skupna debelina obloge je tako na eni strani zidu približno 30 mm, na obeh straneh skupaj pa 60 mm.

V primeru kamnitih objektov in objektov iz betonskih zidakov, ki potres načeloma prenašajo še slabše kot opečni objekti, le-te utrjujemo z debelejšo oblogo, kot je armiranobetonska. Vsako stran zidu dobetoniramo z betonom v debelini 10 cm in armiramo z armaturno mrežo, ki se na obeh straneh zidu poveže s sidri (približno 3 kos/m²). Tako je skupna debelina obloge na obeh straneh zidu precej debelejša v primerjavi z armirano-cementno oblogo, in sicer znaša 200 mm.



Slika 7: Armirano – cementna obloga (Tomažević, 2009: str. 244)

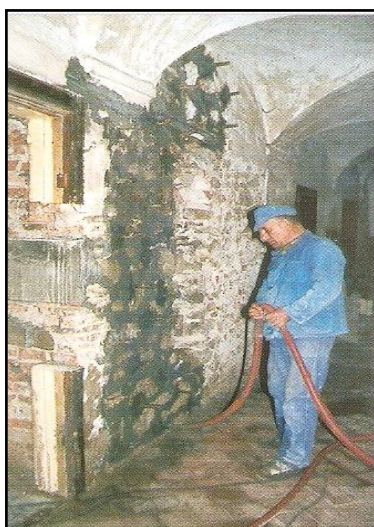
5.2.3 Ojačitev armiranobetonskih plošč

Kadar imamo pri opečnih objektih in objektih iz betonskih zidakov opravka z armiranobetonskimi ploščami, ki so med potresom utpele močne razpoke, je smiselno take elemente tudi utrditi. Po sanaciji razpok elemente ojačimo oz. jim povečamo nosilnost z dolepljanjem dodatne armature v obliki karbonskih lamel ali pa jeklenih lamel z epoksidnim lepilom.

5.2.4 Injektiranje kamnitih zidov

Za kamnite stavbe velja, da so njihovi zidovi grajeni iz neobdelanega kamna in z malto slabe kakovosti. Takšni zidovi med potresom utrpijo velike količine razpok in jih je zato potrebno utrditi. Ker imajo kamniti zidovi veliko votlin je pogost način utrditve kamnitih zidov z vtiskovanjem injekcijske mešanice. Injekcijska masa tako zapolni votline in po strjevanju poveže kamnito zidovje v monolitno strukturo. S tem se poveča nosilnost, pa tudi togost zidu, zato je pomembno, da se injektiranje izvede po celotni tlorisni površini stavbe enakomerno, sicer lahko pride zaradi povečane togosti posameznega dela zidu, do sprememb v porazdelitvi potresnih sil na zidove in s tem do neugodnih torzijskih vplivov med potresom. S tako utrditvijo tako preprečimo razslojevanje ali pa razpadanje zidu. Sicer se učinek utrjevanja kamnitih zidov z injektiranjem še bolj poveča pri nehomogenih in šibkih zidovih (Tomažević, 2009).

Suhi del injekcijske mešanice je sestavljen iz 90% portlandskega cementa in 10% opalske breče, nato pa se še doda voda v razmerju 1:1. Da preprečimo vlaženje injektiranega zidu se običajno dodajo še razni dodatki za povečevanje higroskopsnosti zidu. To mešanico vtisnemo skozi zid s pomočjo cevke. Najprej se do polovice debeline zidu izvrtajo luknje, v medsebojni razdalji 0,5 m-1,0 m v katere se vstavijo plastične ali kovinske cevke, le-te pa se zaprejo s hitrovezočo malto, s katero premažemo tudi stike med kamni, če zidna površina ni ometana. Nato zidovje omočimo in se lotimo injektiranja od spodaj navzgor, pri čemer maso vtiskamo v eno cevko toliko časa, dokler pri sosednji cevki ta masa ne priteče iz zidu. Postopek potem prekinemo, zamašimo cevko in postopek ponovimo pri sosednji cevki (Tomažević, 2009). Injektiranje kamnitega zidu je prikazano na sliki 8.



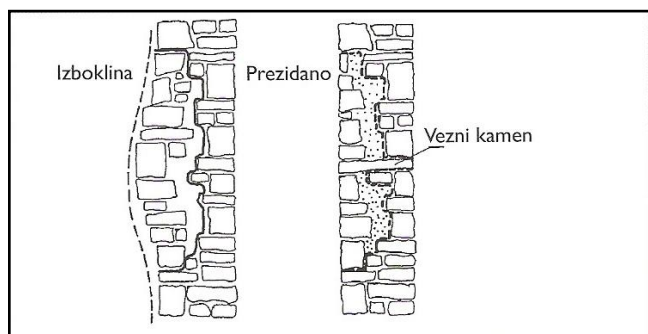
Slika 8: Injektiranje kamnitega zidu (Tomažević, 2009: str. 248)

5.2.5 Prezidava

Kadar imamo močno poškodovane zidove, pri katerih pride tudi že do razslojevanja ali celo odpadanja dela zidovja in jih moramo zaradi kakršnihkoli razlogov ohraniti, se odločimo za prezidavo zidu. Poškodovani del porušimo, preostali del konstrukcije pa ustrezno zavarujemo (Tomažević, 2009).

Pri opečnih konstrukcijah to naredimo tako, da pri gradnji novega dela zidu uporabimo kar stare odstranjene opeke, če pa so nove morajo biti čim bolj podobne starim. Če pa to ni mogoče izvedemo stik med novim in starim zidovjem »na zob« in oba dela zidova povežemo s kovinskimi sidri, ali pa kar uporabimo armirano-cementno oblogo (Tomažević, 2009).

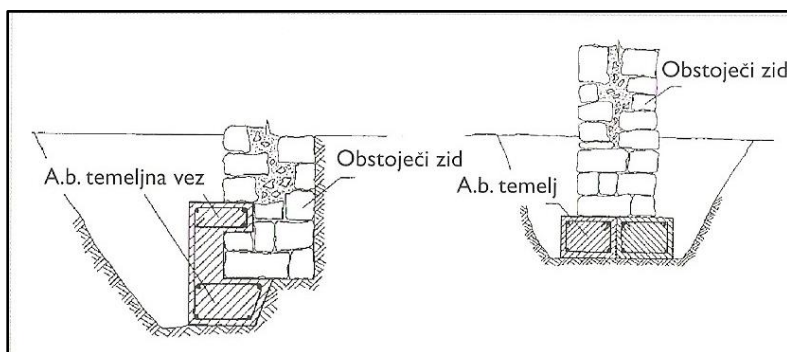
Pri kamnitih zidovih prav tako lahko uporabimo odstranjeni kamen, vendar ga po potrebi obdelamo, za vezivo pa uporabimo kvalitetnejšo in močnejšo malto. Na vsaki kvadratni meter površine, pa med oba nosilna zidova vgradimo vezne kamne, s čimer izboljšamo homogenost zidu (slika 9).



Slika 9: Prezidovanje hudo poškodovanega kamnitega zidu (Tomažević, 2009: str. 255)

5.3 Temelji

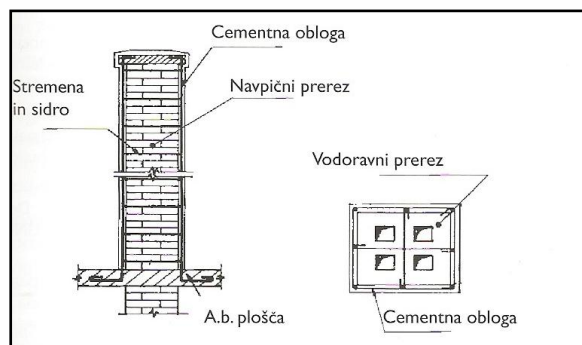
Redkokdaj nastopi porušitev dela ali celotne zidane stavbe zaradi porušitev temeljev, ki naj bi bila posledica potresne obtežbe. Kvečjemu moramo utrditi temelje, da bi zagotovili dobro medsebojno povezanost med zidovi v ravnini temeljev in omogočili delovanje zidane stavbe kot škatlastega sistema med potresom. Zato se največkrat obstoječi temelji podbetonirajo in dobetonirajo, z novimi armiranobetonskimi temelji ali pa temeljnimi vezmi, ki jih imamo lahko pod temeljem ali pa na straneh zidov (slika 10).



Slika 10: Dobetoniranje (levo) in podbetoniranje (desno) temeljev (Tomaževič, 2009: str. 256)

5.4 Nekonstrukcijski elementi

Prav tako redkokdaj nastopi porušitev stavbe zaradi porušitve nekonstrukcijskih elementov, kot so predelne stene, zatrejni zidovi, dimniki, strešniki in okraski. Le-ti pa lahko s svojimi padci kvečjemu povzročijo poškodbe ostalih nosilnih delov konstrukcije ali pa, kar je najbolj nevarno, poškodujejo mimoidoče ljudi. Da bi to preprečili, moramo nekonstrukcijske elemente ustrezno sidrati z jeklenimi sidri ali pa jih armirati. Zatrepe povežemo z armiranobetonskimi vezmi. Dimnike ojačimo z armirano-cementno oblogo, armaturo pa ustrezno sidramo v zgornjo ploščo ali navpično konstrukcijo (slika 11), strešnike pa po navadi ustrezno pritrdimo na strešno konstrukcijo (Tomaževič, 2009).



Slika 11: Prikaz ojačitve zidanega dimnika z armirano-cementno oblogo (Tomaževič, 2009: str. 257)

6 POTRESI V POSOČJU

V tem poglavju so opisani potresi, ki so najbolj prizadeli zgornje Posočje. Njihovi osnovni podatki kot so točen datum, čas, lokacija žarišča, njihova intenziteta ter magnituda, na drugi strani pa statistika poškodovanih objektov so zbrani po zapisih dr. Vidriha (2008).

Potresi, ki so prizadeli zgornje Posočje so:

- potres v Furlaniji leta 1976 (italijanski potres, z grozovitimi posledicami v zgornjem Posočju, poškodovanih ali uničenih 12000 objektov),
- potres 12.4.1998 ob 10:55 po svetovnem času (poškodovanih blizu 4000 objektov)
- potres 12.7.2004 ob 13:04 po svetovnem času (poškodovanih blizu 2000 objektov).

6.1 Potres 12. aprila 1998

Na velikonočno nedeljo 12. aprila leta 1998 ob 10:55 po svetovnem času, je zgornje Posočje pretresel močan potres, ki ga je povzročil tako imenovani Ravenski prelom. Žarišče potresa je nastalo med dolino Lepene in Krnskim pogorjem v globini 8 km neposredno pod površjem nekaterih domačij, zato so le-te utpele veliko poškodb, saj so valovi pripotovali naravnost navzgor in te domačije dobesedno dvignile, v primerjavi s Furlanskim potresom, kjer se je ta čutil kot neko nihanje. Ta potres je dosegel magnitudo 5,6, intenziteto pa med VII. in VIII. stopnjo po lestvici EMS. Čutili so ga prebivalci celotne Slovenije in tudi nekateri deli desetih okoliških držav (Vidrih, 2008).

Največji učinki na zgradbe z intenziteto VII.-VIII. po EMS so nastopili v vaseh Magozd, Lepena, Spodnje Drežniške Ravne in Tolminske Ravne ter na planini Polog in Javorci. Malo manjši učinki pa so bili v Zgornjih Drežniških Ravnah, Kal-Koritnici, v Mali vasi v Bovcu, Krnu itd. Poškodovanih je bilo okoli 4000 objektov (Vidrih, 2008).

Če povzamemo analizo podatkov o poškodovanih objektih po dr. Vidrihu (2008) lahko zapišemo sledeče. Podatke za statistično analizo so pridobili iz cenilnih zapisnikov iz Ministrstva za okolje in prostor in jih poskušali uskladiti z evidenco hiš iz Geodetske uprave RS. Število objektov, ki so jih obravnavali je bilo 3390. 73 % (2492 zgradb) od teh je bilo takšnih, ki so bili grajeni pred letom 1945 in ti so bili najbolj poškodovani (Vidrih, 2008).

Poškodbe 160 objektov so bile ocenjene na 5. stopnjo poškodovanosti, kar pomeni, da so bili njihovi nosilni elementi poškodovani do te mere oz. porušeni, da sanacija ni prišla v poštev. Od teh 160

objektov je bilo kar 93 % objektov, ki so bili zgrajeni po letu 1945. Prav tako je tudi zelo visok delež poškodovanih objektov 4. stopnje (delna porušitev nosilnih elementov, uničene inštalacije) in 3. stopnje (večje razpoke na nosilnih elementih, razkrita streha, poškodovano ostrešje, poškodbe inštalacij), ki so bili grajeni pred letom 1945 (91 % in 87 %). Vzrok tako visokega deleža močno poškodovanih objektov je dejstvo, da so ti objekti zgrajeni iz slabo obdelanega kamna, z lesenimi stropi in brez temeljev (kar petina takšnih). Na tak način je bila grajena velika večina teh objektov in sicer v obdobju od leta 1914 do leta 1945, teh pa je bilo največ. Zanimivo je, da so ti objekti po večini bili tudi obnovljeni, predvsem po nastopu Furlanskih potresov, vendar so po nastopu močnega potresa 12. aprila 1998 zopet utrpeli močne poškodbe. Vzrok za to je bil premajhen poudarek na takšni obnovi, ki bi objekte potresno utrdila. Na primer, 76 (48 %) od 160 objektov s 5. stopnjo poškodovanosti je bilo obnovljenih, od tega 53 po letu 1976, vendar so se vseeno poškodovali do 5. stopnje. Podobno velja za objekte, ki so utrpeli poškodbe 4. stopnje, kjer so 61 teh objektov obnovili že prej, a 53 po letu 1976, pa so ti-le zopet dosegli 4. stopnjo poškodovanosti. Na osnovi takšnih opazovanj lahko sklepamo, da je poškodovane objekte smiselno potresno utrditi (Vidrih, 2008).

6.2 Potres 12. julija 2004

Čez dobrih šest let po potresu iz leta 1998 se je na območju zgornjega Posočja zgodil nov močan potres ob Ravenskem prelomu z žariščem v globini 8 km, vendar nekoliko severno-zahodneje v primerjavi s potresom iz leta 1998 (bolj proti Bovcu). Ta se zgodi 12. julija leta 2004 ob 13:04 po svetovnem času in doseže magnitudo 4,9 ter največjo intenziteto VI.-VII. stopnje po lestvici EMS. Potres je čutila celotna Slovenija in okoliške države (Vidrih, 2008).

Če zopet statistiko o poškodbah objektov povzamemo po dr. Vidrihu (2008), lahko zapišemo, da so strokovnjaki pregledali 1863 objektov, od teh jih le 99 ni bilo poškodovanih, hkrati pa so ocenili, da je 230 objektov nevarnih za bivanje. Največ objektov, to je 1001, je imelo le poškodbe 1. stopnje (manjše poškodbe konstrukcije - manjše razpoke, manjše poškodbe inštalacije, delno razkrita streha), le eden objekt pa je utrpel poškodbe 5. stopnje, torej so ga morali porušiti.

Posebno pozornost pa moramo posvetiti 20 objektom, ki so bili sanirani in utrjeni pred nastankom novega potresa leta 2004, pa so se kljub temu v obeh potresih zelo močno poškodovali. Pričakovanja lastnikov teh dvajsetih objektov so bila, da bodo tako obnovljeni objekti zmožni brez večjih poškodb prestatati tudi močnejši potres, kot je bil leta 2004, vendar se niso zavedali dejstva, da standard sicer dovoljuje nastanek poškodb tudi pri potresno odporno projektiranih objektih. Vzrok močne poškodovanosti teh 20 objektov je posledica dejstva, da pri marsikaterem objektu niso bili izvedeni vsi

zahtevani ukrepi. Na drugi strani so objekte neustrezno ojačevali. Tako pri nekaterih objektih zidovi niso bili injektibilni, kljub temu pa so bili sistematično injektirani. Poleg tega tudi temelje niso ojačali. (Klemenc, Weiss, Lutman, Tomaževič, Bosiljkov, 2004). Hkrati pa je zanimivo tudi omeniti, da se večina ljudi po opravljeni prenovi še zmeraj ni vrnilo v svoje domove. Na primer, v teh 20 objektih je prej živelo 56 ljudi, potem pa se je vrnilo nazaj le 21 ljudi v 7 objektov po zapisih dr. Vidriha (2008).

Najzanimivejše pri nastopu tega potresa pa je predvsem izrazit lokalni prirastek seizmične stopnje po EMS. Namreč tukaj je na mestih tektonskega preloma ali pa na robovih teras (iz proda, peska, ki ga naredijo rečni nanosi) stopnja intenzitete bila lahko za celo stopnjo višja, od sicer največje dosežene VI.-VII. stopnje po EMS lestvici, kar je seveda lokalno povzročilo večje poškodbe od sicer nekih povprečnih poškodb, ki so doletele večino objektov in narave (Vidrih, 2008).

Če primerjamo oba potresa lahko ugotovimo, da je bila poškodovanost objektov, predvsem pa narave za stopnjo manjša, kar je posledica tega, da je sproščena potresna energija novejšega potresa bila manjša v primerjavi s prejšnjim potresom leta 1998. Zanimivo je tudi dejstvo, da je ta potres v smislu nihanja tal, bil podoben nihanju Furlanskega potresa, kjer so ga prebivalci čutili kot neko vodoravno nihanje, medtem ko je potres iz leta 1998 povzročal nihanje tal v obliki spuščanja in dviganja. Ta razlika pa se pokaže v razlikah poškodb. Potres iz leta 1998 je dobesedno dvignil domačije, prestavljal manjše staje, povzročal grozovite hribinske podore, zdrse, dvigal in spuščal skale, ki jih je pri tem razklalo. Sicer je pri potresu iz leta 2004 prav tako prišlo do poškodb v naravi in na objektih, vendar ne v tolikšni meri. V naravi so se pojavljali predvsem plitve porušitve, manjši podori, padanje skal in kamnov. Kljub temu, da se je tu sprostilo manj potresne energije, je tudi temu potresu uspelo močnejše poškodovati 2000 objektov. Najbolj prizadeta kraja sta predvsem Bovec, natančneje Brdo in Čezsoča (Vidrih, 2008).

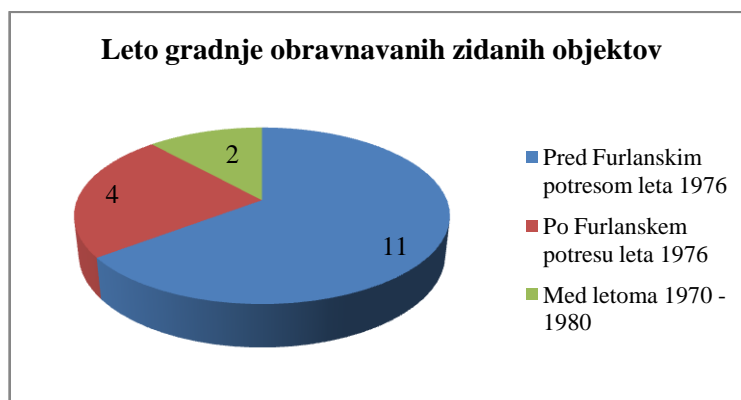
7 ANALIZA POŠKODOVANOSTI IN STROŠKOV SANACIJE OZ. REKONSTRUKCIJE ZIDANIH STAVB PO POTRESIH V POSOČJU

7.1 Opis objektov in dokumentacije

V obravnavo vzamemo 17 zidanih stavb iz zgornjega Posočja (preglednica 1). Od tega je devet zidanih stavb iz modularne opeke (Brdo 43, Brdo 45, Brdo 49, Brdo 52, Brdo 54, Brdo 58, Rupa 5, TGŽ 56 in Mala vas 96), tri zidane stavbe iz betonskega zidaka (Mala vas 56, Brdo 69 in Brdo 71) in pet zidanih stavb iz kamna (Čezsoča 74, Čezsoča 145, Log Čezsoški 15, Trenta 65 in Kot 24). Vse te stavbe so namenjene bivanju domačinov, velika večina (11) pa je grajenih še pred nastopom Furlanskega potresa, leta 1976 (slika 12). Slike objektov in tloris vsake obravnavane zidane stavbe so v prilogi A in prilogi B. Pomembno je še poudariti, da nimamo reprezentančnega vzorca stavb, na osnovi katerega bi sicer lahko rezultate raziskave posplošili tudi na druge poškodovane objekte v Posočju. Tako se v nadaljevanju dobljeni rezultati nanašajo zgolj na obravnavano skupino stavb.

