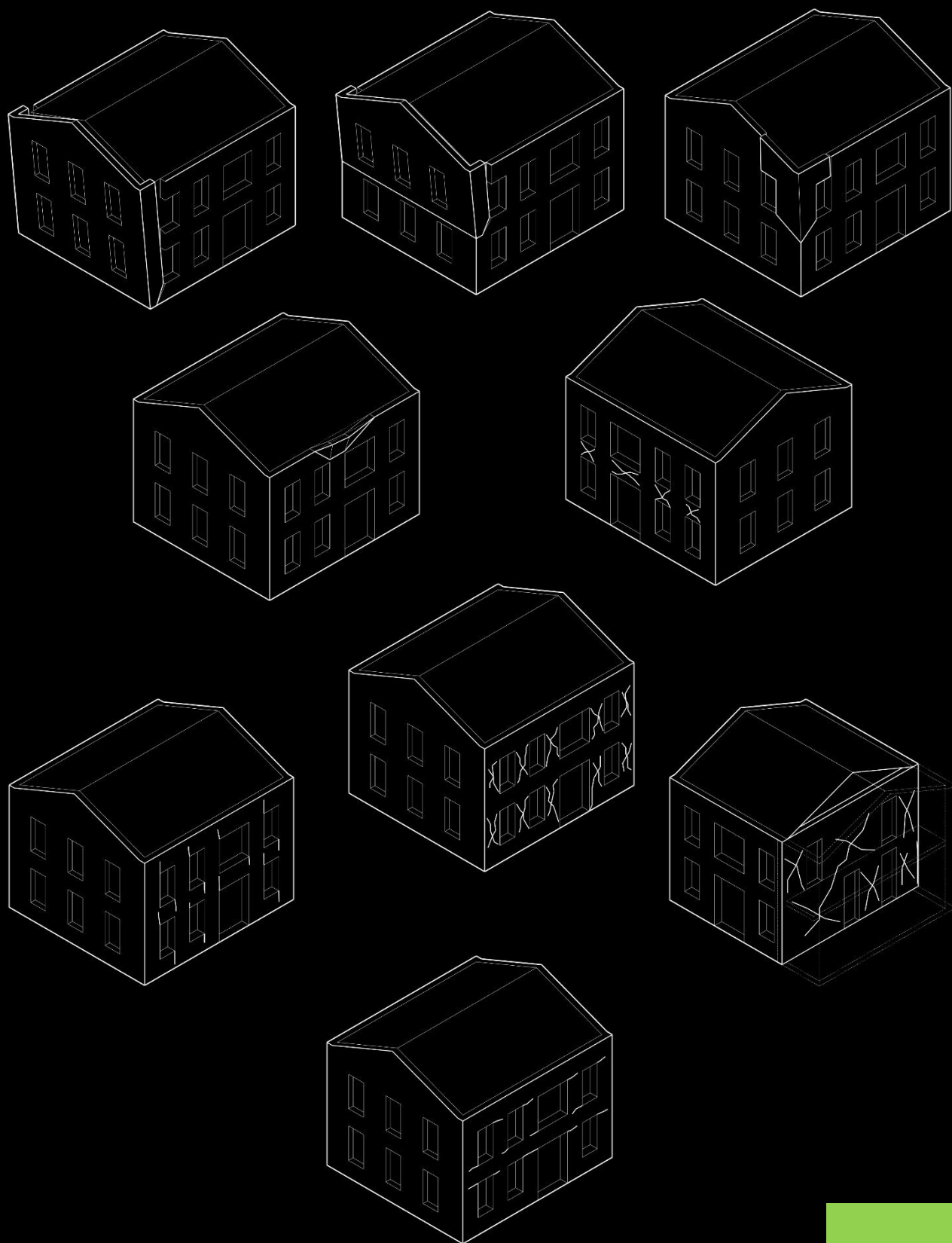


GALIĆ J., VUKIĆ H., ANDRIĆ D. I STEPINAC L.

TEHNIKE POPRAVAKA I POJAČANJA ZIDANIH ZGRADA



Dr.sc. Josip Galić, dipl.ing.građ.

Hrvoje Vukić, mag.ing.aedif.

Dr.sc. Davor Andrić, dipl.ing.arh.

Lucija Stepinac, mag.ing.aedif.

Tehnike popravka i pojačanja zidanih zgrada



**Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet
Zagreb, 2020.**

Autori

prof.dr.sc. Josip Galić
asist. Hrvoje Vukić
postdok.dr.sc. Davor Andrić
asist. Lucija Stepinac

Nakladnik

Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Fra Andrije Kačića Miošića 26
HR-10000 Zagreb

Za nakladnika

prof.dr.sc. Krunoslav Šmit

Recenzenti

prof.dr.sc. Zoran Veršić
prof.dr.sc. Tomislav Kišiček
prof.dr.sc. Igor Gukov

Lektura

Mirjana Ostoja

Rukopis je za objavu prihvatilo Povjerenstvo za nakladničku djelatnost Arhitektonskoga fakulteta na sjednici održanoj 15. svibnja 2020.

ISBN 978-953-8042-59-1

Zagreb, lipanj 2020.

SADRŽAJ

0	PREDGOVOR	3
1	OŠTEĆENJA ZIDANIH KONSTRUKCIJA	4
1.1	OTKAZIVANJE ZIDANIH KONSTRUKCIJA	8
2	SANACIJA ZIDANIH KONSTRUKCIJA	12
2.1	OPĆENITO	12
2.1.1	Konvencionalne tehnike sanacija i pojačanja	12
2.1.2	Specijalne tehnike sanacija i pojačanja	14
2.2	LOKALNE INTERVENCIJE	16
2.2.1	Stropna ploča	16
2.2.1.1	Pojačanje stropnih dijafragmi sa šperpločom i daskama	16
2.2.1.2	Popravak oštećenih drvenih grednika	17
2.2.1.3	Pojačanje konstruktivnih detalja krovišta	18
2.2.1.4	Dodavanje vjetrokosnika za stabilnost krovišta	19
2.2.1.5	Pojačanje stropova i poboljšanje veze između stropa, krova i zida	19
2.2.2	Lukovi i svodovi	24
2.2.3	Dimnjaci	26
2.2.4	Vertikalni elementi	26
2.2.4.1	Zapunjavanje sljubnica	26
2.2.4.2	Sanacija pukotina – injektiranje i prezidavanje	28
2.2.4.3	Injektiranje šupljih zidova	31
2.2.4.4	Poprečno povezivanje zidova	32
2.2.4.5	Pojačanje zidanih stupova omotačem i ovijanjem	32
2.2.4.6	Zapunjavanje (zazidavanje) otvora u zidovima i pojačanje nadvoja	34
2.2.4.7	Pojačanje zidanih vertikalnih elemenata mrežama čeličnih traka	35
2.2.4.8	Trodimenzionalno pojačanje (omeđivanje) zidanih elemenata	35
2.3	GLOBALNE INTERVENCIJE	36
2.3.1.1	Pojačanje zidanih zidova dodavanjem armiranih cementnih slojeva	36
2.3.1.2	Pojačanje polipropilenskim mrežama	38
2.3.1.3	Pojačanje stropova i poboljšanje veze između stropa, krova i zida	39
2.3.1.4	Pojačanje zgrada horizontalnim zategama	40
2.3.1.5	Pojačanje zidova pritezanjem (prednapinjanjem) i armiranjem	42
2.3.1.6	Pojačanje konstrukcije izvedbom AB serklaža	43
2.3.1.7	Pojačanje konstrukcije izvedbom novih AB i zidanih zidova	43
2.3.1.8	Pojačanje konstrukcije izvedbom AB i čeličnih okvira	44
2.3.1.9	Pojačanje konstrukcije izvedbom drvenih okvira	45
2.3.1.10	Pojačanje zidanih konstrukcija CLT-om	45
2.4	SPECIJALNE TEHNIKE	46
2.4.1	Dodatno amortiziranje	46
2.4.2	Izoliranje temelja	46
2.4.3	Pojačanje FRP-om	47
2.4.3.1	Pojačavanje drvenih konstrukcija FRP-om	48
2.4.3.2	Omatanje zgrada i povezivanje zidova	49
2.4.3.3	Povećanje nosivosti zidova na savijanje okomito na ravninu	51
2.4.3.4	Povećanje nosivosti lukova, svodova i kupola	52
2.4.3.5	Povećanje nosivosti zidova u ravnini	52

2.4.3.6	Ovijanje stupova radi poboljšanja tlačne čvrstoće i duktilnosti.....	54
2.4.3.7	Naknadno pritezanje (prednapinjanje) FRP-om	54
3	IZRADA PROJEKTA KONSTRUKCIJE POSTOJEĆE ZGRADE	55
3.1	OPĆENITO	55
3.2	POVIJESNI PREGLED I PREGLED POSTOJEĆE DOKUMENTACIJE	55
3.3	SNIMKA GEOMETRIJE ZGRADE	56
3.4	SNIMKA I IZMJERA GEOMETRIJE I SPOJEVA NOSIVE KONSTRUKCIJE	57
3.5	PREGLED I OBILJEŽAVANJE OŠTEĆENJA TE ANALIZA UZROKA OŠTEĆENJA	57
3.6	PROVEDBA ISPITIVANJA, AKO JE MOGUĆE I POTREBNO.....	58
3.6.1	Geomehaničko ispitivanje tla	59
3.6.1.1	Istražne geotehničke bušotine	59
3.6.1.2	Geofizički istražni radovi	59
3.6.2	Struktura i sastav zida	59
3.6.3	Tlačna čvrstoća zidnih elemenata i sastav morta.....	60
3.6.4	Dodatna kontrola termokamerom	61
3.6.5	Karakteristike drvene konstrukcije	61
3.6.6	Karakteristike čelične konstrukcije	61
3.6.7	Karakteristike armiranobetonske konstrukcije.....	61
3.7	PRORAČUN – IZRADA 3D MODELA, ANALIZA I INTERPRETACIJA REZULTATA	61
3.8	IZBOR OPTIMALNIH POSTUPAKA SANACIJE I POJAČANJA.....	64
3.9	SUDJELOVANJE U IZVEDBI PROJEKTA – PROJEKTANTSKI NADZOR	64
3.10	PRAĆENJE USPJEŠNOSTI SANACIJE I POJAČANJA.....	65
4	SANACIJA I POJAČANJE AB KONSTRUKCIJA	66
4.1	POVEZIVANJE AB ZIDA S PUKOTINOM	66
4.2	PROMJENA STATIČKOG SUSTAVA KONSTRUKCIJE KOJI NEMA DOSTATNU NOSIVOST	66
4.3	POJAČANJE AB KONSTRUKCIJE POVEĆANJEM PRESJEKA.....	67
4.4	POJAČANJE AB KONSTRUKCIJE DODAVANJEM NOVIH KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA	72
4.5	POJAČAVANJE POPREČNIH PRESJEKA LIJEPLJENJEM LAMELA OD ČELIKA	73
4.6	POJAČANJE POPREČNIH PRESJEKA LIJEPLJENJEM LAMELA OD FRP-A	75
5	LITERATURA:	77

0 PREDGOVOR

U prethodnom priručniku prikazali smo oštećenja na nosivoj konstrukciji jedne uobičajene stambene zgrade u centru Zagreba s ciljem da se shvati kako pukotine i oštećenja nisu samo kozmetičke prirode na žbuci ili podgledu već da su pokazatelj oštećenja na nosivoj konstrukciji pa je nužna sanacija i pojačanje nosive konstrukcije. Također smo prikazali na konkretnom primjeru koje su to intervencije kod sanacije i pojačanja nosive konstrukcije, te koliki je njihov trošak. Budući da pojačanje nosive konstrukcije nije jeftino ni jednostavno, dali smo prijedlog etapne izvedbe, s ciljem da svaka etapa izvedbe rezultira nekim povećanjem razine otpornosti. Nažalost, zbog kratkog roka izrade nismo bili u mogućnosti obraditi sve tehnike mogućih intervencija na predmetnoj zgradi.

U ovome priručniku cilj je dodatno proširiti znanje o uobičajenim oštećenjima u potresu na zidanim zgradama te dati veći broj tehnika sanacija i pojačanja nosive konstrukcije. Sanacija pojedinih oštećenja, kao i podizanje otpornosti, može se postići na više načina s različitim tehnikama, tradicionalnim i uobičajenim koje su jednostavne za izvedbu ili suvremenim koje traže specijalističku izvedbu. U ovome priručniku prikazat ćemo neke od tih tehnika. Naravno da postoji još čitav niz tehnika koje zbog brzine izrade priručnika nismo uspjeli obraditi, no svakako planiramo ovaj priručnik u sljedećem razdoblju dopuniti sa svim nama poznatim tehnikama, pa i nekima koje možda još ne znamo, ali ćemo ih otkriti u ovom periodu obnove.

Važno je imati u vidu da sanacije i pojačanja nosivih konstrukcija treba izvoditi stručno u suradnji s projektantima i izvođačima. Stoga smo dali i kratak prikaz pristupa i postupka u izradi projekta i optimalnog tehničkog rješenja kojeg bi se trebali pridržavati svi, tj. i vlasnici i inženjeri u provedbi obnove.

Cilj je prethodnoga i ovoga priručnika pomoći građanima grada Zagreba i svim inženjerima koji će sudjelovati u obnovi. U želji da u ovome teškom razdoblju pomognemo svima što prije, nismo uspjeli prikazati što sve znamo, a svjesni smo da možemo i bolje, pa vjerujemo da će u konačnici ovo postati dobar priručnik. Naša je odluka takva da pokušamo što brže podijeliti svoja znanja i pomoći koliko možemo.

Za sigurniji i ljepši Zagreb!

Autori

Zagreb, 05.05.2020.g.

1 OŠTEĆENJA ZIDANIH KONSTRUKCIJA



Slika 1.1 Fotografije oštećene župne crkve u Granešini, nastradale u potresu 22.3.2020.

Nedavno smo bili svjedoci oštećenja zidanih konstrukcija djelovanjem potresa u Zagrebu. No do oštećenja i smanjenja nosivosti može doći i zbog djelovanja niza drugih čimbenika koji mogu oslabiti zidane konstrukcije. Na konstrukcije u njihovu životnom vijeku utječe mnogo negativnih čimbenika, a to mogu biti: početna neodgovarajuća konstrukcijska rješenja same zgrade, razne pregradnje i namjerna rušenja pojedinih zidova radi prenamjene prostora, dogradnja kata (katova), dodavanje stupova i čeličnih greda umjesto srušenih zidova, a s tim u vezi naknadna slijeganja temelja; oštećenja zbog manjih potresa, oštećenja zbog gradnje susjednih zgrada, s vremenom narušena trajnost pojedinih gradiva nosivih elemenata i drugo.

Najčešće korišteni tip vertikalnih elemenata zidanih zgrada jesu zidovi od opeke. Oni preuzimaju vertikalna i horizontalna opterećenja, a zbog male vlačne otpornosti gotovo isključivo nose na tlak, dok vlačna naprezanja u njima uzrokuju pukotine.

U glavne nedostatke, a time i glavne razloge otkazivanja neomeđenog ziđa, možemo ubrojiti:



Slika 1.2 Prikaz glavnih nedostataka i razloga otkazivanja neomeđenog ziđa

Općenito, oštećenja u zidanim konstrukcijama mogu se podijeliti na nekonstrukcijska i konstrukcijska. Nekonstrukcijska oštećenja, koja ne narušavaju globalnu mehaničku otpornost i stabilnost konstrukcije, jesu pukotine i prevrtanje zidnih parapeta, krovnih dimnjaka,

balkona, padanje crjepova, oluka, vijenaca, padanje žbuke sa zidova i stropova, pukotine i prevrtanje pregradnih zidova, pukotine u staklenim panelima i sl.

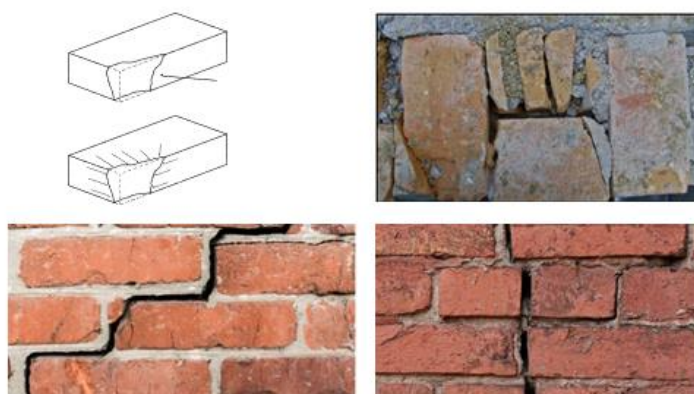
Konstruktivskim oštećenjima smatraju se ona oštećenja koja mogu uzrokovati djelomičan ili potpun kolaps konstrukcije. Vlačna naprezanja koja se manifestiraju dijagonalnim pukotinama u uglovima otvora, a katkad i u središnjem dijelu zida, mogu narušiti globalnu mehaničku otpornost i stabilnost zgrade. Do konstruktivskih oštećenja mogu dovesti i torzijsko ponašanje zgrade i izvijanje zidnih konstruktivskih elemenata koji su posljedica nesimetrične konstrukcije. Ovakav mehanizam otkazivanja uzrokuje pojavu većih pukotina, pogotovo u uglovima zgrade, koje se učestalim podrhtavanjima tla šire i dolazi do djelomičnog urušavanja zida uslijed popuštanja veze u sljubnicama. Zidane konstrukcije su krute i disipiraju malo potresne energije, a to dovodi do lošeg ponašanja u potresu.

Iz navedenih oštećenja lako je iščitati da je za otpornost zidanih konstrukcija u potresu nužno ispuniti određene uvijete. Konstrukcije bi trebale biti što jednostavnije i što pravilnije u tlocrtu i po visini, čime se može lako postići „efekt kutije“, odnosno podudaranje centra krutosti i centra masa, a time izbjegavanje torzije.

Tablica 1-1 Mogući razlozi oštećenja zidanih konstrukcija

Nekvalitetna građa: opeka ili vezno spajalo (mort)

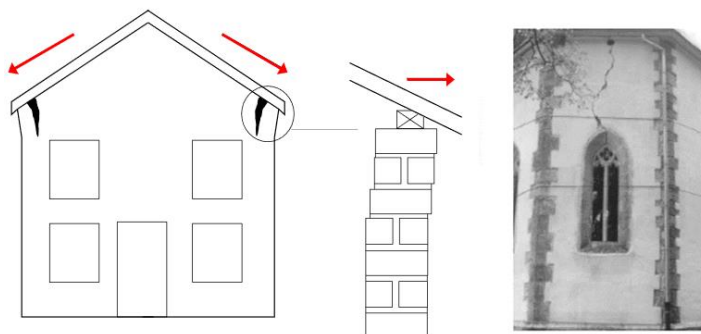
Zidani nosivi zidovi u kojima je korišteno loše vezivno sredstvo (mort) mogu uzrokovati smanjenje vlačne i posmične čvrstoće zida, potencijalni nastanak pukotina, pa čak i mogućega kolapsa tijekom potresa. Također, ako je čvrstoća gradbenog elementa manja od projektirane, tada ona postaje slaba točka tijekom potresa. Oštećenje može nastati i prije potresa, npr. zbog vlage odnosno smrzavanja i odmrzavanja.



Poradi potresa može doći do otkazivanja gradbenog elementa ili spojnog sredstva, što se može vidjeti po načinu formiranja pukotine.

Loši konstrukcijski detalji

Jedan od razloga oštećenja zidanih konstrukcija jest i izvedba loših konstrukcijskih detalja, gdje zbog nepoznavanja statičkih sustava i neprimjerenih izrada dolazi do oštećenja zbog mjerodavnog opterećenja. U ovome je slučaju prikazan loš detalj izvedbe nazidnice i drvene grede krovišta.

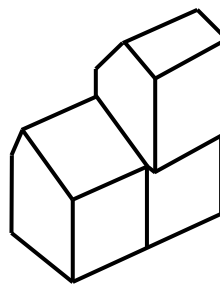


Pogreške u korištenju i održavanju zgrada

Promjena namjene objekta bez analize povećanja korisnog opterećenja i (ili) stalnog opterećenja;
 Promjena geometrije zgrade – promjena organizacije prostora dodavanjem (ili uklanjanjem) zidova, dodavanje galerija, izrada manjih otvora i slično;
 Promjena statičkog sustava dodavanjem ili ukidanjem konstrukcijskih elemenata;
 Različiti vidovi preopterećenja, kao što je nadozidavanje.

**Nepravilnosti u ravnini i izvan nje**

Konstrukcije pravilnog rasporeda u tlocrtu i po visini sigurnije su pri potresu. Za stabilnost zidanih konstrukcija u potresu potreban je pravilan i simetričan položaj u dvjema međusobno okomitim ravninama i nužan uvjet da se prate po vertikali.

**Loše ponašanje zida u potresu**

Čak i ako je zadovoljeno sve prije navedeno, pri potresu će se možda pojaviti dijagonalne X pukotine koje su nastale zbog lošeg ponašanja zidanih konstrukcijskih elemenata u posmiku (pukotina po sljubnici), pri čemu trokuti između pukotina postaju nestabilni i mogu prouzrokovati kolaps konstrukcije.

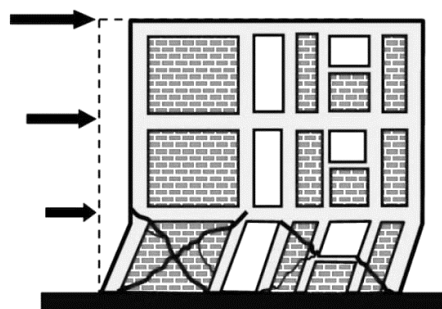
**Slaba točka „otvori“**

Stvaranje vertikalnih pukotina i otkazivanja zida na uglovima otvora zbog pojave zglobova uslijed pomaka konstrukcije. Zato je dobro imati nosive vertikalne elemente na mjestu otvora poput vrata i prozora. Također, do otkazivanja može doći zbog neravnoteže u veličini i poziciji otvora u zidovima, koja može uzrokovati otkazivanje konstrukcije pri potresu. Otvori bi iz tog razloga trebali biti pravilni i optimizirani kako bi što veći dio zida mogao preuzeti horizontalno opterećenje.



Slaba točka „meko prizemlje“

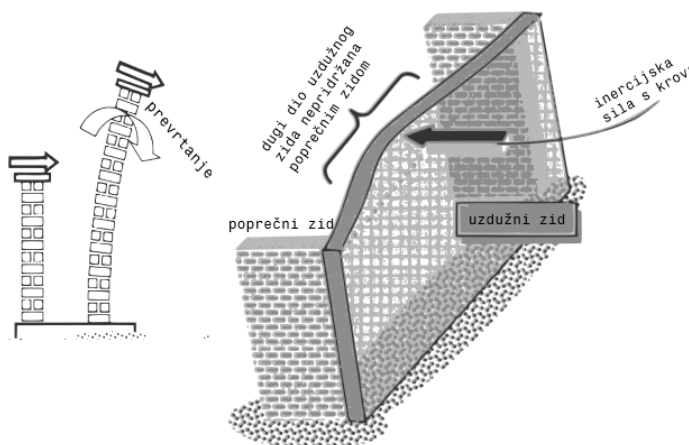
Do kolapsa prve etaže može doći zbog smanjene duktilnosti i male čvrstoće samog zida. Također, često prva etaža (prizemlje) ima manje zidova, veću visinu i veće otvore u zidovima (poslovni prostori), što dovodi do neravnomjerne raspodjele horizontalnih sila po visini konstrukcije, odnosno otkazivanja na prvoj etaži.

**Slaba točka „mjesto spoja dvaju zidova“**

Spoj zidova mora biti kvalitetno izveden kako bi se osigurala nosivost izvan ravnine. Zbog loše izvedenog spoja zidova, spoj zidova ovisi isključivo o vlačnoj čvrstoći vezivnog sredstva.

**Visoki, nepridržani, vitki zidovi**

Odnosi se na neovisne konstrukcije dimnjaka ili dugačke zidove bez bočnih pridržanja, koja mogu uzrokovati otkazivanja izvan ravnine.

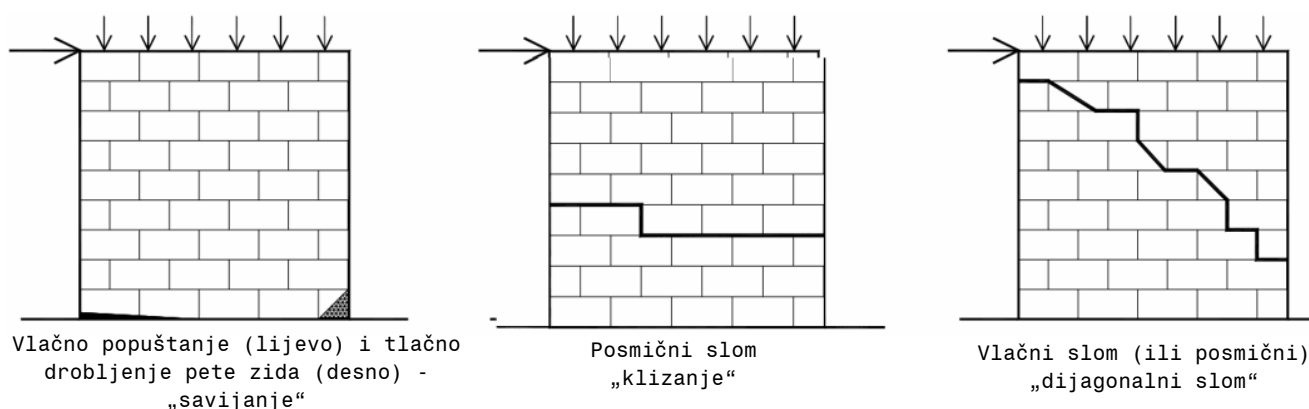


(izvori: [15]; theconstructor.org)

1.1 OTKAZIVANJE ZIDANIH KONSTRUKCIJA

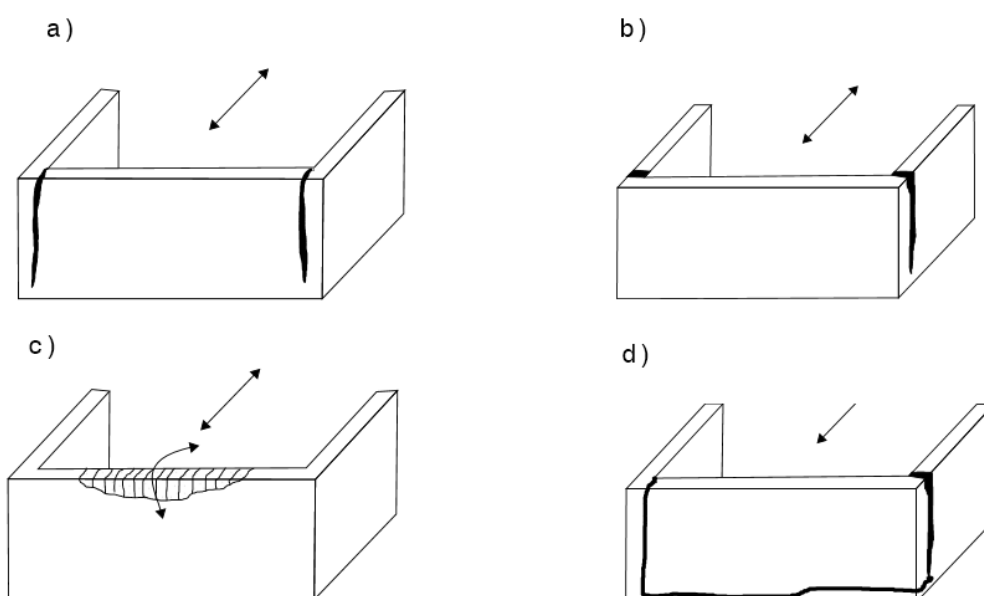
Gibanje tla tijekom potresa dovodi do povećanja sile inercije u razini tla ili u težištu mase konstrukcije. Konstrukcija će ostati stabilna ako je osigurana osnova za prijenos sile u tlo, uz minimalno oštećenje. Elementi koji sudjeluju u prijenosu seizmičke sile jesu zidovi, ploče i temelji, a poznato je da su upravo zidovi najpodložniji oštećenjima.

Otkazivanja dužih zidova izvan ravnine uglavnom se manifestira pojavom horizontalnih pukotina na sredini visine zida, istovremeno s vertikalnim pukotinama. Kod kraćih je zidova češća pojava vertikalnih i dijagonalnih pukotina u sredini zida. Na idućoj slici (1.2) prikazani su mehanizmi otkazivanja zidanog panela unutar ravnine kod djelovanja horizontalnog i vertikalnog opterećenja.

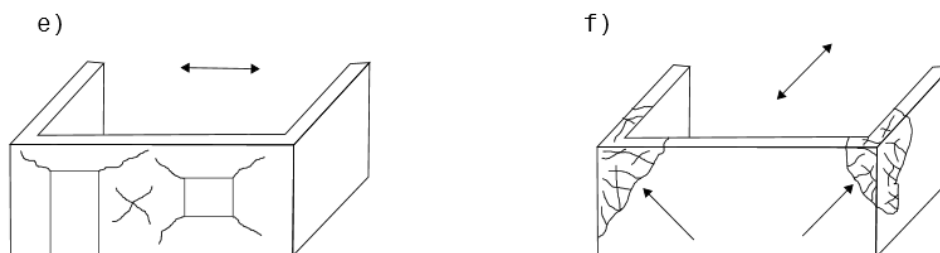


Slika 1.3 Mehanizmi otkazivanja zidanog panela unutar ravnine [1]

Osim prikazanih mehanizama otkazivanja zidnog panela unutar ravnine, moguće je otkazivanje zidnog panela i izvan ravnine. To je ujedno najčešći uzrok oštećenja starih zgrada koji nemaju krute i povezane stropove. Uglavnom, takvi su mehanizmi otkazivanja povezani s djelovanjem horizontalne sile, odnosno potresne sile, a prikazani su na slikama 1.4 i 1.5.



Slika 1.4 Tipični mehanizmi otkazivanja zidanih konstrukcija: a) posmični slom zida i vertikalna pukotina na uglu; b) vlačni slom zida i vertikalna pukotina na uglu; c) horizontalna pukotina, otkazivanje dugih zidova izvan ravnine; d) globalno otkazivanje zidnog panela

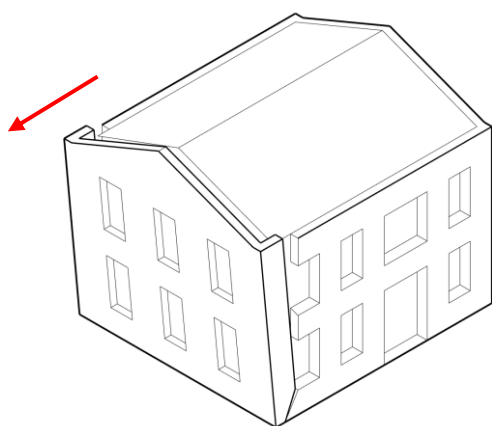


Slika 1.5 Tipični mehanizmi otkazivanja zidanih konstrukcija: e) dijagonalna pukotina zbog djelovanja sile u ravnini zida; f) otkazivanje na uglovima van ravnine

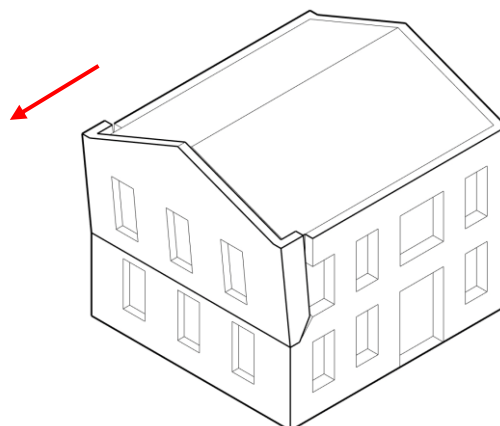
Prikazani načini otkazivanja odnose se na zidne panele (zidove). S obzirom na djelovanje potresa, postoje tipični mehanizmi otkazivanja konstruktivnih elemenata, odnosno zidnih panela na zgradama u odnosu na njihovu tipologiju. Slijedi prikaz tipičnih mehanizama otkazivanja prema tipologiji za stambene zgrade.

Tablica 1-2 Oštećenja prema tipologiji za stambene zgrade

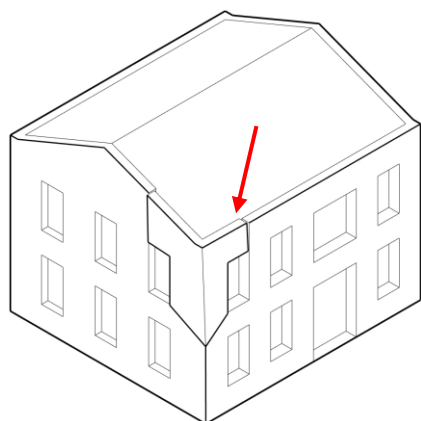
Mehanizmi otkazivanja zidova izvan ravnine



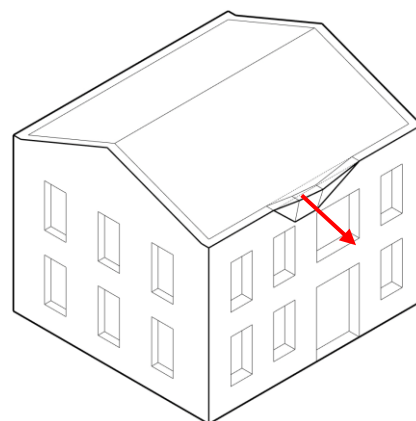
Odvajanje fasadnog (zabatnog) zida od okomitih zidova



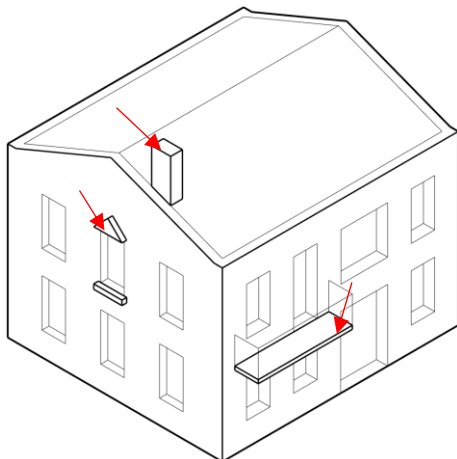
Djelomično odvajanje fasadnog zida s rotacijom u nivou stropa prizemlja



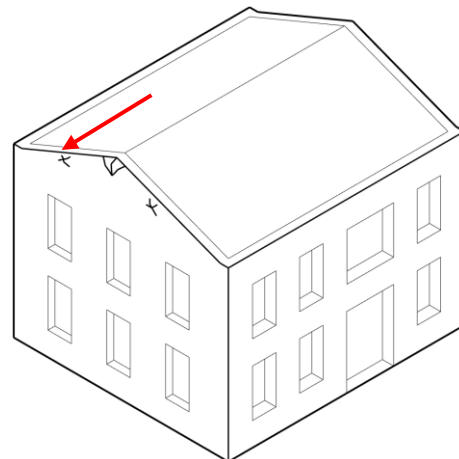
Odvajanje zidova s karakterističnim „V“ oblikom pukotina na uglovima zgrada



Odvajanje zidova u predjelu tavanjskih prostora (nazidnice)

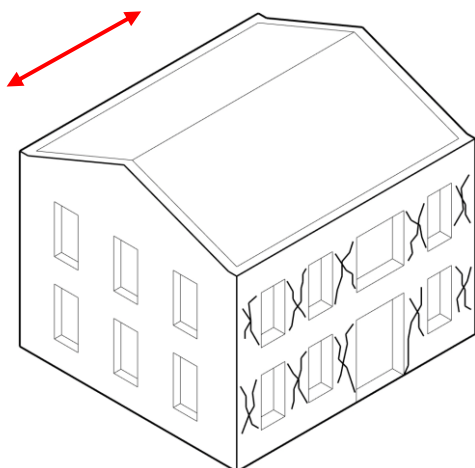


Lokalna oštećenja elemenata ili njihovo rušenje

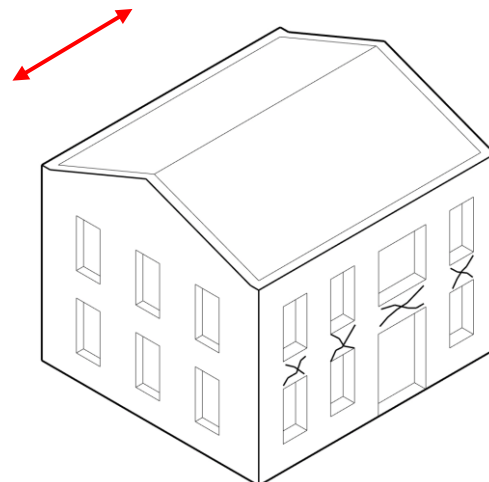


Lokalna oštećenja zabatnih zidova u razini krovišta (ležajevi drvenih greda). Isto je to moguće u razini stropova pojedinih etaža.

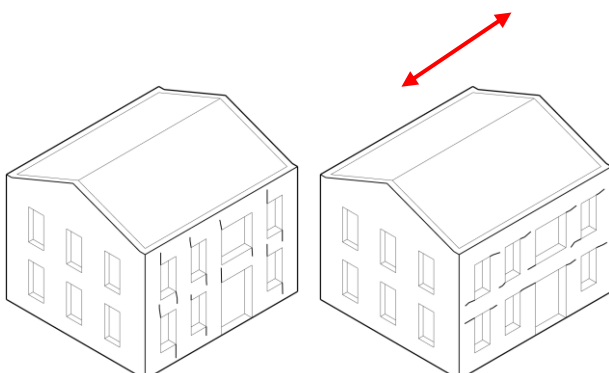
Mehanizmi otkazivanja zidova u ravni



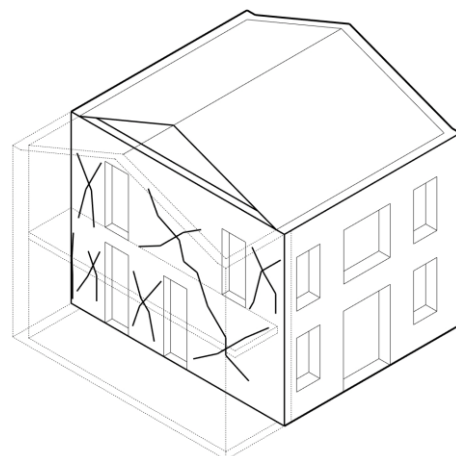
Dijagonalne pukotine



Dijagonalne pukotine nadvoja

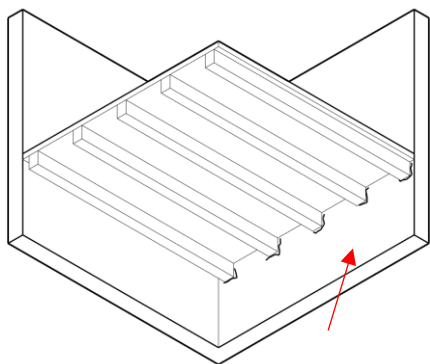


Pukotine zbog savijanja elemenata zidnog panela unutar ravnine

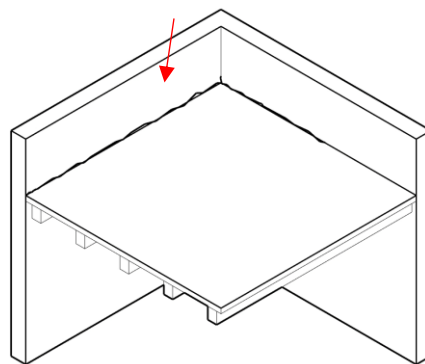


Dijagonalne pukotine unutarnjih zidova

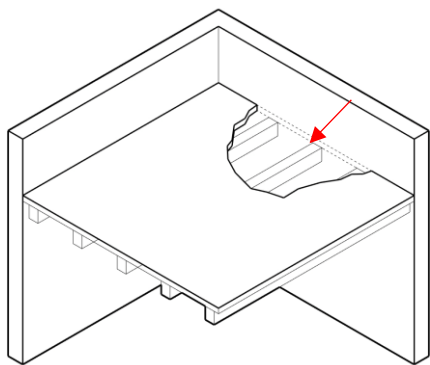
Mehanizmi oštećenja stropnih konstrukcija



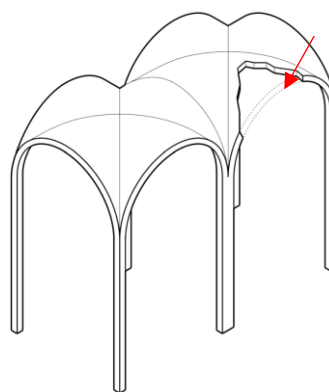
Pukotine na mjestima ležajeva drvenih grednika zbog njihova udara u zid



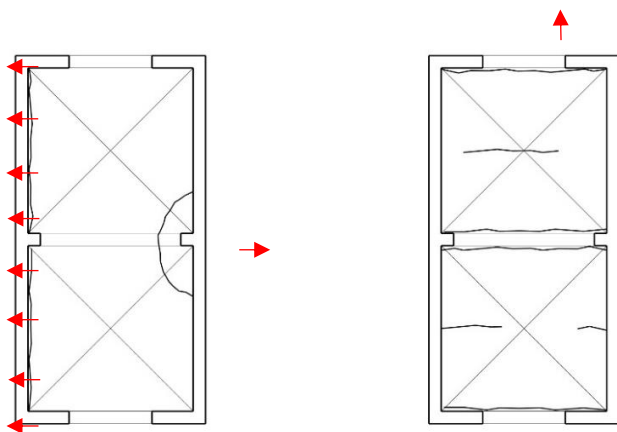
Oštećenja na mjestima spojeva stropne konstrukcije sa zidom



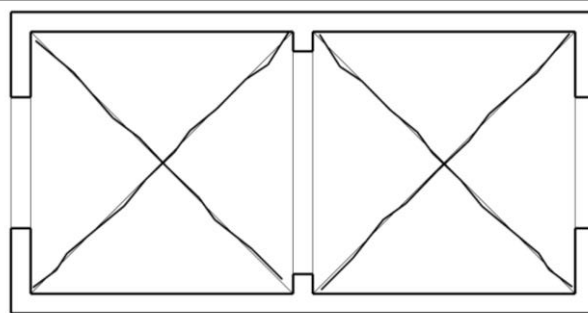
Urušavanje dijela stropa, najčešće se radi o podgledu



Urušavanje dijela svoda



Rotacija oslonca. Pukotine na dijelu svodova ili na mjestu međusobnog spajanja dvaju svodova ili kod spojeva sa zidom

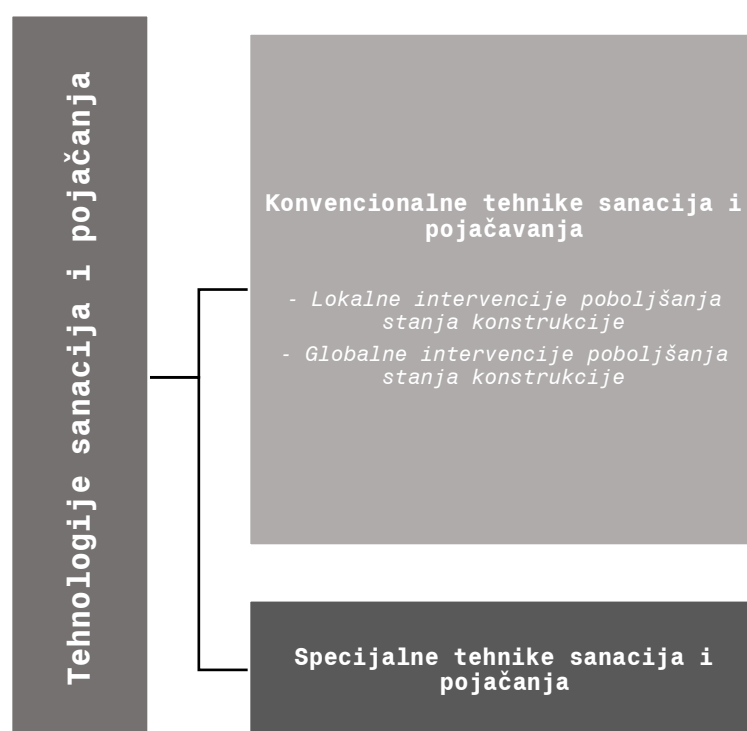


Deformacija u ravnini. Pukotine na dijelu svodova ili na mjestu međusobnog spajanja dvaju svodova ili kod spojeva sa zidom

2 SANACIJA ZIDANIH KONSTRUKCIJA

2.1 OPĆENITO

Seizmičko pojačanje može se definirati kao modifikacija postojećih zgrada za postizanjem veće otpornosti na potresno djelovanje. U posljednjih nekoliko godina razvijene su metode za poboljšanje seizmičke otpornosti u postojećim konstrukcijama. Ovdje će se nastojati podrobnije prikazati pojačanja zidanih konstrukcija. Cilj sanacija ili pojačanja nosive zidane konstrukcije jest - uz što manje intervencija na konstrukciji - osigurati potrebnu razinu otpornosti i sigurnosti. Kod zidanih konstrukcija, zbog velike povijesne važnosti, nužno je da su tehnike sanacija i pojačanja reverzibilne i u skladu s vremenom izgradnje zgrade. Kod sanacija i pojačanja zidanih zgrada nužna je uska suradnja konstruktora, arhitekata, vlasnika zgrade (investitora), a često i konzervatora.



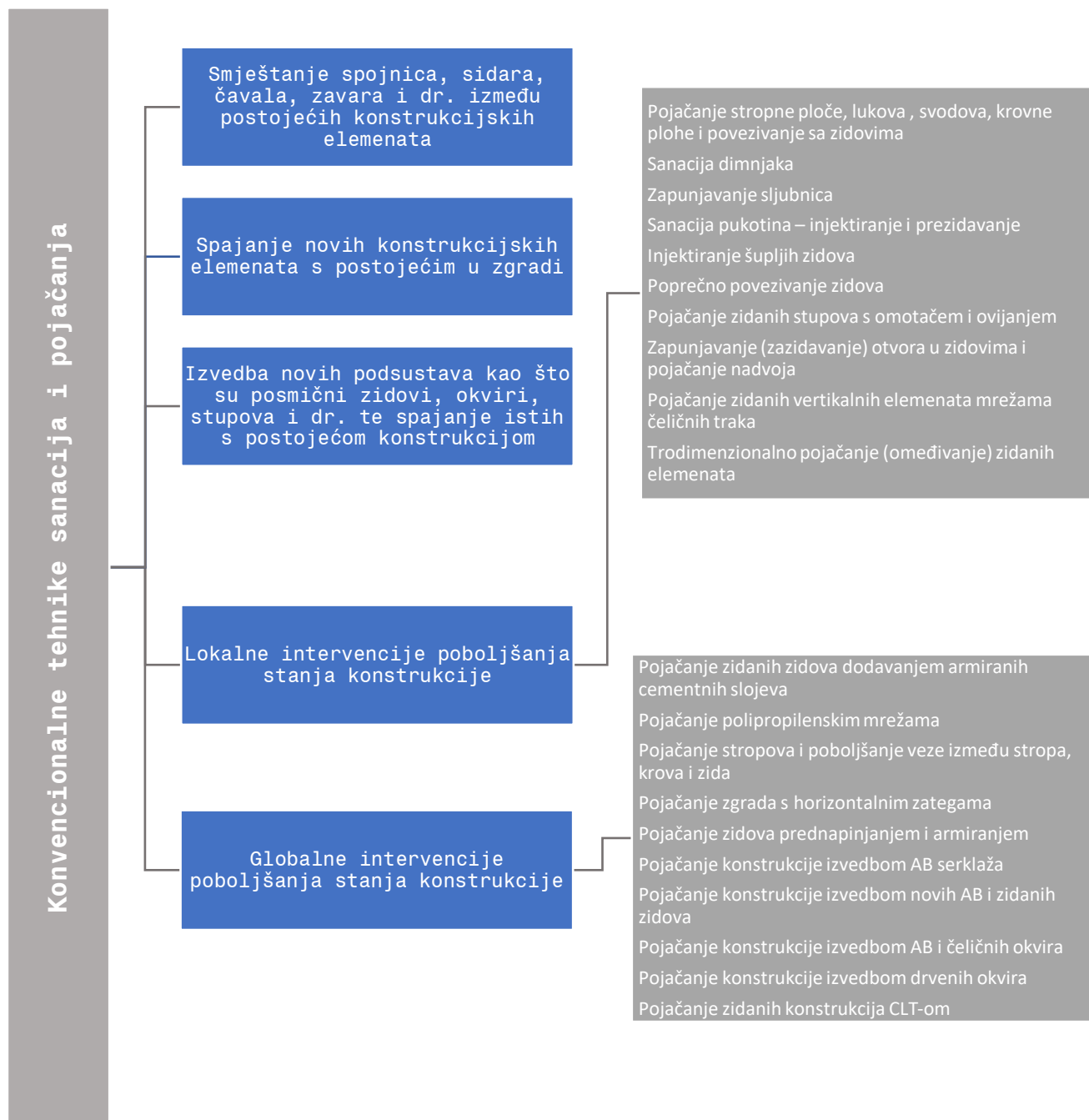
Slika 2.1 Prikaz osnovnih pristupa i tehnika sanacije i pojačanja zidanih konstrukcija

Kod izbora pojedine tehnike sanacije i pojačanja potrebno je uvijek pokušati zadržati osnovne karakteristike zgrade jer neprikladno rješenje može promijeniti seizmičke karakteristike zgrade. Premda se nekom tehnikom pojačanja na prvi pogled postiže statičko poboljšanje zgrade, ono često može biti nepovoljno u pogledu ponašanja konstrukcije u potresu.

Izbor novog sustava pojačanja u principu je najpovoljnije rješenje ako je sukladno postojećem sustavu zgrade. Budući da su zidane konstrukcije krute zgrade, pojačanje s mekanim konstrukcijama, kao što su duktilni okviri, nisu prikladne jer za aktivaciju okvira prvo mora doći do otkazivanja ziđa. Moguća je zamjena zidanih zidova betonskim ili dogradnja betonskih uz postojeće zidane za povećanje seizmičke otpornosti, ali do povećanja potresne otpornosti može doći i manje invazivnim metodama, o čemu će biti više riječi u nastavku.

2.1.1 Konvencionalne tehnike sanacija i pojačanja

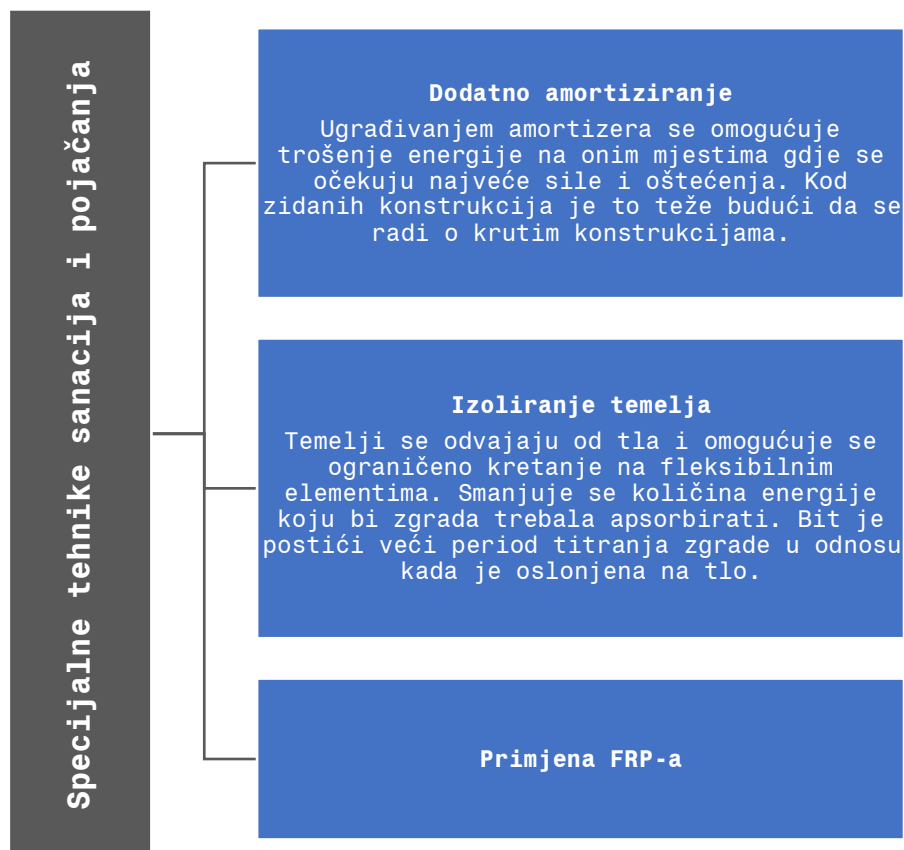
Konvencionalne tehnike ne zahtijevaju specijalne uređaje ni nove sofisticirane materijale, što je razlog najčešće primjene u praksi. Dijeje se na lokalne i globalne intervencije.



Slika 2.2 Prikaz konvencionalnih tehnika sanacija i pojačanja zidanih konstrukcija

2.1.2 Specijalne tehnike sanacija i pojačanja

To su tehnike razvijene u novije doba koje uključuju posebno razvijene sustave pojačanja i nove materijale. U praksi postoji čitav niz specijalnih tehnika sanacija i pojačanja zidanih zgrada. Najčešće je riječ o sljedećim tehnikama:

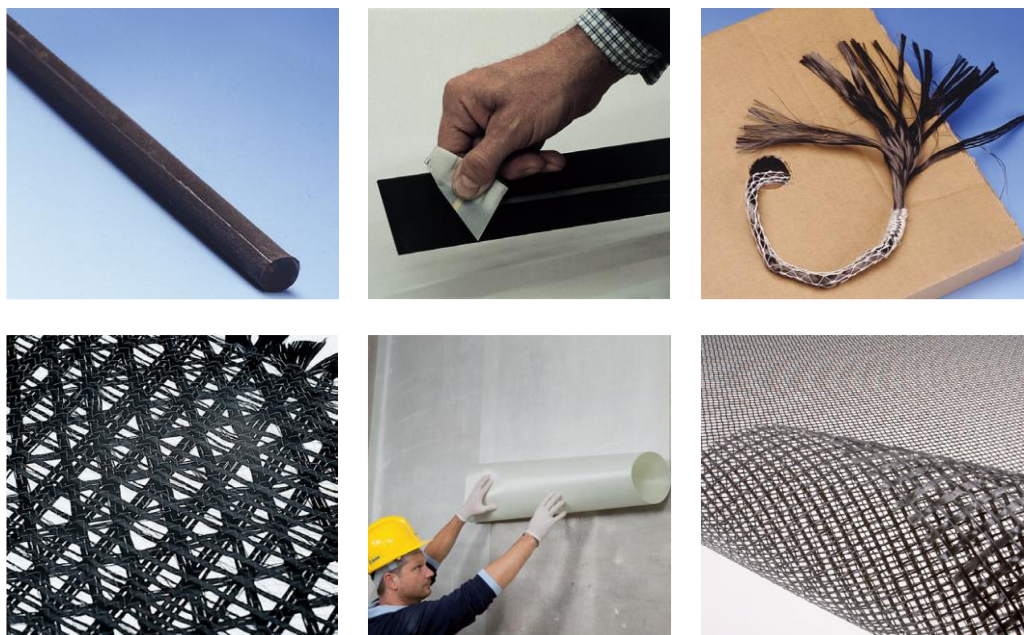


Slika 2.3 Prikaz specijalnih tehnika sanacija i pojačanja zidanih konstrukcija

Vlaknima armirani polimer – FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) je materijal koji sve više privlači pozornost posljednjih godina, kako za potrebe pojačanja postojeće konstrukcije tako i kao konstrukcijski samostalni materijal. Najvažnija su svojstva FRP-a neosjetljivost na koroziju, velika vlačna čvrstoća u smjeru vlakana, mala zapreminska težina (oko 6 puta manja od čelika), dobro ponašanje pod dinamičkim opterećenjem (70% vrijednosti početne čvrstoće nakon 2 milijuna ciklusa), ne provodi struju. No neki su od nedostataka sljedeći: linearno-elastično ponašanje do sloma (neduktilnost), koeficijent toplinskog širenja znatno je manji nego kod betona, osim kod staklenim vlaknima armiranih polimera – GFRP (*Glass Fibre Reinforced Polymer*), nisu otporni na visoke temperature, tlačna čvrstoća iznosi oko 50% vlačne čvrstoće.

Kod zidanih konstrukcija nedostaci FRP-a uglavnom nisu toliko presudni, kao kod betonskih konstrukcija jer slom pojačanih zidanih konstrukcija uglavnom nastupa degradacijom ziđa. Budući da nije potreban velik modul elastičnosti, mogu se koristiti jeftiniji materijali na bazi staklenih i bazaltnih vlakana.

FRP je nužno zaštititi žbukom, odnosno zapuniti sljubnice mortom ako se postavljaju šipke u prethodno bušene utore. FRP proizvodi koji se koriste za pojačanja zidanih konstrukcija mogu se podijeliti na šipke, lamele (5, 10 cm), užad, tkanine, tanke tkanine, mreže (Slika 2.4).



Slika 2.4 Proizvodi od FRP-a: šipke, lamele, užad, tkanine i mreže

FRP preuzima isključivo vlačna naprezanja i treba se postavljati u vlačnom području. Kod tlaka, FRP proizvodi ne povećavaju učinkovitost pojačanog elementa jer imaju manju nosivost na tlak, ali i zbog malih dimenzija često dolazi do lokalne nestabilnosti i odvajanja.

Pojačanje zidane konstrukcije FRP-om ostvaruje se lijepljenjem na zidane elemente ili eventualno mehaničkim sidrenjem pomoću mehaničkih uređaja.

Načini otkazivanja ziđa pojačanog FRP-om uglavnom nastupaju zbog:

- pretjeranog raspucavanja ziđa zbog velikih vlačnih naprezanja
- drobljenja ziđa
- sloma FRP-a dosežanjem vlačne čvrstoće
- odljepljivanja FRP-a sa ziđa (*debonding*). Odljepljivanje u vlačnoj zoni dovodi do krtog sloma.



Slika 2.5 Načini otkazivanja ziđa pojačanog FRP-om [2]

Najčešće je to kombinacija odljepljivanja i još jednog moda otkazivanja.

Područja primjene FRP-a u zidanim konstrukcijama jesu ova: kod pojačavanja stropnih dijafragmi i drvene krovne konstrukcije, međusobnog povezivanja zidova i povezivanja s drvenom stropnom konstrukcijom, povećanja kapaciteta nosivosti zidova u ravnini i na savijanje okomito na ravninu, povećanja kapaciteta nosivosti lukova, svodova i kupola, te ovijanja stupova radi poboljšanja tlačne čvrstoće i duktilnosti.

2.2 LOKALNE INTERVENCIJE

2.2.1 Stropna ploča

2.2.1.1 Pojačanje stropnih dijafragmi sa šperpločom i daskama

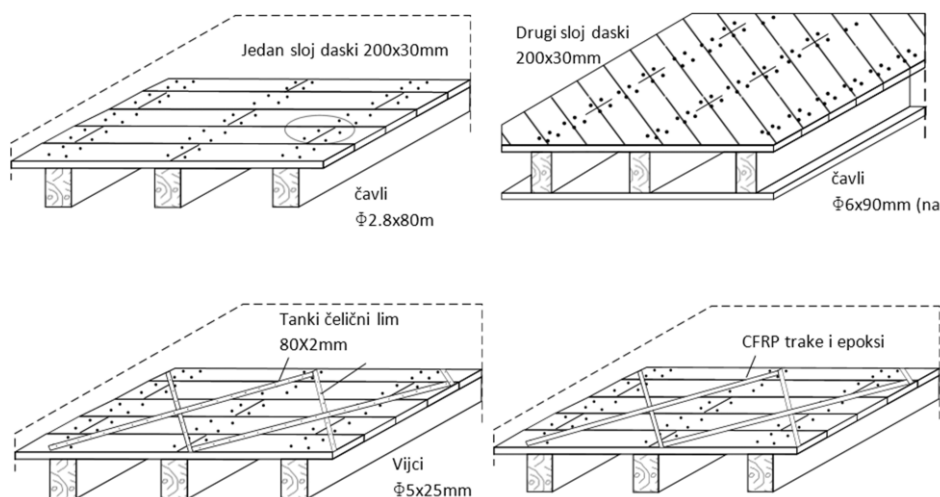
Postavljanjem drvene oplata od šperploče (OSB ploča) ili dasaka na postojeću stropnu konstrukciju, odnosno drvene grednike, postiže se dvostruki efekt pojačanja. Postiže se pojačanje na vertikalno opterećenje, ali i na horizontalno djelovanje ako su elementi koji tvore dijafragmu propisno međusobno povezani za preuzimanje posmičnog opterećenja.

Stropne konstrukcije potrebno je povezati sa zidovima kako ne bi došlo do odvajanja tijekom horizontalnih djelovanja sile potresa, ali i da bi se omogućila pravilna raspodjela seizmičke sile na pojedine zidove. Pojačanje se može izvesti na nekoliko načina:

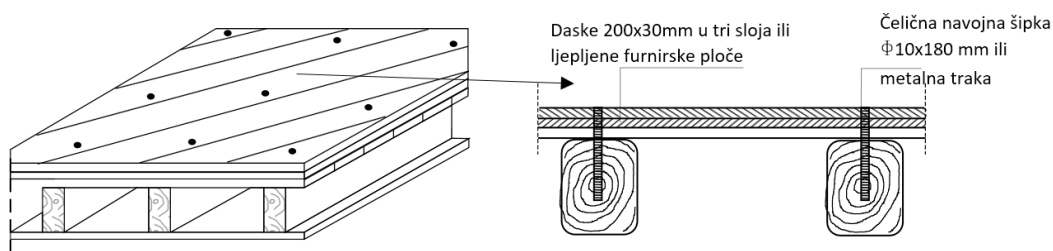
- postavljanjem daske u jednom smjeru i to okomito na smjer nošenja grednika. Svaka daska se čavla s minimalno dva čavla i poželjno je da su daske izvedene na pero-utor
- postavljanjem dasaka u dva smjera tako da se postave u dva sloja. Prvi sloj se postavi pod kutom od 45° u odnosu na grednik, a drugi sloj se postavi pod kutom od 90° u odnosu na prvi pri čemu se svaka daska čavla s minimalno dva čavla
- postavljanje dasaka u više slojeva. Daske mogu biti različite debljine i različite orijentacije, ali najbolji je da su dva sloja okomito na grede i jedan sloj u smjeru greda
- postavljanje slojeva šperploče u tri sloja
- postavljanje krute CLT ploče.