Preglednica 1: Splošni podatki o obravnavanih zidanih stavbah: naslov, tip in material iz katerega je sezidana zidana stavba ter leto gradnje, število etaž in velikost bruto tlorisne površine (BTP) zidane stavbe (DTP, 2012a).

Splošni podatki o objektu							
#	Kraj	Hišna številka	Tip objekta	Material	Leto gradnje	Število etaž	BTP (m ²)
1	Brdo	54	Hiša	Modularna opeka	1978	3	420
2	Brdo	58	Hiša	Modularna opeka	1975	3	270
3	Brdo	45	Hiša	Modularna opeka	1971	3	260
4	Brdo	49	Hiša	Modularna opeka	1974	4	370
5	Brdo	43	Hiša	Modularna opeka	1. april 1976	3	290
6	Brdo	52	Hiša	Modularna opeka	1978	3	325
7	Rupa	5	Hiša	Modularna opeka	1977	3	335
8	TGŽ	56	Hiša	Modularna opeka	1975-1982	3	310
9	Mala vas	96	Hiša	Modularna opeka	1973	3	625
10	Mala vas	56	Hiša	Betonski blok	1970-1980	4	580
11	Brdo	71	Stanovanjski blok	Betonski blok	1970	4	1100
12	Brdo	69	Stanovanjski blok	Betonski blok	1977	4	1120
13	Čezsoča	74	Hiša	Kamen	1900	2	270
14	Čezsoča	145	Hiša	Kamen	1900	2	200
15	Log Čezsoški	15	Hiša	Kamen	1920	3	340
16	Trenta	65	Hiša	Kamen	1576	2	340
17	Kot	24	Hiša	Kamen	1900	2	320



Slika 12: Leto gradnje obravnavanih zidanih objektov (DTP, 2012a)

Vsak obravnavan objekt ima projektno dokumentacijo sestavljeno iz idejne zasnove (IDZ), projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD) in projekta za izvedbo (PZI). Vsa ta projektna dokumentacija, vključno s priloženo fotodokumentacijo o poškodbah in končno situacijo (končni obračun sanacije oz. rekonstrukcije objekta) je bila uporabljena pri ugotavljanju zveze med poškodovanostjo zidanih stavb in ceno sanacije le-teh (DTP, 2012a). Za analizo poškodovanosti obravnavanih objektov smo črpali podatke pretežno iz PGD, kjer imamo kataster poškodb vseh tlorisov etaž, prerezov objekta in pogledov fasad. V PZI imamo pregled ukrepov v okviru sanacije in rekonstrukcije objekta, zopet po tlorisih etaž in prerezih objekta. Cene posameznih izvedenih ukrepov in končno ceno sanacije oz. rekonstrukcije objekta smo določili po podatkih končne situacije, ki vsebuje končni obračun sanacije po posameznih izvedenih delih. Za lažje razumevanje poškodb in izvedenih ukrepov smo si pomagali s tehničnim poročilom iz PZI, kjer so natančneje opisane vse poškodbe in predvideni ukrepi.

7.2 Opis tipičnih poškodb

Na osnovi tehničnih poročil iz PZI in katastra poškodb vseh tlorisov etaž iz PGD smo za vsak obravnavan objekt ugotovili pojav razpoke na konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementih. Razpoke so bile horizontalne, diagonalne ali pa vertikalne oblike ter različnih debelin in dolžin.

Diagonalne razpoke so posledica delovanja notranjih sil v ravnini zidu, ki tako predstavljajo strižno obremenitev zidov. Običajno so horizontalne razpoke tudi posledice notranjih sil, ki delujejo v ravnini zidu. Takšne razpoke so se največkrat pojavljale v višini parapetov in v višini robov odprtin kot posledica prekoračene natezne trdnosti zidov, v primeru diagonalne razpoke (slika 13) ali strižne trdnosti zidov, v primeru horizontalne razpoke. Na stiku stene in stropa so se horizontalne razpoke

redkeje pojavljale in sicer bolj pri kamnitih objektih, kjer imamo lesene stropne brez zidnih vezi (slika 14). Prav tako so se pri podstrešnih zidovih največ pojavljale ravno horizontalne razpoke, kjer so potresne sile največje, navpična obtežba pa najmanjša. Diagonalne razpoke se pojavljajo tudi med okenskimi in vratnimi odprtinami, ker so ti deli zidu najbolj ranljivi. Velikokrat so se pojavile tudi na sredini stene brez odprtin, kjer so natezne napetosti, ki ji povzroča potres največje. Tako so se raztezale po celotni površini zidu in sicer največkrat samo v eni smeri.



Slika 13: Diagonalni razpoki v višini robov okna (DTP, 2012a)



Slika 14: Horizontalna razpoka pod stropom v kamnitom zidu v območju jeklenih vezi (DTP, 2012a)

Vertikalnih razpok je bilo bistveno manj kot horizontalnih in diagonalnih razpok. Vertikalne razpoke smo običajno opazili v vogalih in sečiščih zidov (slika 15) in so posledica prešibke medsebojne

povezanosti zidov. Poleg tega so se vertikalne razpoke pojavljale tudi na fasadnih stenah. Obe skupini vertikalnih razpok sta se največ pojavljale pri kamnitih objektih, saj imajo ti lesene stropne brez zidnih vezi, ali pa so bile le-te neustrezno izvedene.



Slika 15: Vertikalna razpoka na stiku dveh kamnitih sten (DTP, 2012a)

Pri polovici obravnavanih objektov smo opazili tudi razpoke stropov. V večini primerov so bile razpoke stropov površinske, ki so se pojavile ali na zgornji ali na spodnji strani stropov, lahko pa tudi na obeh straneh stropa. Razpoke so najbolj prizadele omete lesene stropov in sicer pri vseh kamnitih objektih z izjemo enega. Ti leseni stropi so po večini že dotrajani, ob potresu pa so bili še dodatno obremenjeni in so se tako še bolj poškodovali. Pri opečnih objektih so bile vzrok razpok na ploščah nivojsko zamaknjene plošče ali pa posedanje vogala zidu med potresom. Velikokrat pa je prišlo tudi do razpoke na stiku stopniščne rame in plošče, kjer gre za delovni stik oz. ločena elementa stopniščne rame in plošče.

Polovica obravnavanih objektov je imela poškodovane tudi dimnike. V večini primerov je najbrž šlo za horizontalne razpoke oz. za upogib, poleg poškodovane strešne kritine in ostrejšja med potresom pa je lahko prišlo tudi do zamakanja dimnika in s tem do potrebne zamenjave le-tega.

Pri četrtini obravnavanih objektov so se poškodovali tudi zatrejni zidovi. Utrpeli so horizontalne razpoke, saj niso bili ustrezno zaključeni z armiranobetonskimi vezmi. V primeru ene opečne zidane stavbe pa se je zatrejni zid med delovanjem potresa celo nagnil proti notranjosti.

V treh primerih opečnih objektov (objekt 1, objekt 4 in objekt 8 iz preglednice 1) pride tudi do pojava posedka temelja oz. posedanja vogalnih zidov stavbe. To se je zgodilo že zaradi prej slabo nosilnih oz. močvirnatih tal, potres pa je še dodatno pospešil likvefakcijo rahlih z vodo prepojenih peskov in s tem povzročil posedke vogala enega izmed treh objektov. Vzroka za posedek vogalnih zidov ostalih dveh objektov pa ne poznamo. Lahko predvidevamo, da gre najbrž prav tako za pojav likvefakcije, saj so ti trije objekti zgrajeni na istem območju.

7.3 Opis tipičnih ukrepov sanacije

V preglednici 2 so prikazane vrste izvedenih ukrepov ter število in delež (v procentih) objektov na katerih so se odgovorni projektanti statiki odločili določene vrste ukrepov izvesti. V tem poglavju se osredotočimo na opis posameznih vrst ukrepov glede na število stavb, ki je posamičen ukrep izvedlo in poskušamo poiskati vzrok zakaj je temu tako. Poleg tega opišemo tudi vzroke za odločitev izvedbe določenih vrst ukrepov. Le-ti podatki so bili dobljeni iz tehničnega poročila iz PZI ter iz načrtov tlorisa etaž in prerezov objekta iz PZI, kjer imamo celoten pregled ukrepov v okviru sanacije in rekonstrukcije objekta.

Preglednica 2: Število in delež objektov v %, ki je izvedlo določen konstrukcijski ali nekonstrukcijski ukrep.

VRSTA IZVEDENEGA UKREPA	ŠTEVILO OBJEKTOV, KI JE IZVEDLO DOLOČEN UKREP	DELEŽ OBJEKTOV, KI JE IZVEDLO DOLOČEN UKREP (%)
KONSTRUKCIJSKI UKREPI		
AB VEZI - HORIZONTALNE	16	94%
SANIRANJE RAZPOK V ZIDOVIH	15	88%
AB VEZI - VERTIKALNE	14	82%
AC OMET in AB OMET ZIDOV	9	53%
SANACIJA RAZPOK V PLOŠČAH IN UTRDITEV	9	53%
PREZIDAVA	9	53%
JEKLENE VEZI	6	35%
INJEKTIRANJE KAMNITIH ZIDOV	4	24%
NEKONSTRUKCIJSKI UKREPI		
OMETI	17	100%
RAZNA NEKONSTRUKCIJSKA DELA	17	100%
FASADERSKA DELA	16	94%
ELEKTRO in STROJNE INŠTALACIJE	13	76%
DELA NA STREHI	12	71%
TEMELJI OB ali PODBETONIRANJE + NOVI TEMELJI	10	59%
PREDELNE STENE	9	53%
STROPI	6	35%
DIMNIKI	5	29%
ZATREPNI ZID	3	18%

Pri vseh obravnavanih objektih z izjemo enega je bilo potrebno izdelati armiranobetonske horizontalne vezi. Tako visok delež je posledica dejstva, da vsi obravnavani objekti z izjemo enega nimajo zaključnih armiranobetonskih vezi na zatrepnih zidovih, hkrati pa večina od teh tudi nima zidnih vencev pod strešno konstrukcijo, a podstrešni zidovi so pretežno visoki z vključno slabo sidranimi kapnimi, slemenskimi in vmesnimi strešnimi legami. K temu ukrepu spadajo tudi horizontalna armiranobetonska vez nad obstoječimi ali novo sezidanimi stenami, nosilec pri armiranobetonskem okvirju in nove preklade nad okenskimi in vratnimi odprtini. Še posebej je bilo le-te potrebno izvesti pri kamnitih objektih, kjer imamo opravka še s starejšimi lesenimi prekladami.

Prav tako so se tudi armiranobetonske vertikalne vezi izvedle pri skoraj vseh obravnavanih objektih, zaradi pomanjkanja le-teh v vogalih in sečiščih zidov, kot utrditev na konceh novo sezidanih zidov, kot podpora stropu (pretežno pri kamnitih objektih) ali pa kot steber pri armiranobetonskih okvirjih. Pri opečnih objektih pa tudi stavbah iz betonskih zidakov imamo v večini primerov monolitne plošče in zidne vezi na nivoju stropov, zato je bilo takim objektom ob ponovni močni poškodovanosti smiselno vgraditi tudi navpične vezi za zagotavljanje celovitega delovanja stavbe ob nastopu novega potresa.

Pri malo manj kot polovici obravnavanih objektov so se inženirji odločili za izvedbo jeklenih vezi, za dobro medsebojno povezavo zidov s stropi. Te so bile v primeru armiranobetonske plošče in monta plošče enostranske, pri lesenih stropih pa imamo obojestranske jeklene vezi. Jeklene vezi so izvedli le pri enem opečnem objektu, saj so običajno zidne vezi pri opečnih stavbah armiranobetonske. Jeklene vezi so se torej največ uporabljale za ustrezno povezavo zidov z lesenimi stropi pri kamnitih stavbah (izvedejo jih pri več kot polovici kamnitih objektov), za zagotovitev celovitega delovanja konstrukcije med potresom in preprečitev nastanka vertikalnih razpok na fasadnih zidovih ter v vogalih in stikih zidov ob ponovnem potresu. Sicer so jih izvedli tudi pri dveh objektih iz betonskih zidakov.

Pri vseh obravnavanih objektih z izjemo dveh je bilo potrebno sanirati razpoke na nosilnih in predelnih zidovih. Pri močnejše razpokanih zidovih pa je bilo potrebno zidove tudi utrditi. Pri malo manj kot polovici vseh obravnavanih objektov so se zidovi utrdili z armirano-cementnim ometom v skupni debelini 6 cm. Takšen ukrep je bil izveden na polovici vseh obravnavanih opečnih objektov in le na enem objektu iz betonskih zidakov (stanovanjski blok) ter na enem kamnitemu objektu. Vsi kamniti zidovi z izjemo enega pa so bili utrjeni z injektiranjem s cementno silikatno maso, kateri je bil dodan tudi hidrofobni dodatek, v območjih kjer so imeli opravka z vlago. Dve kamniti stavbi pa tudi eden izmed stanovanjskih blokov sezidan iz betonskih zidakov pa so bili utrjeni tudi na drugačen

način, in sicer z do-betoniranjem in armiranjem na obeh straneh zidov v skupni debelini 20 cm. Če povzamemo vse skupaj lahko sklepamo, da je polovica obravnavanih opečnih zidanih stavb imelo močno razpokane zidove in so zato le-ti bili potrebni utrjevanja z armirano-cementnim ometom. Pri kamnitih objektih pa so utrjevalne ukrepe izvajali prav pri vseh obravnavanih kamnitih stavbah, kar pomeni, da so prav vsi obravnavani kamniti objekti imeli močno razpokane zidove ali pa je bila prejšnja izvedba utrjevalnih ukrepov (injektiranje) neustrezna. Medtem ko se pri stavbah iz betonskih zidakov odločijo za izvedbo utrjevalnih ukrepov le pri enem stanovanjskem bloku.

Poleg utrditve zidov, so se inženirji pri ekstremno poškodovanih zidovih raje odločili za prezidavo oz. pozidavo novih nosilnih opečnih sten in nosilnih sten iz betonskih zidakov (pri polovici obravnavanih objektov). Na drugi strani pa so zidali nove predelne stene iz porolit opeke ali pa so vgrajevali stene iz mavčnokartonskih plošč (to je sicer nekonstrukcijski ukrep, tudi ta izveden pri polovici obravnavanih objektov). To nam pove, da je polovica obravnavanih objektov imela tako močno poškodovane zidove, da je bila potrebna zamenjava le-teh. Razlogi za tako močno poškodovanost je več. Po navadi se predelne stene najprej poškodujejo, zaradi slabega sidranja v nosilne zidove. Neobremenjeni predelni zidovi so najbolj vitki in prvi zanihajo. Prav tako so bili problem preveliki razponi nosilnih sten, ki niso nikjer na svoji dolžini bile podprte s steno, ki bi jih podpirala pravokotno na njihovo ravnino. Na primer prečno ležeča stena, ki nima nikjer vmes podpore zidu, ki leži v vzdolžni smeri, prevzame funkcijo povezovalnega zidu med obodnima vzdolžnima stenama in utрпи veliko količino razpok. Tako močno poškodovane zidove je bilo potrebno odstraniti in jih nadomestiti z novimi. Ti ukrepi so bili posebej pogosti pri vseh kamnitih stavbah z izjemo ene kamnite stavbe in pri obeh stanovanjskih blokih sezidanih iz betonskih zidakov. To nam pove, da je pomanjkanje nosilnih sten predstavljal problem predvsem pri kamnitih stavbah in stavbah iz betonskih zidakov oz. stanovanjskih blokih.

Razpoke so prizadele stropne pri polovici obravnavanih objektov. Na armiranobetonskih ploščah pri opečnih stavbah in stavbah iz betonskih zidakov se je le-te saniralo z uporabo nizko viskozne epoksidne smole. Medtem ko so močno poškodovane armiranobetonske plošče (trije obravnavani objekti) raje ojačili z uporabo jeklenih in karbonskih lamel. Pri kamnitih stavbah z lesenimi stropi, ki so že tako dotrajani in slabo prenašajo potresno obtežbo, so bili prav vsi z izjemo enega močno razpokani, da so se raje odločili za izvedbo spuščениh stropov. Hkrati nam delež vseh objektov s poškodovanimi stropi pove, da je do razpok v stropih prihajalo v veliko manjši meri kot do razpok, ki so se pojavljale na zidovih.

Ugotovimo lahko, da je na eni strani zaradi pojava razpok in izvedbe utrjevalnih ukrepov, na drugi strani pa zaradi izvedbe novih zidov in zidnih vezi, bilo potrebno v celoti popraviti oz. izvesti nove omete pri vseh objektih. Pri malo manj kot vseh obravnavanih objektih so se ometi močno poškodovali samo na enem delu zidu, zato je bila potrebna delna odstranitev le-teh in ponovno zidarsko krpanje ometa. Pri manj kot polovici obravnavanih objektov pa imamo tudi močno poškodovane oz. razpokane omete podstrešnih stropov, kjer pa se raje odločijo kar za izvedbo mavčnokartonskih spuščeni stropov.

Ravno tako so pri vseh objektih izvajali tudi razna nekonstrukcijska dela in fasaderska dela. K nekonstrukcijskim delom spadajo razna kanalizacijska dela, zamenjava oken, okenskih polic in vrat ter polaganje novih tlakov na medetažne konstrukcije. Fasaderska dela pa zajemajo postavitve fasadnih odrov in izvedbo novih fasad zunanjih sten v celoti. Tako visok delež je posledica velikega števila zelo poškodovanih zidov, ki se jih nato ruši in zamenjuje, posledično s tem pa je potrebno prestaviti tudi odprtine, odstraniti obstoječe tlake in jih ponovno izvesti v celoti. Fasadni odri pa so nujni za lažjo izvedbo raznoraznih del na višini, pretežno fasaderskih, vendar so ga najbrž hkrati uporabili tudi za delo na strehah in za druga gradbena dela.

Pri malo več kot polovici vseh objektov je bilo potrebno ob ali pod-betonirati temelje ali pa izvesti nove. Razlogi so različni. Na eni strani so to neustrezno izvedeni temelji v smislu premajhne globine ali širine, ali pa zaradi pojava posedanja vogala med potresom. Na drugi strani pa se je naredilo nove temelje zaradi izdelave novih armiranobetonskih okvirjev in zidov, s tem pa se je zagotovila medsebojna povezanost zidov v ravnini temeljev.

Pri malo več kot polovici obravnavanih objektov je bilo potrebno popraviti tudi električne in strojne inštalacije. Namreč med potresom lahko pride do izpada električne energije, električni kabli se pretrgajo, poškodujejo se vtičnice, hkrati se pa lahko poškoduje tudi televizijska in telefonska inštalacija. Pri strojnih inštalacijah pa gre večinoma za poškodbe ogrevalne, plinske in vodovodne inštalacije. Razmeroma visok delež nam lahko pove, da je verjetnost, da se ob potresu poškoduje električna in strojna inštalacija kar visoka.

Prav tako je pri malo več kot polovici obravnavanih objektov bilo potrebno sanirati, nekaterim pa tudi v celoti zamenjati streho. Med potresom so se povsili tramovi, kritina pa je zaradi dotrajanosti ob potresu takoj popadala. Pri enem izmed objektov je tako prišlo do zamakanja dimnikov in ostrejša samega. Leseni škarniki so bili črvi, pojavila se je lesna goba in plesen (slika 16). Vzrok za takšne

poškodbe na strehi med potresom je večinoma nepravilno dimenzionirano in izvedeno ostrešje. V večini primerov gre za poddimenzionirane strešne lege, zato jih je bilo potrebno zamenjati skupaj s povešenimi tramovi. Na drugi strani pa so jih podpirali z dodatnimi sohami in jih dobro medsebojno povezali z jeklenimi ploščicami. Pri nekaterih objektih so manjkale tudi škarje, ki medsebojno povezujejo škarnike, zato so le-te morali vgraditi, saj prenašajo horizontalni pritisk potresa z ene strani na drugo stran strehe. Strehe niso bile »zavetrovane«, kar pa je nujen ukrep za preprečitev razrivanja podstrešnih zidov in s tem razpok na stikih zidov ob pojavu potresa. Zamenjevali so tudi kritine, ker je ta v večini primerov deloma popadala ali pa so bile azbestno cementne, ki so danes prepovedane za uporabo. Pri tem pa so hkrati tudi zamenjali oz. vgradili letve za polaganje kritine. Ker je malo manj kot polovica vseh opečnih objektov in objektov iz betonskih zidakov ter skoraj vsi kamniti objekti (za ostale pa nimamo podatka) imelo tudi neustrezno sidrane strešne lege (samo z žico), je bilo nujno potrebno vsa ostrešja ustrezno in pravilno sidrati v novi, v redkih primerih obstoječi armiranobetonski venec.



Slika 16: Pojav lesnih gob, plesni in črvičnosti lesa strešne konstrukcije (DTP, 2012a)

V manj kot polovici primerov se odločijo tudi za zamenjavo dimnikov, ker so ti bili dotrajani in so ob nastalem potresu še dodatno razpokali. Zato se v večini primerov odločijo narediti nove dimnike s tanko netjavečo jekleno pločevino.

Pri zelo malo objektih pa izvedejo nove zatrepne zidove. Večinoma so se ti med samim potresom razmeroma malo poškodovali, razpokali so le fasadni ometi zatrepov. Majhen delež je zanimiv, glede na dejstvo, da ima samo eden izmed objektov izvedene zaključne armiranobetonske vezi, horizontalnih armiranobetonskih vezi na obodnih zidovih pa je tudi razmeroma malo. Zatrepi, ki so jih sicer porušili so imeli močne strižne razpoke na obeh straneh zidu. V enem primeru obravnavanega

opečnega objekta pa se je celoten zatep nagnil proti notranjosti za 5 cm, kar je bilo posledica slabo sidranega zidu v horizontalno armiranobetonsko vez (slika 17).



Slika 17: Primer obravnavanega opečnega objekta, kjer se zatepni zid nagne proti notranjosti za 5 cm (DTP, 2012a)

Nazadnje pa so pri dveh kamnitih objektih vgradili tudi jeklena sidra v zidove za dobro povezavo že z obstoječimi armiranobetonskimi ploščami, ki so jih naredili v okviru sanacije po potresu leta 1998.

7.4 Metodologija

V prvem delu tega poglavja opisujemo metodologijo za vrednotenje poškodovanosti konstrukcijskih elementov objekta. V ta namen smo definirali indeks poškodovanosti (*DI*) na nivoju elementa, etaže in konstrukcije, ki upošteva globino, širino in dolžino razpok zidov. V drugem delu pa opisujemo proces vrednotenja stroškov posameznih izvedenih ukrepov, končne cene sanacije objektov ter razmerja med ceno sanacije in novogradnje objekta.

7.4.1 Metodologija za vrednotenje poškodovanosti objektov

Podatke o razpokanosti posameznih zidov in stropov posameznega obravnavanega objekta dobimo v katastru poškodb v PGD, kjer imamo načrte tlorisov vseh etaž in pogledov objekta. Poškodovanost vsake etaže objekta obravnavamo posebej. V večini primerov je šlo za poškodovanost pritličja, nadstropja in mansarde ali podstrešja. V dveh primerih zidanih stavb iz opeke (objekt 1 in objekt 4) in pri stanovanjskima blokoma iz betonskih zidakov (objekt 11 in objekt 12) je bila upoštevana tudi poškodovanost betonske kleti, saj je bila le-ta močno poškodovana. Zidove vsake etaže smo razdelili na posamezne elemente v vodoravni in v navpični smeri, ki si sledijo od leve proti desni oz. od spodaj

navzgor (x in y smer). Posamezne elemente ločijo odprtine, kot so okna in vrata in različna debelina (predelne, nosilne stene). Za vsak element določimo njegovo dolžino in širino in s tem tudi površino elementa v tlorisnem pogledu oz. njegov delež površine glede na celotno tlorisno površino vseh elementov v posamezni smeri etaže.

Vsak razpokan element ima označeno razpoko v katastru poškodb v PGD in sicer na naslednji način. Najprej vrsto razpoke (horizontalna (RH), diagonalna (RD), vertikalna (RV) in razpoka v plošči, ki se pojavi spodaj ali zgoraj (RPs, RPz)), nato globino razpoke (površinska, globoka in skozi element; oznake so P, G, S), na koncu pa še širino razpoke v mm in dolžino razpoke v m. Torej je razpoka v elementu na primer označena tako: RH-P-0,1-1,0. Vsak element, ki je imel tudi po več razpok, smo vse tudi upoštevali.

Poškodovanost posameznih elementov na nivoju konstrukcijskega elementa, etaže ali konstrukcije smo vrednotili z indeksom poškodovanosti (DI). Predpostavili smo, da so glavni indikatorji poškodovanosti globina, širina in dolžina razpoke, kot je to prikazano v preglednici 3 (Shan et al., 2008 in Tomažević, 2007). Predpostavili smo, da imajo ti indikatorji enake uteži (1/3), pri čemer smo za vsak indikator posebej predpostavili lestvico poškodovanosti med 0 in 1 (preglednica 3).

Preglednica 3: Indikatorji glede na globino razpoke ($globina_{i,j}$), širino razpoke v mm ($\dot{s}_{i,j}$) in dolžino razpoke v m ($l_{i,j}$), kjer l_i predstavlja dolžino elementa v m.

Globina razpoke - $globina_{i,j}$			Širina razpoke $\dot{s}_{i,j}$ (mm)			Dolžina razpoke $l_{i,j}/l_i$		
Skozi	S	1,0	10	$\leq \dot{s}$	1,0	1,0	$\leq L/L_e$	1,0
Globoka	G	0,5	1,0	$\leq \dot{s} < 10$	0,7	0,5	$\leq L/L_e < 1$	0,5
Površinska	P	0,25	0,5	$\leq \dot{s} < 1$	0,4	0,01	$\leq L/L_e < 0,5$	0,25
Ni	/	0	0,05	$\leq \dot{s} < 0,5$	0,2	/	Ni	0
			/	Ni	0			

Indeks poškodovanosti na nivoju elementa i izračunamo z naslednjo enačbo:

$$DI_i = \sum_j (0,33 \cdot globina_{i,j} + 0,33 \cdot \dot{s}_{i,j} + 0,33 \cdot l_{i,j}/l_i) \quad (1)$$

kjer je:

DI_i indeks poškodovanosti na nivoju elementa i
 $globina_{i,j}$ indikator glede globine razpoke j na elementu i

$\dot{s}_{i,j}$ indikator glede širine razpoke j na elementu i
 $l_{i,j}/l_i$ indikator glede razmerja med dolžino razpoke j na elementu i in dolžino elementa i

Indeks poškodovanosti posamezne smeri etaže (x ali y) je določen kot vsota DI_i , pri čemer upoštevamo razmerje med tlorisno površino elementa $A_{i,k,x(y)}$ določene smeri etaže k in celotno tlorisno površino vseh elementov $A_{x(y)}$ v posamezni smeri etaže k :

$$DI_{\text{global},k,x(y)} = \sum_i A_{i,k,x(y)} / A_{x(y)} \cdot DI_i, \quad (2)$$

kjer je:

$DI_{\text{global},k,x(y)}$ indeks poškodovanosti posamezne smeri etaže k
 $A_{i,k,x(y)}$ površina elementa i v posamezni smeri etaže k
 $A_{x(y)}$ skupna površina vseh elementov posamezne smeri etaže k

Indeks poškodovanosti na nivoju etaže $DI_{\text{global},k}$ določimo kot povprečno vrednost indeksov poškodovanosti posameznih smeri etaže k :

$$DI_{\text{global},k} = \frac{DI_{\text{global},k,x} + DI_{\text{global},k,y}}{2} \quad (3)$$

Indeks poškodovanosti na nivoju celotnega zidanega objekta DI_{global} pa smo definirali kot povprečno vrednost indeksa poškodovanosti etaže:

$$DI_{\text{global}} = \sum_k DI_{\text{global},k} / k \quad (4)$$

kjer je k število etaž.

Poleg indeksa poškodovanosti smo opazovali tudi delež poškodovanih elementov v posamezni etaži in delež poškodovanih elementov v celotnem objektu. Tudi na tak način lahko v grobem ocenimo poškodovanost zidanega objekta.

V splošnem smo vrednotili tudi vrsto in število pojavljajočih se razpok v posamezni smeri etaže ali pa na nivoju celotne stavbe. Hkrati seštejemo tudi dolžine vseh pojavljajočih se razpok na vseh elementih

in tako dobimo skupno dolžino vseh razpok na posameznem objektu, ki jih nato primerjamo z dolžino vseh elementov v objektu.

7.4.2 Proces vrednotenja ukrepov s stališča stroškov ter analiza razmerja med ceno sanacije in novogradnje

Cene posameznih izvedenih ukrepov in stroške celotne sanacije smo pridobili iz končne situacije popotresne obnove oz. rekonstrukcije obravnavanih objektov. Stroške določenega izvedenega ukrepa na obravnavani zidani stavbi določimo z vsoto stroškov posameznih izvedenih del v končni situaciji, ki sestavljajo samo izvedbo ukrepa. Nato stroške posamičnih izvedenih ukrepov na zidanem objektu, pa tudi končno ceno sanacije zidanega objekta delimo z BTP celotnega objekta, da dobimo stroške ukrepov in sanacije v €/m² BTP. Tako naredimo za vse ukrepe in vse objekte. Na koncu določimo še povprečne cene posameznih ukrepov v €/m² BTP glede na tiste objekte, ki so jih izvedli. Na drugi strani smo opazovali tudi delež stroškov posameznega ukrepa glede na stroške celotne obnove. Delež stroškov, ki ga predstavlja posamezen izveden ukrep glede na stroške celotne obnove zidanega objekta, določimo tako, da ceno ukrepa izraženega v €/m² BTP delimo s celotno ceno sanacije v €/m² BTP. Tudi tu na koncu določimo še povprečni delež stroškov, ki ga je posamezen ukrep prinesel k celotni ceni sanacije, zopet glede na tiste objekte, ki so ga izvedli.

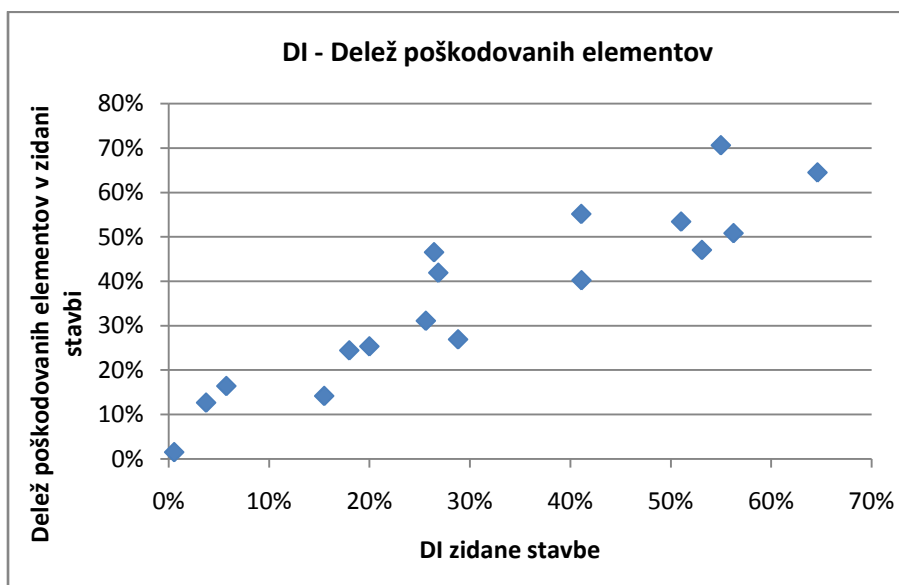
Pomembno je poudariti, da smo vse stroške ukrepov in obnove revalorizirali glede na leto 2012. Namreč cene izvedbe gradbenih del so se tekom let spreminjale, medtem ko popotresna obnova objektov iz leta 2004 traja še dandanes. Na obravnavanih objektih je tako v času izvršitve dokončnih del minilo nekaj let po nastopu potresa, medtem ko so se cene spreminjale oz. zviševale. Tako so cene gradbenih del za tiste objekte, katerih popotresna obnova se je končala do leta 2000, sovpadale cenam gradbenih del iz dokumenta: UL RS št. 59/1998: 2736 - Odredba o cenah in normativih za določanje cen gradbenih del za popotresno obnovo objektov. Od leta 2000 naprej so bile cene gradbenih del glede na cene gradbenih del iz Odredbe izdane 1998, povečane za faktor 1,106, od leta 2001 za faktor 1,223, od leta 2005 za faktor 1,41, od leta 2007 za faktor 1,55 (DTP, 2012b), od leta 2012 pa vrednost faktorja predpostavimo na vrednost 1,75. Faktor 1,75 (faktor povečave cen gradbenih del za leto 2012 glede na leto 1998) delimo s faktorjem, ki ga dobimo za leto izvedbe končnih del našega obravnavanega objekta glede na leto 1998, da dobimo faktor, s katerim pomnožimo vse vrednosti stroškov posameznih izvedenih ukrepov pri posameznih objektih. Na tak način smo dobili vse stroške izvedenih ukrepov in obnove revalorizirane glede na leto 2012.

Ceno novo grajenega zidanega objekta smo določili s pomočjo dokumenta UL RS št. 83/2007: 4213 - Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o cenah in normativih za določanje cen gradbenih del za popotresno obnovo objektov, Priloga 2 – cena nadomestne gradnje in novogradnje, kjer dobimo preglednico cen novogradnje na kvadratni meter tlorisne površine objekta, glede na različne velikosti tlorisnih površin objekta. Z rastjo velikosti tlorisne površine objekta se cena novogradnje na kvadratni meter površine objekta zmanjšuje. Tako je za manjše površine predvidena višja cena novogradnje na enoto tlorisne površine. S pomočjo načrtov tlorisov etaž iz PZI smo določili velikosti bruto tlorisnih površin (BTP) vseh obravnavanih etaž, ki smo jih sicer obravnavali tudi pri določanju poškodovanosti objekta. Tako smo s pomočjo cen novogradnje na kvadratni meter tlorisne površine objekta iz preglednice iz zgoraj navedenega dokumenta in določene bruto tlorisne površine našega obravnavanega zidanega objekta, določili ceno novogradnje, pri čemer smo si pomagali z linearno interpolacijo. Ta ocena stroškov novogradnje nam je služila za določitev razmerja med ceno končne sanacije oz. rekonstrukcije objekta in ceno novogradnje, kar smo izrazili tudi na enoto bruto tlorisne površine objekta.

7.5 Rezultati s komentarji in ugotovitvami

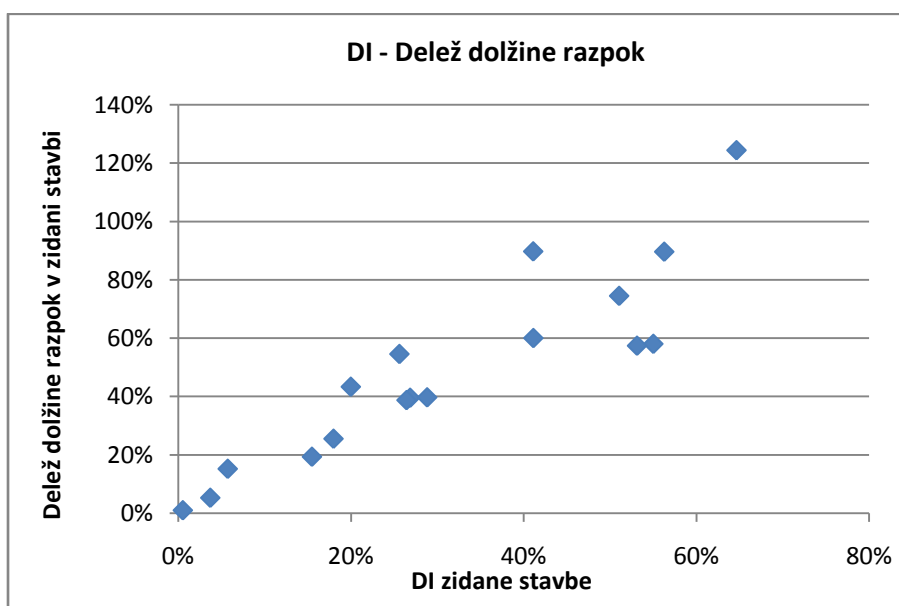
7.5.1 Rezultati in ugotovitve na osnovi analiziranja poškodovanosti zidanih stavb

Iz slike 18 je razvidno, da je korelacija med deležem poškodovanih elementov v zidani stavbi in indeksom poškodovanosti (DI) precejšnja (Pearsonov koeficient korelacije znaša 0,92, kar kaže na popolno pozitivno povezanost spremenljivk, kar pomeni, da z naraščanjem DI določenega objekta narašča tudi delež poškodovanih elementov v tem objektu). Vzrok za linearno sovisnost izvira iz definiranja indeksa poškodovanosti. Kadar imamo na elementu razpoko, se ta označi kot poškodovan in se tako upošteva v deležu poškodovanih elementov, hkrati pa ob pojavu te iste razpoke lahko že določimo njene indikatorje in s tem indeks poškodovanosti. Torej oba na nek način definirata stopnjo poškodovanosti zidane stavbe kot celote. Edina razlika med deležem poškodovanih elementov in indeksom poškodovanosti je ta, da se v indeksu poškodovanosti upoštevajo tudi lastnosti razpoke, kot so globina, širina in dolžina razpoke, preko indikatorjev in nam zato te lahko na globalnem nivoju stavbe povejo kakšne razpoke so se v grobem povprečju pojavljale v stavbi.



Slika 18: Razmerje med DI in deležem poškodovanih elementov zidane stavbe

Če preverimo razmerje med DI in deležem dolžine razpok (razmerje med dolžino vseh razpok v objektu in dolžino vseh elementov v objektu) lahko ugotovimo, da tudi DI in delež dolžine razpok sovpadata oz. z naraščanjem DI linearno narašča tudi delež dolžine razpok v zidani stavbi (Pearsonov koeficient korelacije znaša 0,90). Z večanjem števila razpokanih elementov se povečuje tudi skupna dolžina razpok oz. delež dolžine razpok v obravnavanem zidanem objektu. Temu ustrezno so tudi DI večji, saj so definirani tako, da so odvisni od lastnosti razpoke in s tem dolžine razpoke. Čim daljša je razpoka tem višji je DI. Razmerje med DI in deležem dolžine razpok prikazujemo na sliki 19.



Slika 19: Razmerje med DI in deležem dolžine razpok oz. razmerjem med dolžino vseh razpok v zidani stavbi in dolžino vseh elementov v zidani stavbi

V preglednici 4 prikazujemo delež poškodovanih elementov, indeks poškodovanosti DI ter število vseh razpok, njihovo skupno dolžino in delež dolžine razpok za vse obravnavane zidane stavbe.

Preglednica 4: Poškodovanost zidane stavbe opisana s številom poškodovanih elementov in številom vseh elementov ter njihovim medsebojnim razmerjem oz. deležem vseh poškodovanih elementov, indeksom poškodovanosti DI, številom razpok, njihovo dolžino in deležem dolžine razpok.

	Poškodovanost						
	Število poškodovanih elementov	Število vseh elementov	Delež poškodovanih elementov	DI	Število vseh razpok	Dolžina razpok v m	Delež dolžine razpok
Objekt 1	18	71	25 %	20 %	25	78	43 %
Objekt 2	40	62	65 %	65 %	67	177	124 %
Objekt 3	26	62	42 %	27 %	31	53	40 %
Objekt 4	33	82	40 %	41 %	53	108	60 %
Objekt 5	11	67	16 %	6 %	12	21	15 %
Objekt 6	21	78	27 %	29 %	30	70	40 %
Objekt 7	28	90	31 %	26 %	38	96	55 %
Objekt 8	32	58	55 %	41 %	45	136	90 %
Objekt 9	77	109	71 %	55 %	155	140	58 %
Objekt 10	2	131	2 %	1 %	2	3	1 %
Objekt 11	120	236	51 %	56 %	178	471	90 %
Objekt 12	41	289	14 %	15 %	67	112	19 %
Objekt 13	31	58	53 %	51 %	47	97	75 %
Objekt 14	11	45	24 %	18 %	14	27	26 %
Objekt 15	9	71	13 %	4 %	12	8	5 %
Objekt 16	27	58	47 %	26 %	31	57	39 %
Objekt 17	32	68	47 %	53 %	45	101	57 %
Povprečje	33	96	37 %	31%	50	103	49 %

Iz preglednice ugotovimo, da z naraščanjem DI narašča delež poškodovanih elementov in delež dolžine razpok v objektu, kar smo pokazali že na sliki 18 in 19.