Postavljaju li se na postojeći drveni pod ploče (daske) koje se čavljaju ili spajaju vijcima za drvo u postojeću oplatu poda i spajaju direktno u utore u rubne drvene grednike (bez čavljanja), tada će se nova stropna konstrukcija ponašati kao kruti konstrukcijski panel.

Ako se pak zahtijeva jača i čvršća stropna konstrukcija, tada je panele potrebno poslagati preko postojećih dasaka te ju je potrebno čavlati za postojeće drvene grednike i postojeće daske (slika 2.6 i 2.7).



Slika 2.6 Postavljanje drvenih ploča (dasaka) i traka na postojeću oplatu poda



Slika 2.7 Postavljanje drvenih ploča (dasaka) na postojeću oplatu poda

Ako nije moguć pristup drvenim gredama s gornje strane, moguće je daskanje u podgledu (strop etaže ispod), a za dodatno ukrućenje može se izvesti rešetka u horizontalnoj ravnini pomoću tankih čeličnih limova ili traka od ugljičnih vlakana – CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer) (Slika 2.7).



Slika 2.8 Postavljanje šperploče ispod grednih nosača [11]

Pravo pojačanje na vertikalno opterećenje može se postići potpunim sprezanjem preko čeličnih šipki sidrenih epoksidnim ljepilom ili vijcima za drvo (postoje specijalni vijci za sprezanje drvo-drvo).

2.2.1.2 Popravak oštećenih drvenih grednika

Tijekom životnog vijeka konstrukcije potrebno je raditi određene intervencije na drvenim grednicima koji zbog negativnih utjecaja vlage, insekata ili izvanrednog djelovanja potresa mogu biti oštećeni. Radi se o tehnici popravka važnih konstruktivnih elementa starih zidanih zgrada.

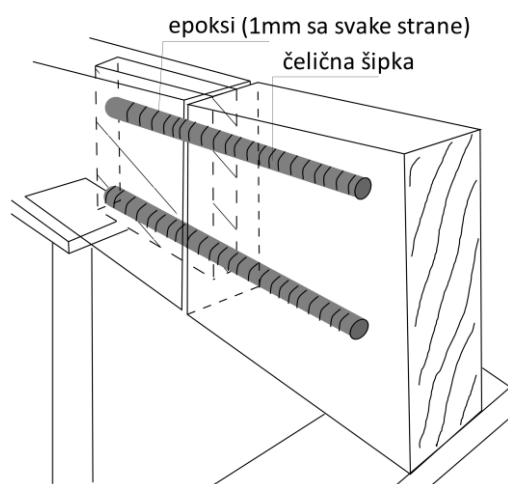
Osnovni problem kod ovakvih oštećenja i popravka jest to što često nije moguće napraviti zamjenu cijelog elementa koji je oštećen jer bi to značilo uklanjanje kompletne oplate (dasaka) s gornje i donje strane drvenih grednika.

Stoga se uglavnom primjenjuju tehnike zamjene oštećenog dijela grede, a to su obično dijelovi uz oslonce na zidane zidove ili u dijelovima sanitarija, koji su zbog vlage više oštećeni, ili se radi pojačanje oštećenog dijela.

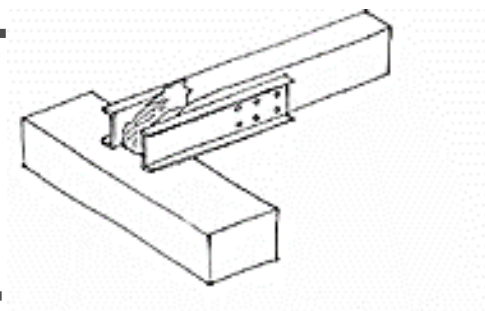
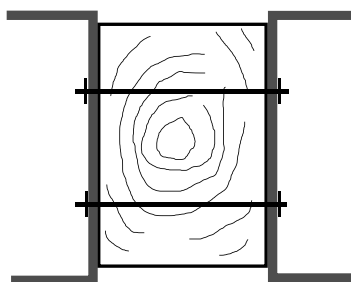
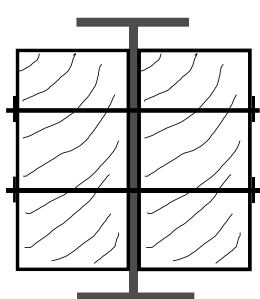
Najčešće tehnike su pojačanje oštećenog dijela čeličnim elementima (profili i ploče) ili zamjena novim drvenim segmentom koji se na zdravi dio grede pričvršćuje čavlima, vijcima za drvo ili epoksidnim ljepilom. Ovdje će se ukratko prikazati najčešće korištene tehnike jer su drveni stropovi samo dio zidanih zgrada.

Obično se naprave utori u zdravom dijelu drvenoga grednika i novom segmentu te se postavljaju čelične šipke ili trnovi, a prostor se zapuni epoksidnim mortom (ljepilom) sličnih svojstava kao drvene grede (Slika 2.9). Rupa se produbí s tolerancijom od 2mm tako da sloj epoksija sa svake strane bude 1mm. Budući da je izvedba *in-situ*, uvijek je nužno uz lijepljenje epoksidnim mortom imati i mehaničko spajalo u vidu trnova i sl. Nekada se radi jednostavnosti izvedbe naprave utori na bočnoj strani.

Primjer sanacije i pojačanja dodavanjem čeličnih elemenata C ili L profila, koji se vijčano ili lijepljenjem povezuju za zdravi dio grede, prikazan je na slici 2.10. O specijalnim metodama pojačanja drvenih grednika bit će više riječi u poglavlju 2.4.3.1.



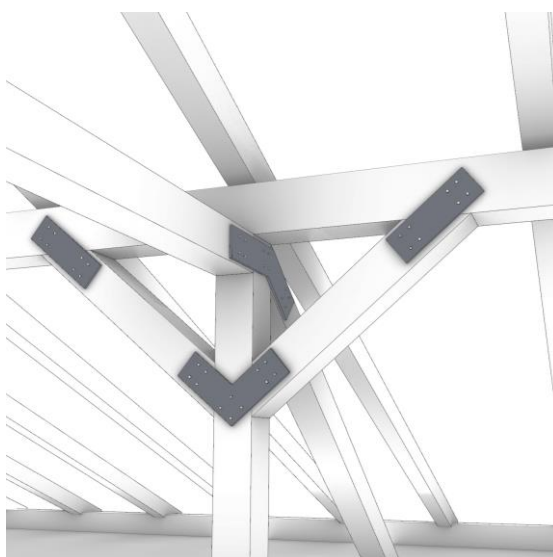
Slika 2.9 Sanacija drvenih greda čeličnim šipkama i epoksidnim mortom (izvor: protectahome.co.uk)



Slika 2.10 Sanacija i pojačanje drvenih elemenata dodavanjem čeličnih elemenata [11]

2.2.1.3 Pojačanje konstruktivnih detalja krovišta

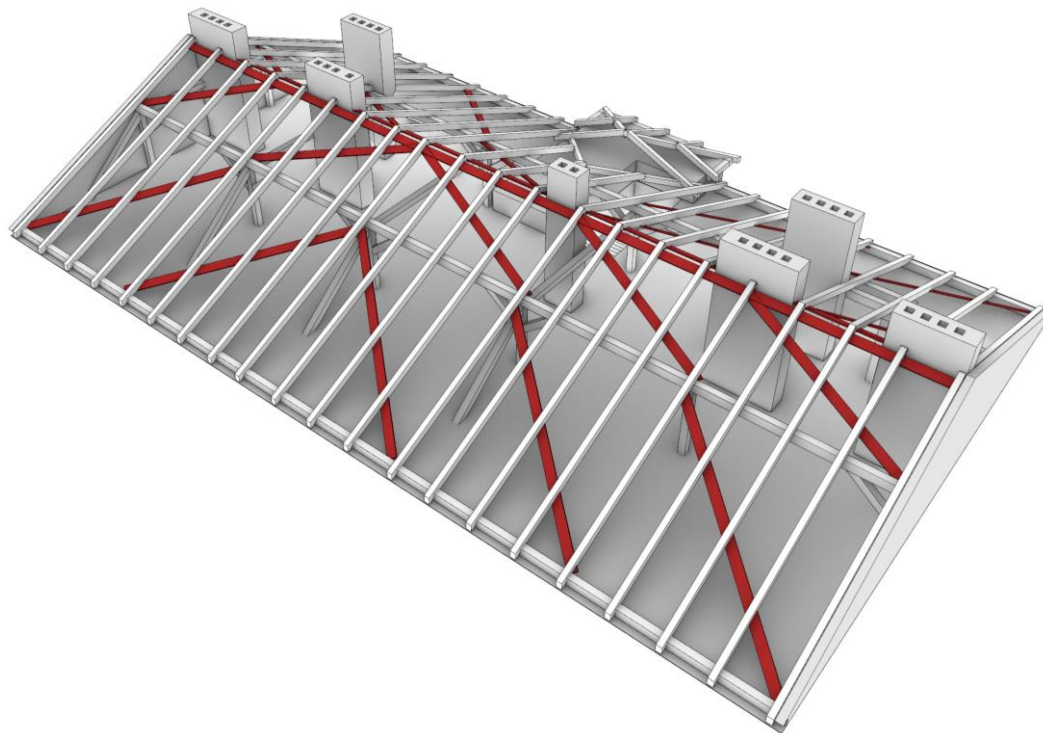
U zidanim konstrukcijama najčešći su sustavi drvenih krovišta. Drveni elementi pojačavaju se na istom principu kao što je gore prikazano, a ako su potrebni popravci ili pojačavanje spojeva drvenih elemenata krovišta, to je moguće dodavanjem metalnih pločica spojenih vijcima za drvo (Slika 2.11).



Slika 2.11 Pojačanje elemenata krovišta metalnim pločicama

2.2.1.4 Dodavanje vjetrokosnika za stabilnost krovišta

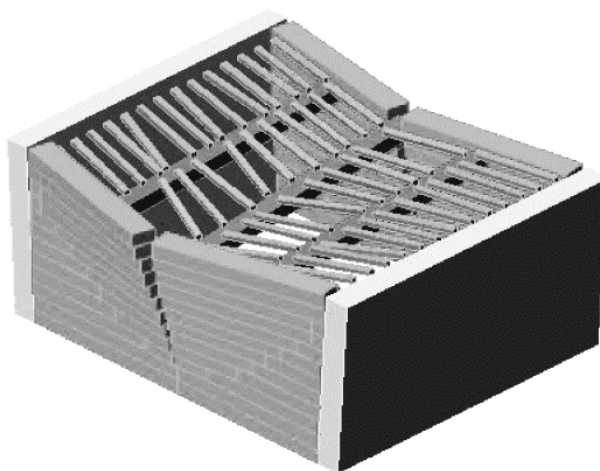
Dodatna horizontalna stabilizacija kosnicima u krovu postiže se dodavanjem drvenih elemenata (daske dim. 3x10 cm) takozvanih kosnika koji se spajaju na rogove, a kojima se postiže horizontalna krutost i stabilnost krovišta (Slika 2.12).



Slika 2.12 Stabiliziranje krovne konstrukcije kosnicima

2.2.1.5 Pojačanje stropova i poboljšanje veze između stropa, krova i zida

Stropovi starih zgrada (gotovo sve do 1960. g.) sastoje se od drvenih grednika iznad kojih je daščana oplata i šuta. Takvi stropovi su nepovezani i većinom fleksibilni u svojoj ravni, a osim toga u pravilu su nepovezani sa zidanim zidovima na koje se oslanjaju, što u potresu uzrokuje slom gubitkom cjelovitosti zgrade.



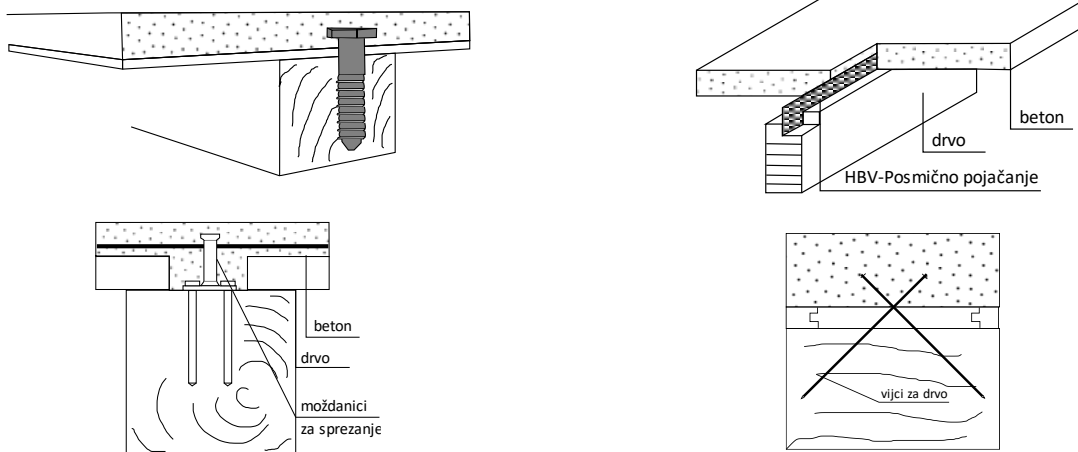
Slika 2.13 Gubitak cjelovitosti zidane konstrukcije sa stropovima od drvenih grednika [3]

Postoji način da se postojeći stropovi zamijene novim AB pločama ili polumontažnim sustavima, kao što je „Bijeli strop”.

Svako uklanjanje greda dodatno oštećuje konstrukciju pa se najboljim pokazalo sprežanje postojećih grednika s AB tlačnim pločama debljine 6-8 cm. U postojeće drvene grede

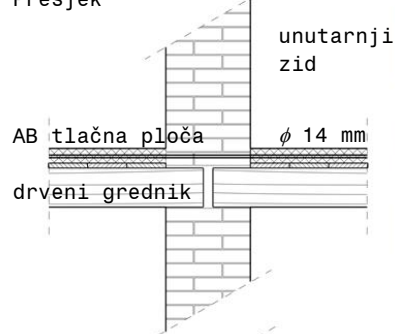
postavljaju se moždanici za sprezanje različitih oblika i sustava. Sprezanjem se bitno povećava nosivost i krutost okomito na ravninu, ali u ravnini se dobiva kruti disk.

Sprezanje AB tlačne ploče

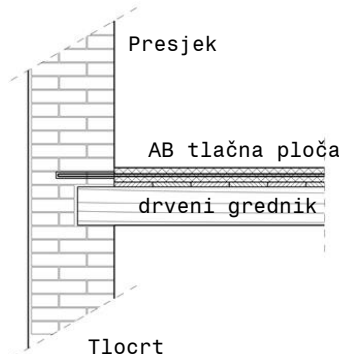
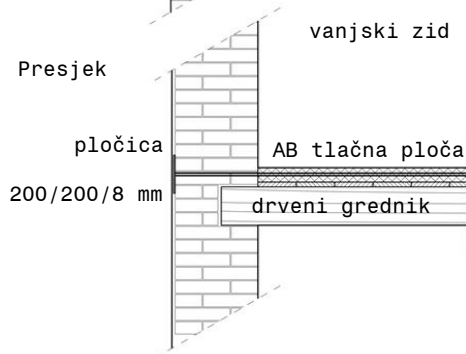


AB tlačna ploča i povezivanje sa zidovima

Presjek



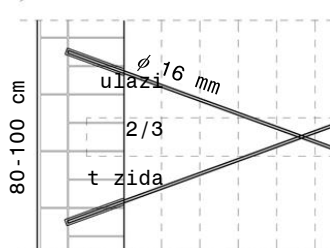
Presjek



Tlocrt



Tlocrt



Moguće sidriti s vanjske strane

Nemoguće sidriti s vanjske strane

Izvodi se tlačna betonska ploča u međukatnoj konstrukciji uz sprezanje s drvenim grednicima nadzemnih etaža i čeličnim profilima u svodovima podruma.



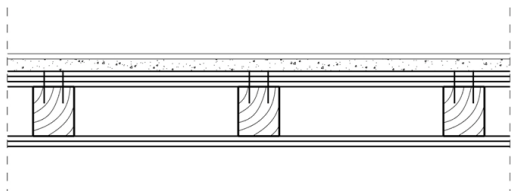
Slika 2.14 Različite varijante sprezanja i izgled stropa

Osim izvedbe AB tlačne ploče moguća je izvedba i drvenih tlačnih ploča koje se lijepljenjem ili vijcima povezuju za drvene grednike. Drvene tlačne ploče mogu činiti daske u tri sloja, i to tako da je prvi okomit na grednike, a drugi i treći sloj se zakreću za 45° odnosno 135° (vidi poglavlje 2.2.1.1).

Kod izvedbe drvene tlačne ploče (slika 2.6, 2.7 i 2.15) za osiguranje potpune učinkovitosti, ploču je potrebno povezati sa zidovima. Između podne dijafragme i zidova postoje veze (metalne pločice) koje mogu prenijeti unutarnje sile s krova na zid i ograničavati vanjske pomake zidova.

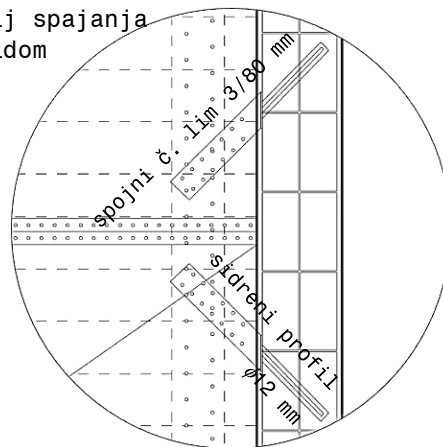
Postavljanjem dijagonalnih metalnih traka odnosno horizontalne stabilizacije postiže se kruta konstrukcija koja realno odgovara AB stropnim pločama (prikazano na slikama u nastavku).

Izvedba drvene tlačne ploče i povezivanje sa zidovima

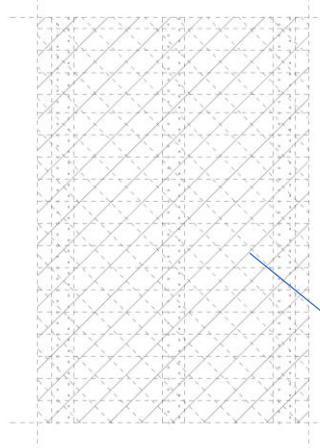


Tri sloja dasaka u tri smjera (daskanje pod kutovima 45° i 135° na postojeći prvi sloj) ili drvene ploče od slojevitog furnira (ploče treba međusobno povezati limom). Cilj je dobiti (djelomično) krutu dijafragmu koja će poslužiti za preuzimanje horizontalnih i vertikalnih sila. Daske odnosno ploče povezuju se u drvene grednike i međusobno. Sidrena šipka koja je zavarena na metalnu pločicu sidri se u prethodno izbušenu rupu u zidu i zapunjava mortom.

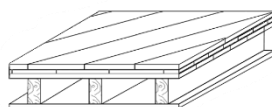
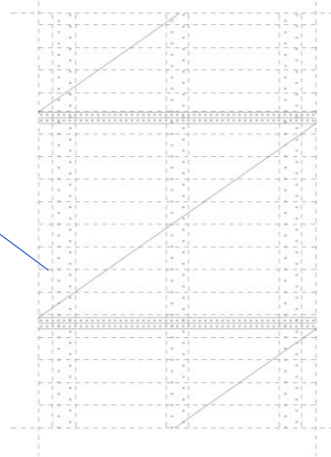
Detalj spajanja
sa zidom



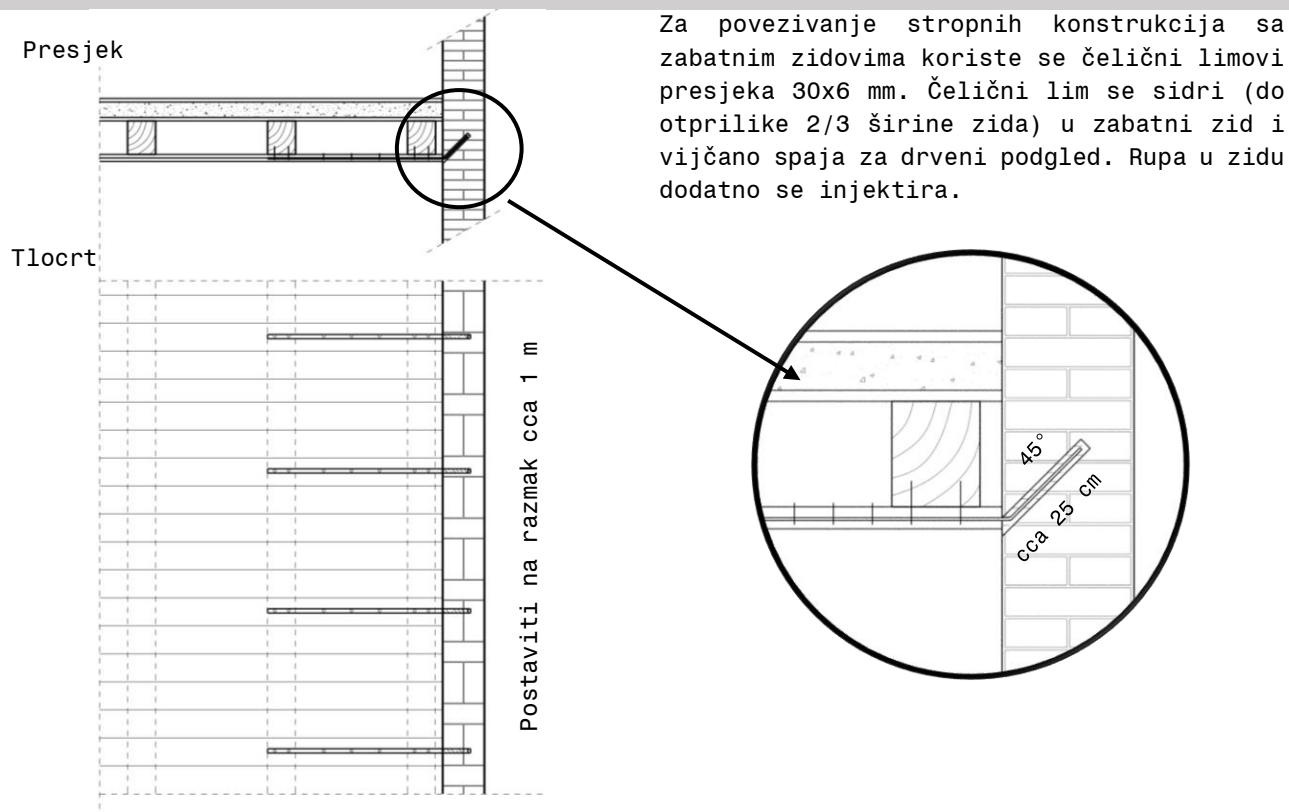
Tri sloja dasaka u 3 smjera



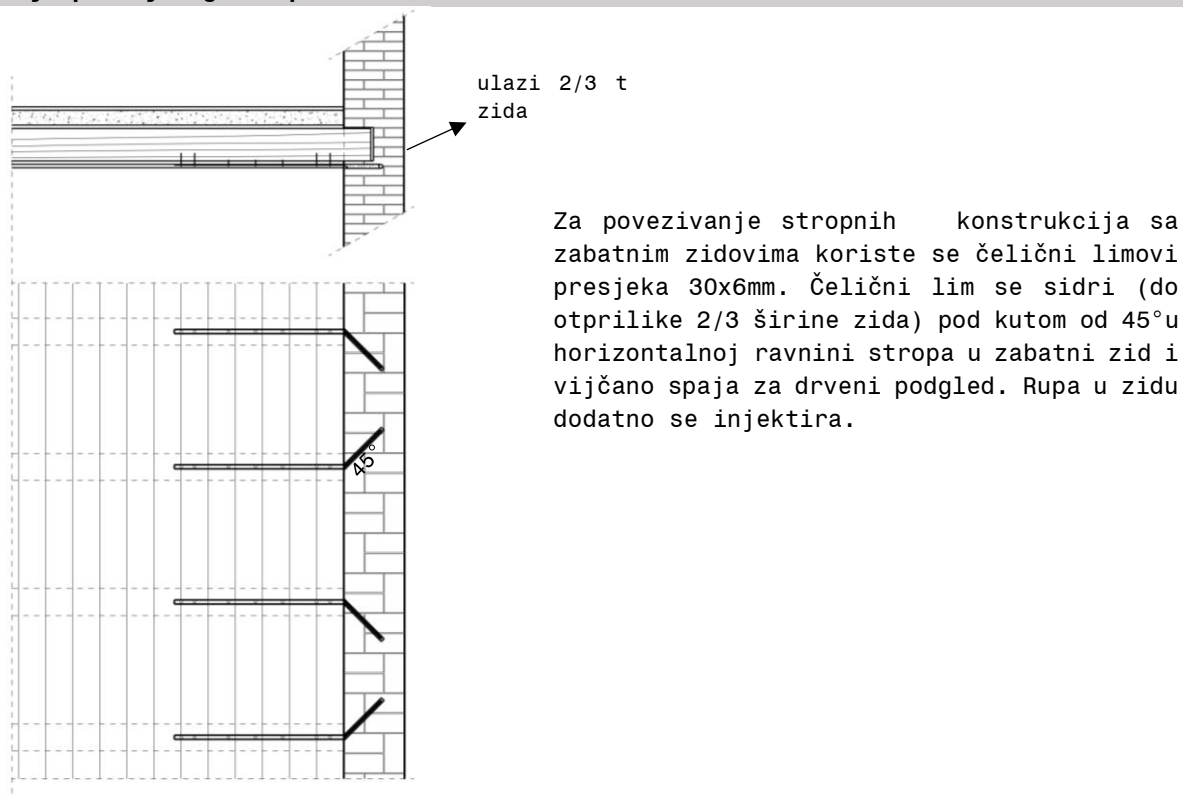
Drvene ploče od slojevitog furnira



Slika 2.15 Ukrućenje AB ili drvenom tlačnom pločom i povezivanje sa zidovima

Povezivanje postojećeg stropa sa zabatnim zidom

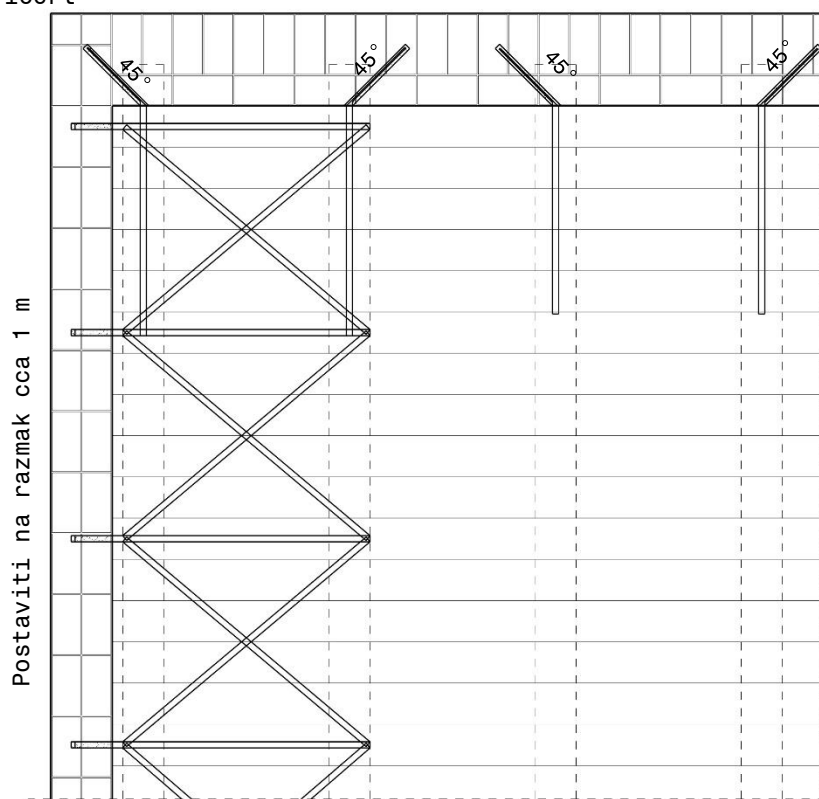
Slika 2.16 Povezivanje postojećeg stropa sa zabatnim zidom

Povezivanje postojećeg stropa s nosivim zidom

Slika 2.17 Povezivanje postojećeg stropa s nosivim zidom

Horizontalna stabilizacija

Tlocrt



Postaviti na razmak cca 1 m

Presjek

drveni grednik

ulazi 2/3
t zida

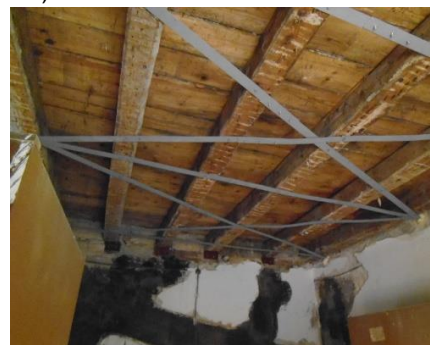
Presjek



ulazi 2/3 t zida

Izvođenje horizontale rešetke i povezivanje svih zidova sa stropnom konstrukcijom

Horizontalno ukrućenje drvenih grednih stropova, ako nije potrebno povećanje nosivosti na vertikalno opterećenje, može se postići izvedbom zatega ispod ili iznad stropa, ili čak spregova, i povezivanjem sa zidovima (preko L kutnika) ili sidrenjem vertikalne horizontalnog sprega u zid (kao što je vidljivo na slici iznad).