Primerjava DI z deležem razpokanih elementov pokaže, da sta količini približno enaki za večino obravnavanih objektov. V primeru opečne stavbe 2 imata enako vrednost 65%. To pomeni, da je v tem objektu več kot polovica elementov utrpelo vsaj eno razpoko. Zaradi visokega DI pa pomeni, da so te razpoke v povprečju bile dolge, zraven pa še globoke ali pa široke. To lahko potrdimo z dolžino vseh razpok, ki znaša približno 180 m, število vseh razpok pa je 67. Če izračunamo razmerje med dolžino in številom razpok, lahko ugotovimo, da je razpoka v povprečju bila dolga 2,5 m. V povprečju so elementi pri opečnih stavbah dolgi okoli 2 m ali manj. Dokaj hitro lahko določimo indikator glede dolžine razpoke, ki je enak 1, saj je dolžina razpoke daljša od dolžine elementa (glej preglednico 3). V primeru, da bi bil DI manjši od deleža poškodovanih elementov, kot v primeru opečnega objekta 9 (DI

= 55%, delež poškodovanih elementov = 71%), pa pomeni, da imamo opravka z razpokami, ki so najbrž široke ali pa gredo globoko skozi zid, a nimajo velike dolžine (0,9m).

Če primerjamo število poškodovanih elementov s številom vseh razpok ugotovimo, da je pri vseh objektih število razpok večje od števila razpokanih elementov, kar pomeni, da so nekateri poškodovani elementi utrpeli več kot le eno razpoko.

V povprečju (glede na vse obravnavane zidane stavbe) je delež poškodovanih elementov v poljubni zidani stavbi 37 %. 6 objektov ima sicer malo nižji delež poškodovanih elementov od povprečja, vendar kljub temu lahko na osnovi tega sklepamo, da so v povprečju obravnavani objekti ob potresu utrpeli ne ravno najmanjšo količino razpok, saj to pomeni, da je dobra tretjina vseh elementov v objektu (37 %) utrpela vsaj eno razpoko, v ostalih 9 objektih pa je bil razpokan tudi kakšen element več (delež razpokanih elementov je večji od povprečja, ki znaša 37%).

V povprečju delež dolžine razpok znaša 50 %, kar pomeni, da polovica dolžine vseh elementov v objektu (merjeno v horizontalni smeri) predstavlja skupno dolžino vseh razpok, ki so prizadele zidan objekt (te so sicer lahko tudi vertikalne ali diagonalne). Iz tega lahko sklepamo, da so se pojavljale razmeroma dolge razpoke ob potresih. Na primer pri objektu 2 skupna dolžina razpok zelo presega dolžino vseh elementov oz. zidov v tem objektu, kar pomeni, da je bil takšen objekt najbrž zelo poškodovan v času potresa in bodo za posledico potrebni številni utrjevalni ukrepi.

7.5.2 Rezultati in ugotovitve na osnovi analiziranja stroškov ukrepov in stroškov celotne sanacije oz. rekonstrukcije zidanih objektov

V preglednici 5 smo zbrali vse vrste ukrepov, ki so se izvedli na objektih, njihovo povprečno ceno v €/m² BTP zidanega objekta in njihov povprečen delež stroškov k stroškom celotne sanacije oz. rekonstrukcije objekta (za natančen opis določitve glej poglavje 7.4.2).

Preglednica 5: Vrste izvedenih ukrepov in njihova povprečna cena v €/m²BTP ter njihov povprečen delež stroškov glede na ceno sanacije oz. rekonstrukcije zidanega objekta.

Vrsta izvedenega ukrepa	Povprečna cena izvedenega ukrepa v €/m ² BTP	Povprečen delež stroškov izvedenega ukrepa glede na ceno obnove objekta
KONSTRUKCIJSKI UKREPI		
INJEKTIRANJE KAMNITIH ZIDOV	41	12%
JEKLENE VEZI	39	16%
AC OMET in AB OMET	30	10%
AB VEZI - VERTIKALNE	29	13%
AB VEZI - HORIZONTALNE	9	4%
SANIRANJE RAZPOK V ZIDOVIH	9	4%
PREZIDAVA	5	2%
SANACIJA RAZPOK V PLOŠČAH IN UTRDITEV	4	2%
NEKONSTRUKCIJSKI UKREPI		
RAZNO	37	21%
DELA NA STREHI	37	15%
OMETI	29	12%
FASADERSKA DELA	24	11%
TEMELJI OB ali PODBETONIRANJE + NOVI TEMELJI	22	9%
ELEKTRO in STROJNE INŠTALACIJE	14	6%
DIMNIKI	11	3%
STROPI	7	4%
ZATREPNI ZID	3	1%
PREDELNE STENE	2	1%

Če primerjamo stroške utrjevalnih ukrepov zidov, ki so jih izvajali, ugotovimo, da je ukrep injektiranje zidov, ki je značilen za utrjevanje kamnitih zidov, najdražji. V povprečju predstavlja 12 % stroškov celotne sanacije oz. rekonstrukcije objekta in njegova izvedba je znašala v povprečju 41 €/m² BTP objekta. Če cene gradbenih del iz Odredbe leta 1998 revaloriziramo na leto 2012, lahko rečemo, da sistematično injektiranje zidov s cementno silikatno injekcijsko maso znaša 80 €/m³, z dodanim hidrofobnim dodatkom pa 90 €/m³. Zaradi možnosti neprimerne povečanja vlažnosti je pri injektiranju kamnitih zidov potrebno biti natančen, zato so običajno odvzeli vsaj po dva ali tri vzorce injektiranega zidu, kar znaša 83 €/m³.

Stroški drugega ukrepa za utrditev konstrukcijskega elementa, kot je izvedba enostranskih in obojestranskih armirano-cementnih ometov in obloge iz betona in armaturne mreže, so v povprečju znašali približno 30 €/m² BTP, njegov povprečni delež stroškov k celotni sanaciji posameznega objekta pa znaša 10 %. Stroški samih armirano-cementnih ometov, ki so sicer značilni za utrjevanje opečnih objektov, so sicer v povprečju malo višji (33 €/m² BTP in 11 % delež stroškov tega ukrepa glede na stroške obnove objekta), saj njihovo povprečje znižuje ukrep, ki se je izvajal bolj pri kamnitih

objektih - obloga iz betona in armaturne mreže, ki je kot sam med najcenejši utrjevalni ukrepi. Obloga iz betona in armaturne mreže, ki se je izvajala pri kamnitih zidovih in zidovih iz betonskih zidakov je predstavljala le 2 % stroškov k celotnim stroškom sanacije objekta, cena izvedbe pa v povprečju 12 €/m² BTP objekta. Strošek izvedbe obojestranskih armirano-cementnih ometov, glede na revalorizirane postavke iz Odredbe 1998 na leto 2012, znaša približno 70 €/m², izvedba enostranskih armirano-cementnih ometov pa 30 €/m². Obojestranske armirano-cementne omete je potrebno ustrezno sidrati tudi v temelje in obstoječo stropno konstrukcijo, kar znaša 27 €/kos sidra in 10 €/kos sidra. Strošek izvedbe obloge iz betona in armature pa znaša 93 €/m.

Slednji ukrep, ki prinese največji povprečni delež stroškov v okviru celotne sanacije oz. rekonstrukcije objekta med konstrukcijskimi ukrepi, to je 16 %, je vgradnja jeklenih vezi na nivoju stropov. Za ta ukrep so na objektu v povprečju odšteli 39 €/m² BTP objekta. Vgradnja jeklenih vezi je očitno zelo drag ukrep, vendar nujno potreben za dobro povezavo kamnitih zidov med seboj z lesenimi stropi. Tako bo stavba med pojavom novega potresa delovala celovito in nihanja zidov bodo usklajena, do razpok pa bo prihajalo v manjši meri.

Vgradnja jeklenih vezi je zelo drag ukrep tudi v primerjavi s povprečnimi stroški vgradnje horizontalnih armiranobetonskih vezi (9 €/m² BTP objekta in 4 % delež stroškov k celotni ceni sanacije objekta) ali pa vertikalnih armiranobetonskih vezi, kjer so porabili v povprečju 29 €/m² BTP objekta, vendar je njihov povprečni delež k celotni ceni sanacije le za dva procenta manjši (13 %) od deleža jeklenih vezi. Vzrok za tako visok delež stroškov, ki jih prinese vgradnja vertikalnih armiranobetonskih vezi je veliko pomanjkanje le-teh v vogalih in sečiščih zidov pri opečnih objektih. Tako največji delež stroškov in najdražji ukrep pri opečnih objektih predstavlja ravno vgradnja vertikalnih armiranobetonskih vezi. Te se je seveda v veliki meri vgrajevalo tudi pri objektih iz betonskih zidakov in kamna, vendar bolj kot opora na konceh novo sezidanih opečnih sten.

Cena vgradnje obojestranskih jeklenih vezi znaša 182 €/m, enostranskih pa 130 €/m po revaloriziranih postavkah iz Odredbe 1998 na leto 2012. Poleg tega obojestranske jeklene vezi potrebujejo še medsebojno povezavo, zato je potrebna na vsak meter dolžine vgradnja objemnih U profilov, kjer kos stane 25 €. Vgradnja horizontalnih armiranobetonskih vezi oz. zaključnih zatrepnih vezi znaša 70 €/m, medtem ko vgradnja vertikalnih armiranobetonskih vezi znaša 133 €/m, torej za skoraj polovico več kot vgradnja horizontalnih armiranobetonskih vezi. Kljub visoki ceni vgradnje vezi se odločijo zanjo, saj z vgradnjo vertikalnih armiranobetonskih vezi in njihovo povezavo z horizontalnimi armiranobetonskimi vezmi zagotovimo boljšo medsebojno povezanost zidov in obnašanje takšnega

škatlatega sistema zidane stavbe bo med potresom imelo veliko večjo odpornost. To pa posledično prinese manjšo poškodovanost stavbe kot celote in avtomatično manjše stroške sanacije ob naslednjem pojavu potresa. Tako lahko opazimo, da je vgradnja jeklenih vezi tudi po cenah iz Odredbe izdane 1998 dražja v primerjavi z vgradnjo vertikalnih in horizontalnih armiranobetonskih vezi, sicer pa tudi prinese veliko višji delež stroškov k celotni ceni sanacije pri posameznem kamnitem objektu, kjer so najbolj izvajali jeklene vezi (delež stroškov izvedbe vertikalnih in horizontalnih armiranobetonskih vezi je pri teh kamnitih stavbah veliko manjši).

Le eden primer zidane stavbe (opečna stavba – objekt 9) v raziskavi ima vse zidne vezi. Le-te so vertikalne, zaključne po zatrepih in horizontalne z monta ploščami. Ta objekt je imel daleč najnižjo ceno končne sanacije v primerjavi z ostalimi. Največje stroške temu objektu, je prinesla vgraditev škarij med škarnike in razna nekonstrukcijska dela. Sicer je ta objekt kljub dobri medsebojni povezanosti zidov s stropi utrpel kar precejšno količino razpok. Največji delež razpok predstavljajo razpoke v ploščicah v kopalnicah, ostale pa so se pojavljale predvsem na stikih opečnega zidu z monta ploščo in stopniščno ramo, malenkost jih je tudi ob vratnih in okenskih prekladah. Večino teh razpok je saniral lastnik objekta sam, kar je tudi prineslo za posledico najnižje stroške obnove tega objekta.

Iz preglednice 5 je tudi razvidno, da stroški sanacije razpok v zidovih in ploščah ne predstavljajo visokih stroškov. Sama sanacija razpok v zidovih je znašala 9 €/m² BTP in prinaša 4 % delež stroškov celotne sanacije. Sicer po revaloriziranih postavkah iz Odredbe 1998 na leto 2012, sanacija razpok v nosilnih stenah znaša 25 €/m, v predelnih opečnih stenah pa 20 €/m. Prav tako je sanacija razpok v nosilnih betonskih elementih, v našem primeru armiranobetonskih ploščah z uporabo nizko viskozne epoksidne smole znašala 2 €/m² BTP (1 % delež stroškov sanacije). Medtem ko je utrditev armiranobetonskih plošč z vgradnjo jeklenih in karbonskih lamel znašala 6 €/m² BTP (2 % delež stroškov sanacije). Sicer je povprečen strošek sanacije in utrditve razpok v ploščah skupaj znašal približno 4 €/m² BTP, povprečen delež stroškov k celotnim stroškom sanacije pa le 2 %.

Hitro lahko ugotovimo, da je zgolj samo saniranje razpok bodisi v zidovih bodisi v ploščah prineslo manjše stroške kot pa izvedba utrjevalnih ukrepov na le-teh. Tudi po revaloriziranih postavkah iz Odredbe 1998 na leto 2012, saniranje razpok v ploščah z nizko viskozno epoksidno smol znaša 58 €/m, utrjevanje z jeklenimi in karbonskimi lamelami pa 110 €/m in 84 €/m. Visoka razlika v ceni saniranja razpok v zidovih in utrjevanja teh zidov glede na postavke iz Odredbe 1998 na leto 2012 pa je več kot očitna. Kljub temu je potrebno utrditi zidove in plošče, saj saniranje razpok kvečjemu le začasno odpravi poškodbo, ki se bo ob novo nastalem potresu dokaj hitro ponovila. Pri utrjevanju pa je

možnost pojava razpok in poškodb v splošnem veliko manjša, zato se zdi ekonomično odločiti za izvedbo le-teh.

Glede na problem pomanjkanja nosilnih zidov pri obravnavanih objektih in s tem močne poškodovanosti tako nosilnih kot predelnih zidov, se je prezidava nosilnih zidov in na drugi strani vgradnja mavčno-kartonskih predelnih sten in pozidava predelnih sten iz porolita kar pogosto uporabljala kot ukrep (oba ukrepa pri malo več kot polovici obravnavanih objektov – glej preglednico 2), vendar so stroški teh ukrepov med najnižjimi (5 €/m² BTP, 2% delež stroškov sanacije in 2 €/m² BTP, 1% delež stroškov sanacije). Glede na revalorizirane cene iz Odredbe 1998 na leto 2012, stroški rušitve in pozidave novega kamnitega zidu znašajo 280 €/m³, opečnega zidu pa 210 €/m³. Če primerjamo s stroški injektiranja kamnitih zidov (90 €/m³), lahko rečemo, da je strošek prezidave veliko dražji. Pri opečnih stavbah, kjer pa so izvajali utrjevalni ukrep, kot je obojestranski armirano-cementni omet (70 €/m²), pa lahko rečemo, da je prezidava opečnega zidu kar nekaj cenejša (približno 50 €/m²). Sicer se je prezidava zidov izvedla pri malo manj kot pri polovici obravnavanih opečnih stavbah, pa še to v zelo majhnih količinah in posledično s tem zelo majhnih stroških, medtem ko se je armirano-cementni omet izvedel pa pri malo več kot polovici obravnavanih opečnih stavbah. Pri kamnitih stavbah, pa so se utrjevalni ukrepi (injektiranje zidov, AB omet) izvajali prav pri vseh kamnitih stavbah, prezidava zidov pa se je izvedla pri vseh kamnitih objektih z izjemo enega.

Če v splošnem analiziramo na drugi strani nekonstrukcijske ukrepe, ugotovimo, da prinašajo zelo visoke stroške, glede na to, da ne doprinesejo nič k boljši potresni odpornosti, nekateri izmed njih pa imajo lahko še dražje stroške in deleže stroškov glede na stroške obnove določenega zidanega objekta, v primerjavi z nekaterimi konstrukcijskimi ukrepi, ki so jih izvedli v tem objektu. Tako v povprečju predstavljajo nekonstrukcijski ukrepi dve tretjini stroškov celotne cene sanacije oz. rekonstrukcije objekta, preostalo eno tretjino pa prinese izvedba konstrukcijskih ukrepov.

Ukrep, ki prinese daleč največji delež stroškov k celotni ceni sanacije objekta (21 %) so razna nekonstrukcijska dela (povprečni strošek na objekt znaša 37 €/m² BTP). Torej je izvedba kanalizacijskih del, postavitve novih tlakov, oken in vrat znašala več kot vgradnja katerihkoli zidnih vezi, ki dejansko izboljšajo delovanje konstrukcije kot celote pri nastopu novega potresa. Takšna dela so tudi fasaderska dela, katerih povprečna cena je 24 €/m² BTP, predstavljajo pa 11 % delež stroškov celotne cene sanacije objekta. V sami raziskavi imamo samo eden objekt, na katerem niso izvajali fasaderskih del, pa še to je to objekt z najnižjo končno ceno sanacije, medtem ko so nekonstrukcijska dela bila neizogibna pri vseh obravnavanih objektih. Prav tako 6 % stroškov celotne sanacije objekta

prinesejo tudi električne in strojne inštalacije (14 €/m² BTP), kar je sicer manj v primerjavi z zgornjima dvema ukrepoma, vendar je kljub temu nekonstrukcijski in njegov doprinos k potresni odpornosti je ničen.

Zelo visoke stroške predstavljajo tudi raznorazna dela na strehah (37 €/m² BTP in 15 % delež stroškov sanacije), ki so posledica slabo izvedenih ostrešij, kar je sicer značilno za starejše zidane stavbe. Cena krovskih del, kot so odstranitev kritine in ponovno pokrivanje ostrešja s kritino je znašala v povprečju 14 €/m² BTP. Stroški tesarskih del, kot so rušenje obstoječih lesenih ostrešij, ponovna izdelava ostrešja, postavitve lesenega opaža in letev za postavitev kritine ter hkrati zamenjava poškodovanih soh z novimi in njihova povezava z stropnimi nosilci z jeklenimi ploščicami, montiranje manjkajočih škarij, nazadnje pa tudi »zavetrovanja« so v povprečju skupno znašali 9 €/m² BTP. Kleparska dela so v povprečju znašala 8 €/m² BTP. V tem primeru so bila izvedena dela, kot so postavljanje odtočnih žlebov in cevi ter pločevinastih zaključkov in obrob strešne kritine. V 70 % obravnavanih objektov (vsi kamniti objekti in skoraj vsi objekti zidani iz opeke in betonskih blokov) je bilo potrebno sidrati strešne lege, kar je v povprečju prineslo strošek v vrednosti 1,5 €/m² BTP na objekt. Sidranje strešnih leg se je v veliko primerih izvajalo skupaj z izvedbo horizontalnih armiranobetonskih zaključnih vezi, zato je njihov strošek in delež upoštevan pri ukrepu horizontalnih armiranobetonskih vezeh. Dela na strehah so ukrep, ki je prinesel največ stroškov oz. največji delež stroškov k celotni ceni sanacije pri kamnitih stavbah in stavbah iz betonskih zidakov, medtem ko je pri opečnih stavbah ta strošek bil veliko manjši, pa tudi izvajali so ga v veliko manjši meri v primerjavi s kamnitimi objekti in objekti iz betonskih zidakov. Iz tega lahko sklepamo, da je neustrezno ostrešje problem predvsem pri starih kamnitih stavbah, pa tudi pri nekaterih stavbah sezidanih iz betonskih zidakov.

Po saniranju razpok in izvedbi utrditvenih oblog je bilo potrebno ometati površine. Delež novo ometanih površin tako postane velik in s tem tudi stroški ometa, ki so znašali v povprečju 29 €/m² BTP (12 % delež stroškov glede na stroške sanacije objekta). Krpanje ometa, katerega stroške smo upoštevali v ukrepu ometi, je v povprečju predstavljalo razmeroma majhen strošek (4 €/m² BTP, 2 % delež stroškov glede na stroške sanacije objekta). Pri močno poškodovanih ometih na stropih pa so se odločili za izvedbo spuščeni stropov iz mavčnokartonskih plošč, katerih stroški so v povprečju znašali 7 €/m² BTP in predstavljajo 4 % delež stroškov glede na stroške sanacije objekta.

9% stroškov celotne sanacije objekta pa so prinesli do-betonirani, pod-betonirani ali novi temelji. Povprečni stroški za temelje so znašali 22 €/m² BTP. Po revaloriziranih postavkah iz Odredbe 1998 na leto 2012, izvedba novega armiranobetonskega temelja v primeru dodatnih zidov znaša 230 €/m³, pod-

betoniranje temeljev v armiranobetonskih lamelah do 2 m pa 240 €/m³. Vse armiranobetonske temelje je potrebno tudi sidrati v obstoječe temelje, kar znaša 220 €/m.

Saniranje dimnikov oz. novo nameščeni dimniki so v povprečju znašali 11 €/m² BTP in predstavljajo 3% delež stroškov glede na stroške sanacije objekta.

Strošek izvedbe zatrepnih zidov je znašal 3 €/m² BTP, ukrep pa je predstavljal v povprečju le 1 % delež stroškov glede na stroške sanacije objekta.

7.5.3 Zveza med poškodovanostjo in končno ceno sanacije oz. rekonstrukcije obravnavanih zidanih objektov

V preglednici 6 primerjamo poškodovanosti in končne cene sanacije po skupinah zidanih zgradb.

Preglednica 6: Primerjava poškodovanosti in cene obnove glede na vrsto zidanih objektov.

Povprečje	Poškodovanost			Cena sanacije		Cena sanacije na m ² BTP	
	Delež poškodovanih elementov	DI	Delež dolžine razpok	Končna cena sanacije	Sanacija/novogradnja	BTP (m ²)	€/m ² BTP
VSI OBJEKTI	37%	31%	49%	98457	28%	439	232
OPEČNI OBJEKTI	41%	34%	58%	58770	23%	356	188
O. IZ BETONSKEGIH ZIDAKOV	22%	24%	37%	234661	31%	930	241
STANOVANJSKA BLOKA	33%	36%	55%	300938	35%	1105	274
KAMNITI OBJEKTI	37%	30%	40%	88170	36%	294	306

Glede na skupine različnih zidanih stavb, ki jih obravnavamo v nalogi, lahko opazimo, da imajo v povprečju najvišjo stopnjo poškodovanosti, tako glede deleža poškodovanih elementov kot tudi glede DI, opečne zgradbe, nato kamnite zgradbe, nazadnje pa stanovanjska bloka iz betonskih zidakov. Eden izmed stanovanjskih blokov ima zelo nizek (med najnižjimi) delež poškodovanih elementov in s tem tudi DI, zato je skupno povprečje poškodovanosti, kljub razmeroma visoki stopnji poškodovanosti drugega stanovanjskega bloka nižje od ostalih dveh skupin zidanih stavb. Pri kamnitih in opečnih stavbah so le dva ali trije objekti, ki imajo manjšo stopnjo poškodovanosti od povprečja.

Vrednosti deleža poškodovanih elementov, ki znašajo v povprečju 40% za opečne stavbe, 37% za kamnite zgradbe, 33% za stanovanjska bloka in DI, ki znašajo v povprečju 34% za opečne stavbe, 30% za kamnite zgradbe in 36% za stanovanjska bloka, nam povedo, da je v povprečju razpokana dobra tretjina vseh elementov. Ker so DI približno enaki vrednostim deleža poškodovanih elementov pomeni, da je v povprečju prihajalo do takšnih razpok, ki niso imele ekstremnih dolžin, širin ali globin. Sicer je lokalno na kakšnem izmed elementov lahko prišlo do pojava razpoke, ki je imela ekstremno dolžino, ali širino ali pa je bila globoka, vendar so te bile zelo redke. V kolikor bi bile zelo pogoste bi DI imel veliko višjo vrednost od vrednosti deleža poškodovanih elementov.

Število razpok in njihovih dolžin v metrih je največje pri stanovanjskima blokoma, nato pri opečnih, nazadnje še pri kamnitih zgradbah. Vzrok temu sledi iz upoštevanega števila etaž pri posameznih vrstah objektov. Za stanovanjska bloka je značilno, da imata štiri etaže, za opečne pa tri, medtem ko imamo pri kamnitih večinoma le dve etaži. Z večanjem števila etaž, se večja število elementov in s tem tudi število razpok ter skupna dolžina vseh razpok. Delež dolžine razpok je v povprečju zopet največji pri opečnih zgradbah in znaša 58 %, malo nižji – 55 % pri stanovanjskima blokoma iz betonskih blokov, nazadnje pa pri kamnitih zgradbah z vrednostjo 40 %. Iz tega lahko sklepamo, da imamo v povprečju tudi pri opečnih zgradbah kar veliko skupno dolžino razpok, saj je skupna dolžina razpok glede na skupno dolžino vseh elementov v opečnem objektu še višja od povprečnega deleža dolžine razpok pri stanovanjskima blokoma, za katere sicer že velja največja dosežena skupna dolžina razpok. Povprečje deleža dolžin razpok za vse vrste objektov skupaj znaša 50 %. Odstopanja povprečij deleža dolžine razpok za posamezno vrsto zidanih zgradb so od povprečja deleža dolžine razpok za splošno zidano zgradbo majhna, zato lahko sklepamo, da je v povprečju skupna dolžina razpok v zidani zgradbi približno enaka polovici dolžine vseh elementov skupaj (merjeno v horizontalni smeri) v zidani stavbi.

Povprečna cena končne sanacije oz. rekonstrukcije objekta znaša približno 100000 €, kar predstavlja okoli 30 % cene novogradnje takega objekta. Ker je razmerje sanacije in novogradnje manjše od polovice lahko predvidevamo, da je cenovno bolj ekonomična sanacija oz. rekonstrukcija objekta kot porušitev in pozidava le-tega na novo, saj tudi poškodovanost stavb glede razpok, v povprečju (37 %) ni bila hudo visoka. V primeru, da bi bile stavbe zelo hudo poškodovane, da deli zidu že izpadajo in se rušijo, pa bi se zagotovo odločili za porušitev starega in gradnjo novega zidanega objekta. V povprečju so objekti imeli približno 450 m² BTP, torej je znašala sanacija približno 230 €/m² BTP.

Približne povprečne končne cene sanacij posameznih skupin zidanih objektov, ki si sledijo od najcenejše pa do najdražje so: 60000 € za opečne zgradbe, 90000 € za kamnite zgradbe in slabih 250000 € za zgradbe iz betonskih zidakov, oz. 300000 € za stanovanjska bloka. Največje razmerje med sanacijo in novogradnjo je 36% za kamnite stavbe, 35% za stanovanjska bloka (31% za stavbe iz betonskih zidakov) in 23% za opečne stavbe. Tako ugotovimo, da novogradnja opečnega objekta znaša 25000 €, kamnitega 250000 €, novogradnja stanovanjskega bloka iz betonskih zidakov pa 850000 €. Cena obnove na kvadratni meter BTP glede na skupine zidanih stavb pa je v poprečju slabih 200 €/m² BTP za opečne zgradbe, 240 €/m² BTP za zgradbe iz betonskega bloka oz. 270 €/m² BTP za stanovanjska bloka in nazadnje, najdražja cena sanacije je po pričakovanjih pri kamnitih zgradbah in sicer 300 €/m² BTP.

Končna cena sanacije zidanih zgradb iz betonskih zidakov oz. stanovanjskih blokov je načeloma najvišja, vendar je to posledica velike površine, ki jo imajo stanovanjski bloki. Povprečna BTP stanovanjskega bloka (1100 m²) je tri-krat večja od BTP kamnitih objektov (300 m²). S tem imamo toliko večje površine na katerih so izvajali ukrepe in posledično s tem tudi višje stroške končne cene sanacij. Temu primerna je povprečna cena sanacije, ki je tri-krat višja v primerjavi s sanacijo kamnite stavbe. Isto velja v primeru novogradnje, torej je tudi cena novogradnje stanovanjskega bloka tri-krat višja v primerjavi s ceno novogradnje kamnite zgradbe.

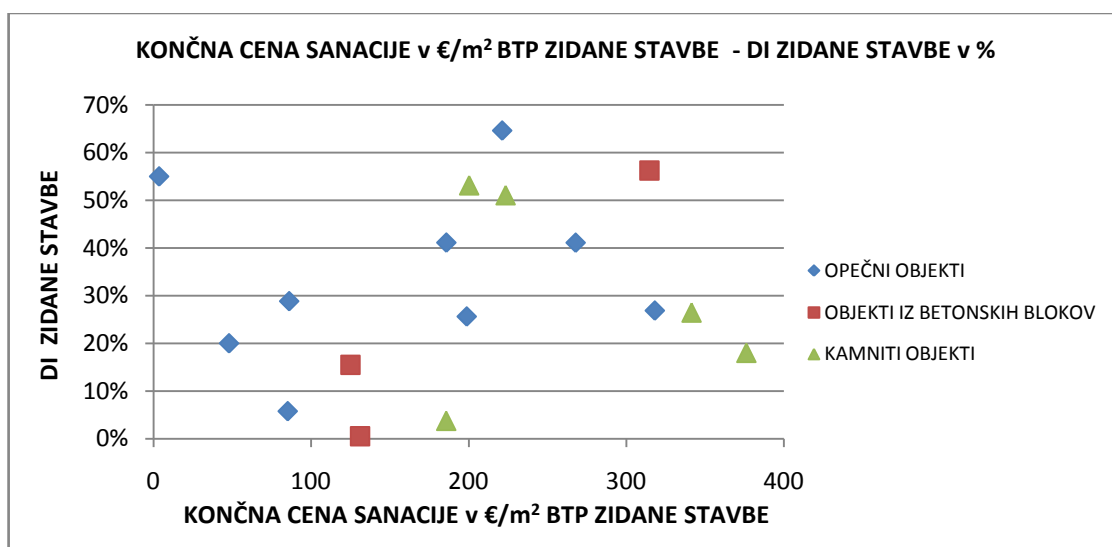
Sicer pa lahko rečemo, da so kamnite zgradbe tiste, ki imajo najdražjo ceno sanacije oz. obnove na m² BTP. Tudi razmerje med ceno obnove in novogradnje je najvišje, vendar še zmeraj ne presega 50%. Vzrok temu so razmeroma visoke cene ukrepov, ki se izvajajo na kamnitih zgradbah. Po navadi so to najstarejši objekti (obravnavani kamniti objekti so bili zgrajeni okrog leta 1900, medtem ko so nekateri opečni in iz betonskega bloka objekti bili zgrajeni okrog leta 1970), ki sploh niso bili projektirani na potresno obtežbo, zato se je te vrste stavbo za boljše obnašanje med potresom še posebno potrebno dobro obnoviti. Posledično s tem so potrebni različni ukrepi, ki jih je načeloma številčno več kot pri opečnih stavbah, ki imajo tako najnižjo ceno sanacije in ceno obnove na m² BTP (pa tudi najnižje razmerje med ceno sanacije in novogradnje). Ukrepi kot so prezidava, vgradnja novih predelnih sten in visečih stropov, ali pa razna dela na strehi so zelo pogosta pri kamnitih objektih, medtem ko se pri opečnih objektih s temi ukrepi le malokrat srečamo ali pa se srečamo v zelo majhni meri in s tem zelo nižjimi cenami. Hkrati so ukrepi, ki se izvajajo na kamnitih objektih dražji v primerjavi z ukrepi, ki se izvajajo bolj pri opečnih stavbah. Kot smo že prej ugotovili je na primer vgradnja jeklenih vezi dražja kot vgradnja vertikalnih ali pa horizontalnih vezi, sicer pa je injektiranje na kvadratni meter površine cenejše kot izvedba armirano-cementnega ometa. Poleg tega gre za

manjše tlorisne površine kamnitih stavb, zato toliko dražja cena obnove kamnitega objekta prinese višjo ceno obnove na m^2 BTP.

Če poskušamo še najti zvezo med poškodovanostjo zidanega objekta izraženega z DI in končno ceno sanacije zidanih objektov ne dobimo lepe sovisnosti med njima (slika 20). Stopnja poškodovanosti je definirana zgolj z razpokami, sama sanacija razpok, pa tudi utrditev zidov ali prezidava zaradi prekomerne razpokanosti, pa ne nujno prinašajo največji delež stroškov k stroškom celotne obnove stavbe.

Cena sanacije je namreč bolj odvisna od vzroka nastanka poškodb konstrukcijskih elementov. Vzrok številnih razpok so nepovezani zidovi z lesenimi stropi brez zidnih vezi in premajhna natezna in strižna trdnost zidov. Velik delež stroškov sanacije določajo torej ukrepi, ki preprečujejo nastanek razpok na konstrukcijskih elementih, pa tudi na predelnih stenah, zatrepih in dimnikih in ne samo popravilo oz. saniranje razpok. Tako utrjevanje zidov lahko prinese velik delež stroškov k končni ceni sanacije, vendar ne večji kot vgradnja jeklenih vezi, ali armiranobetonskih navpičnih in horizontalnih vezi skupaj. Sicer pa največje deleže stroškov k končni ceni sanacije prinesejo fasaderska in nekonstrukcijska dela ter popravila ometov, ki pa načeloma ne prinesejo nič k potresni odpornosti zidane zgradbe ter raznorazna dela na strehah zaradi njihove dotrajanosti in nepravilne izvedenosti.

Tako ceno sanacije najbolj določajo stroški nekonstrukcijskih ukrepov, katerih izvedba ni neposredna posledica poškodovanosti zidanih stavb. Nekonstrukcijski ukrepi predstavljajo v povprečju kar 2/3 končne cene sanacije, medtem ko preostalo 1/3 prinesejo stroški konstrukcijskih ukrepov, zato posledično s tem ne moremo dobiti lepe sovisnosti med DI in končno ceno sanacije.



Slika 20: Zveza med končno ceno sanacije v €/m² BTP zidane stavbe in DI zidane stavbe

8 ZAKLJUČEK

Večina zidanih objektov v zgornjem Posočju se je ob nastalih potresih leta 1998 in leta 2004 močno poškodovale, saj so bili večinoma zgrajeni v obdobju med 1900 (kamnite stavbe) in 1970 (opečne stavbe in stavbe sezidane iz betonskih zidakov).

V okviru naloge smo obravnavali izbrani vzorec stavb (17 objektov), ki večinoma predstavlja sodobne zidane stavbe zgrajene v obdobju 1970-1980 in nekaj primerov kamnitih stavb. V povprečju so vse obravnavane zidane stavbe imele delež poškodovanih zidov slabih 40 % in DI 30%, kar pomeni, da je malo manj kot polovica vseh elementov v zidanem objektu utrpelo vsaj eno razpoko, ki pa sicer niso imele ekstremnih dolžin, širin ali globin (to pokaže majhen DI). Sicer so se lokalno na elementu pojavljale ekstremno dolge, široke ali globoke razpoke, vendar teh ni bilo veliko. Število razpok je od števila poškodovanih elementov večje v vseh primerih obravnavanih zidanih stavb, kar pomeni, da so nekateri izmed poškodovanih elementov utrpeli tudi več kot le eno razpoko. Hkrati imamo v povprečju 50 % delež dolžine razpok, kar nam pove, da je dolžina vseh razpok, ki so prizadele zidano stavbo enaka polovici skupne dolžine vseh elementov oz. zidov v zidani stavbi (merjeno v horizontalni smeri).

Zaradi takšne poškodovanosti so se odločili za sanacijo razpok pri skoraj vseh obravnavanih zidanih stavbah, za utrditev zidov ali prezidavo zidov pa v polovici vseh obravnavanih zidanih stavb. Sicer so se utrjevalni ukrepi in prezidava zidov izvedli pri vseh kamnitih stavbah, za razliko od opečnih stavb kjer je izvedba utrjevalnega ukrepa bila izvedena na polovici opečnih stavb, prezidava pa še manj kot na polovici in še to v izredno majhnih stroških. Ugotovimo tudi, da so tisti objekti na katerih so izvajali utrjevalne ukrepe v veliki meri, imeli tudi visok DI (okoli 40%, 50%). Na drugi strani se za preprečitev novih razpok odločijo za izvedbo vgradnje zidnih vezi, kot so vertikalne in horizontalne armiranobetonske zidne vezi ter jeklene zidne vezi. Le-ti konstrukcijski ukrepi (zidne vezi in utrjevalni ukrepi) so tudi prinesli največ stroškov v €/m² BTP in deležih v % od konstrukcijskih ukrepov. Na drugi strani so visoke stroške sanacije in deleže stroškov k končni ceni sanacije prinesli nekonstrukcijski ukrepi, ki v splošnem ne doprinesejo k boljši potresni odpornosti, vendar se jim ne moremo izogniti. Največje stroške izmed nekonstrukcijskih ukrepov predstavljajo razna nekonstrukcijska dela, kot so kanalizacijska dela, opaži betonskih elementov, prestavitve vrat in oken zaradi prestavitve zidov in vgradnja novih tlakov ali pa fasaderska dela, kamor uvrščamo postavitev fasadnih odrov in izdelavo fasad zunanjih zidov. Visoke stroške sanacije so prinesla tudi dela na strehi, ki so posledica ne najboljše izvedenih strešnih konstrukcij, v smislu pod-dimenzioniranja

strešnih leg in uporabe azbestnih kritin, ki so danes prepovedane za uporabo. Tako je bilo potrebno zamenjati ali pa podpreti povešene tramove, vgraditi manjkajoče škarje in izvesti »zavetrovanja« ter zamenjati kritino. V nekaterih primerih pa so porušili staro in v celoti izvedli novo ostrešje.

Na drugi strani sama sanacija razpok na zidovih ali stropih prinese daleč manjše stroške kot izvedba utrjevalnih ukrepov na poškodovanih zidovih in ploščah. Sanacija razpok v zidovih znaša 20 €/m², sanacija razpok v betonskih elementih 60 €/m, medtem ko utrditev zidov z obojestranskim armiranocementim ometom znaša 70 €/m² in injektiranje 90 €/m³, utrditev plošč z jeklenimi ali karbonskimi lamelami pa 110 €/m in 84 €/m. Poleg tega gre za veliko večje površine v primeru izvedbe utrjevalnih ukrepov, kar ima zopet za posledico dražje stroške. Hkrati s sanacijo razpok dosežemo samo začasno odpravljanje poškodbe, ki se bo ob novo nastalem potresu dokaj hitro ponovila, medtem ko z utrjevalnimi ukrepi utrjujemo zidove, kar pomeni, da lahko izboljšamo odpornost stavbe na potres med novo nastalim potresom.

Tako ugotovimo, da merilo za končno ceno sanacije ne postavlja sama sanacija razpok, ki je neizogibna vrsta poškodbe na stavbi med potresom in na osnovi katere smo ugotavljali poškodovanost zidane stavbe, temveč izvedba ukrepov, ki bi preprečila nastanek le-teh (npr. vgradnja zidnih vezi in utrjevalni ukrepi). Taki ukrepi prinesejo največ stroškov od vseh konstrukcijskih ukrepov, ki sicer skupaj predstavljajo le 1/3 stroškov celotne sanacije oz. rekonstrukcije zidanega stavbe. Ostali 2/3 stroškov celotne sanacije oz. rekonstrukcije zidanega stavbe predstavlja izvedba nekonstrukcijskih ukrepov, kamor spadajo razna nekonstrukcijska dela, ometi, fasaderska dela in dela na strehi, pa tudi električne in strojne inštalacije. Tako z naraščanjem poškodovanosti zidanih stavb, ki je določena na osnovi količine in lastnosti razpok ne more v lepi sovisnosti naraščati tudi končna cena sanacije oz. rekonstrukcije zidane stavbe, saj 2/3 stroškov končne cene sanacije prestavlja samo izvedba nekonstrukcijskih ukrepov, katerih izvedba ni neposredno posledica razpokanosti zidov ali stropov.

Če povzamemo, lahko rečemo, da je sanacija obravnavanih kamnitih stavb znašala približno 300 €/m² BTP, sanacija stavb sezidanih iz betonskih zidakov 250 €/m² BTP, sanacija opečnih stavb pa približno 200 €/m² BTP. V splošnem cena sanacije obravnavanih objektov ni nikjer presegla 50% cene novogradnje (v povprečju je znašala 30%), kar pomeni, da je ob ne visoki poškodovanosti zidanih stavb v smislu razpok, bilo bolj ekonomično izvesti kvalitetno obnovo oz. rekonstrukcijo starejše zidane stavbe, kot pa obstoječo zidano stavbo porušiti in jo zgraditi na novo.

VIRI

D'Ayala D, Speranza E. 2003. Definition of Collapse Mechanisms and Seismic Vulnerability of Historic Masonry Buildings. *Earthquake Spectra* : August 2003, Vol. 19, No. 3, pp. 479-509.

DTP. 2012a. Projektna dokumentacija za utrditev poškodovanih zidanih objektov v Posočju: loč. pag.

DTP. 2012b. Spremembe in dopolnitve UL RS št. 59/1998: 2736: loč. pag.

Fajfar, P. 1995. Osnove potresnega inženirstva. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 73 str.

Klemenc, I. , Weiss, P., Lutman, M., Tomaževič, M., Bosiljkov, V. 2004. Analiza stanja objektov, poškodovanih po potresu 12. 7. 2004. Ljubljana: Zavod za gradbeništvo Slovenije.

Odredba o cenah in normativih za določanje cen gradbenih del za popotresno obnovo objektov. Uradni list RS št. 59/1998: 2736.

Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o cenah in normativih za določanje cen gradbenih del za popotresno obnovo objektov, Priloga 2 – Popis splošnih gradbenih del in cena na enoto, ter cena nadomestne gradnje in novogradnje. Uradni list RS št. 83/2007: 4213.