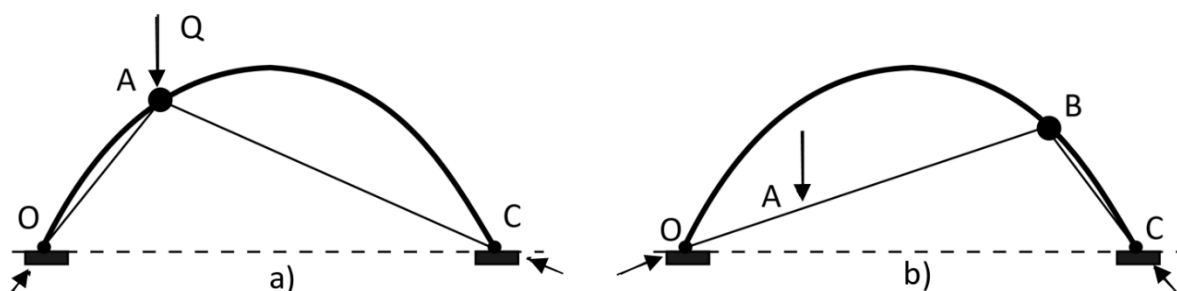


Slika 2.18 Horizontalna rešetka od metalnih traka ili FRP lamela

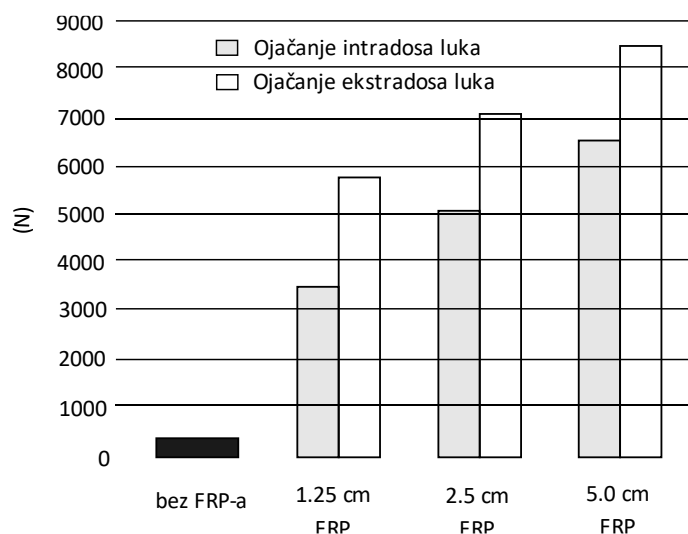
2.2.2 Lukovi i svodovi

Konstruktivni elementi s jednostrukom ili dvostrukom zakrivljenosti općenito otkazuju zbog formiranja dovoljnog broja zglobova koji rezultiraju mehanizmom. Dovoljan broj zglobova nije teško postići jer zidane konstrukcije imaju zanemarivu vlačnu čvrstoću. Kod zidanih lukova dovoljno je pojačati samo intrados ili ekstrados (

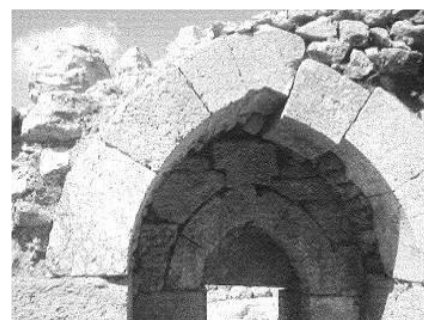
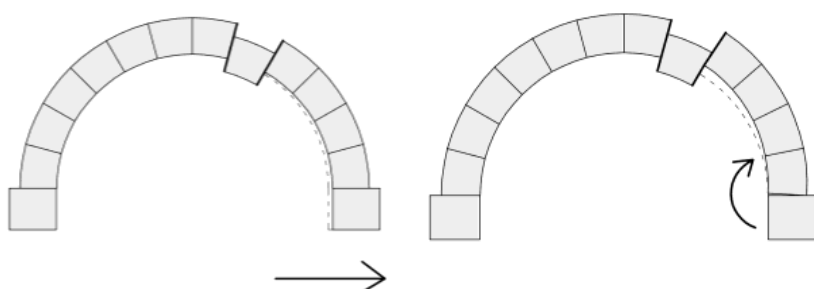
Slika 2.19).



Slika 2.19 Statička shema pojačanja luka: a) ekstrados, b) intrados

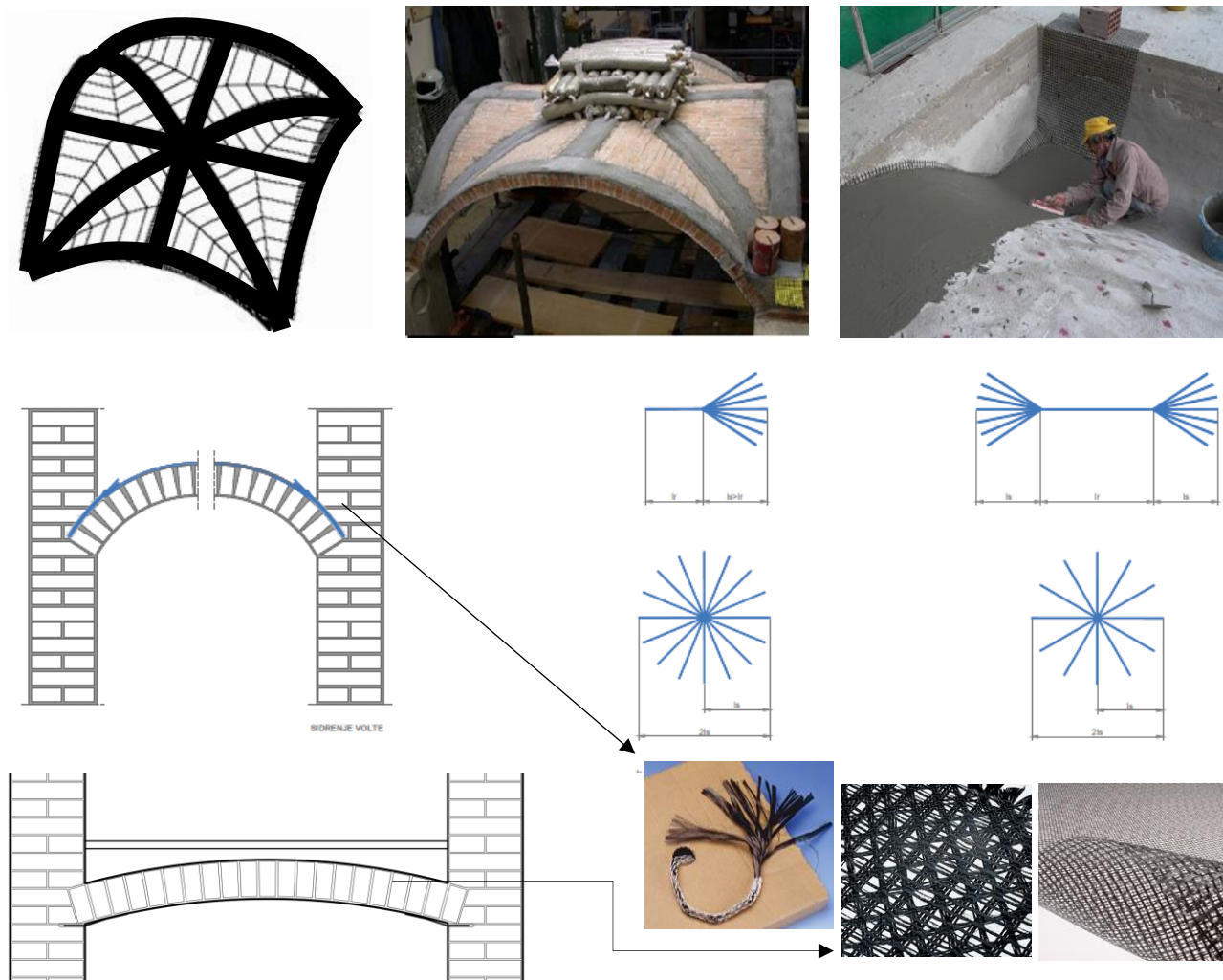


Slika 2.20 Odnos pojačanja ekstradosa ili intradosa različitim metodama pojačanja



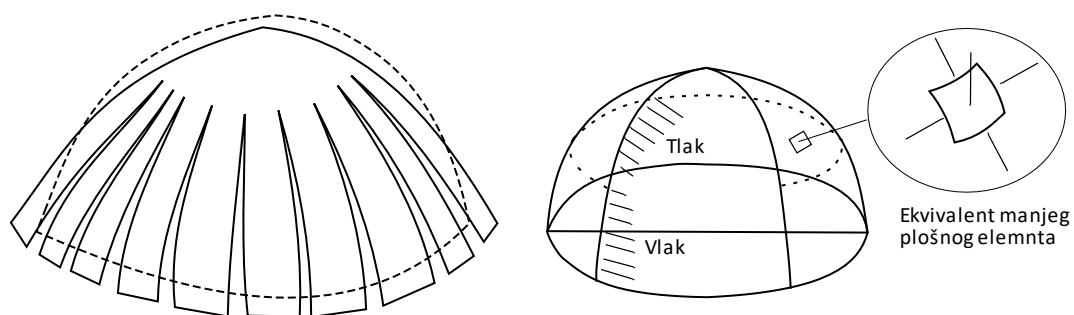
Slika 2.21 Otkazivanje luka ili svoda unutar ravnine, pukotina okomita na raspon

Kod svodova, slično kao i kod lukova, preporuka je pojačati obje strane. Pojačanja mogu biti različita; tkanine i mreže najpraktičnije su uz kombinaciju sidrenja s užadi.



Slika 2.22 Pojačanje kupola FRP-om

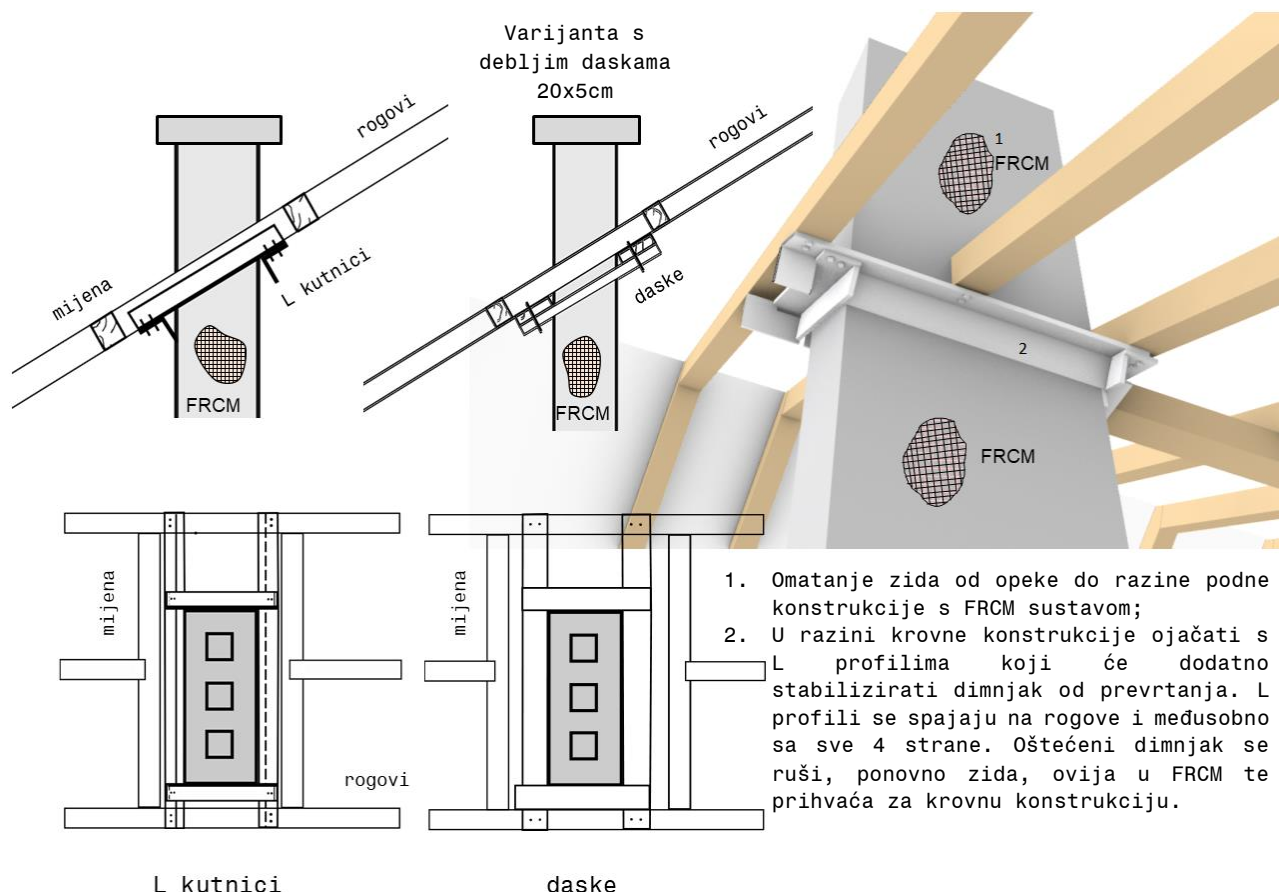
Kupole služe za prihvatanje vlačnih prstenastih sila. Važno je napomenuti da kod lukova i svodova postavljanje FRP-a ne podrazumijeva može bitno uklanjanje zatege i elemenata koji prihvataju horizontalne sile luka.



Slika 2.23 Naprezanje u kupolama

2.2.3 Dimnjaci

Dimnjak, kao sekundarna konstrukcija, zahtijeva sanaciju ako prijeti mogućnost urušavanja i ako kao takav predstavlja opasnost za konstrukciju i ljude. Zidani dimnjak je dimnjak koji se zida na gradilištu od punih opeka. Konstrukcija dimnjaka oštećena od potresa ili drugih vanjskih utjecaja može se sanirati na sljedeći način:



Slika 2.24 Pojačanje dimnjaka FRCM sustavom, L kutnicima ili daskama

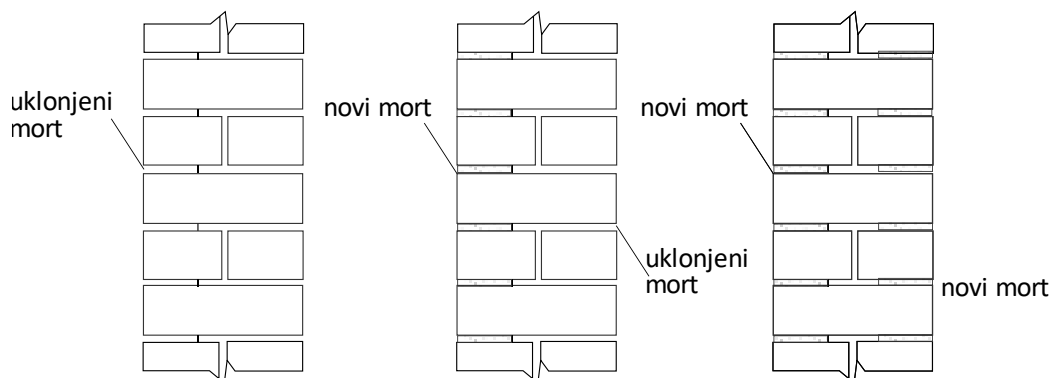
Na slici 2.24 opisan je postupak pridržanja dimnjaka - u prvoj varijanti koriste se L kutnici, a u drugoj deblja daska 20x5 cm. Prikazan je i slučaj (3D) kada L profili prolaze jedan kroz drugi (zbog blizine rogova nije moguće postaviti L kutnike jedan na drugi). Također, uz bočno pridržanje dimnjaka neizostavno je pojačanje s FRCM sustavom (*Fabric-Reinforced Cementitious Matrix*) (vidi 2.4).

2.2.4 Vertikalni elementi

2.2.4.1 Zapunjavanje sljubnica

Tehnika se sastoji od uklanjanja postojeće oštećene žbuke (čišćenja i ispiranja sljubnice te zapunjavanja novim mortom). Najbolje je mort ukloniti vodom s visokim tlakom od oko 40 bara, a dubina uklanjanja morta maksimalno je do trećine debljine zida. Novi mort mora biti u skladu s postojećim zidom, tj. trebao bi imati slična mehanička svojstva kao i postojeći mort, ali sa svojstvima da je otporniji na uzročnike propadanja.

Ako je postojeći zid zidan vapnenim mortom, potrebno je da i novi mort sadrži visok udio vapna. Nije dobro kod starih zgrada koristiti klasični cementni mort jer zbog nekompatibilnosti s opekam i postojećim mortom može uzrokovati oštećenja u potresu. Glavni ciljevi ove tehnike jesu poboljšanje izgleda, ali i povećanje tlačne i posmične čvrstoće te smanjenje deformacija.



Slika 2.25 Čišćenja i ispiranja sljubnice te zapunjavanja novim mortom

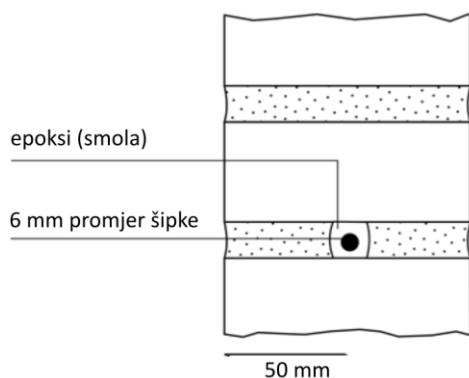
Danas postoje razni proizvođači mortova za sanacije starih zgrada, ovisno o tipu morta, zahtijevanoj boji morta, kao i vrsti zidnih elemenata. Kod čišćenja je potrebno paziti da se ne ošteti opeka i da mort bude kvalitetno očišćen. Moguće je oblikovati i razne vrste profilacija.



Slika 2.26 Postupak sanacije i izvedbe (izvor: falconstructural.co.uk)

Često se s popravkom morta opečnog zida ono dodatno pojačava tako da se u sljubnicu postavi čelična šipka (Slika 2.27).

Poželjno je da se koristi šipka s epoksidnim premazom kako ne bi došlo do njezine korozije. Moguće su varijante šipki na bazi plastike i FRP-a. Ako treba samo pojačati zid, onda se mogu koristiti i šipke u epoksi mortu koji može biti dodatno zaštićen.



Slika 2.27 Postavljanje čeličnih šipki u popravljene sljubnice (izvor: falconstructural.co.uk)

2.2.4.2 Sanacija pukotina – injektiranje i prezidavanje

Sanacija pukotina provodi se s ciljem da se vrati postojeća čvrstoća i cjelovitost zidanoga zida. Najčešće se to provodi injektiranjem pukotina, a sam postupak, kao i materijal za injektiranje, ovisi o tipu zida i širini pukotina. Izrazito uske pukotine, širine do 0,5 mm, injektiraju se u pravilu epoksi mortom (ljepilom) ili sličnim materijalom.

Ako se radi o pukotinama od 0,5 mm do 10 mm, onda se koristi smjesa morta u odgovarajućem omjeru vapna, cementa i pijeska odgovarajuće granulacije, a pukotine širine veće od 10 mm najčešće ekspanzijskim materijalima uz dodatak pojačanja ili se provede prezidavanje zida na tom dijelu.

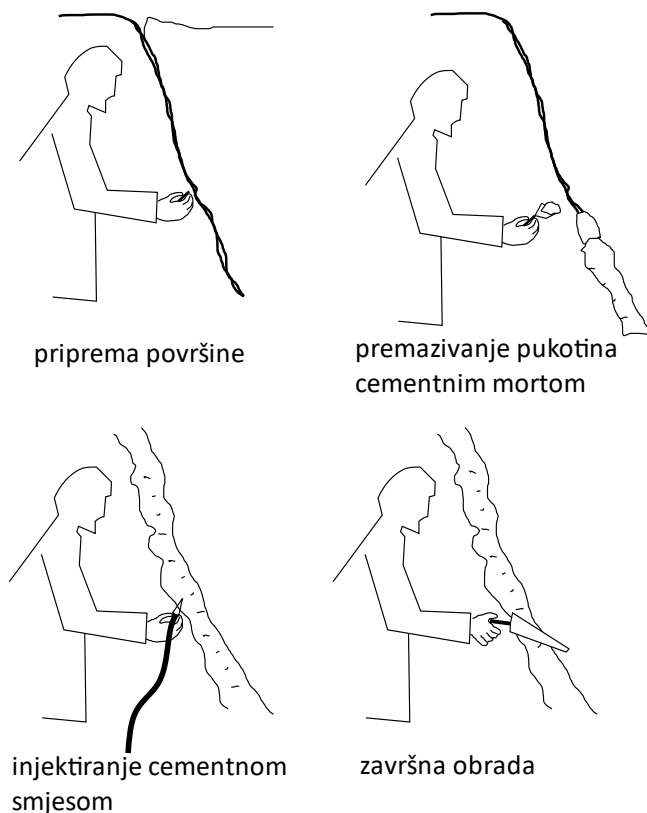
Postupak injektiranja zidanih zidova provodi se u principu tako da se sa svake strane pukotine u širini od 50 do 60 cm zid očisti od žbuke i prašine. Zatim se uzduž pukotine na razmacima 30 do 50 cm izbuše rupe u koje se postave cijevi promjera 12 mm (najčešće s injektorima). Cjevčice se učvrste cementnim ili eventualno epoksi mortom. Pukotine se zatvore cementnim mortom s obje strane zida po cijeloj duljini (između cjevčica). Cjevčice se začepi, a zatim se otvaranjem cjevčica u parovima pukotine isperu vodom i ispušu zrakom. Nakon toga slijedi etapa injektiranja. Pukotine se injektiraju odozdo prema gore, i to uglavnom s manjim tlakom od nekih 0,03 N/mm².

Ovisno o korištenom procesu postoji nekoliko rješenja za injektiranje:

- injektiranje pod tlakom – najčešće se koristi (Slika 2.28)
- gravitacijsko injektiranje – koristi se kod jako oštećenih zidova
- vakuumsko injektiranje koristi se kod manjih intervencija, uglavnom kod manjih pukotina (npr. kod statua). Injekcijska smjesa mora biti izrazito tekuća.

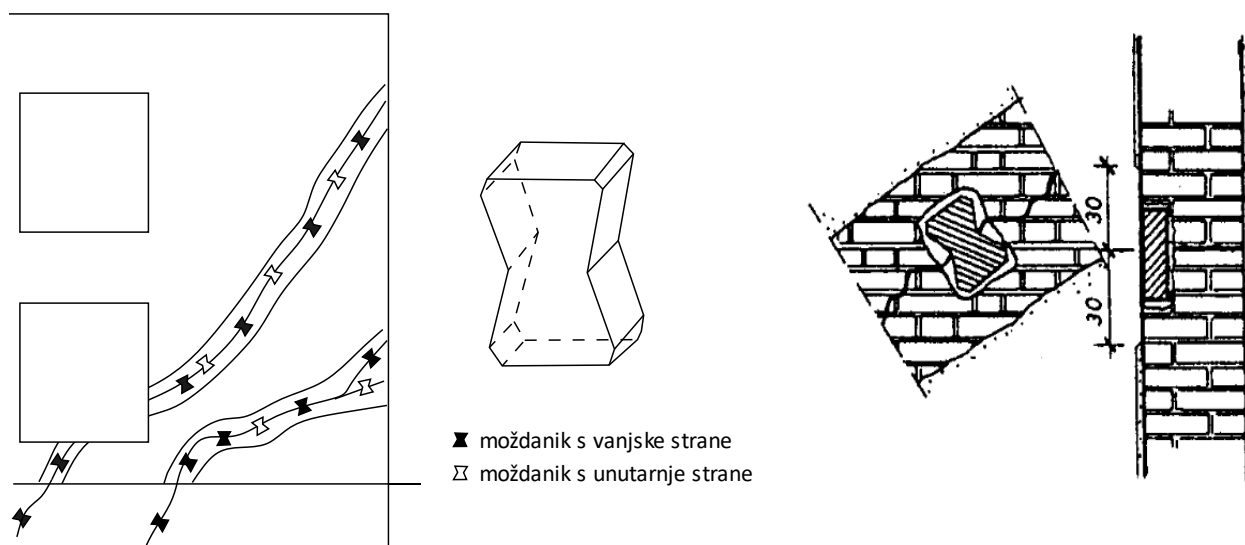
Kod starih zgrada poželjno je da se koristiti anorganska smjesa, i to slična vapnenom mortu radi kompatibilnosti.

Organske mortove (polimerni mortovi i epoksi) treba koristiti tamo gdje je potrebna izrazito kruta i otporna veza.



Slika 2.28 Postupak injektiranja zidanih zidova (lijevo) i fotografija injektiranja (desno) [12]

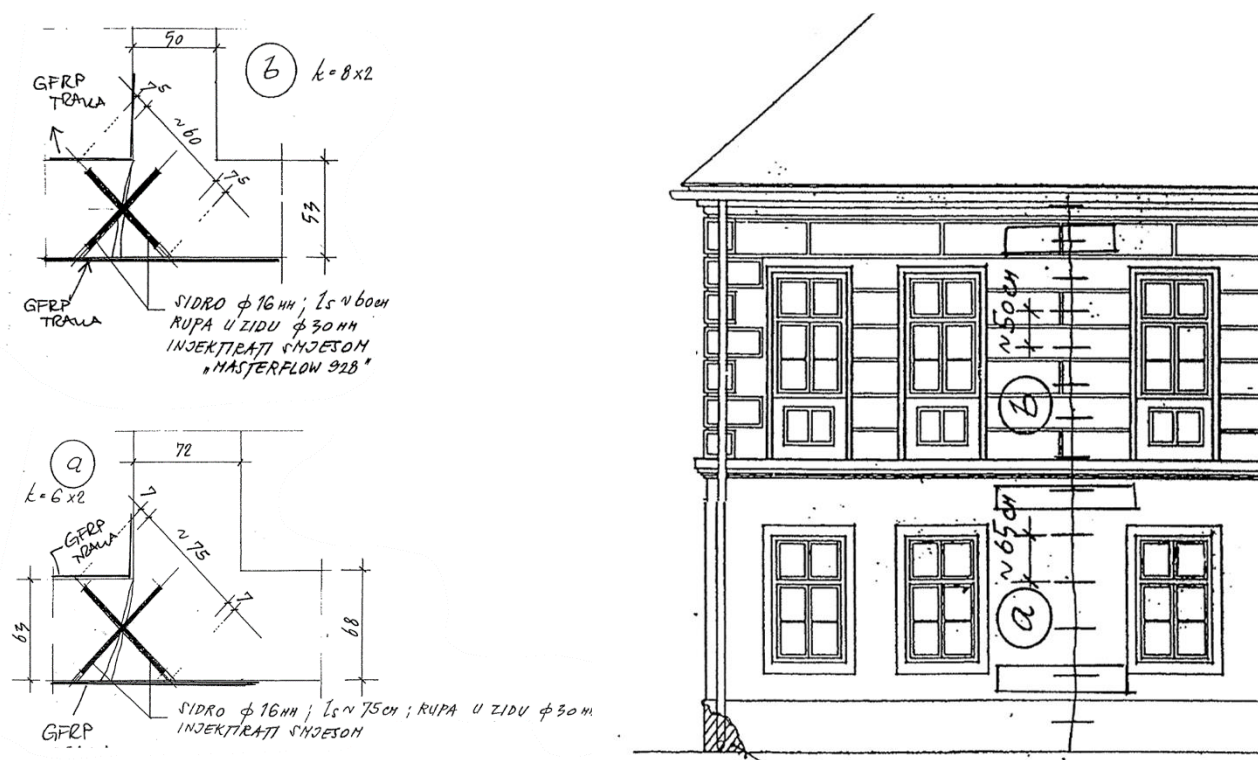
Ako su pukotine veće od 6 do 10 mm, onda se uz injektiranje pukotine radi i pojačanje pukotine ubacivanjem betonskih moždanika (Slika 2.29) ili čeličnih šipki.



Slika 2.29 Pojačanje pukotine moždanicima

Armiranobetonski X-moždanici ugrađuju se uzduž pukotine, i to naizmjenično na obje strane zida na razmaku od 50 do 100 cm. Ugrađuju se u pripremljene rupe i onda zapune mortom.

Slično se radi i s čeličnim šipkama koje se postavljaju pod kutom od 45° u odnosu na pravac pukotine.

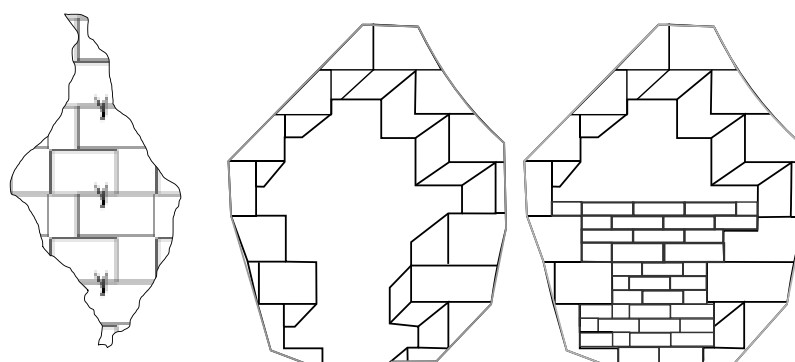
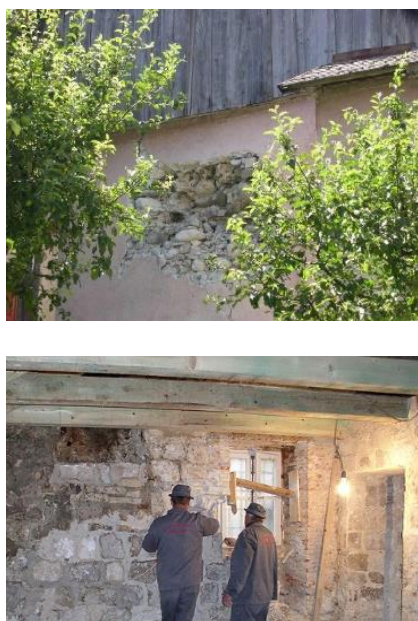


Slika 2.30 Pojačanje pukotine čeličnim šipkama

Ako su pukotine velike i usto je došlo do oštećenja zidnih elemenata, onda je najbolje te dijelove zida prezidati, što je češći slučaj kod kamenoga ziđa, ali i kod opečnoga.

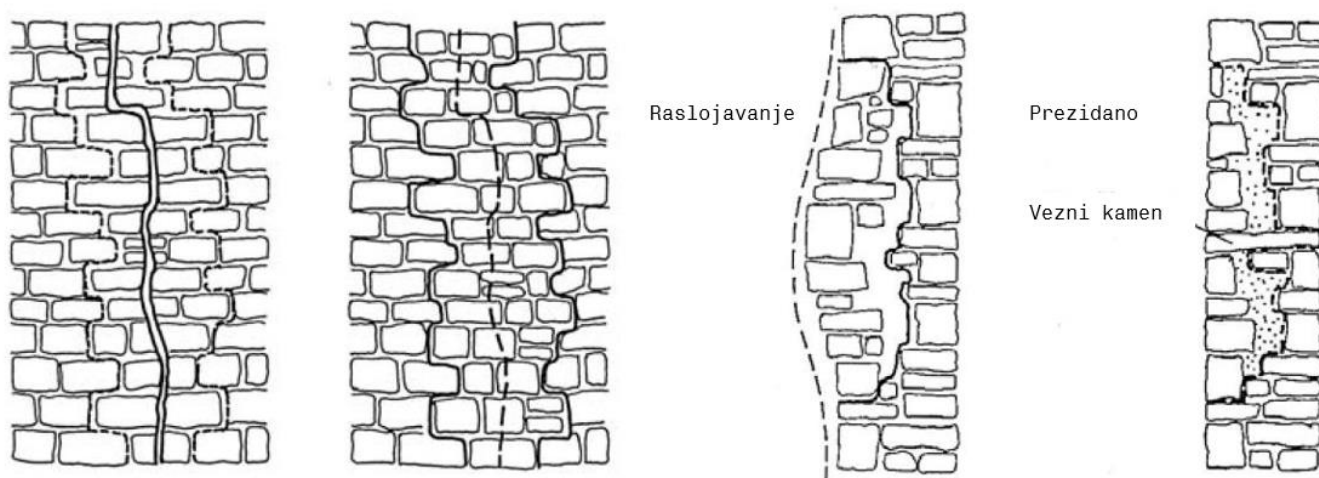
Prezidavanje je poželjno napraviti po mogućnosti originalnim materijalom. Ako ne postoji mogućnost da se oštećenje prezida ili obnovi originalnim materijalom, onda je potrebno pokušati pronaći što sličniji materijal i svakako osigurati vezu staroga i novoga zida čeličnim vezama ili zaklinjavanjem (Slika 2.31).