Shan X., Aiwon L., Fangjie L. 2008. Preliminary research on the earthquake-intensity assessment using the mean damage index of buildings with earthquake-resistant design. *Proceedings of The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17, 2008, Beijing, China.

Tomaževič, M. 1987. Zidane zgradbe na potresnih območjih. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 2.1-2.2 str., 6.24 str.

Tomaževič, M. 2007. Damage as a measure for earthquake-resistant design of masonry structures: Slovenian experience. *Canadian Journal of Civil Engineering*: 2007, Vol. 34, No. 11 : pp. 1403-1412.

Tomaževič, M. 2009. Potresno odporne zidane stavbe. Ljubljana, Tehnis: 32-34 str., 83-85 str., 104 str., 227-257 str.

Vidrih, R. 2008. Potresna dejavnost zgornjega Posočja. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje - Urad za seizmologijo in geologijo: 251-252 str., 346-348 str., 378 str., 384 str.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Slike zunanosti obravnavnih zidanih stavb (DTP, 2012a)

PRILOGA B: Tlorisi ene etaže obravnavnih zidanih stavb (DTP, 2012a)

PRILOGA A: Slike zunanosti obravnavnih zidanih stavb (DTP, 2012a)

Zidana stavba 1



Zidana stavba 2



Zidana stavba 3



Zidana stavba 4



Zidana stavba 5



Zidana stavba 6



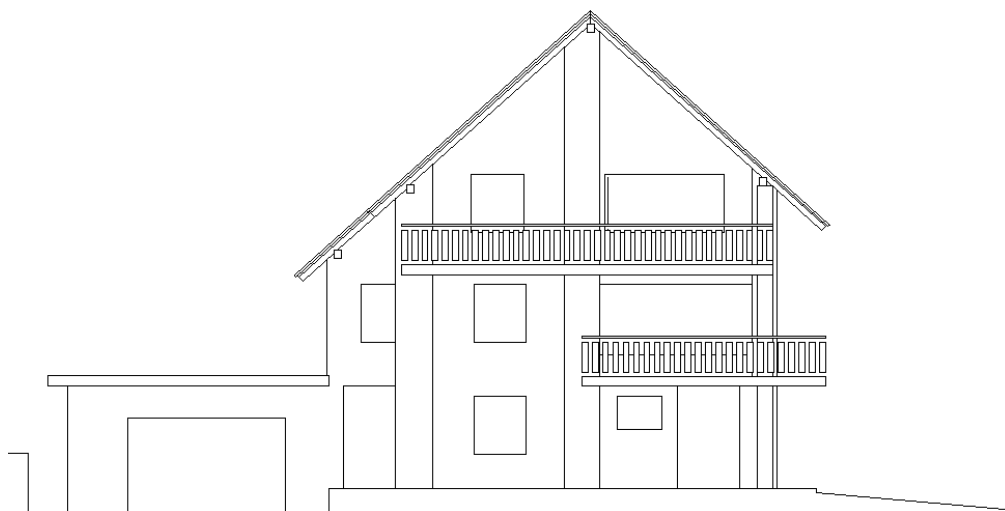
Zidana stavba 7



Zidana stavba 8



Zidana stavba 9



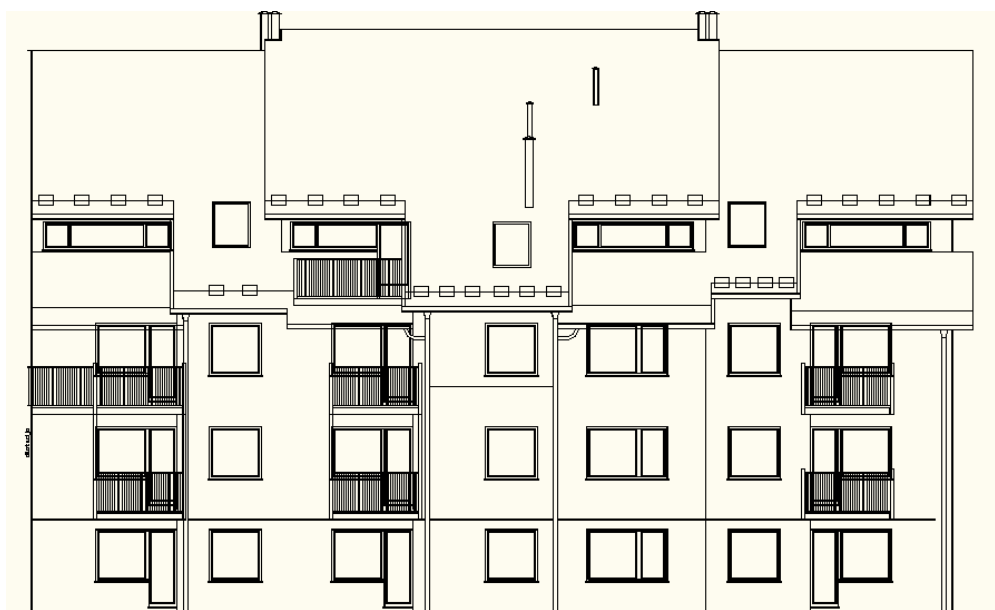
Zidana stavba 10



Zidana stavba 11



Zidana stavba 12



Zidana stavba 13



Zidana stavba 14



Zidana stavba 15



Zidana stavba 16

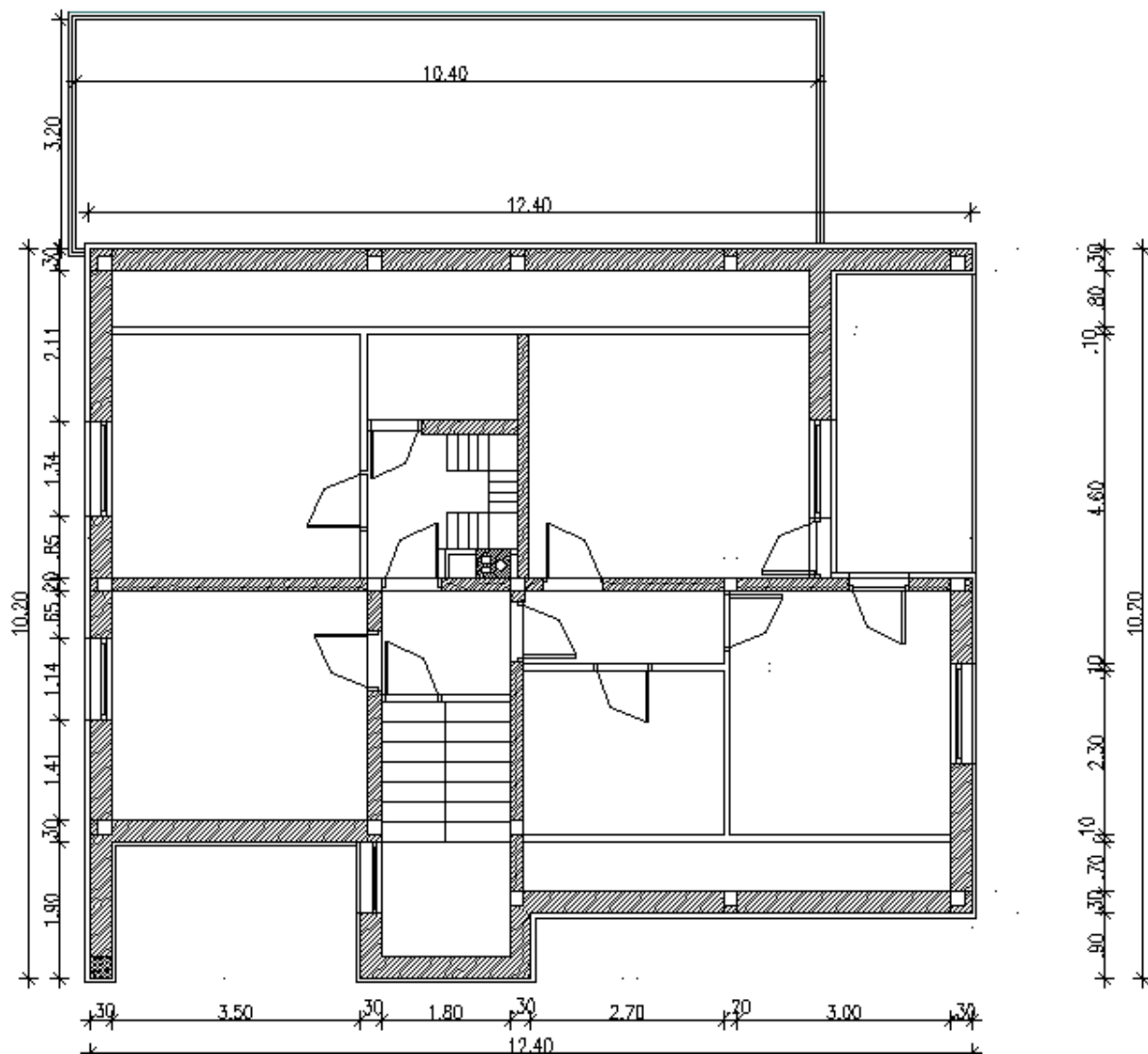


Zidana stavba 17

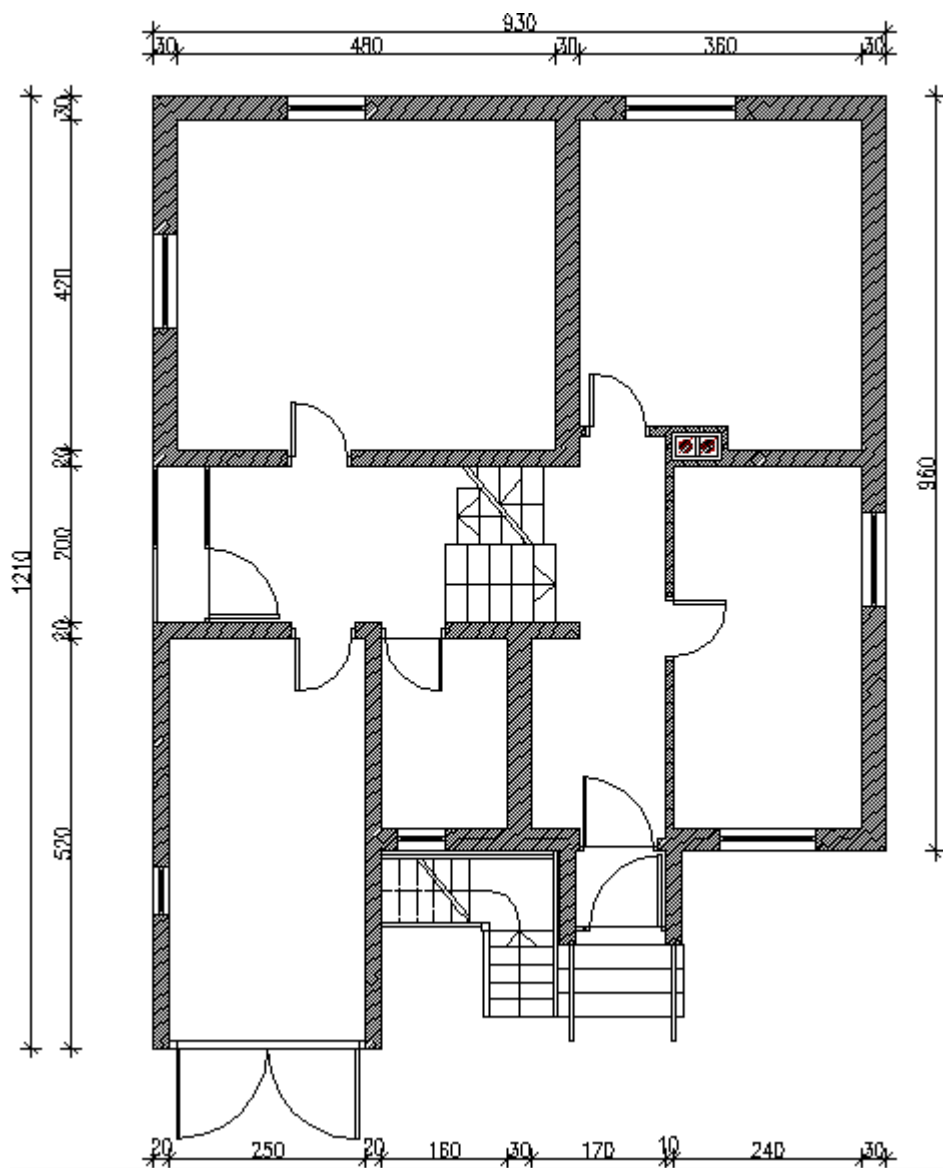


PRILOGA B: Tlorisi ene etaže obravnavnih zidanih stavb (DTP, 2012a)

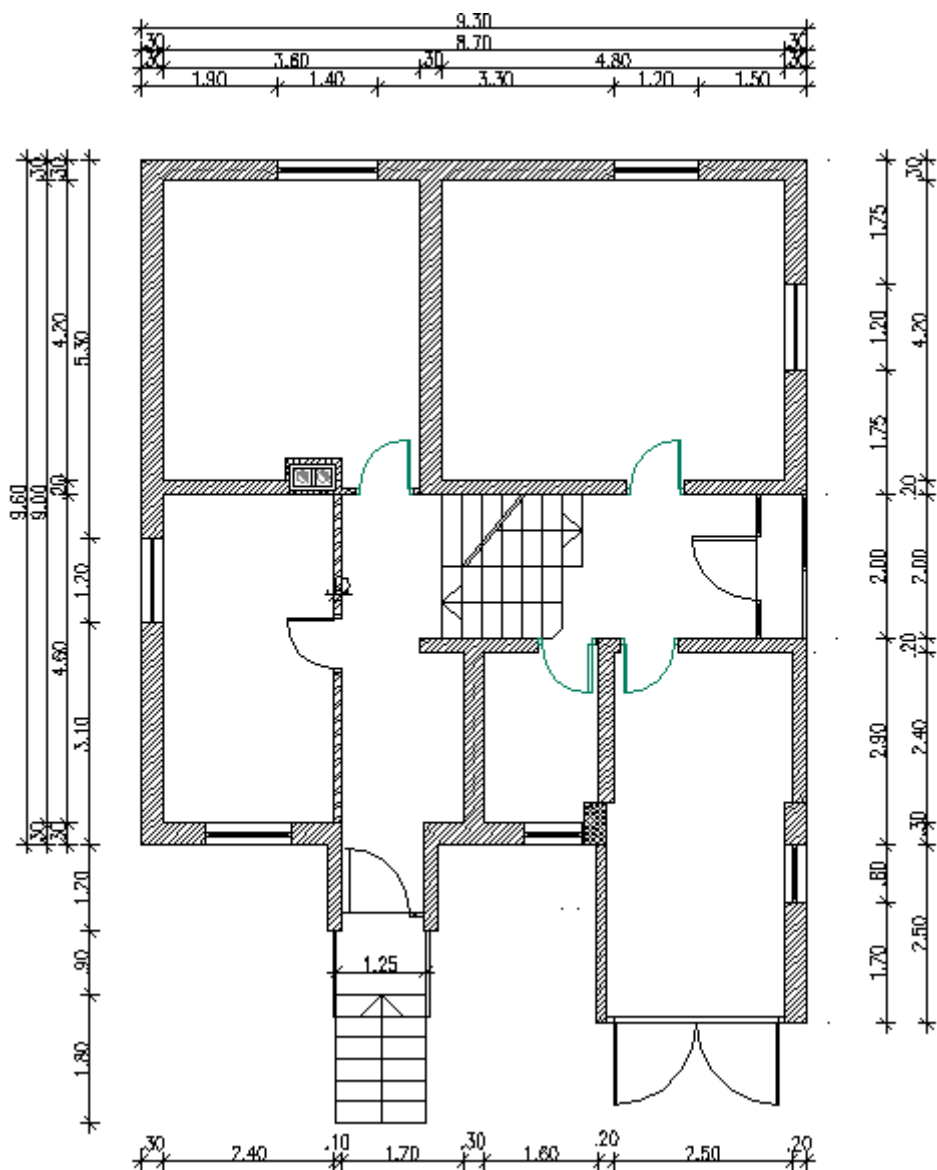
Zidana stavba 1



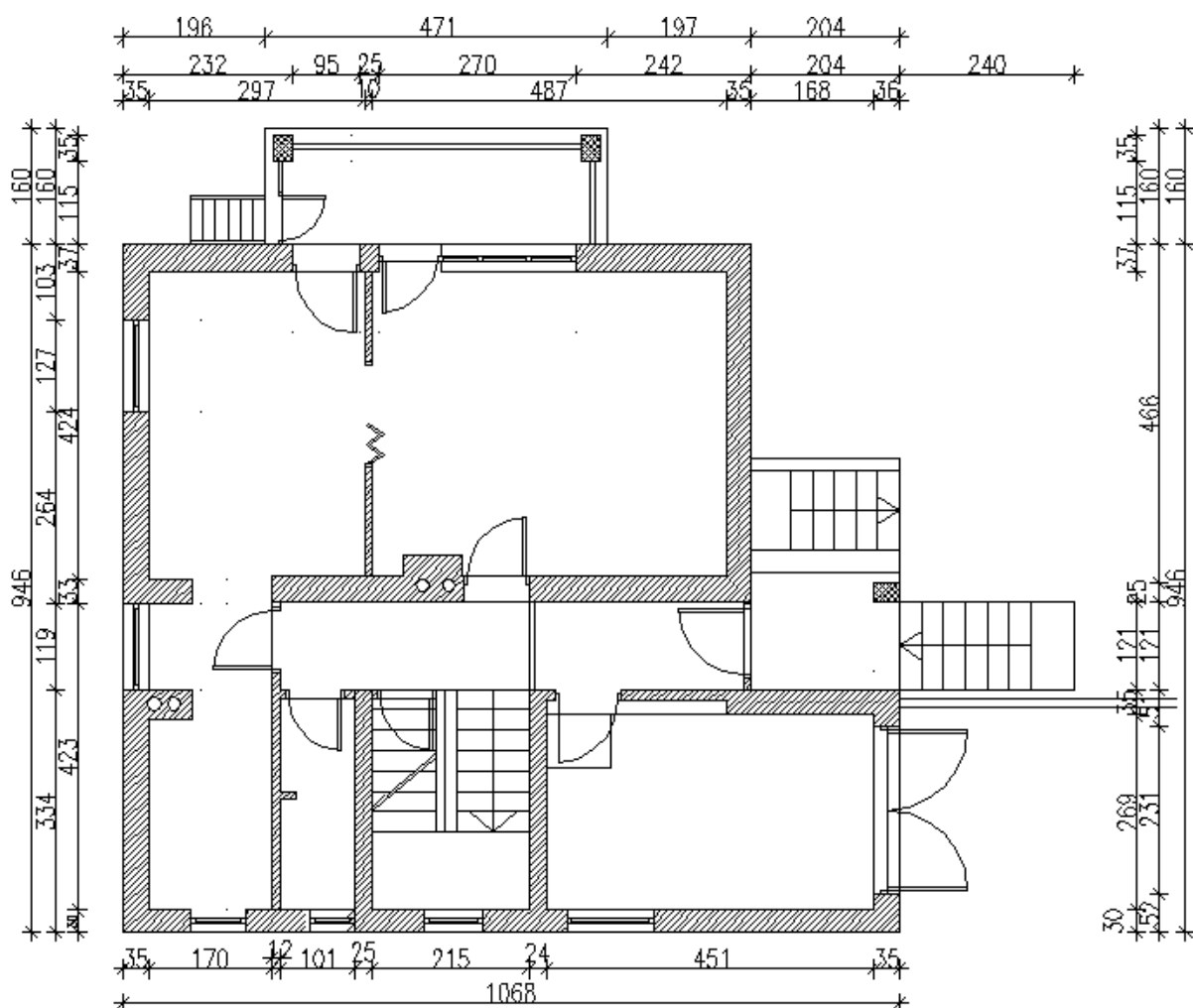
Zidana stavba 2



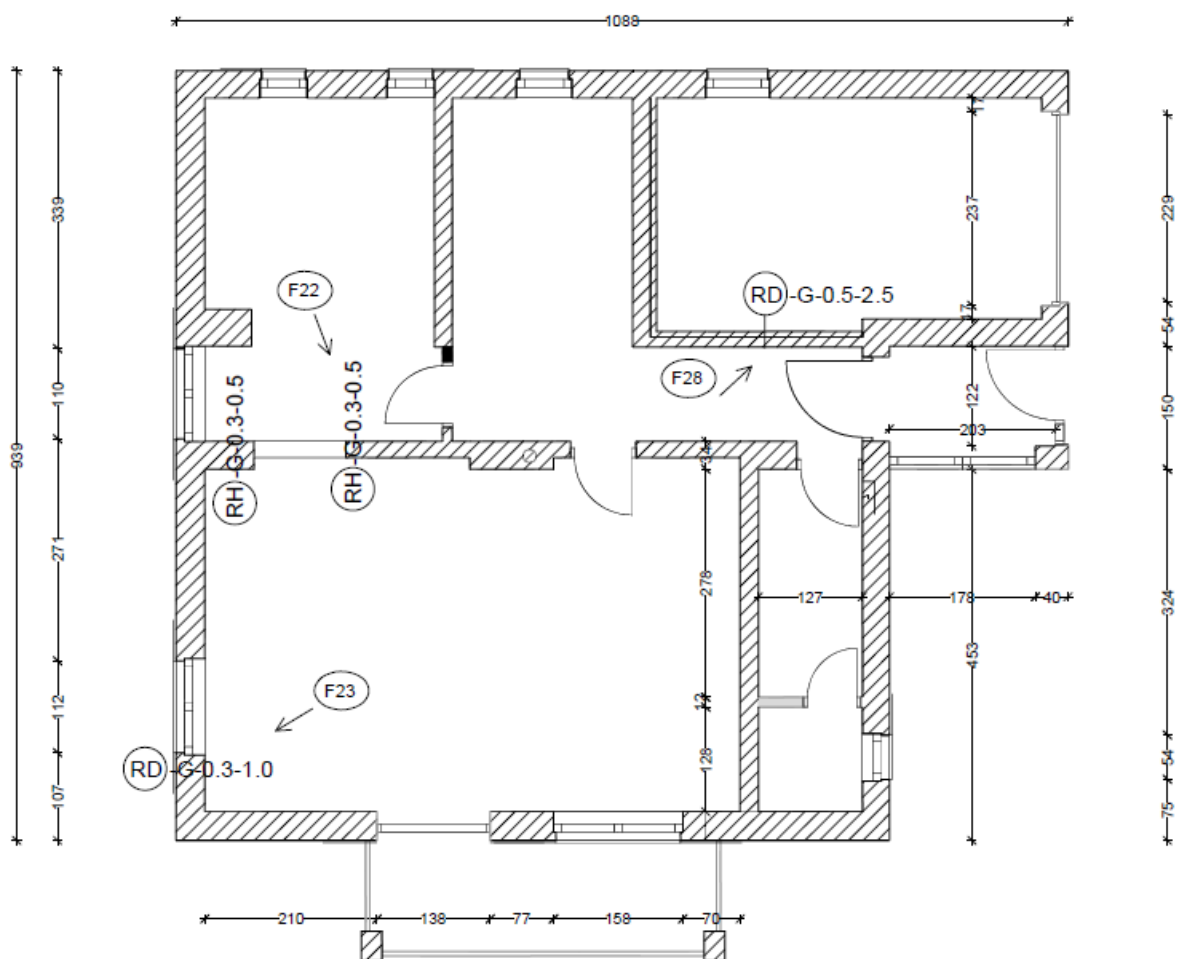
Zidana stavba 3



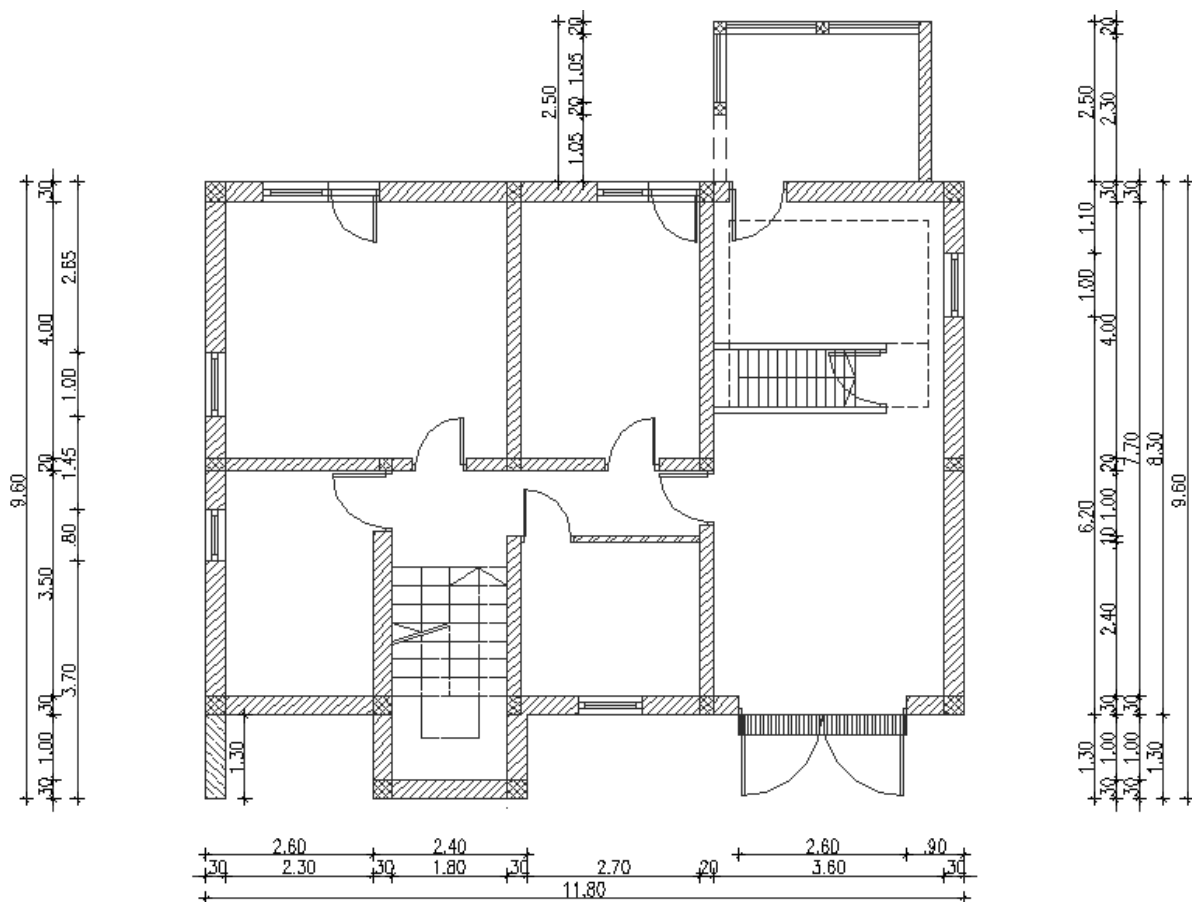
Zidana stavba 4



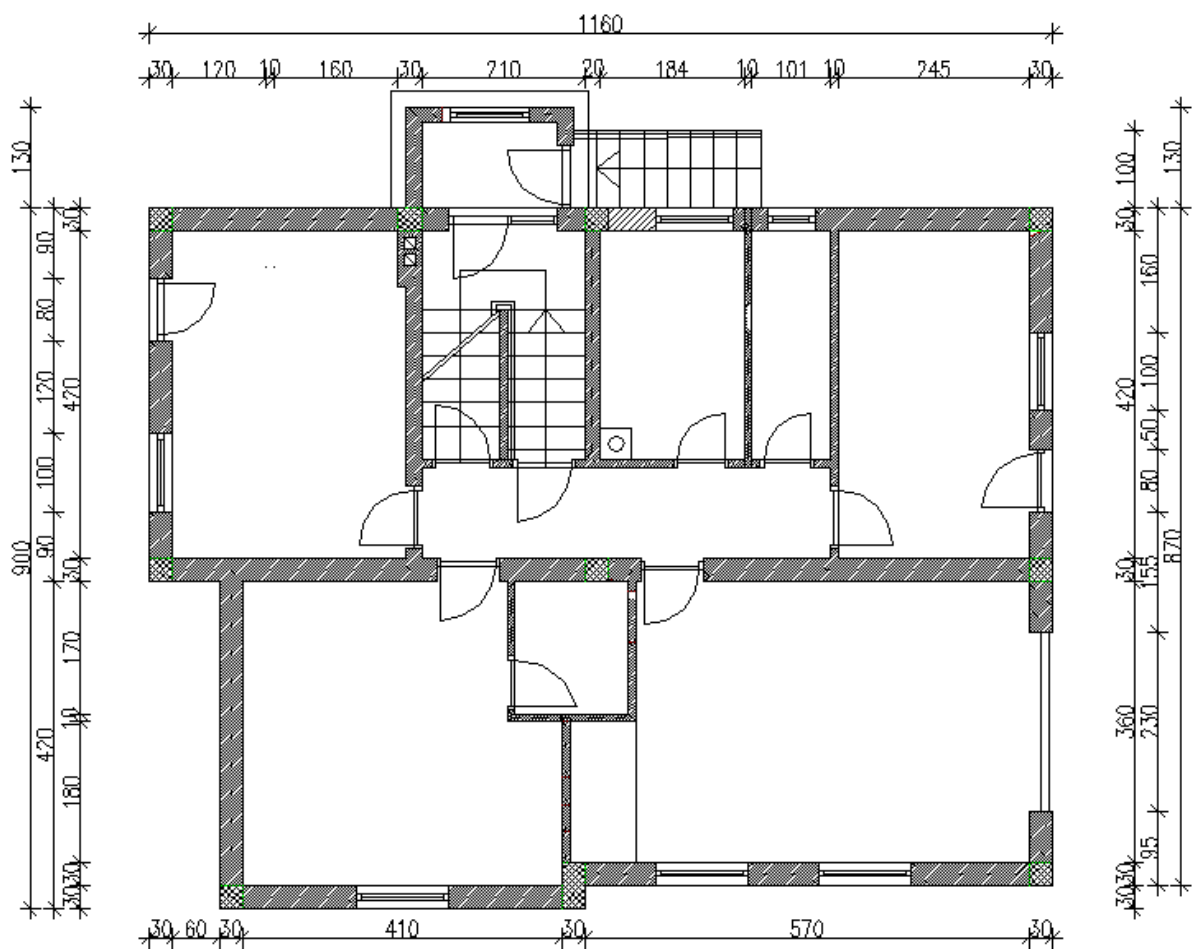
Zidana stavba 5



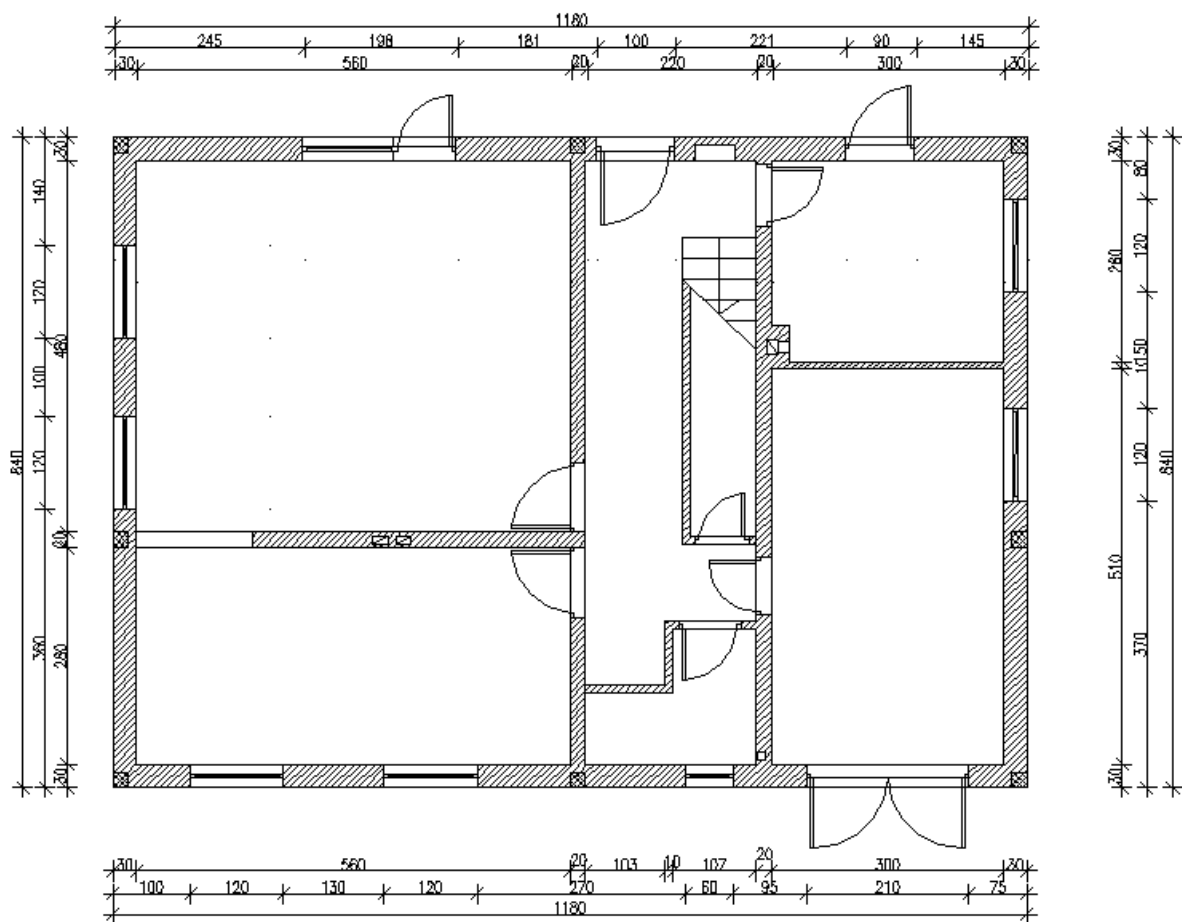
Zidana stavba 6



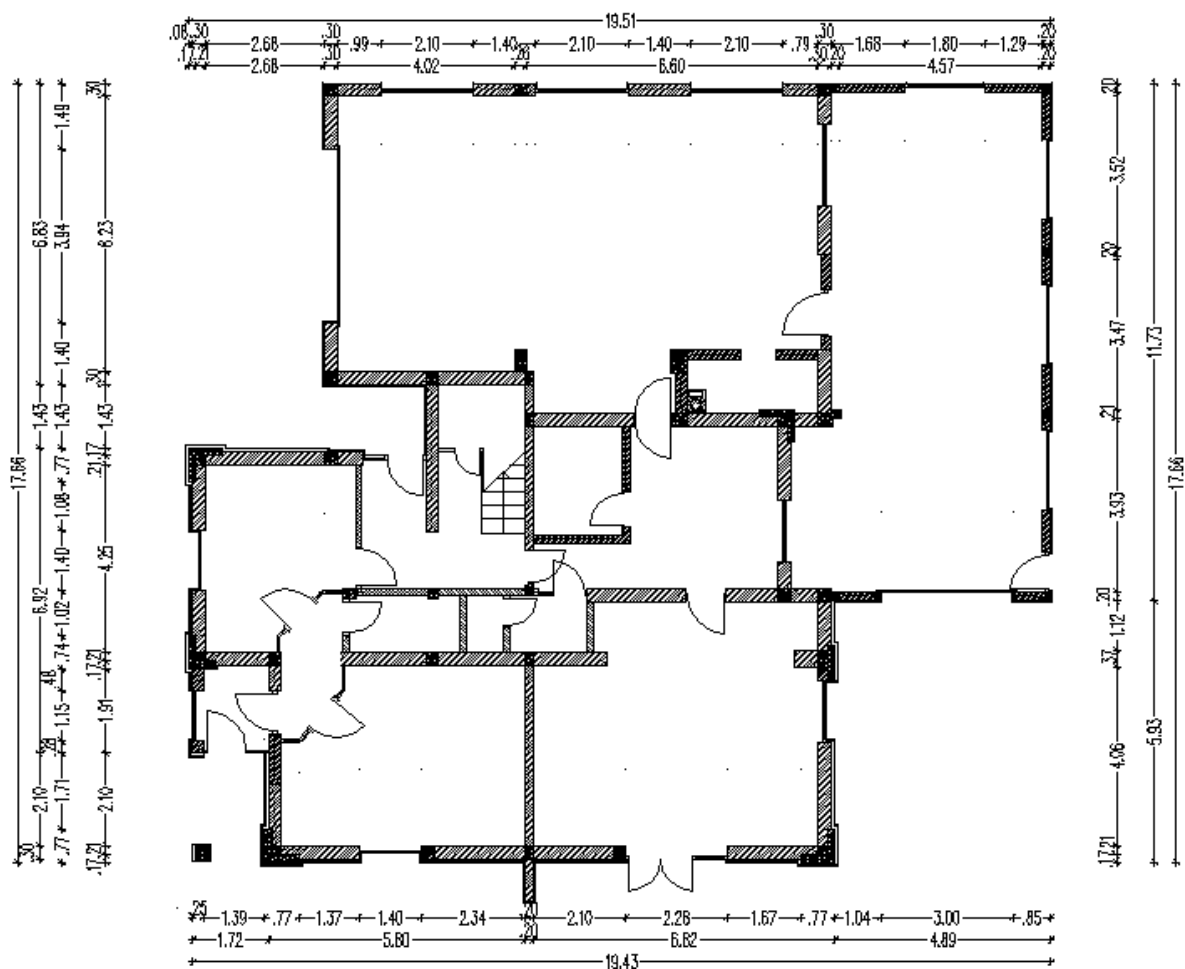
Zidana stavba 7



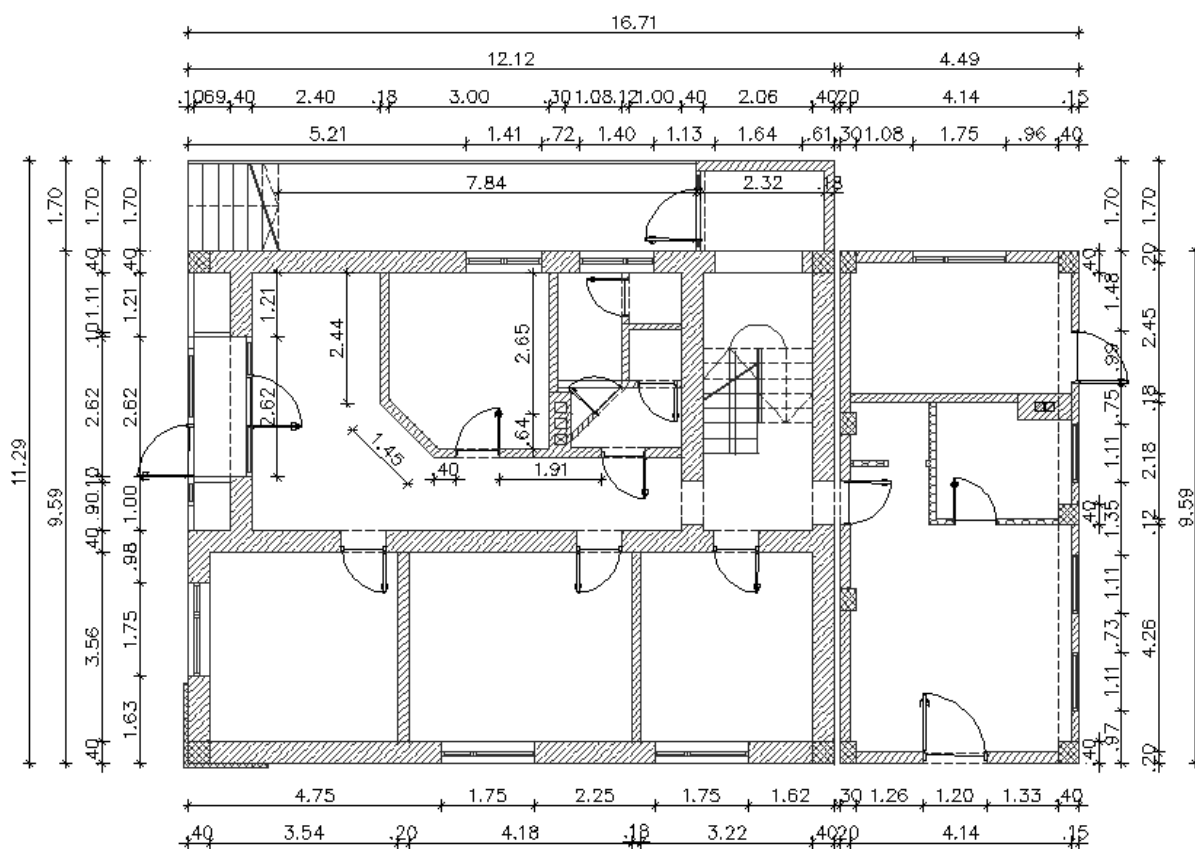