Važno je napomenuti da betoniranje segmenata zida nije dopušteno zbog štetnih posljedica u potresu.



Oštećen dio ziđa Uklanjanje oštećenog ziđa Ispuna novim ziđem

Slika 2.31 Prezidavanje oštećenja novim tipom ziđa (izvori: [12]; zod.hr)

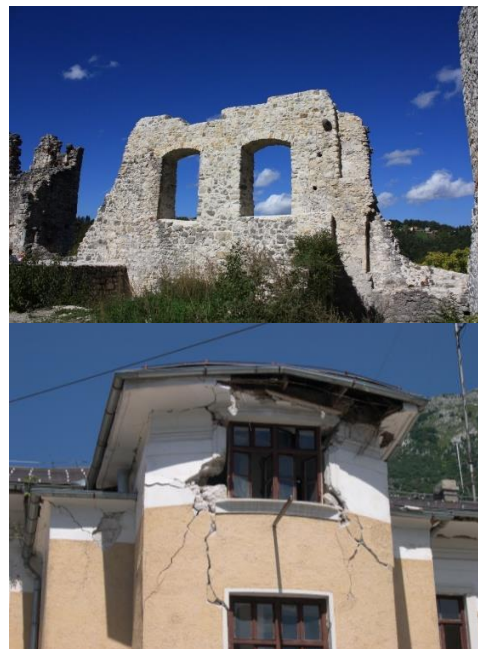
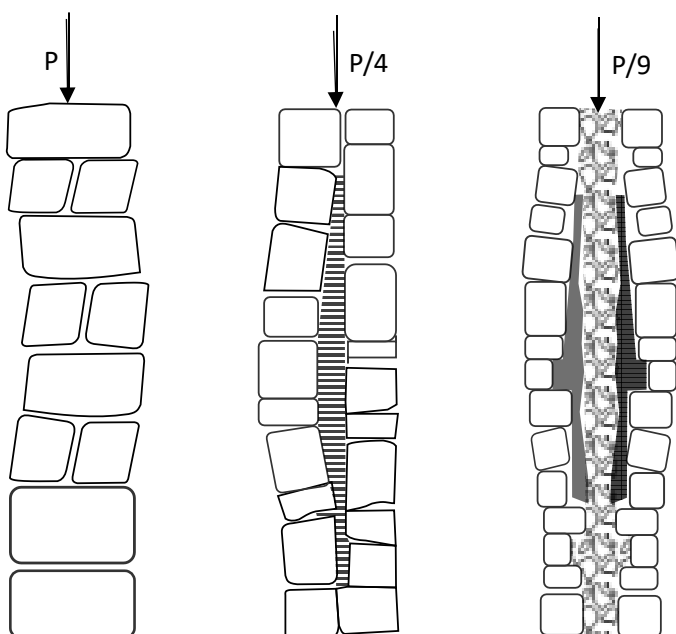


Slika 2.32 Prezidavanje raslojenog zida originalnim materijalom

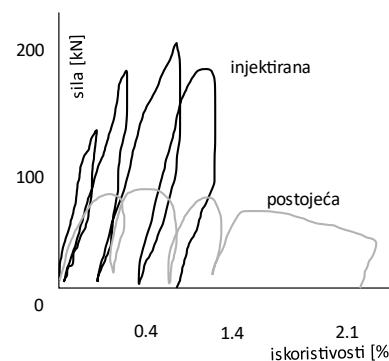
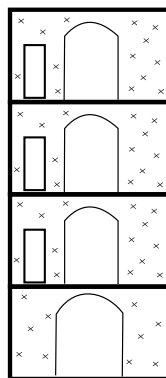
Osim prikazanih tehnika sanacija, pukotinu je moguće sanirati pomoću FRCM sustava opisanog u poglavlju specijalnih tehnika pojačanja (2.4.3).

2.2.4.3 Injektiranje šupljih zidova

Zidovi kod starih zgrada često su izvedeni kao višeslojni zidovi. Takvi zidovi redovito imaju nepravilne zidne vezove na vanjskim stranama, a između njih je kameni nabačaj s većim brojem šupljina. Ti su zidovi osjetljivi i na vertikalno opterećenje, ali i u potresu. Prikaz oštećenja zbog vertikalnog opterećenja i potresa (Slika 2.33).



Slika 2.33 Oštećenja zida zbog vertikalnog opterećenja i potresa [12]



Slika 2.34 Fotografija izvedbe injektiranja zidova i prikaz učinka injektiranja na nosivost [12]

Problem nepovezanosti materijala u takvim se zidovima najčešće rješava injektiranjem cementnom injekcijskom smjesom (90% Portland cementa i 10% pucolana).

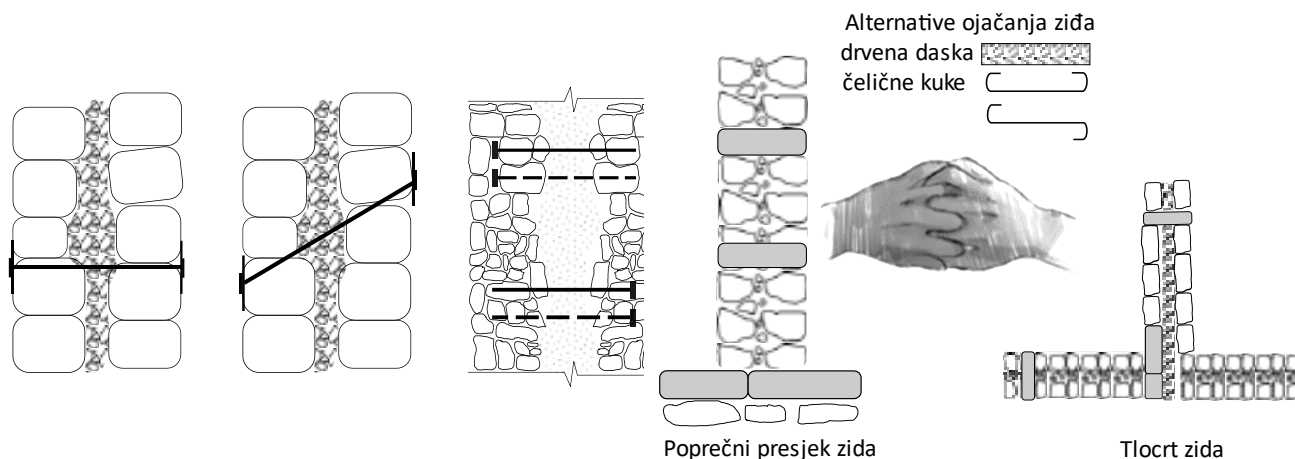
Ovisno o količini šupljina priredi se injekcijska smjesa i kroz pukotine zapune se sve šupljine unutar zida, čime se postiže odgovarajuća kompaktnost i povećana nosivost.

Postupak injektiranja najčešće se provodi jednostrano, a kod iznimno debelih zidova i dvostrano. Razmak između mjesta injektiranja približno je 50 cm (4 kom na m²). Cijevi za injektiranje moraju biti duboke oko 2/3 debljine zida. Zidovi se pune injekcijskom smjesom sve dok u prvoj cijevi iznad injekcijska smjesa ne počne izlaziti. Pune se pod niskim tlakom, i to često gravitacijski.

2.2.4.4 Poprečno povezivanje zidova

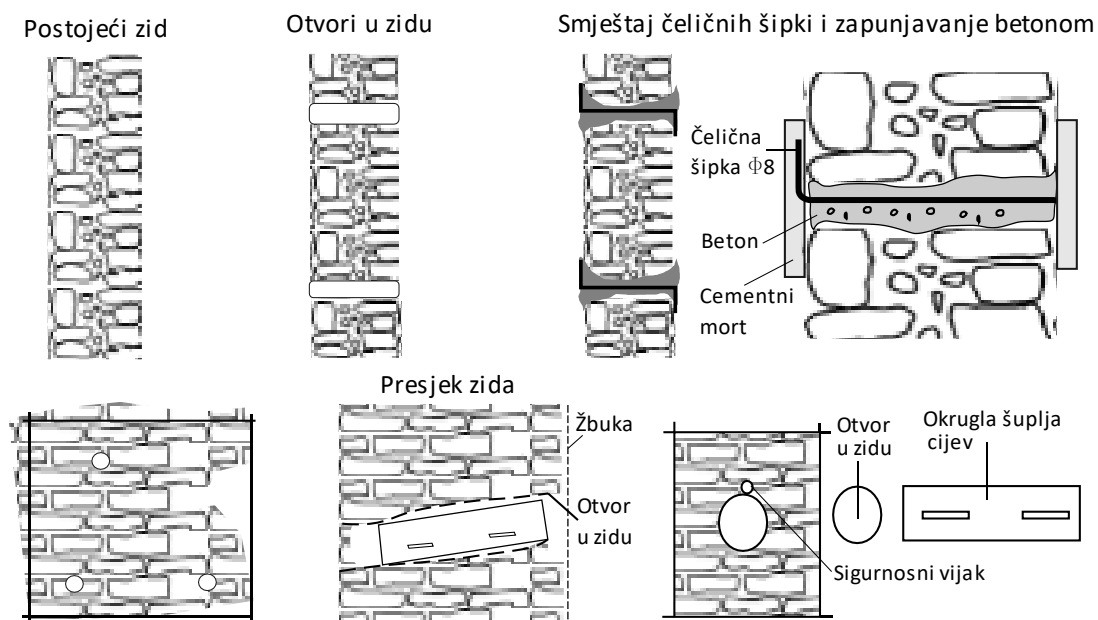
Ova se metoda koristi za bolje povezivanje dvaju slojeva zida (kod višeslojnih zidova) kako bi se izbjeglo odvajanje od središnje jezgre koja je od grubljeg i slabijeg materijala. Može se koristiti samostalno ili u kombinaciji s injektiranjem.

Poprečno povezivanje ostvaruje se metalnim sidrima koja prolaze kroz zid (Slika 2.35 lijevo), a kod kamenih zidova može se ostvariti i pomoću veznih kamenih elemenata (Slika 2.35 desno).



Slika 2.35 Poprečno povezivanje metalnim sidrima (lijevo) i veznim kamenim elementima (desno)

Pojačanja se mogu izvesti i betonskim vezama.



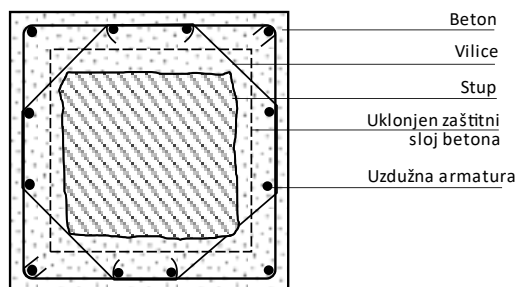
Slika 2.36 Pojačanje zida betonskim vezama

2.2.4.5 Pojačanje zidanih stupova omotačem i ovijanjem

Čest slučaj je da su zidani ili kameni stupovi fizički oštećeni (otkrhnuti ili degradirani), da imaju pukotine koje ugrožavaju mehaničku otpornost i stabilnost ili je jednostavno u rekonstrukciji utvrđeno da nemaju potrebnu nosivost. Često se takvi postojeći stupovi zamjenjuju novim armiranobetonskim ili novim kamenim, ali to često rezultira skupim podupiranjem i duljim vremenom izvedbe.

Izvedbom AB obloge, slično kao kod postupka povećanja presjeka AB elementa, može se osigurati kompaktnost stupa i povećanje nosivosti. Moguća su oštećenja zida u vidu rubnog drobljenja zida ili razvoja vertikalne pukotine.

Najjednostavnije je obući zidani stup u AB stup (Slika 2.37), čime se povećava tlačna čvrstoća i duktilnost, ali se zadire u prostor.



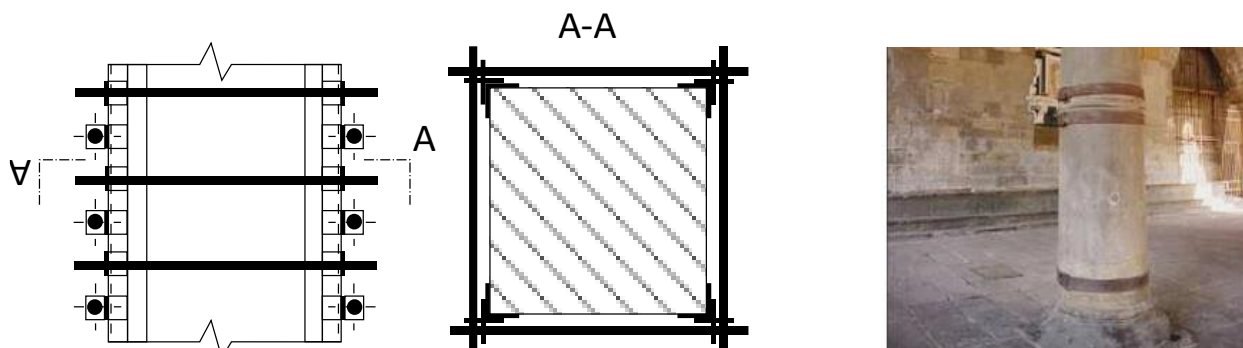
Slika 2.37 Oblačenje zidanog zida u AB stup

Pojačanje se može postići i postavljanjem čeličnih omči (Slika 2.39). Isto vrijedi i za pojačanje AB stupova.

Kameni stupovi često se pojačavaju na vrhu i dnu čeličnim omčama. To su inače mjesta gdje se najčešće pojavljuju pukotine zbog zakretanja elemenata koji se oslanjaju na stupove.



Slika 2.38 Oštećenja zidanih stupova



Slika 2.39 Pojačanje kvadratnih i kružnih presjeka čeličnim omčama

Kod zidanih stupova, ako je potrebno da opeka ostane vidljiva, pojačanje se može osigurati i postavljanjem čeličnih šipki u sljubnice.

Osim prikazanih pojačanja stupova, moguće je izvesti i pojačanje ferocementnom oblogom ili FRP-om. Ferocementna obloga je tanka obloga koja se sastoji od tankog sloja cementnog morta i tankih čeličnih žica.



Slika 2.40 Primjer pojačanja stupova fero cementnom oblogom, CFRP-om i prikaz sanacije kiparskih elemenata

2.2.4.6 Zapunjavanje (zazidavanje) otvora u zidovima i pojačanje nadvoja

Često u rekonstrukcijama ili sanacijama postoji potreba za izvedbom novih otvora ili proširenjem postojećih. Najjednostavniji je način izvedba novoga nadvoja postavljanjem čeličnih profila. Najbolji je način da se nadvoj izvodi iz više profila kako bi se omogućila izvedba bez podupiranja.

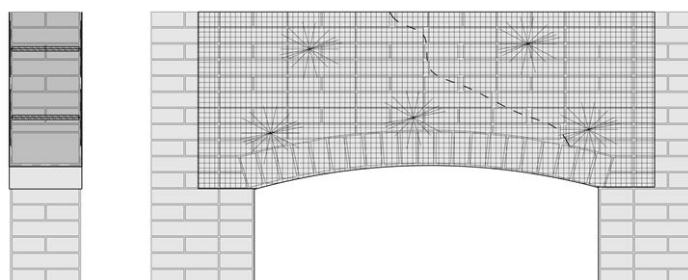
Umjesto čeličnih nadvoja mogu se izvesti i AB grede koje se u pravilu izvode kao dvije grede jedna pored druge. Uvijek oslonac mora biti čelični lim ili betonska papuča.

Prema potrebi, kod otvora koji se ne koriste ili kod nekih zaostalih niša otvori bi se mogli zazidati (Slika 2.41). Tako se povećava nosivost i zida zbog veće površine, s tima da materijal kojim se zida treba biti sličan postojećem okolnom i potrebno je osigurati povezivanje.



Slika 2.41 Zazidani otvor u zidu

Pojačanje nadvoja može se izvesti i IMG metodom (*Inorganic Matrix Grid*), odnosno FRP mrežama, takozvanim FRCM sustavom. Prednost ove vrste pojačanja jest u tome što se ne mijenja masa ni krutost konstrukcija, a povećava se posmična čvrstoća i duktilnost.



Slika 2.42 Pojačanje nadvoja FRCM sustavom

2.2.4.7 Pojačanje zidanih vertikalnih elemenata mrežama čeličnih traka

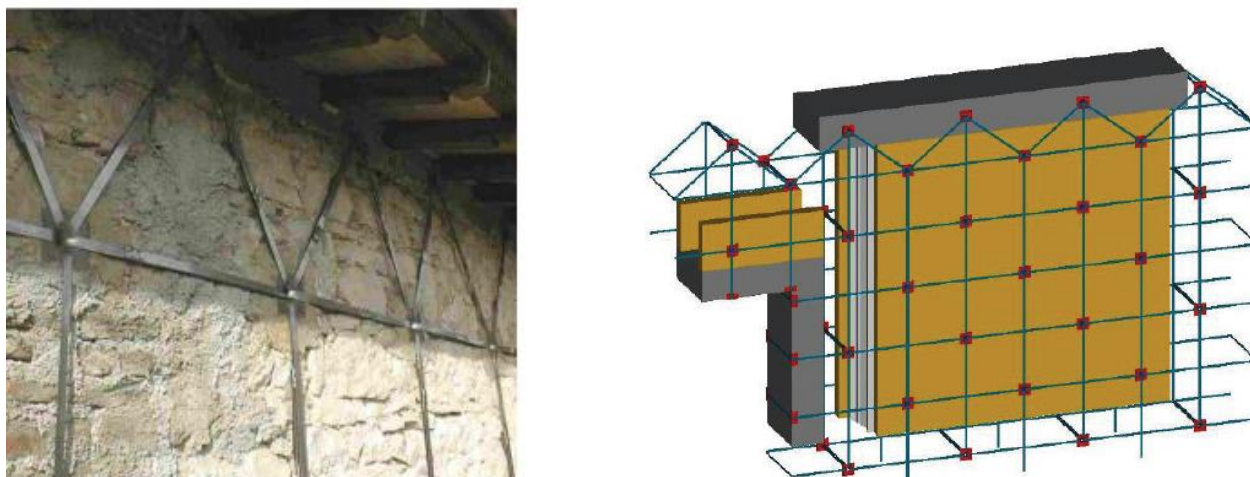
Pojačanje mrežama čeličnih traka jednostavna je i učinkovita metoda pojačanja zidanih elemenata, pri čemu se osigurava povećanje nosivosti zida ili vraćanje u prvobitno stanje. Najveća je prednost jednostavna montaža u pogledu materijala i izvedbe pa ova metoda ne zahtijeva posebne kvalifikacije ni specijalne tehnologije.



Slika 2.43 Mreža od čeličnih traka u dva ortogonalna smjera [13]

2.2.4.8 Trodimenzionalno pojačanje (omeđivanje) zidanih elemenata

Trodimenzijska mreža čeličnih traka može se koristiti za povezivanje i prednapinjanje zida. Jedna od takvih metoda naziva se ACM (*Active Confinement of Masonry*), gdje se čeličnim trakama debljine 0,8 mm i širine 20 mm stvori mreža vertikalna i horizontalna. Razlog zašto se smatra trodimenzionalnom jest taj što obavija zid i u trećem ortogonalnom smjeru, prodirući u debljinu zida. U trakama se ostvaruje djelomično prednapinjanje, čime se omogućuje povećanje i tlačne i posmične otpornosti zida.

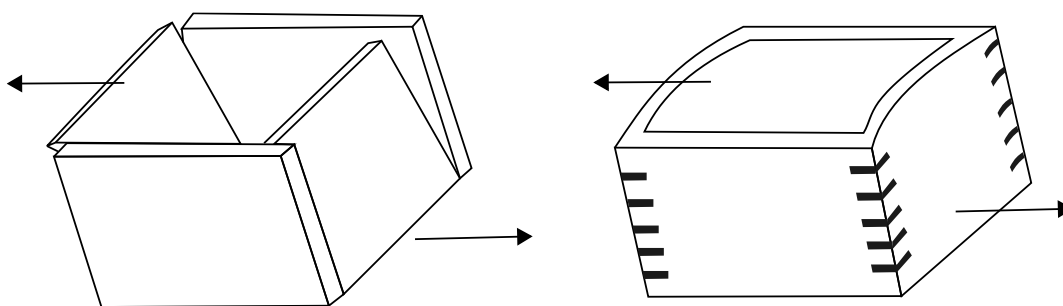


Slika 2.44 Pojačanje trodimenzionalnim CAM sustavom [14]

2.3 GLOBALNE INTERVENCIJE

- pojačanje zidanih zidova dodavanjem armiranih cementnih slojeva
- pojačanje zidanih zidova polipropilenskim mrežama
- pojačanje stropova i poboljšanje veze između stropa, krova i zida
- pojačanje zgrada horizontalnim zategama
- pojačanje zidova pritezanjem (prednapinjanjem) i armiranjem
- pojačanje konstrukcije izvedbom AB serklaža
- pojačanje konstrukcije izvedbom novih AB zidova
- pojačanje konstrukcije izvedbom AB i čeličnih okvira.

Slaba veza između dva konstrukcijska elementa uzrokuje gubitak cjelovitosti konstrukcije i jedan je od glavnih razloga oštećenja zidanih konstrukcija u potresu. Dobra veza između dva konstrukcijska elementa nužna je za osiguranje ponašanja konstrukcije kao „kutije“.



Slika 2.45 „Box“ efekt

2.3.1.1 Pojačanje zidanih zidova dodavanjem armiranih cementnih slojeva

Ova tehnika pojačanja zidanih zidova jedna je od najčešće primjenjivanih postupaka pojačanja zidanih zidova - bilo kamenih, bilo od opeke. Koristi se kada je zid jako oštećen ili postoji potreba za (posmičnim) pojačanjem zidanih zidova oštećenih od potresa ili zbog drugih djelovanja. Naravno, primjenjiva je kod zgrada koje nisu zaštićene kao kulturno i povijesno dobro.

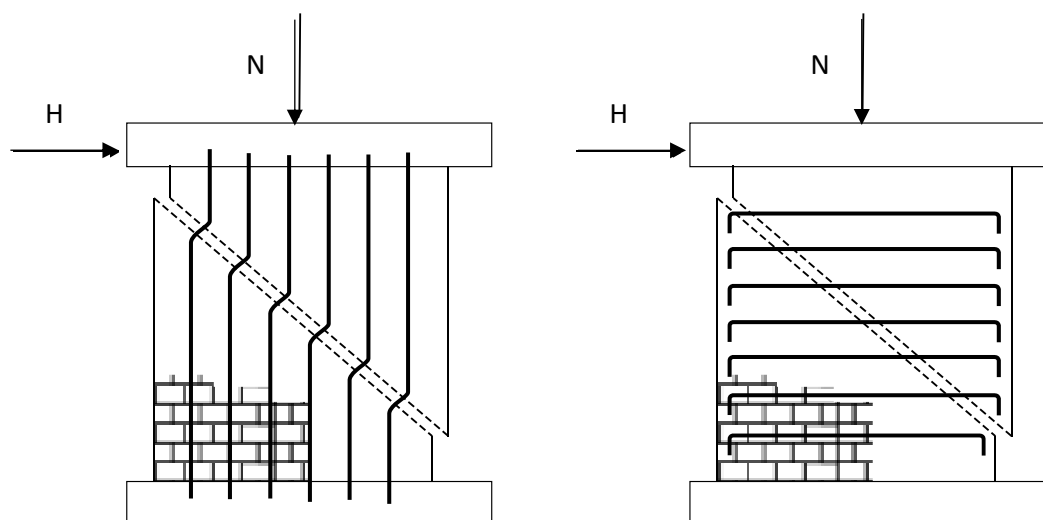
Pojačanje zida izvodi se tako da se obostrano izvodi sloj cementne žbuke ili betona koji je armiran (Slika 2.46). Dobiye se kompozitni zid gdje je u sredini zide, a s vanjskih strana sloj betona, koji je obično nekih 3-8 cm ako se radi o torkretiranju, odnosno do 16 cm ako se beton lijeva u oplatu.



Slika 2.46 Pojačanje armiranim slojem betona [4]

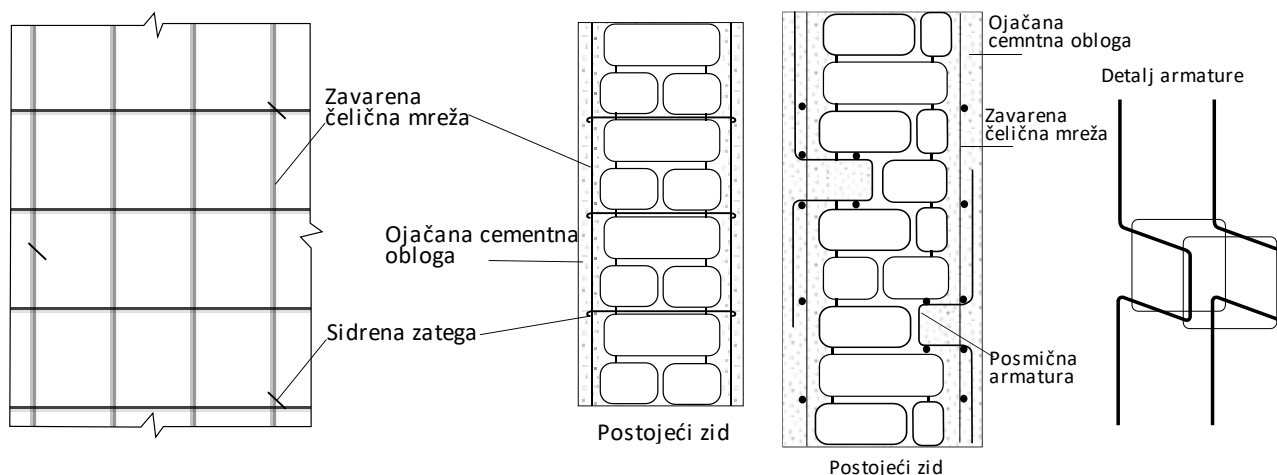
Armatura sa slojem betona omogućuje prihvata posmičnih sila i osigurava kompaktnost nakon pojave pukotine u zidanom dijelu zida (slično je ponašanju armiranog zida) (Slika 2.47).

Ova se tehnika pojačanja provodi tako da se ukloni žbuka sa zida ako postoji. Labave opeke ili kameni elementi uklone se, a sve se postojeće pukotine injektiraju mortom i sl.



Slika 2.47 Pojačanje armiranim slojem betona

Zatim se kroz zidove izbuše rupe (Slika 2.48 lijevo) u koje se postave vezne šipke Ø8-12 pri čemu se prostor oko rupe zapuni cementnim mortom (min. 4 kom/m², a preporučuje se 6-9 kom/m²). U slučaju da su potrebna veća pojačanja ili ako se radi o kamenom zidu, onda se rade džepovi (niše) u zidu koje se obrade armaturom tako da mogu prenijeti silu sa ziđa na betonsku oblogu (Slika 2.48 desno).

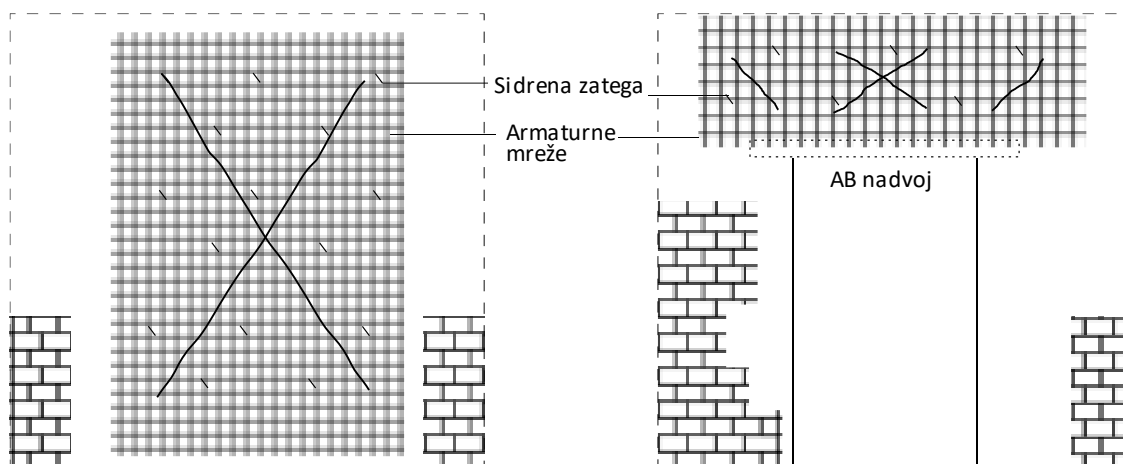


Slika 2.48 Postupak povezivanja ziđa s oblogom - veznim šipkama (lijevo) i džepovima (desno)

Nakon toga površina betona dodatno se ispere vodom i postavi se armatura. Najčešće su to mreže s dodatnim pojačanjima uz otvore ili se čak može složiti mreža od vertikalnih i horizontalnih šipki.

Nakon što je postavljena armatura, torkretira se zid ili se postavlja oplata i betonira novi sloj zida. Kod ove tehnike pojačanja potrebno je torkretiranje izvesti s obje strane zida i dobro ih povezati kako bi se dobio kompaktni zid. Zid se na ovaj način može značajno pojačati, primjerice kod kamenog zida. Kameni zid debljine $t = 60$ cm može izvedbom 10 cm sloja torkreta s armaturom povećati posmičnu nosivost za nekih 3-6 puta.

Torkretiranje zida može se primijeniti i kao pojačanje zida kod nastalih pukotina ili značajnijeg oštećenja zida.



Slika 2.49 Pojačanje zida armiranobetonskom žbukom (torkretiranje)



Slika 2.50 Fotografije izvedbe armiranobetonske žbuke (izvor: arhitekti.hr)

2.3.1.2 Pojačanje polipropilenskim mrežama

Koriste se polipropilenske trake koje su jeftine, a često ih se može nabaviti i kao otpadni materijal. Od traka se formira mreža koja se pričvrsti na zid. Povećava duktilnost i nosivost zida te ograničava raspucavanje (Slika 2.51).

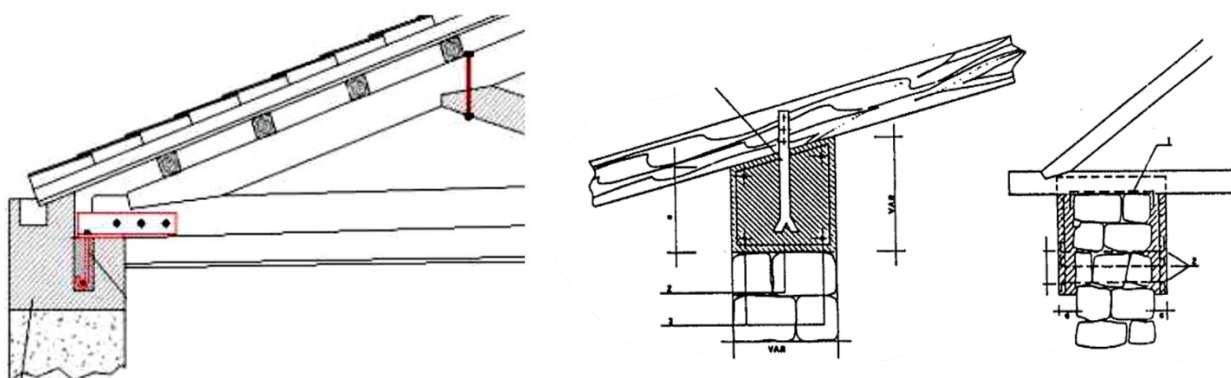
Da bi se trake zaštitile od štetnih ultraljubičastih zraka, obvezno je potrebno nanijeti žbuku. Također trake je nužno povezati s ankerima kroz zid. Osigurava prihvatljivu sigurnost za potrese srednjeg intenziteta.



Slika 2.51 Pojačanje polipropilenskim mrežama [4]

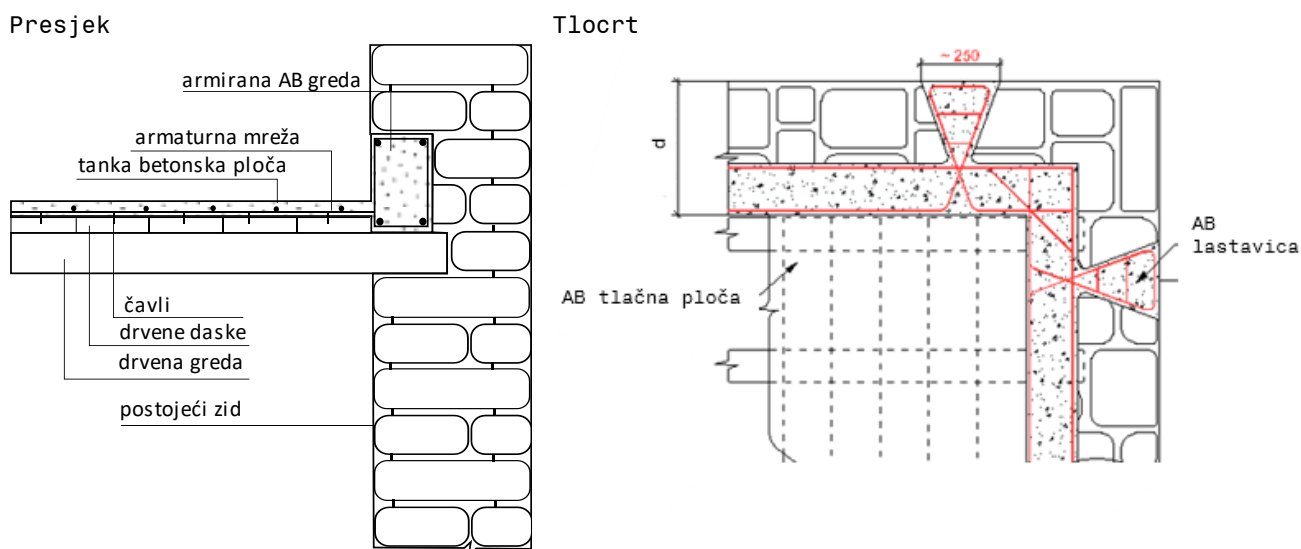
2.3.1.3 Pojačanje stropova i poboljšanje veze između stropa, krova i zida (vidjeti 2.2.1.1 i 2.2.1.5)

U ranijim poglavljima 2.2.1.1 i 2.2.1.5 prikazana su rješenja pojačanja stropova pomoću izvedbe tlačne ploče od dasaka u tri sloja, drvenih ploča od slojevitog furnira, drvene CLT ploče ili izvedbe armiranobetonske tlačne ploče. Također, u poglavlju 2.2.1.5 prikazani su načini povezivanja sa zabatnim zidom i nosivim zidom te osiguravanja ponašanja stropne ploče kao krute dijafragme. Navedena pojačanja, osim kao lokalna intervencija, dio su globalne intervencije jer se ostvaruje bolja povezanost ploče i zidova, a takve su pojačane ploče puno kruće i nisu toliko fleksibilne u vlastitoj ravnini. Povezivanjem stropova i zidova osigurava se cjelovitost konstrukcije za vrijeme djelovanja potresa. Osim prikazanih povezivanja stropnih ploča, potrebno je osigurati povezivanje krovnih greda. Na idućim slikama prikazane su moguće varijante povezivanja.



Slika 2.52 Povezivanje krovne konstrukcije sa zidom

Slijedi prikaz povezivanja AB tlačne ploče sa zidom preko AB serklaža koji se povezuje sa zidom pomoću tzv. „lastavice“. Razmak je „lastavica“ otprilike svakih 2 m po duljini zida. Identičan način spajanja moguć je i kod izvedbe nove AB stropne ploče i njena povezivanja sa zidom. Osim lastavicom moguće je povezati novu AB ploču i pomoću čeličnih sidara, kao što je prikazano u poglavlju 2.2.1.5.



Slika 2.53 Povezivanje AB tlačne ploče sa zidom pomoću AB serklaža i „lastavice“

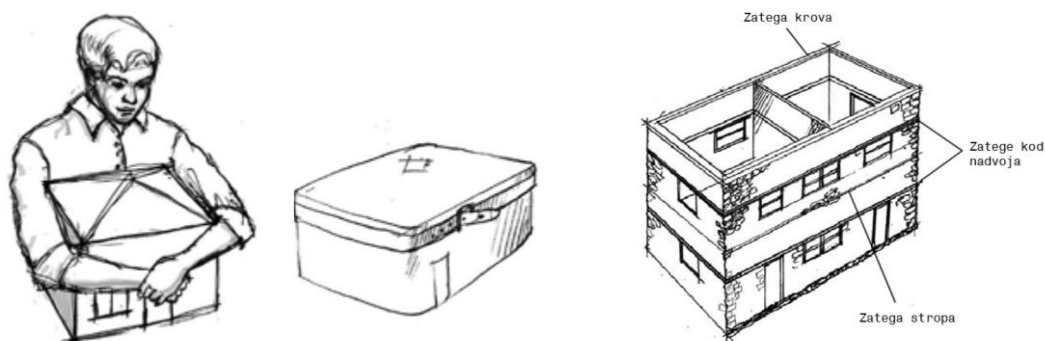
2.3.1.4 Pojačanje zgrada horizontalnim zategama

Na ovaj se način dodatno osigurava cjelovitost zgrade jer je glavni cilj osigurati da ne dođe do razdvajanja zidova. Posebno je primjenjiva kod zgrada s visokim etažama gdje nije dovoljno samo zidove pridržati u razini stropova i krovova.



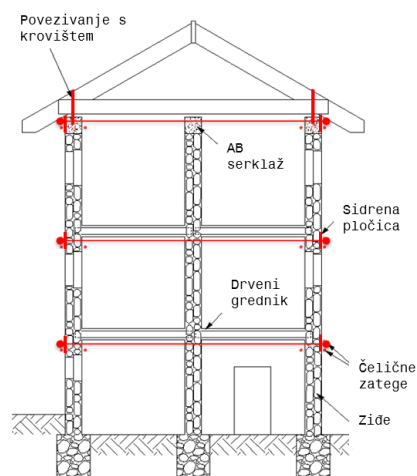
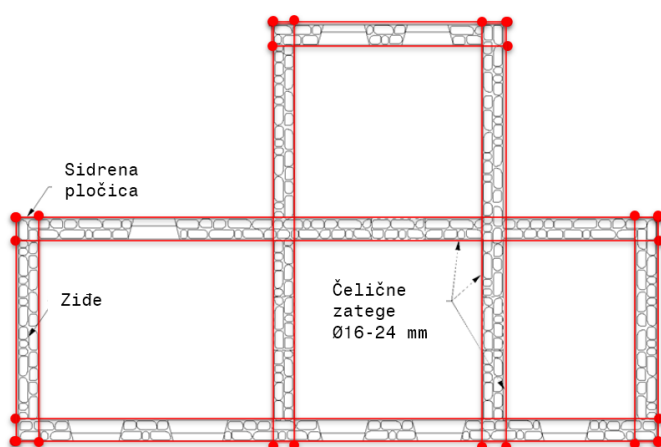
Slika 2.54 Povezivanje zidova za osiguranje nerazdvajanja visokih zidova [5]

Ovijanje zgrade postiže se provlačenjem čeličnih šipki uz zidove ispod stropova i po visini. Povezivanjem se ostvaruje povećanje cjelovitosti.

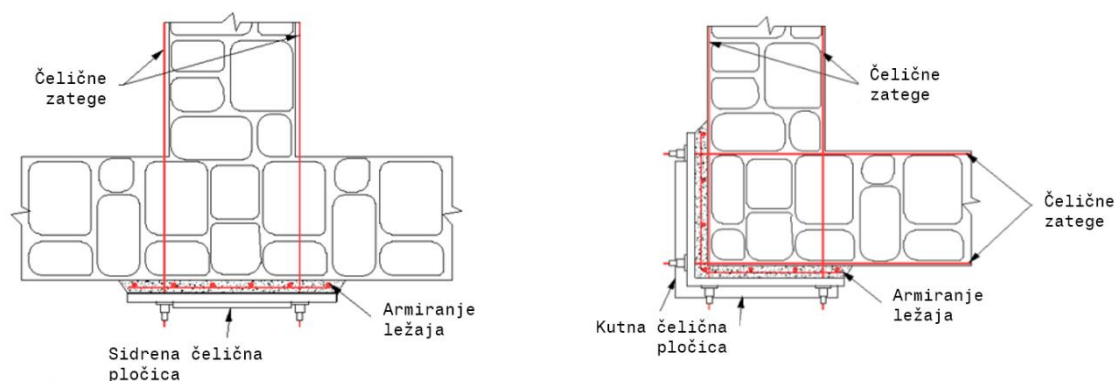


Slika 2.55 Povezivanje zidova po opsegu za postizanje cjelovitosti konstrukcije [5]

Čelične šipke provlače se uz nosive zidove u visini stropova, a sidrenje je ostvareno na vanjskoj strani zida preko čelične sidrene pločice. Važno je također paziti na detalj i mogućnost proboja sidrene pločice prilikom djelovanja sile u zatezi, stoga je potrebno ugraditi sidrenu pločicu dovoljne širine i/ili visine.

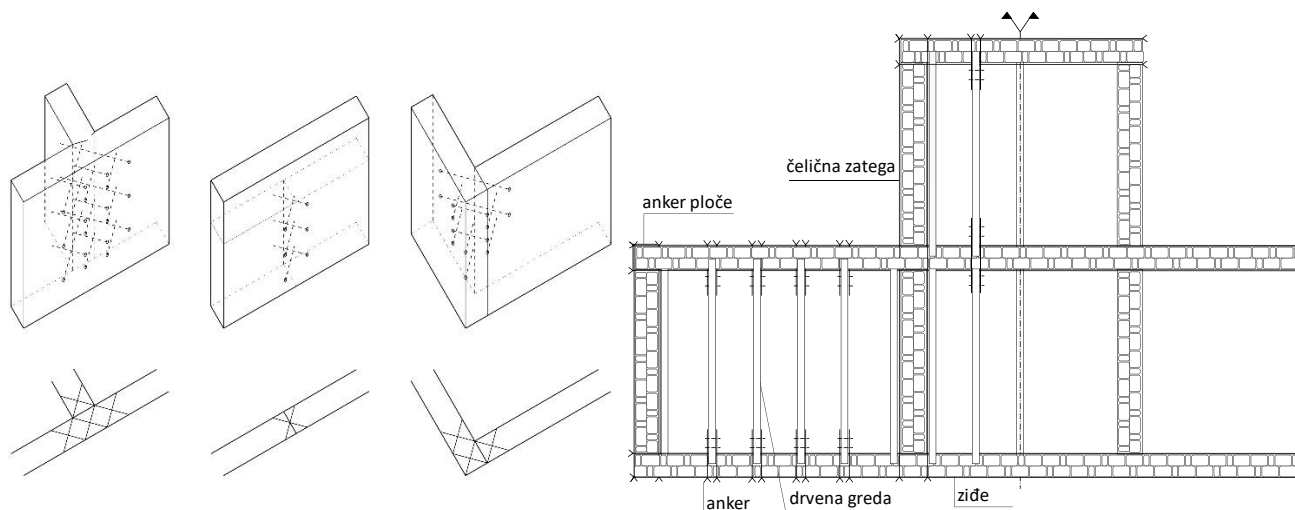


Slika 2.56 Prikaz položaja zatega na primjeru



Slika 2.57 Prikaz detalja sidrenja

Osiguranje kompaktnosti i cjelovitosti zgrade najbolje se postiže kombinacijom povezivanja stropova i uglova zidova, kako je i prikazano na idućoj slici. Povezivanje zidova moguće je dodatno pomoću čeličnih šipki.



Slika 2.58 Prikaz povezivanja stropova i povezivanja uglova

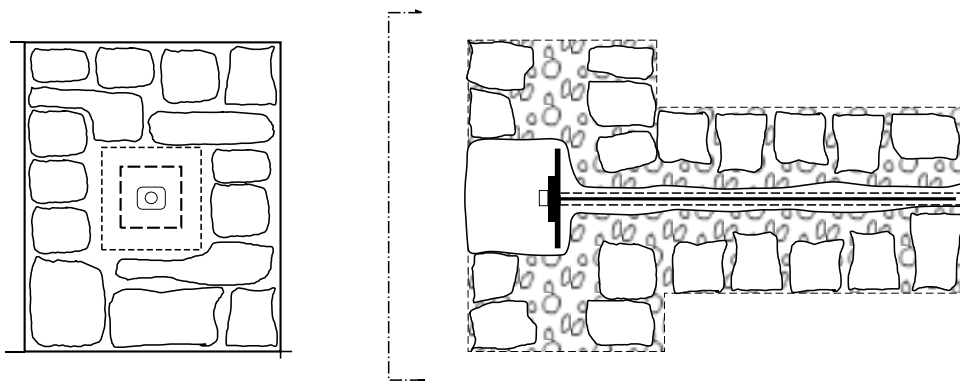
Zatege se postavljaju i u krovnoj konstrukciji te kod lukova i svodova radi osiguranja od otkazivanja zidova i za uobičajeno opterećenje, a ne samo za slučaj potresa. Zatege su uobičajeni element koji se lako može uklopiti u oblikovanje različitih konstrukcija.



Slika 2.59 Izgled izvedenih pojačanja [4]

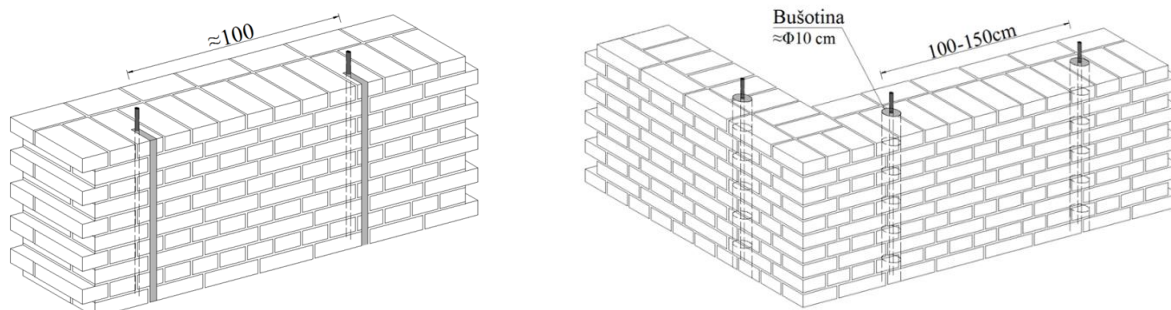
2.3.1.5 Pojačanje zidova pritezanjem (prednapinjanjem) i armiranjem

Prednapinjanjem se, kao i kod betona, unosi tlak u zid, što povećava nosivost zida jer sprječava nastanak vlačnih naprezanja u zidu, a time i pojavu pukotina. Usto, i kada se pojave pukotine, ovakvo pojačanje osigurava funkciju veznih šipki, ali i osigurava cjelovitost konstrukcije. Kroza zid ili uza zid provlače se kabeli koji su prednapinju (Slika 2.60).



Slika 2.60 Prednapinjanje zidova

Zid se može pritezati (prednapinjati) vertikalno i horizontalno. Problem je s bušenjem, ali se bez problema može izvesti prednapinjanje zgrada s 4 kata. Prostor gdje prolaze kabeli može se zapuniti, a i ne mora (ovisno o tipu kabela). Postavljanjem armature u sljubnice može se povećati nosivost na poprečne sile, a kod stupova i na vertikalno opterećenje (Slika 2.61).



Slika 2.61 Postavljanje armature u sljubnice

Također, zid se može bušiti ili zarezivati naknadno te se može postavljati armatura i vertikalno i horizontalno, ovisno o načinu pojačanja.



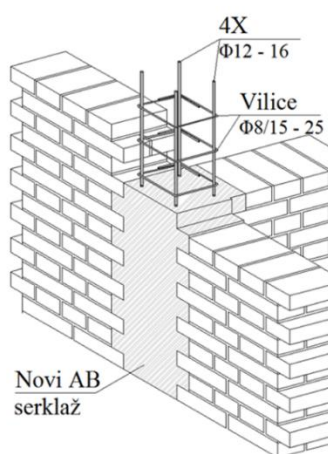
Slika 2.62 Prikaz izvedbe prednapinjanja [4]

2.3.1.6 Pojačanje konstrukcije izvedbom AB serklaža

Izvedbom vertikalnih i horizontalnih serklaža dodatno se osigurava cjelovitost zidane konstrukcije, povećava se duktilnost i nosivost. Ovo je prilično jednostavan model gdje se na spoju zidova i u razini stropova izreže ili ukloni dio zida te izvedu serklaži. Poželjno je izrezivanje zida izvesti tako da se osigura zupčasti spoj i bolja veza zida i novoga serklaža.

Horizontalni serklaž izvodi se kada stropna konstrukcija nije AB, nego je drvena greda. Tako se dodatno osigura bolja veza drvenoga grednika i AB serklaža te bolja veza sa zidom.

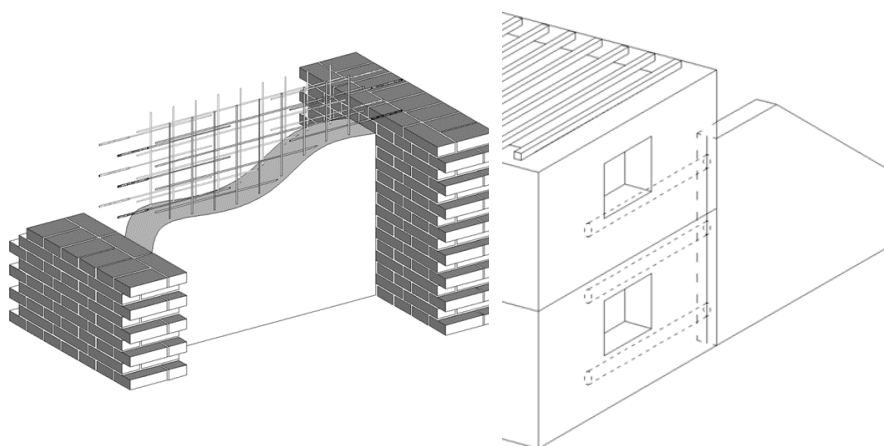
Katkada se serklaž ne izvodi u klasičnom obliku, nego se armatura postavlja u prethodno izbušene rupe ($\varnothing 100 - 150$ mm) i zapuni sitnozrnim betonom. Izvedba horizontalnog serklaža na spoju s krovštem može se izvesti kao što je prije prikazano na slici 2.52.



Slika 2.63 Vertikalni serklaž i horizontalni serklaž [4]

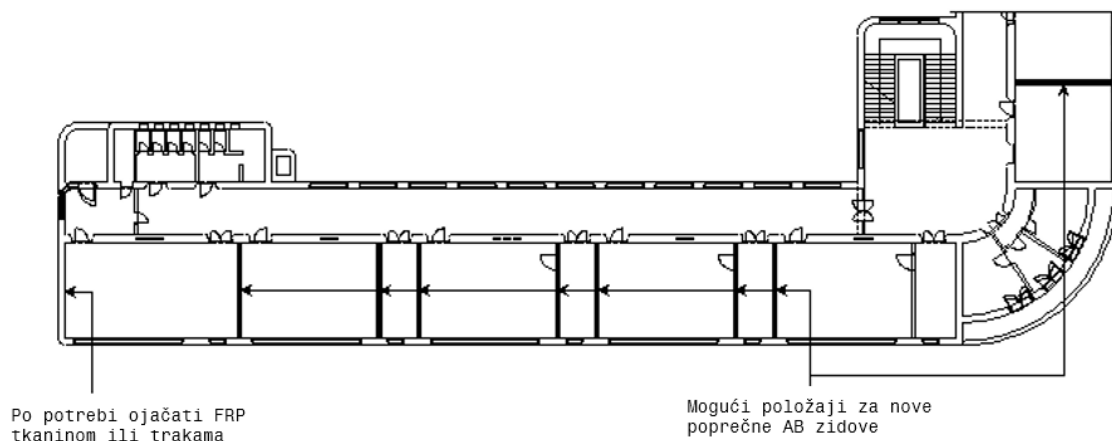
2.3.1.7 Pojačanje konstrukcije izvedbom novih AB i zidanih zidova

U slučaju da postojeći zidovi nisu dostatni, mogu se dodati novi zidovi - ili zidani ili armiranobetonski (Slika 2.64). To je čest slučaj kod zgrada kojima nedostaje jedan smjer nosivih zidova.

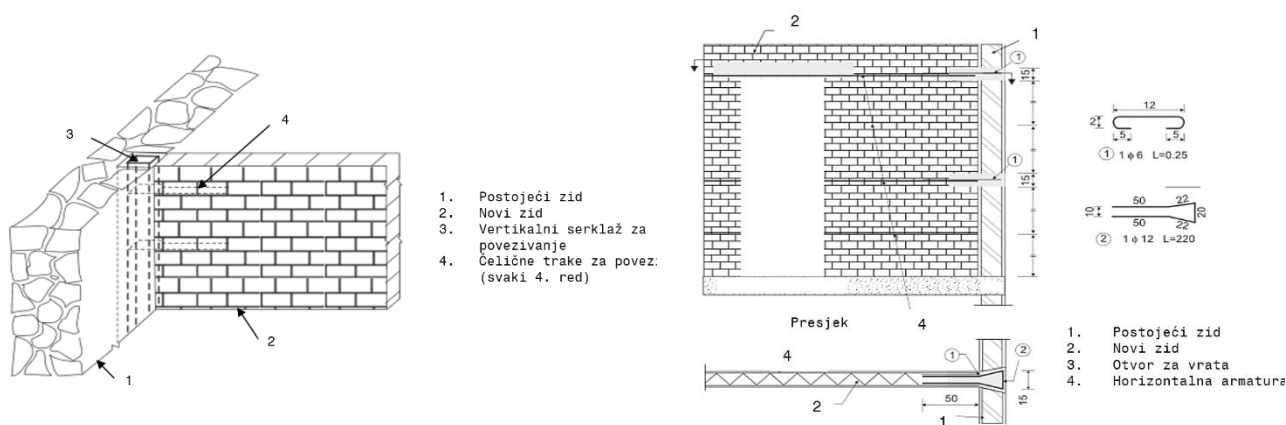


Slika 2.64 Dodavanje novih zidova (lijevo) i varijanta izvedbe (sredina i desno)

Postupak je jednostavan. Prvo se izvede novi temelj na mjestu novoga zida. Na temelju se izvede novi zid (zidani ili AB) koji se poveže sa susjednim zidanim zidovima i sa stropnom konstrukcijom. Postupak je isti kao kod pojačanja betonskih konstrukcija.



Slika 2.65 Dodavanje novih zidova na jednom primjeru zgrade



Slika 2.66 Primjeri izvedbe novih zidova i povezivanja s postojećima

2.3.1.8 Pojačanje konstrukcije izvedbom AB i čeličnih okvira

Kako bi se povećala seizmička otpornost, ali i otpornost na vertikalno opterećenje, okviri trebaju imati dostatnu krutost kako se ne bi dogodilo da se zidani zid uruši prije nego dođe do aktiviranja nosivosti AB okvira ili čeličnog okvira.



Slika 2.67 Pojačanje konstrukcije izvedbom čeličnih i AB okvira [4]

Okviri su pogodni za lokalna pojačanja konstrukcije jer omogućuju jednostavnu izvedbu i prolaz na tome mjestu. Čelični su okviri, osim toga, i reverzibilni, tj. mogu se ukloniti u nekoj drugoj rekonstrukciji. Često se zadržavaju obodni zidovi, a unutar prostora izvodi se

jedinstvena čelična konstrukcija koja sa zidanim zidovima preuzima sva vertikalna i horizontalna opterećenja.

2.3.1.9 Pojačanje konstrukcije izvedbom drvenih okvira

U Portugalu je poznata tehnika pojačanja zidanih zidova drvenim okvirima zvana „Pombalino“ te predstavlja jedno od reprezentativnijih primjera seizmičkog ojačanja, a nastala je davne 1755. nakon razornoga potresa u Portugalu.



Slika 2.68 Drveni okviri „Pombalino“ [15]

Druga je mogućnost umetanje nepovezanih okvira koji omogućavaju djelomičan kolaps konstrukcije.

2.3.1.10 Pojačanje zidanih konstrukcija CLT-om

Neomeđeno zide dobro se ponaša isključivo pri gravitacijskom opterećenju, ali prilikom horizontalnog opterećenja može doživjeti otkazivanje unutar i izvan ravnine. Za pojačanje zidanih konstrukcija na potresno djelovanje sve se više provodi istraživanja na temu CLT (*Cross laminated timber*) panela. CLT je inženjerski drveni proizvod koji nastaje lijepljenjem više slojeva lameliranih ploča tako da je svaki sloj orijentiran okomito na susjedne. CLT se smatra atraktivnim građevinskim materijalom koji se lako ugrađuje, obnovljiv je i ima visok omjer čvrstoće i težine.



Slika 2.69 Pojačanje neomeđenog zida CLT-om [6]

2.4 SPECIJALNE TEHNIKE

U praksi postoji čitav niz specijalnih tehnika sanacija i pojačanja zidanih zgrada. U nastavku su navedene one najčešće korištene.

2.4.1 Dodatno amortiziranje

Ugrađivanjem amortizera omogućuje se trošenje energije na onim mjestima gdje se očekuju najveće sile i oštećenja. Kod zidanih je konstrukcija to teže jer se radi o krutim konstrukcijama.

2.4.2 Izoliranje temelja

Temelji se odvajaju od tla i omogućuje se ograničeno kretanje na fleksibilnim elementima. Smanjuje se količina energije koju bi zgrada trebala apsorbirati. Bit je postići veći period titranja zgrade u odnosu kada je oslonjena na tlo.

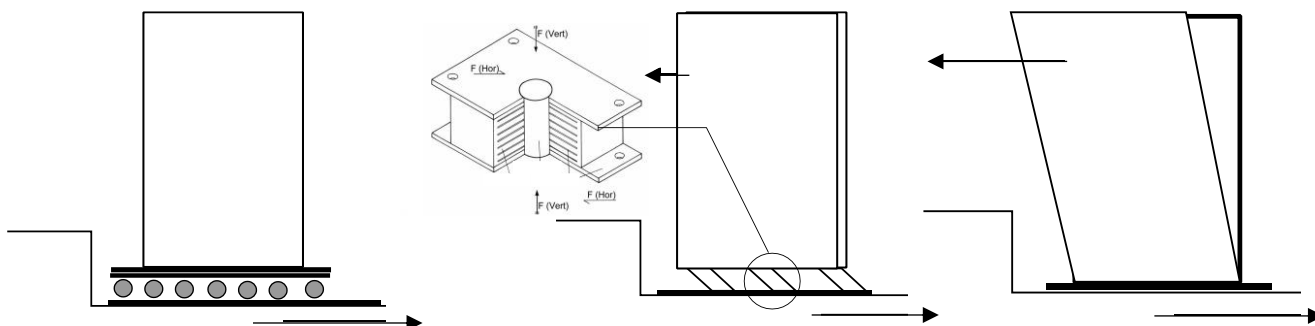
Slika 2.68 prikazuje tri tipa temeljenja. Slika 2.70 (desno) jest slučaj kada je veza između konstrukcije i temeljnog tla potpuno upeta, odnosno konstrukcija je direktno oslonjena na tlo, što znači da će pomaci zgrade pri potresnoj pobudi biti značajni. Slika 2.70 (lijevo) prikazuje konstrukciju koja leži na kliznim ležajevima koji je u potpunosti odvajaju od temelja, što znači da se zgrada neće pomicati zajedno s tlom u slučaju horizontalnog ubrzanja. Slika 2.70 (u sredini) prikazuje da zgrada ostvaruje relativno male pomake u odnosu na pomake u ležajevima. Takvi ležajevi nazivaju se elastomernim ležajevima. Sila na konstrukciju može biti i do 5-6 puta manja od konstrukcije koja leži direktno na temeljnom tlu.

Elastomerni ležajevi sastoje se od 3 glavna materijala: olova, gume i čelika.

Guma kao materijal koji se nanosi u slojevima pridonosi fleksibilnosti tako da omogućuje pomake, ali omogućuje i povratak konstrukcije u prvobitno stanje. Nakon završetka izvanrednog djelovanja potresa ležaj (odnosno guma u ležaju) vraćat će konstrukciju u prvobitno stanje i mjesecima poslije.

Korištenjem čelika u slojevima između gume sprječavaju se vertikalni pomaci, dok se u horizontalnom smjeru nesmetano pomiče.

Olovo smješteno u jezgri služit će kao mjesto trošenja energije („*energy dissipation mechanism*“). Olovo se može deformirati, ali i vraćati u prvobitno stanje pri ponavljajućem opterećenju, bez gubitka čvrstoće.



Slika 2.70 Temeljenje na kliznim ležajevima, elastomerima i upetim ležajevima

2.4.3 Pojačanje FRP-om

U praksi postoji niz konvencionalnih postupaka sanacija i pojačanja zidanih zgrada koji su navedeni u prethodnom poglavlju, ali svi su navedeni konvencionalni postupci sanacija više-manje uspješni u pogledu sanacija i pojačanja (neki čak još uvijek nezamjenjivi) ako se ispravno primijene i proračunaju.