Zidana stavba 8



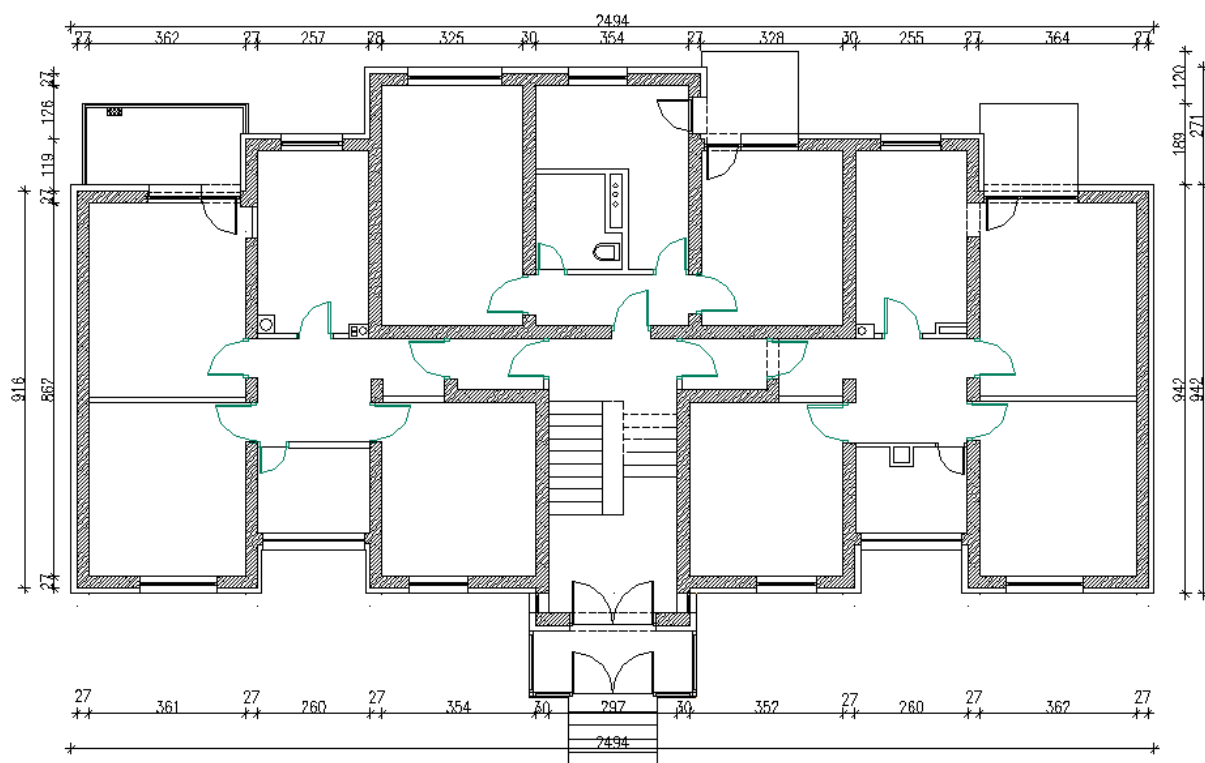
Zidana stavba 9



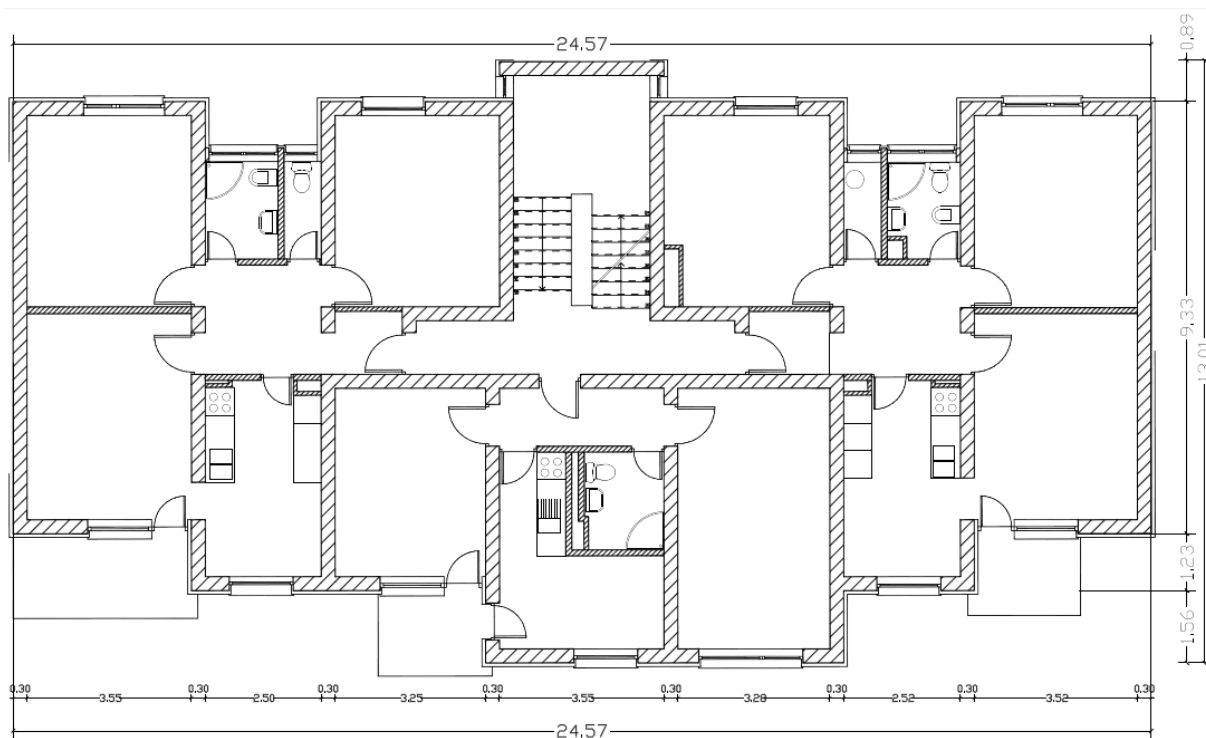
Zidana stavba 10



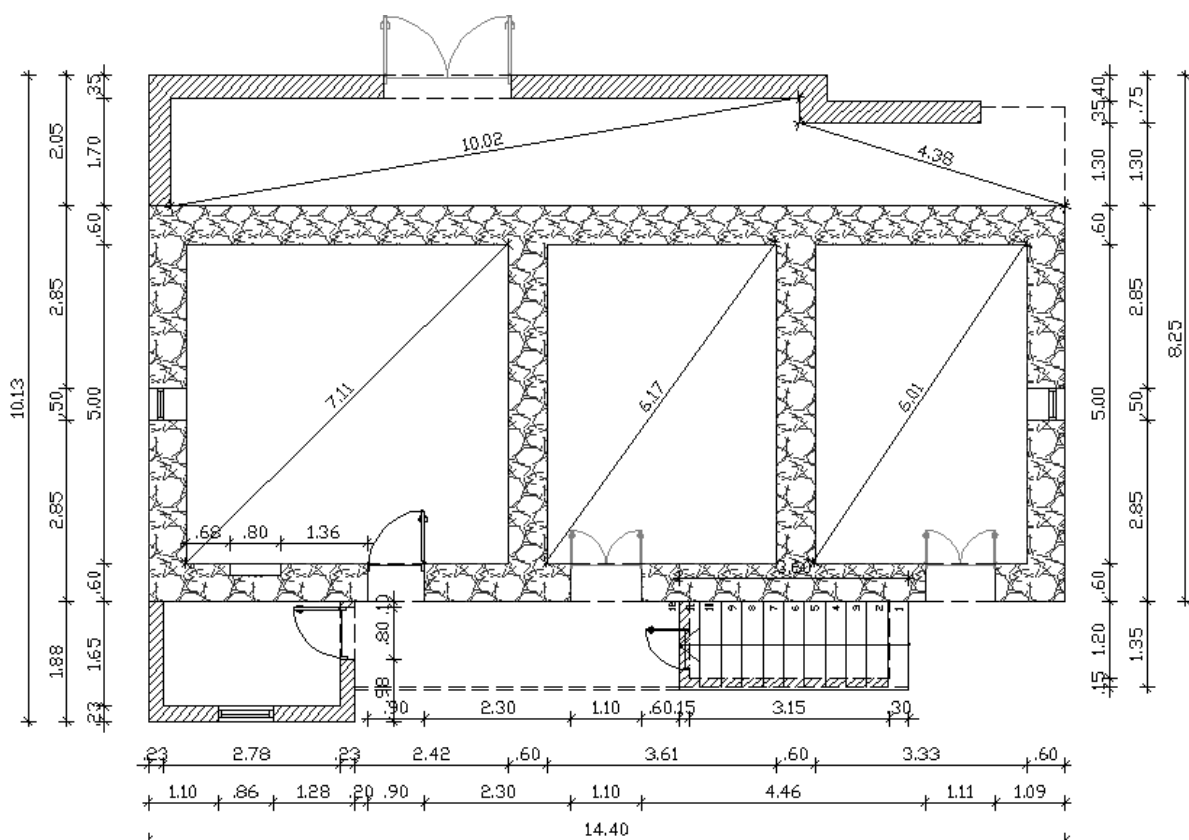
Zidana stavba 11



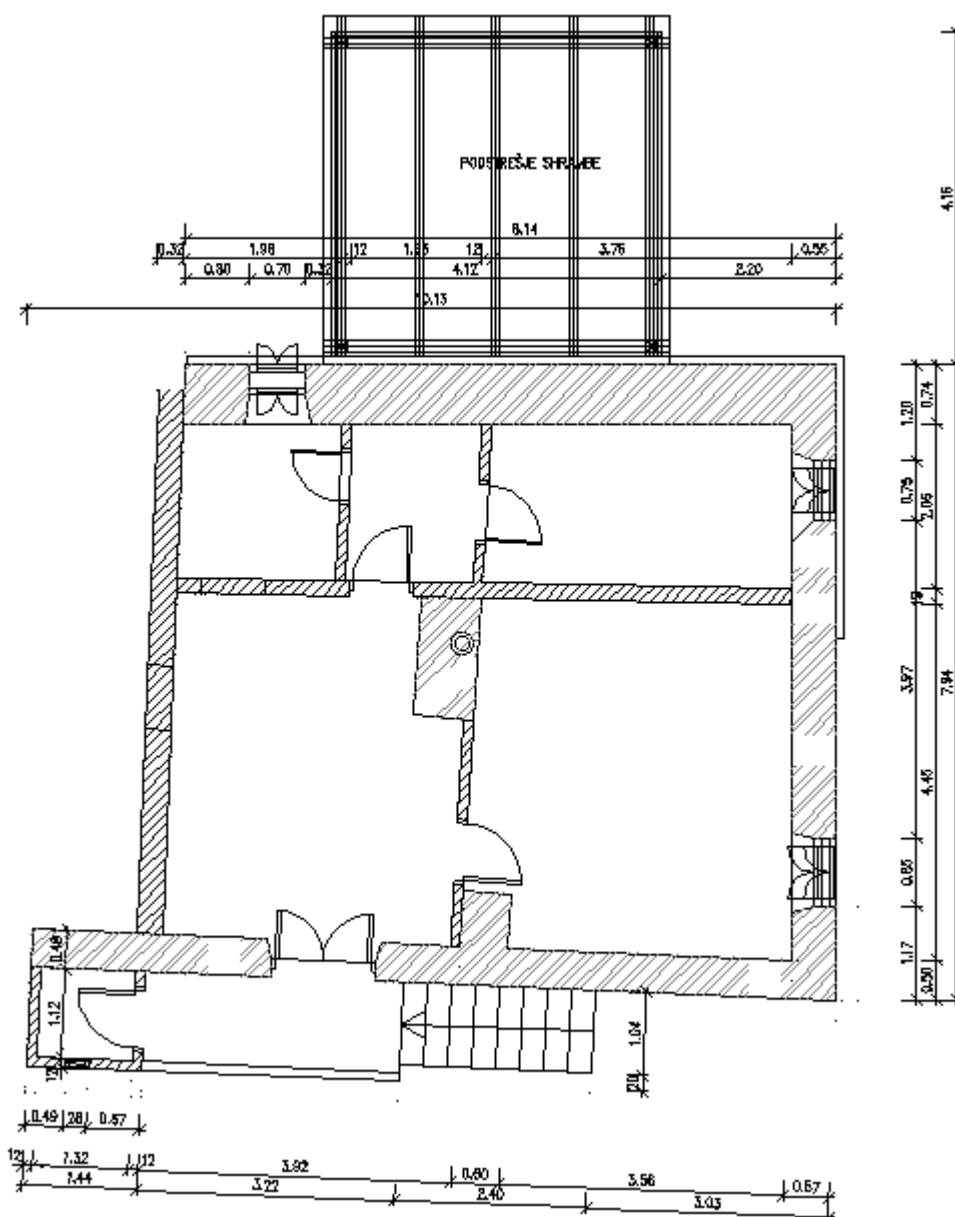
Zidana stavba 12



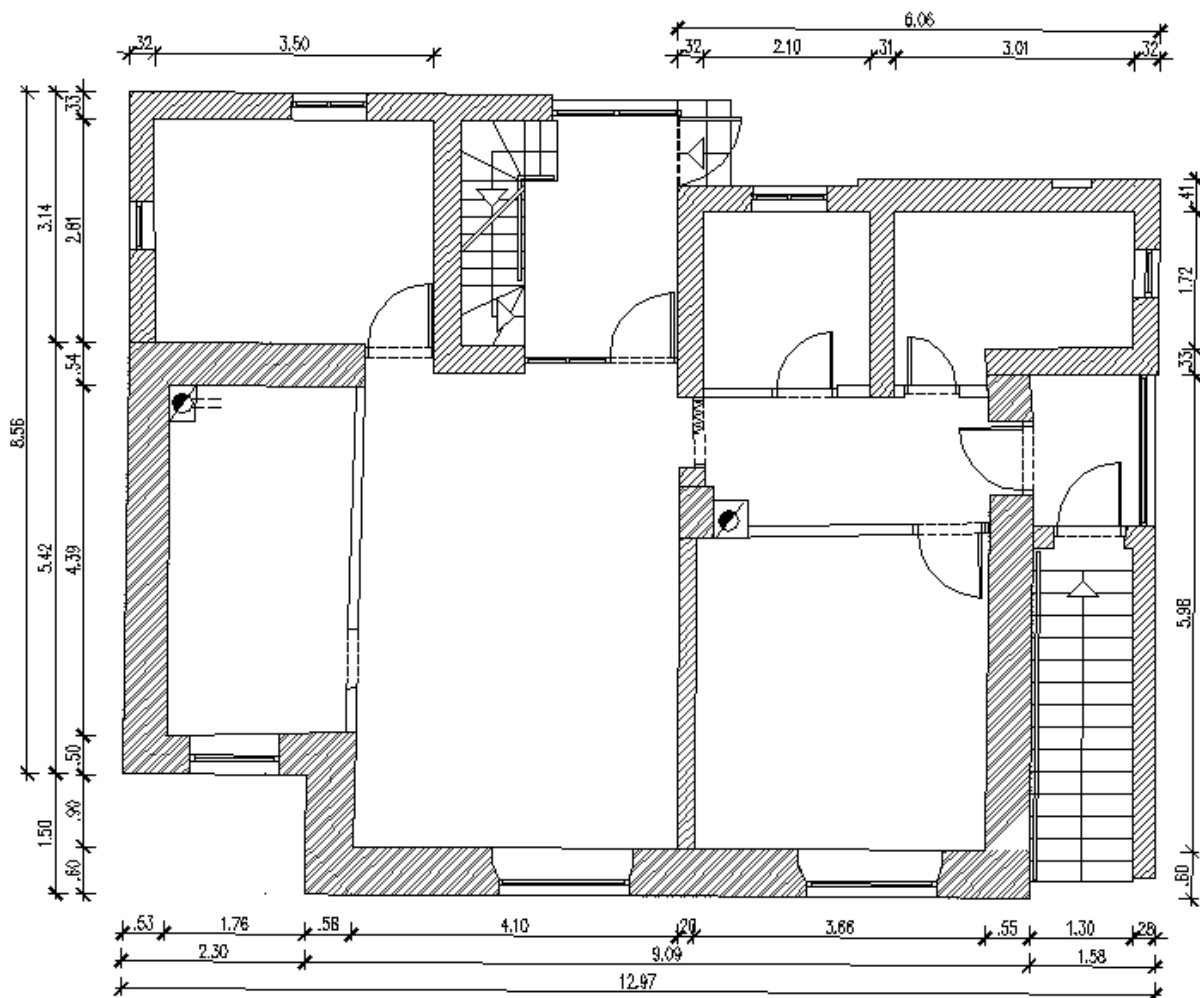
Zidana stavba 13



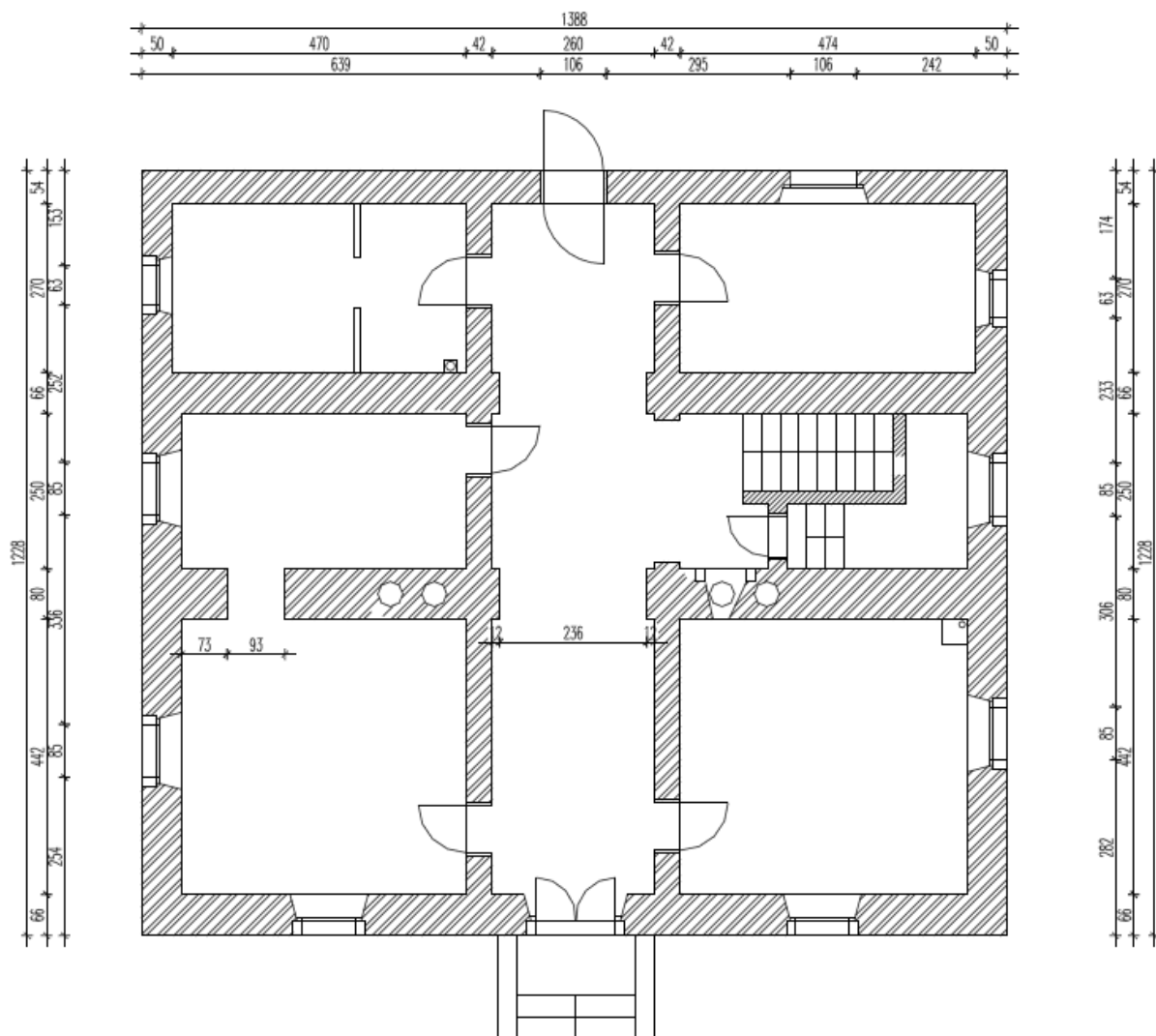
Zidana stavba 14



Zidana stavba 15



Zidana stavba 16



Zidana stavba 17