Većina navedenih postupaka pojačanja podrazumijeva korištenje čeličnih elemenata koji često narušavaju postojeću konstrukciju zgrade.

Primjer izvedbe armirane žbuke ili pojačanje AB oblogom osim povećanja nosivosti ima i niz nedostataka:

- povećanje težine konstrukcije → potrebno pojačanje temelja
- povećanje seizmičkih sila zbog težine betonske obloge
- promjene ponašanja konstrukcije pri seizmičkom opterećenju (zidovi su sada znatno krući od nepojačanih)
- dodatna debljina zida koja smanjuje korisni prostor
- brzina izvedbe (potrebno dulje vrijeme za izvedbu)
- buka koja je prisutna kod izvedbe
- nužnost prekida funkcionalnosti zgrade i iseljavanje stanara za vrijeme izvođenja radova
- oksidacija (korozijska) armature u uporabi
- nedovoljna učinkovitost na kutovima (nije ovijeno).

Sve su to razlozi za stalnim istraživanjem i primjenom novih sustava sanacije i pojačanja zidanih zgrada koji neće narušavati nosivost zgrade, bit će ekonomski prihvatljivi, jednostavni za izvedbu i koji neće narušavati estetske zahtjeve zgrade.

Trenutačno je glavno područje primjene FRP-a u građevinarstvu kao zamjena za čelik i armaturu.

Najvažnija svojstva FRP-a u usporedbi s čelikom:

- neosjetljivost na korozijsku
- velika vlačna čvrstoća u smjeru vlakana
- mala zapreminska težina (oko 6 puta manja)
- dobro ponašanje pod dinamičkim opterećenjem (70% vrijednosti početne čvrstoće nakon dva milijuna ciklusa)
- ne provode struju
- linearno-elastično ponašanje do sloma (neduktilnost)
- koeficijent toplinskog širenja znatno je manji od betona (osim GFRP)
- neotpornost na visoku temperaturu
- tlačna čvrstoća oko 50% vlačne.

Potpuna zamjena čelika kod AB konstrukcija nije postignuta iz ovih razloga:

- linearno elastičnog ponašanja FRP-a → duktilnost presjeka manja u odnosu na armiranje čelikom (potrebno ovijanje i dr.)
- za ispunjavanje GSU nužna je primjena FRP-a s većim modulom elastičnosti → ugljična vlakna (skuplja od staklenih ili bazaltnih)
- toplinski koeficijent rastezanja FRP-a manji je nego betona i čelika → nije osigurana kompatibilnost pri promjeni temperature
- slabe otpornosti na požarna djelovanja (nužna žbuka).

Kod zidanih konstrukcija nedostaci FRP-a uglavnom nisu presudni jer:

- slom pojačanih zidanih konstrukcija uglavnom nastupa degradacijom zida
- modul elastičnosti ne mora biti velik pa se mogu koristiti i jeftiniji proizvodi → mogu se koristiti staklena i bazaltna vlakna
- ima prirodnu zaštitu žbukom ili su elementi skriveni u sljubnicama.

FRP preuzima vlačna naprezanja i treba se postavljati u vlačnom području. Kod tlaka, FRP proizvodi ne povećavaju učinkovitost pojačanog elementa jer imaju manju nosivost na tlak, ali i zbog malih dimenzija često dolazi do lokalne nestabilnosti i odvajanja.

Pojačanje zidane konstrukcije FRP-om ostvaruje se lijepljenjem na zidane elemente ili eventualno mehaničkim sidrenjem pomoću mehaničkih uređaja.

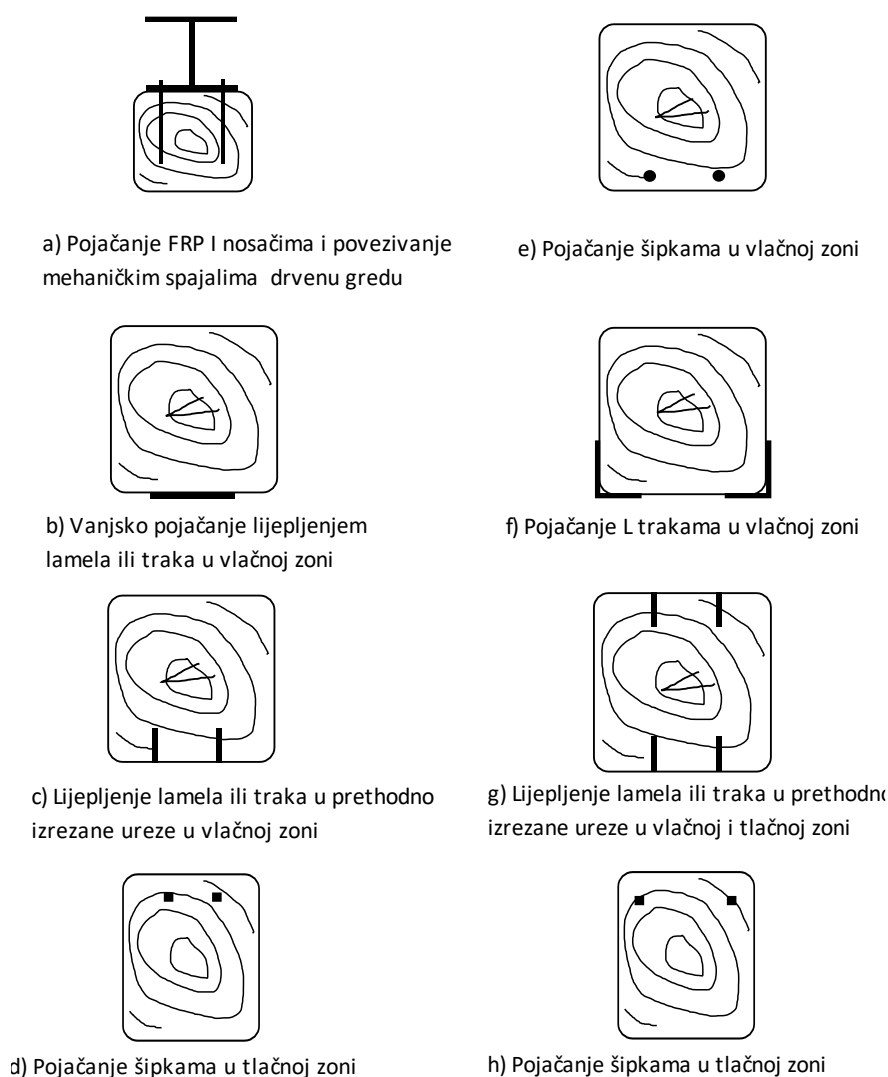
Slijedi prikaz područja primjene

2.4.3.1 Pojačavanje drvenih konstrukcija FRP-om

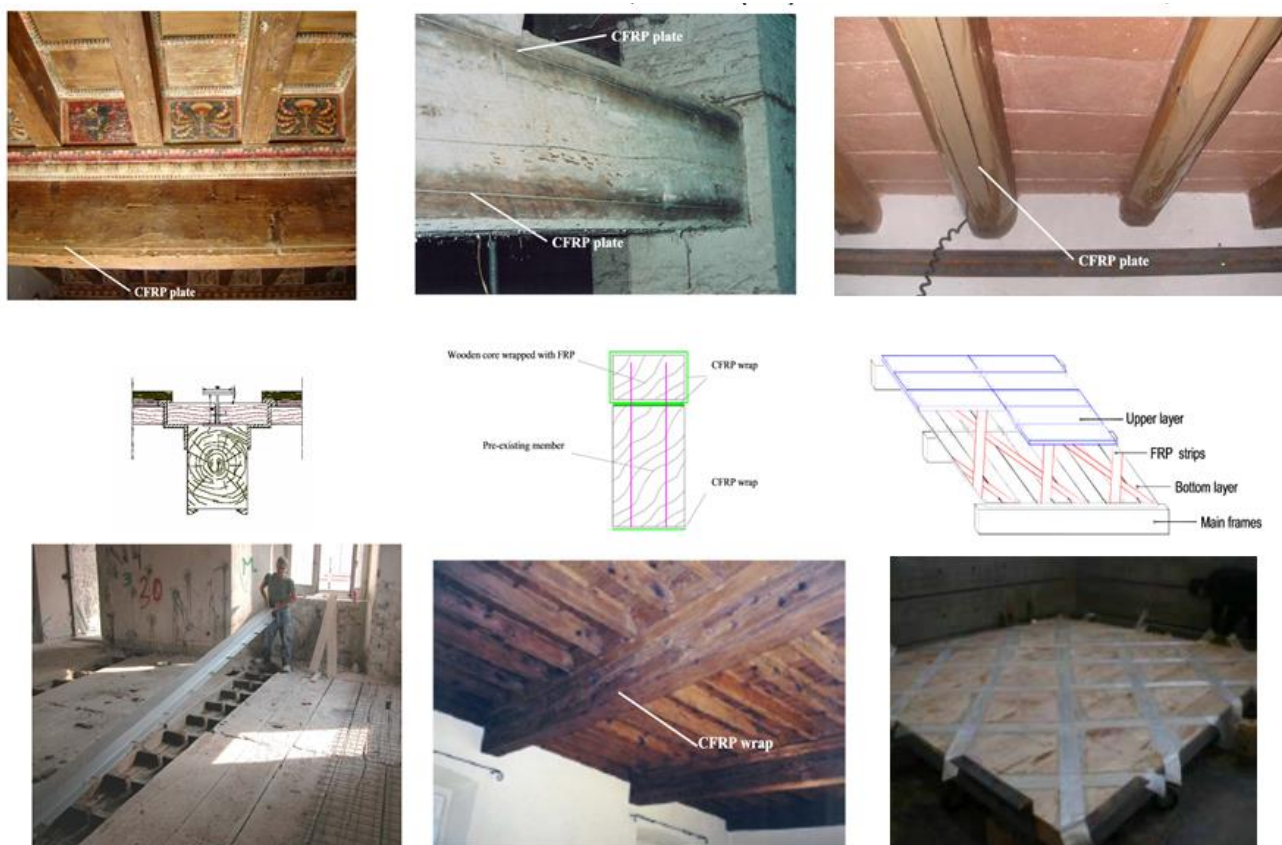
Pojačanje drvenih grednika opterećenih na savijanje izvodi se dodavanjem vlaknima pojačanih lamela i šipki u vlačnoj zoni profila ili na osloncu za povećanje posmične nosivosti. Povećanje vlačne nosivosti kod krovnih greda dobiva se pojačanjem šipkama ili trakama u donjoj, vlačnoj zoni.

Na slici 2.72 vidljivo je postavljanje dijagonalnih traka radi povećanja posmične krutosti dijafragme te povezivanje stropne ploče sa zidanim zidovima, a koja može biti izvedena od čeličnih limova ili FRP traka.

Smjernice za proračun FRP-a mogu se pronaći u „*Guidelines for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures*“, a određene države imaju i nacionalne smjernice za projektiranje FRP-a.



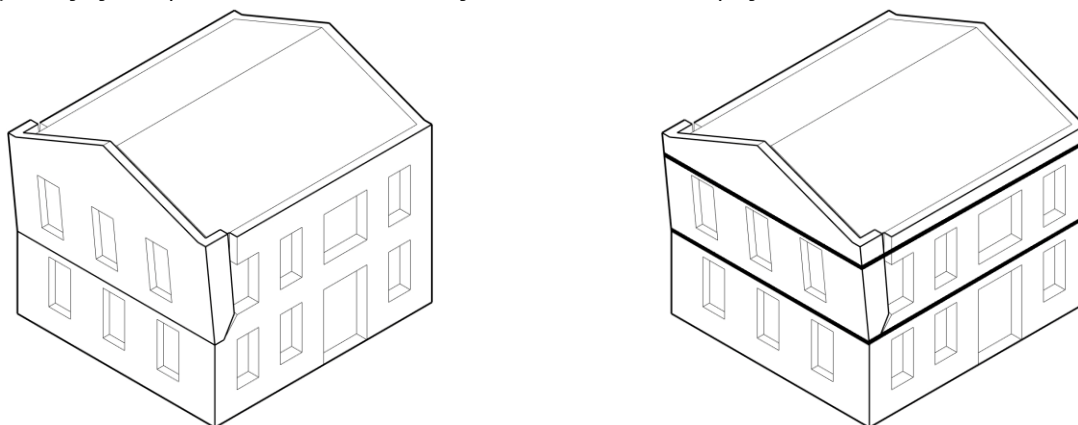
Slika 2.71 Načini pojačanja FRP-om [7]



Slika 2.72 Primjeri izvedenih pojačanja FRP-om

2.4.3.2 Omatanje zgrada i povezivanje zidova

Cilj je u razini stropova u cijelosti oviti zgradu, po mogućnosti s obje strane, kako bi se dobila funkcija horizontalnog serklaža čime jer bi time bilo onemogućeno odvajanje zidova. Također, cilj je i povezati zidove na mjestima sudara i spoja.



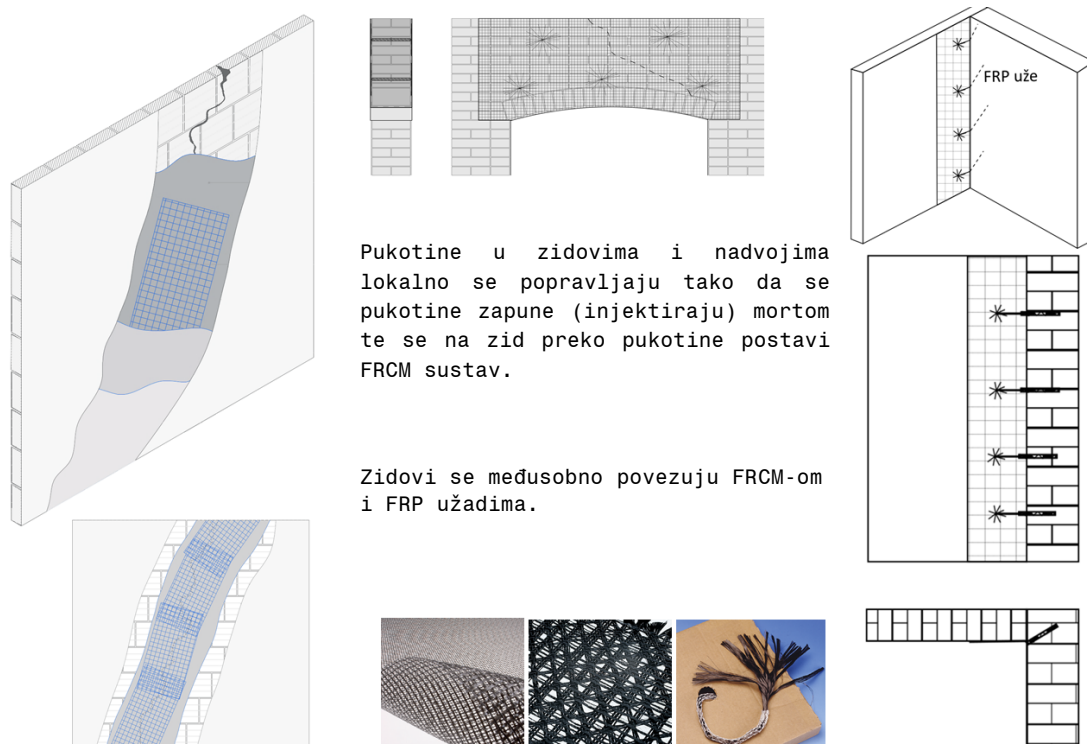
Slika 2.73 Prikaz otkazivanja zidova izvan ravnine i princip omatanja FRP-om

Najjednostavnije je postavljanje tkanine lijepljenjem samo s vanjske strane ili obostrano. Ako je bitna reverzibilnost pojačanja i sile su manje, onda se mogu postaviti mreže koje se postavljaju u mort (FRCM). FRCM (*Fabric-Reinforced Cementitious Matrix*) ili IMG metoda (*Inorganic Matrix Grid*) jest relativno nov sustav ojačanja koji ima gotovo iste prednosti kao FRP sustavi. Visok omjer čvrstoće i težine, što znači da se ne mijenja krutost i ne uvodi dodatna masa; otpornost na koroziju, povećanje duktilnosti i jednostavnost ugradnje neke su od prednosti ovoga sustava te prevladavaju nedostatke, primjerice malu otpornost na požar. FRCM sustav osigurava prihvatljivu sigurnost za potrese srednjeg intenziteta. Budući da je cementna smjesa jeftinija i čuva tradicionalni izgled zidanih zgrada češće se koristi od npr. epoksi smjesa.



Slika 2.74 Pojačanje FRCM sustavom

Osim za omatanje, FRCM sustav danas se također koristi i za lokalno povezivanje zidova ili nadvoja.



Slika 2.75 Saniranje pukotine (pojačanje) i povezivanje zidova FRCM sustavom



Slika 2.76 Prikaz izvedbe omatanja FRP trakama i FRCM sustavom

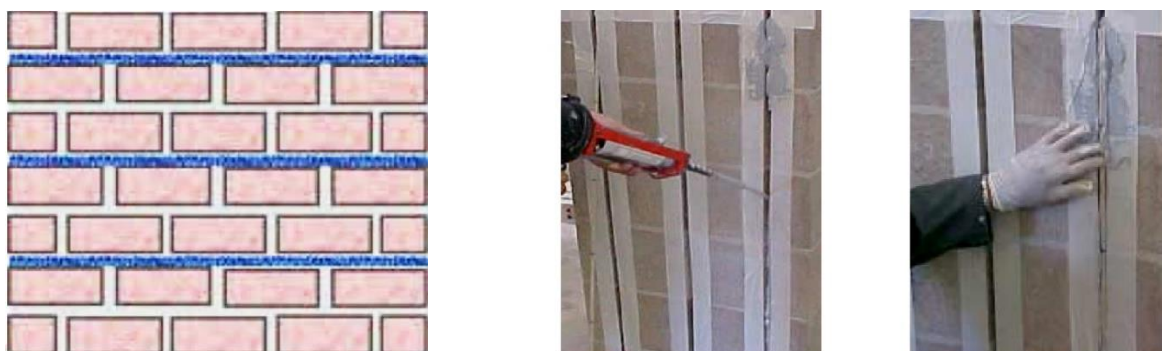
Kako bi se trake zaštitile od štetnih ultraljubičastih zraka, obvezno treba nanijeti žbuku. Također, mreže ili trake nužno treba povezati s pripadajućim ankerima kroza zid.

Obično se pojačanje izvodi postavljanjem tkanine ili šipki u vertikalnom smjeru, ili mreža u mort segmentno ili po cijeloj površini.

Uvijek je preporuka da se bočno pridržanje osigura vezivanjem za stropnu konstrukciju koja bi trebala biti horizontalno ukrućena.

U potresu velike materijalne štete nastaju urušavanjem pregradnih zidova i zidova ispuna okvirnih konstrukcija zato što nisu povezane s glavnom nosivom konstrukcijom. Kao jednostavno rješenje pokazala se primjena tanke tkanine od staklenih vlakana koja se jednostavno lijepi na plohe zida i povezuje s FRP užadi što se sidri u glavni nosivi zid, a „rascvjetali dio“ mortom se i trakama lijepi za pregradni zid.

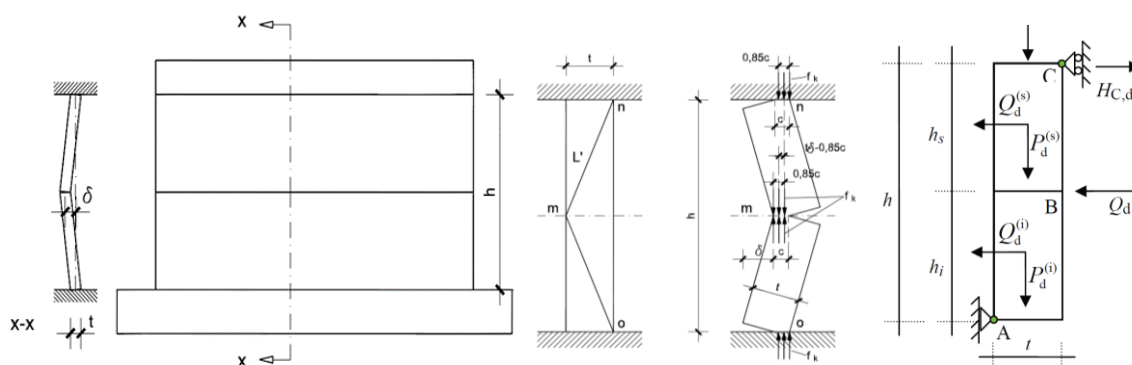
Također, ako se radi o zidanom zidu koji nema žbuke, moguće je postavljanje FRP šipki u sljubnice radi njihova povezivanja.



Slika 2.77 Ubacivanje FRP šipki horizontalno i vertikalno u sljubnice [16]

2.4.3.3 Povećanje nosivosti zidova na savijanje okomito na ravninu

Omatanje se koristi i za povećanje nosivosti zidova na savijanje okomito na ravninu. Kod zidnih panela upetih na vrhu i dnu te izvrgnutih horizontalnom djelovanju dolazi do otkazivanja zbog savijanja uz formiranje 3 zgloba (na dnu, vrhu i treći na određenoj visini).



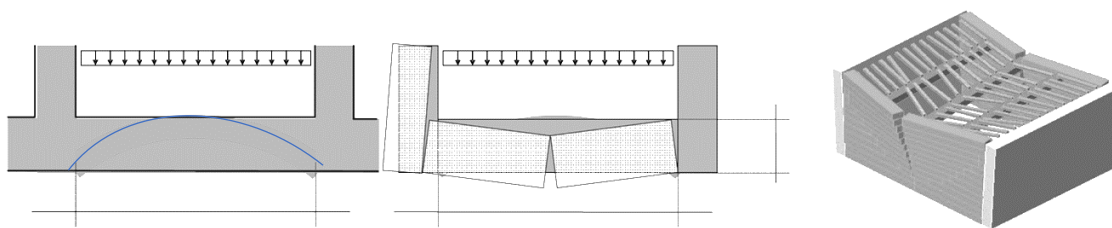
Slika 2.78 Prikaz proračunskog modela za jednadžbu ravnoteže

Obično se takvi zidovi pojačavaju postavljanjem tkanine ili šipki u vertikalnom smjeru ili mreža u mort segmentno ili po cijeloj površini. Prema izrazu 2.1, p_f je razmak između FRP traka, t debljina zidnog panela, a b_f širina odabranog tipa trake.

$$p_f \leq 3 \cdot t + b_f$$

2.1

Za zidne panele pridržane na dnu itakođer dobro vezane za poprečne zidove, otpornost na horizontalne sile osigurana je zbog tzv. efekta luka gornje trake (Slika 2.79).



Slika 2.79 Prikaz tipičnih oštećenja zidova zbog savijanja

Najveće dopušteno jednoliko opterećenje na nepojačani zid prema izrazu 2.2., gdje je f_{md}^h proračunska tlačna čvrstoća zida u horizontalnom smjeru.

$$q = \frac{2 \cdot t^2}{L^2} \cdot f_{md}^h \quad 2.2$$

Pojačanje se ostvaruje postavljanjem FRP-a s horizontalnom orijentacijom vlakana, i to obostrano. Uvijek je preporuka da se bočno pridržanje osigura vezivanjem za stropnu konstrukciju koja bi trebala biti horizontalno ukrućena.



Slika 2.80 Prikaz oštećenja (lijevo) i izvedba FRP traka (sredina i desno) [8]

2.4.3.4 Povećanje nosivosti lukova, svodova i kupola

Povećanje kapaciteta lukova, svodova i kupola obrađeno je u poglavlju 2.2.2 tako da se mogu preuzeti jednake mjere pojačanja koje su i tamo prikazane.



Slika 2.81 Prikaz izvedbe pojačanja svodova

2.4.3.5 Povećanje nosivosti zidova u ravnini

FRP proizvodi se dominantno koriste za povećanje posmične otpornosti i otpornosti zida na savijanje u ravnini. Mehanizmi sloma nearmiranog zida objašnjeni su u poglavlju 1.1.

Postoje razne varijante pojačanja: dijagonalno, vertikalno i horizontalno postavljanje lamela i traka od tkanine, postavljanje tkanine po cijeloj površini zida, postavljanje mreža po cijeloj površini i dr.

Najbolje je koristiti tkaninu postavljenu horizontalno s dodatnim trakama na rubovima zida te kod manjih pojačanja s mrežama u mortu po cijeloj površini zida. Za ove su zidove napravljena brojna ispitivanja koja su potvrdila povećanje nosivosti.

Kada je osiguran mehanizam rešetke, proračunska nosivost pojačanog zida na poprečne sile dana je izrazom. $V_{Rd,f}$ je računski otpornost na posmik FRP-a, $V_{Rd,m}$ je doprinos zida u preuzimanju posmika, $V_{Rd,max}$ nosivost tlačne dijagonale.

$$V_{Rd} = \min \{ V_{Rd,m} + V_{Rd,f}, V_{Rd,max} \}$$

2.3



Slika 2.82 Primjeri pojačanja mrežama i šipkama



Slika 2.83 Primjeri pojačanja lamelama i trakama te njihova ispitivanja

2.4.3.6 Ovijanje stupova radi poboljšanja tlačne čvrstoće i duktilnosti

Često zbog povećanog opterećenja ili uklanjanja dijelova konstrukcije postojeći zidani stupovi u rekonstrukciji imaju povećano vertikalno opterećenje koje prekoračuje nosivost. Najjednostavnije bi bilo obući zidani zid u AB stup. Katkad se radi i zamjena zidanog stupa armiranobetonskim, ali to zahtijeva skupo i komplicirano podupiranje. Jedan od jednostavnijih postupaka jest ovijanje stupova ili ubacivanje šipki u sljubnice.

Povećanje nosivosti postiže se tako da se između šipki stvori troosno naprezanje. Povećanje nosivosti ojačanog stupa ovijanjem prema izrazima 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 [3]; gdje su $N_{Rmc,d}$ nosivost ojačanog stupa, f_{mcd} povećana tlačna čvrstoća i $f_{l,eff}$ efektivni bočni pritisak.

$$N_{Rmc,d} \geq N_{Ed} \quad 2.4$$

$$N_{Rmc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot A_m \cdot f_{mcd} \geq A_m \cdot f_{md} \quad 2.5$$

$$f_{mcd} = f_{md} + k' \cdot f_{l,eff} \quad 2.6$$

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l = k_H \cdot k_V \cdot f_l \quad 2.7$$

Kombinirana uporaba FRP šipki i FRP tkanine povećava efektivnu površinu ovijanja za kvadrat, pravokutnik ili složenije oblike poprečnih presjeka.

Povećanje ne smije iznositi više od 50% nepojačanog, dok dimenzije stupova veće od 90 cm nije preporučljivo omatati za povećanje nosivosti.



Slika 2.84 Primjeri ispitivanja ovijenih stupova

2.4.3.7 Naknadno pritezanje (prednapinjanje) FRP-om

Pritezanje ili prednapinjanje je djelotvorna metoda za povećanje nosivosti van ravnine neomeđenog zida, ali također utječe i na posmičnu čvrstoću zida. Prednapinjanje se može izvoditi izvana ili prethodno probušene rupe vertikalno kroz sredinu zida u koju se onda postavlja uža nosivosti 2000-2500 MPa. Užad se prednapinju na 75 % njihove vlačne čvrstoće. Natega na jednom rubu ima samoaktivirajući anker kako bi se mogla aktivirati.



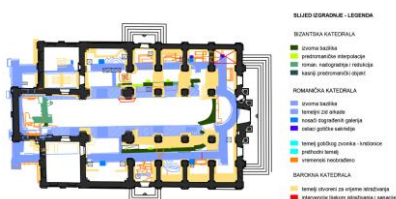
Slika 2.85 Prednapinjanje FRP užadima [8]

3 IZRADA PROJEKTA KONSTRUKCIJE POSTOJEĆE ZGRADE

3.1 OPĆENITO

Projektiranje nosivih konstrukcija postojećih zgrada obuhvaća sljedeće korake prilikom izrade projekta konstrukcije:

povijesni pregled i pregled postojeće dokumentacije



snimak geometrije zgrade



snimak i izmjera geometrije i spojeva nosive konstrukcije



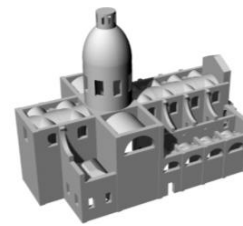
pregled i obilježavanje oštećenja te analiza uzroka oštećenja



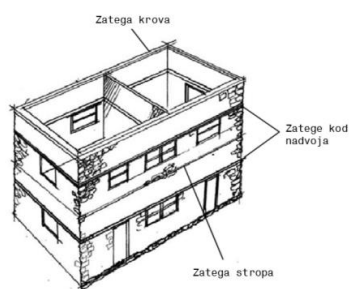
provedba ispitivanja ukoliko je moguće i potrebno



izrada 3d modela, analiza i interpretacija rezultata



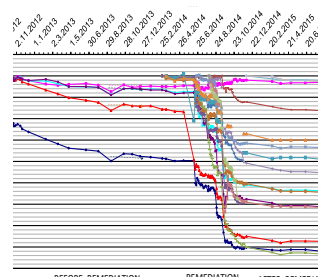
izbor optimalnih postupaka sanacija i pojačanja



sudjelovanje u izvedbi projektantski nadzor//



praćenje uspješnosti sanacije i pojačanja



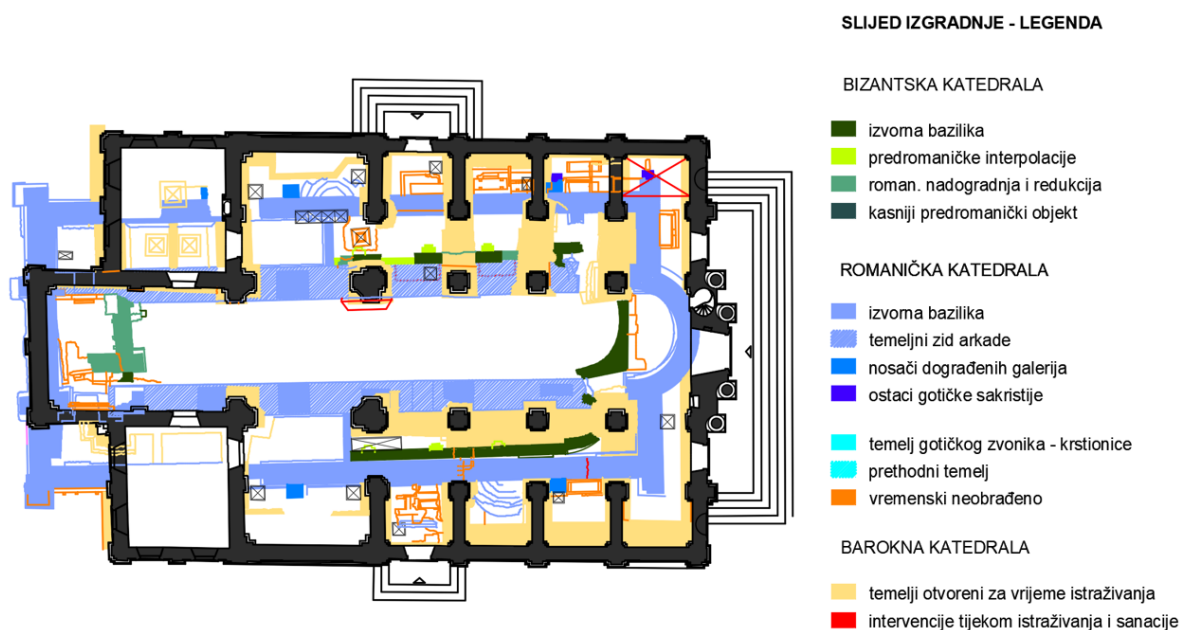
Slika 3.1 Prikaz osnovnih koraka prilikom projektiranja nosivih konstrukcija postojeće zgrade

3.2 POVIJESNI PREGLED I PREGLED POSTOJEĆE DOKUMENTACIJE

Kod postojećih zgrada, a posebno kod povijesnih zgrada, neophodno je provesti povijesni pregled. Svako vrijeme i lokacija imali su određene sustave gradnje koji su bili uobičajeni za to doba pa su takvi sustavi imali neka svoja pravila. Logično je da zgrade s vremenom izgradnje prije početka 19. stoljeća nemaju betonskih elemenata i sl. Rasteri su i sustavi uglavnom poznati.

Katkad se prilikom analize dokumentacije pojave odstupanja u stvarnosti te nije rijedak slučaj da vas neka takva situacija ugodno ili neugodno iznenadi. Izrazito je važno pribaviti i izučiti postojeću tehničku dokumentaciju ako postoji, no na žalost, češće ona ne postoji. Treba također uzeti u obzir da je uvijek netko nešto prije radio na postojećoj zgradi i da

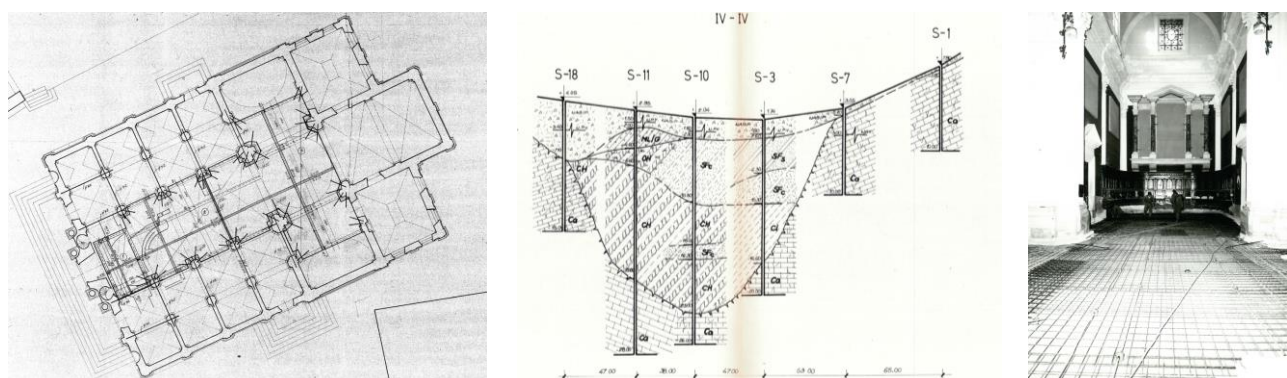
možda postoji neka arhivirana dokumentacija. Danas su konzervatorski uredi solidno organizirani u Hrvatskoj i često se uz njihovu pomoć mogu pronaći dijelovi dokumentacije.



Slika 3.2 Prikaz slijeda izgradnje dubrovačke katedrale [9]

Na slici 3.2 prikazan je slijed izgradnje dubrovačke katedrale. Prilikom obnove katedrale nakon potresa 1979. godine nađeni su ostatci romaničke katedrale iz 12. stoljeća koja je srušena u potresu 1667. godine. Osim njih iskopane su i zidine mnogo starije bizantske katedrale iz 7. ili 8. stoljeća. Svi su ovi podaci važni za uzimanje u obzir prilikom kasnije analize zgrade i njezine konstrukcije.

Inače, kod povijesnog pregleda vrlo je važno znanje o povijesnim zgradama i starim konstrukcijskim sustavima. Danas je zastupljenost takvih kolegija na inženjerskim fakultetima malena, a i manjak je stručnih studija u obliku stručnog usavršavanja koji bi se bavili povijesnim zgradama. Stoga nije neobično da su često arhitekti puno obrazovaniji u dijelu poznavanja povijesnih zgrada i njihovih konstruktivnih sustava. Najbolji je pokazatelj da je u proteklih trideset godina najpoznatiji konstruktor u području sanacija i pojačanja starih zgrada bio arhitekt kolega pok. Egon Lokošek.

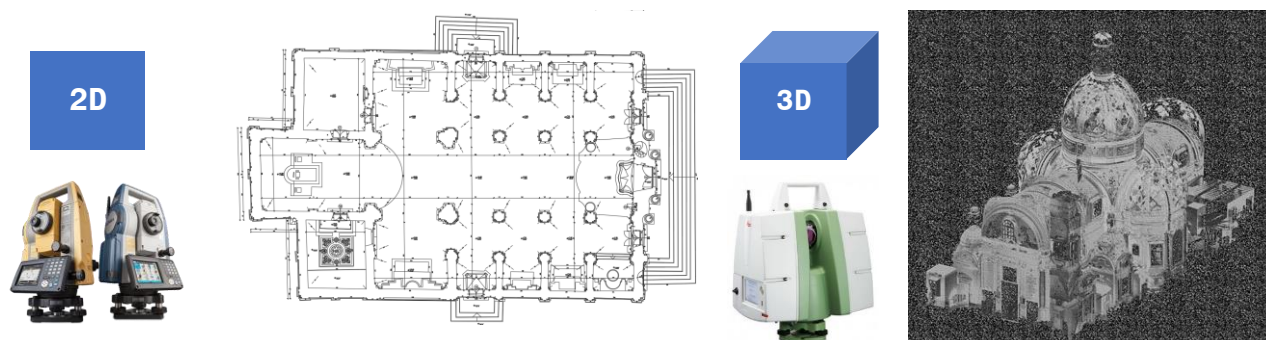


Slika 3.3 Prikaz dokumentacije pojačanja i ispitivanja dubrovačke katedrale nakon potresa 1979.g.

3.3 SNIMKA GEOMETRIJE ZGRADE

Snimka postojeće zgrade može se izraditi i na temelju postojeće dokumentacije, ali svakako je nužno provesti kontrolu jer uvijek postoje neevidentirane adaptacije i rekonstrukcije na zgradi. Kod 2D snimke stanja zbog složenosti zgrade vrlo često dolazi do grešaka u geometriji.

Točnija je 3D snimka pomoću nekih od suvremenih skenera, putem kojeg se dobiva oblak točaka iz kojeg se izrađuje 3D model.



Slika 3.4 Prikaz izrađenog 2D nacrt i izrađenog 3D modela temeljem oblaka točaka pomoću 3D skenera [10]

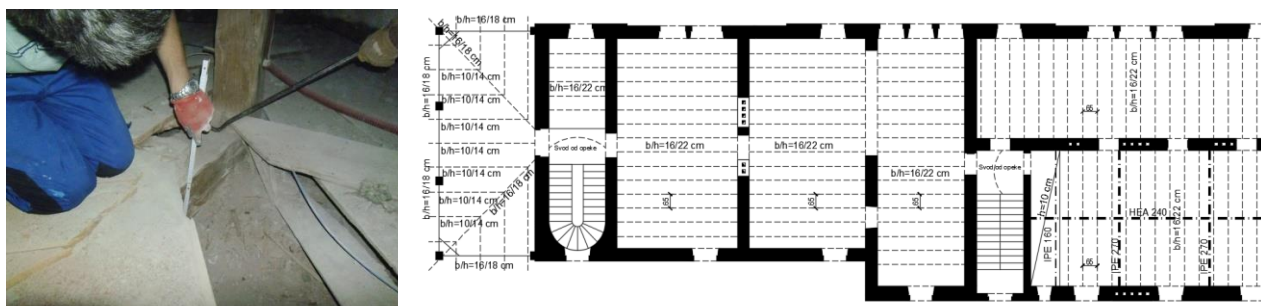
U skoroj budućnosti standard će biti 3D skeniranje i izrada BIM modela. Pomoću BIM modela u konačnici je moguće i izraditi 2D nacрте.



Slika 3.5 Prikaz skenirane zgrade i izrađenog 3D modela iz kojeg je moguće izraditi 2D nacрте

3.4 SNIMKA I IZMJERA GEOMETRIJE I SPOJEVA NOSIVE KONSTRUKCIJE

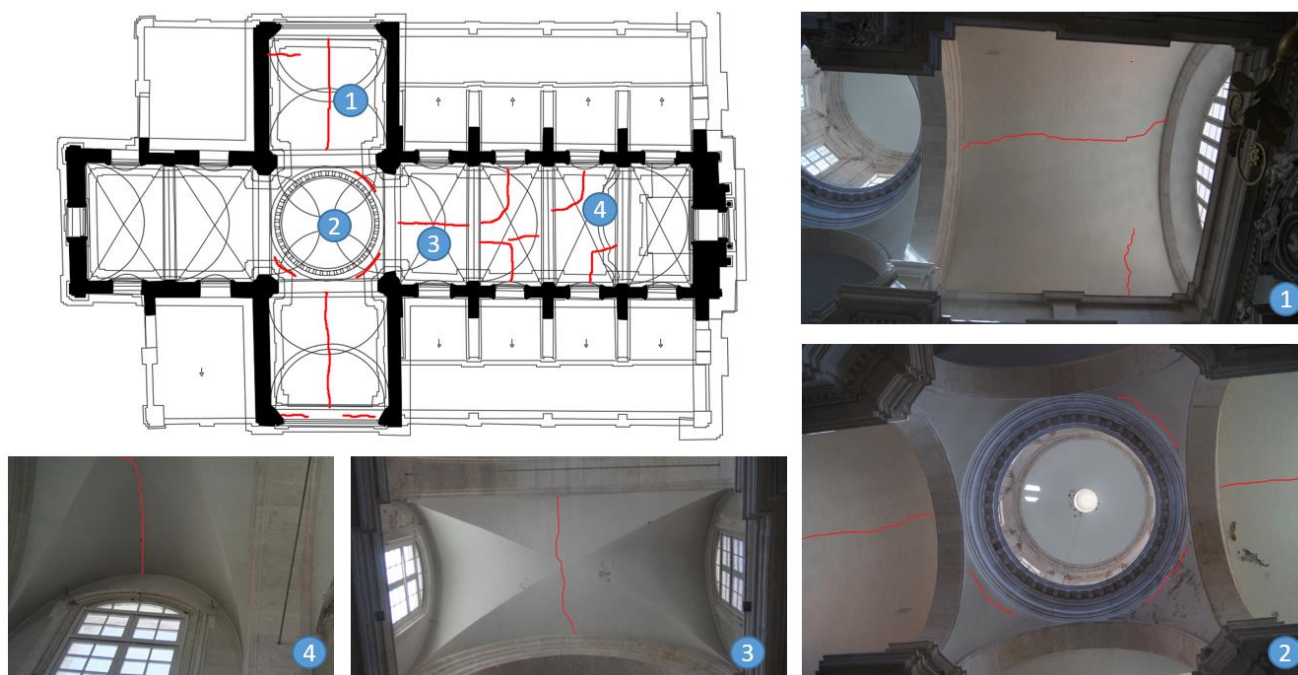
Zbog slojeva poda, žbuke, podgleda i sl. iz snimke geometrije uglavnom se ne dobiju podatci o nosivoj konstrukciji. Nužno je provesti istražne radove na utvrđivanju slojeva, visine temelja, geometrije, statičkog sustava i gradiva nosive konstrukcije. Treba ih provoditi projektant konstrukcije kako bi odmah otklonio što više nepoznanica i dobio dojam o nosivoj konstrukciji.



Slika 3.6 Prikaz izmjere konstrukcijskih elemenata na temelju kojih se dobiva shema nosive konstrukcije

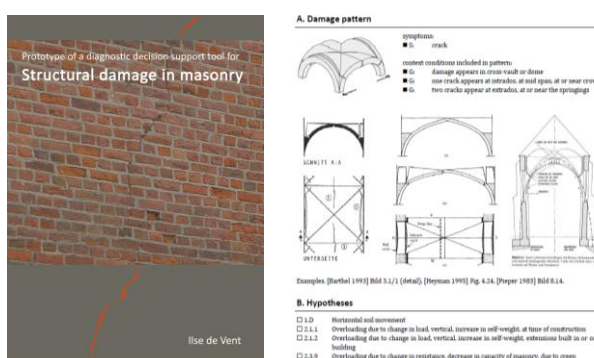
3.5 PREGLED I OBILJEŽAVANJE OŠTEĆENJA TE ANALIZA UZROKA OŠTEĆENJA

Važno je evidentirati sva oštećenja i pokušati utvrditi njihove uzroke. Sva se oštećenja evidentiraju fotodokumentacijom i prijenosom na nacрте uz potrebne opise (npr. širina pukotine, vlaga, korozija sidara i sl.). Važno je napomenuti kako je prilikom pregleda važno usvojiti sustav kojim će nakon pregleda biti lako povezati fotografije i oznake pukotina na konstruktivnim elementima.



Slika 3.7 Prikaz oznaka pukotina na nacrtu pojedinih pozicija i oznaka na pripadajućim fotografijama [9]

Tijekom vizualnih pregleda i ucrtavanja oštećenja potrebno je provesti i analizu uzroka oštećenja. Prije same provedbe numeričke analize potrebno je na temelju znanja, iskustva, logičkog zaključivanja, iskustva i dostupnih podataka utvrditi uzroke oštećenja. Nekada su oštećenja takva da je potrebno „nabadati“ u numeričkom modelu kako bi se utvrdili razlozi, ali u pravilu numerički model je potvrda hipoteze. Danas za neke uobičajene stvari postoje „kuharice“ na temelju kojih se može doći do zaključka što je uzrok oštećenja putem upitnika koji se ispunjava i navodi na rješenje. Primjer takve knjige jest „*Structural Damage in Masonry*“ autora Ilse de Vent. Opet je važno napomenuti da se edukacija „dijagnostike“ oštećenja zidanih zgrada minimalno uči na fakultetu i stručnim seminarima.



Slika 3.8 Prikaz tzv. „kuharice“ za pomoć pri traženju uzroka oštećenja zidanih konstrukcija

3.6 PROVEDBA ISPITIVANJA, AKO JE MOGUĆE I POTREBNO

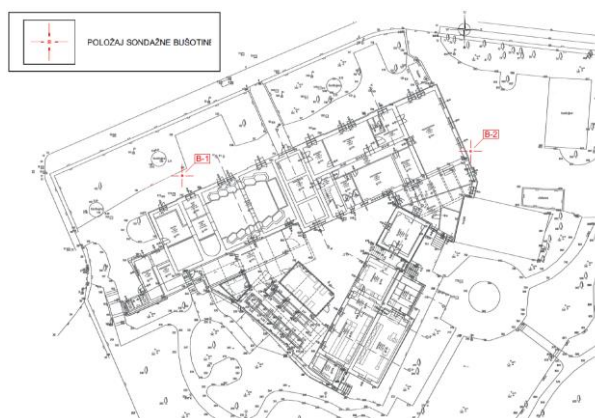
Postoji velik broj razornih i nerazornih ispitivanja koja se primjenjuju. U pravilu su ispitivanja skupa, uglavnom su problem ako je zgrada u uporabi, a kod zidanih konstrukcija glede mehaničkih karakteristika zida upitno je koliko se mogu točno dobiti kvalitetni podatci mjerenjem na jednom do tri mjesta. Općenito, najvažniji istražni radovi zidanih konstrukcija dani su u nastavku.

3.6.1 Geomehaničko ispitivanje tla

Potrebno je ako nema sigurnih podataka o karakteristikama temeljenja i tlu. Važno je jer se najveći broj oštećenja zidanih konstrukcija pojavljuje zbog slijeganja tla.

3.6.1.1 Istražne geotehničke bušotine

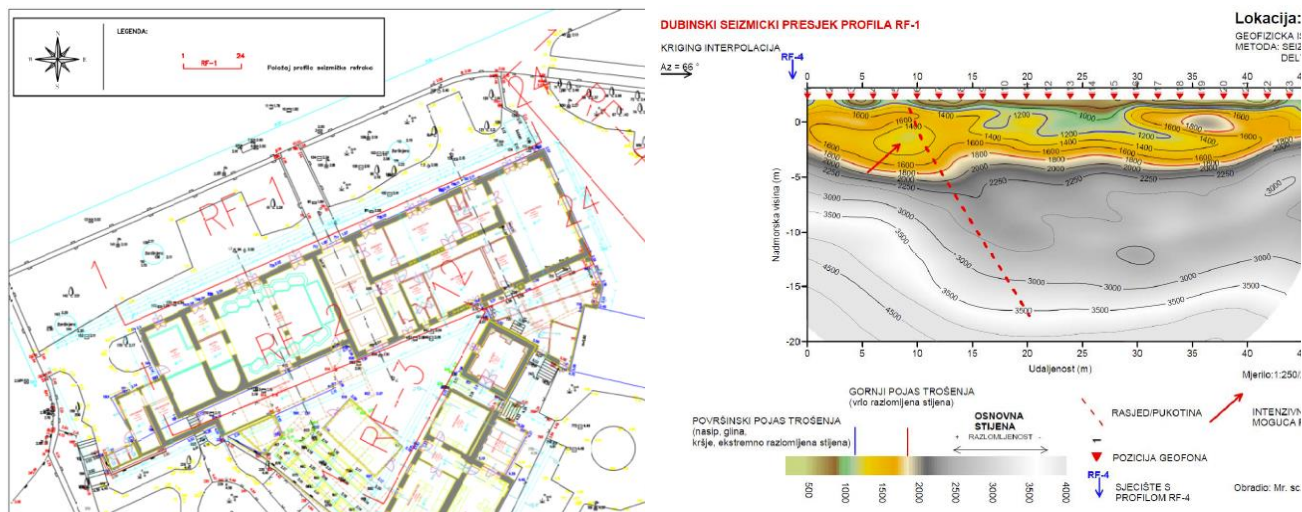
Radi se o minimalnom broju bušotina. Raspored bušotina određuje projektant konstrukcije kako bi dobio jasnije parametre vezane za tlo i temelje zgrade.



Slika 3.9 Prikaz pozicija bušotina i njihova izvedba

3.6.1.2 Geofizički istražni radovi

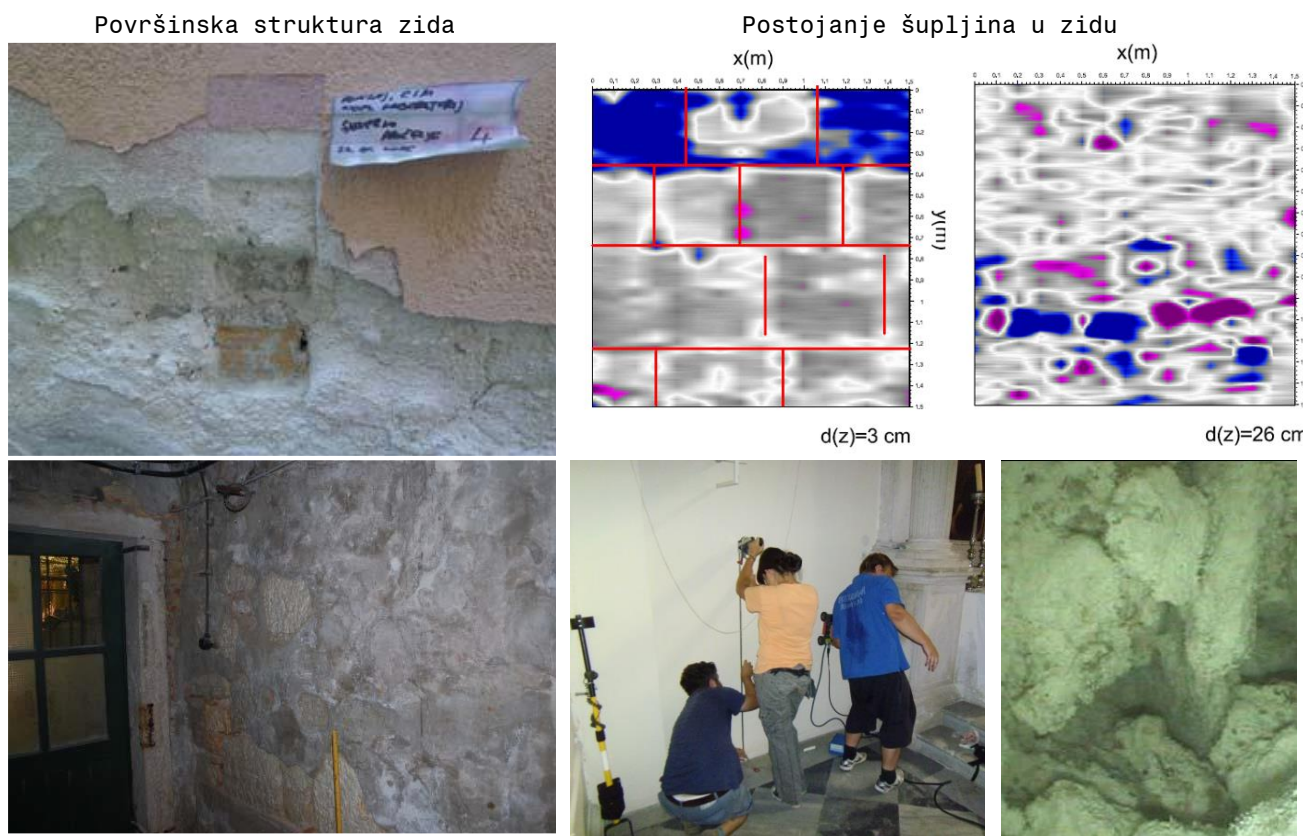
Geofizički istražni radovi koriste se kako bi se upotpunili podatci o dubini pojedinih slojeva tla utvrđenih minimalnim geotehničkim istražnim bušotinama.



Slika 3.10 Prikaz položaja geofizičkih profila i interpretiranih rezultata temeljem ispitivanja

3.6.2 Struktura i sastav zida

U pravilu kod zidanih zgrada glede zida najvažnije je utvrditi strukturu zida i vrstu materijala. Slijede ispitivanja koja se provode prilikom utvrđivanja parametara zida.



Slika 3.11 Fotografija površinskog ispitivanja strukture zida i prikaz simulacije šupljina

Površinska struktura zida dobiva se mehaničkim skidanjem slojeva dok se ne dođe do nosivog sloja odnosno zidnih elemenata. Dobivanje podataka o šupljinama u zidu temelji se na snimanju georadarom ili endoskopijom. Rezultat ispitivanja je klasifikacija zida i izbor parametara iz literature.

Osim navedenih ispitivanja zida, poželjno je napraviti i istražne radove za utvrđivanje tlačne i vlačne/posmične čvrstoće zida i modula elastičnosti.



Slika 3.12 Fotografija ispitivanja modula elastičnosti zida

3.6.3 Tlačna čvrstoća zidnih elemenata i sastav morta

Ispitivanje tlačne čvrstoće zidnih elemenata i sastava morta provodi se samo ako postoji sumnja u uobičajenu kvalitetu. Važno je imati u vidu da je ispitivanje morta vrlo kompliciran postupak.

3.6.4 Dodatna kontrola termokamerom

Termokamerom se mogu vizualno pregledati plohe zidova jer se pomoću nje mogu otkriti zanimljivi podatci poput skrivenih dijelova ispod žbuke ili iznad podgleda stropa.



Slika 3.13 Prikaz snimljenih ploha zgrade i uočavanja skrivenih dijelova pomoću termokamere

3.6.5 Karakteristike drvene konstrukcije

Dostatna je samo izmjera geometrije i vizualna klasifikacija tipa drva

3.6.6 Karakteristike čelične konstrukcije

Provodi se izmjera geometrije i klasifikacija profila, a kvaliteta se obično procjenjuje najmanja s obzirom na vrijeme gradnje, osim ako je izrazito rizičan element.

3.6.7 Karakteristike armiranobetonske konstrukcije

Osim geometrije za armiranobetonske konstrukcije su najbitniji:

- tlačna čvrstoća betona (valjak + sklerometar)
- količina armiranja – u pravilu samo „šlicanjem“ je mjerodavno i to na kritičnim mjestima koje je poželjno odrediti nakon numeričkog proračuna na modelu
- stupanj korozije i oštećenosti armature.

3.7 PRORAČUN – IZRADA 3D MODELA, ANALIZA I INTERPRETACIJA REZULTATA

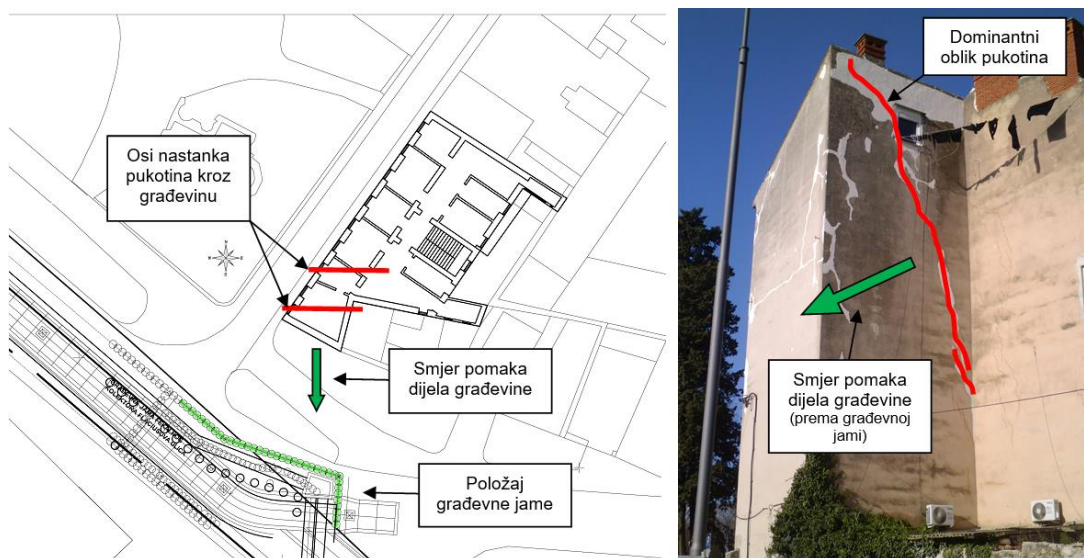
Potrebno je ocijeniti postojeće stanje konstrukcije (utvrditi postojeću nosivost, identificirati nedostatke i njihove uzroke) te dobiti smjernice za intervencije pojačanja. Već je navedeno da postoji više metoda proračuna.

Općenito, ovisno o problemu, dostupnom vremenu, ugovorenoj cijeni i važnosti zgrade postoji više razina proračuna:

- pojednostavljene sheme proračuna (za opis ponašanja i dokaz lokalnih elemenata)
- jednostavniji 3D FEM modeli s linearno elastičnim ponašanjem materijala
- složeniji 3D FEM modeli s linearno elastičnim ponašanjem materijala
- nelinearni modeli sposobni da simuliraju neelastično ponašanje zida (statički i dinamički).

Važno je imati spoznaje o uzrocima i koje je očekivano ponašanje i mehanizam sloma, kao i što napraviti da sami upravljate načinom sloma. Kod sanacija zida i zidanih konstrukcija često se lako odredi uzrok oštećenja tako da se minimalnim ručnim proračunom može riješiti problem. Nije nužno uvijek raditi 3D modele i „čudesne“ analize. Bit je riješiti uzrok pa su sanacije uglavnom jednostavne, jer ako uzrok nije uklonjen sanacije su komplicirane.

Slično je i u medicini. Ako se zna uzrok, onda je lijek jednostavan, a ako se ne zna, onda se koriste razne terapije i lijekovi (kokteli).



Slika 3.14 Prikaz snimljenih oštećenja i zaključka temeljem položaja pukotina i pomaka zgrade

Na temelju uočenih oštećenja u potresu mogu se definirati osnovne konstrukcijske manjkavosti i najčešći oblici otkazivanja zidanih konstrukcija u potresu:

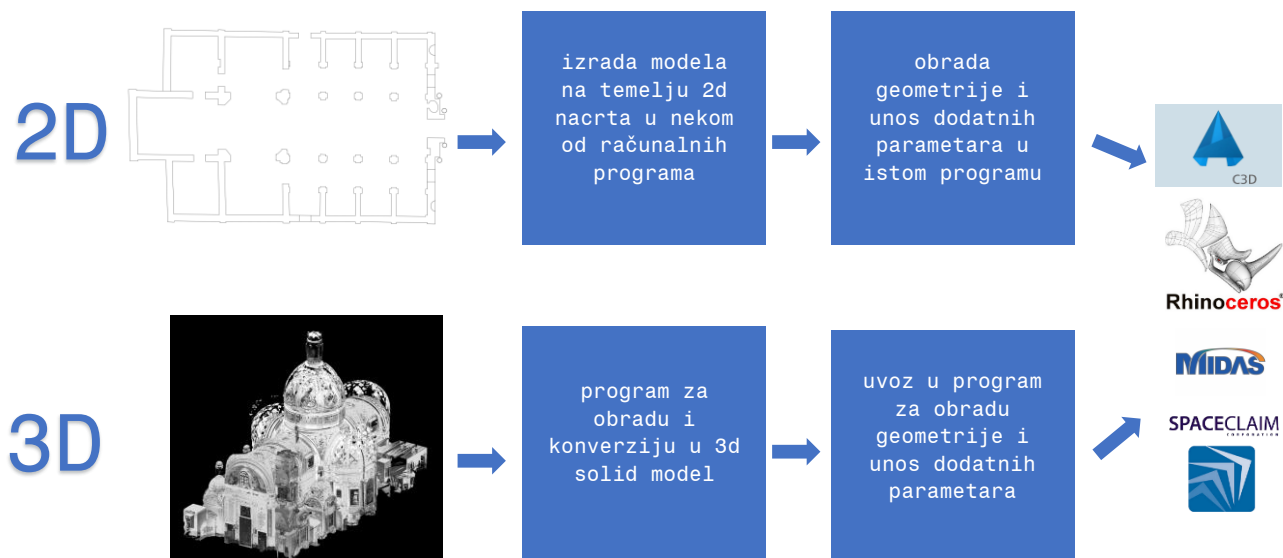
- nedovoljna cjelovitost konstrukcije, nedostatna veza između međusobno okomitih zidova i nepostojanje veze između zidova i stropnih konstrukcija, zbog čega dolazi do odjeljivanja nosivih zidova u kutovima i na spojevima zidova te do naknadnog rušenja zabata ili zidova položenih okomito u odnosu prema dominantnom smjeru seizmičkog gibanja tla okomito na njihovu ravninu
- nedostatak nosivih zidova u nekom smjeru i veliki otvori
- višeslojnost zidova bez kvalitetne veze između vanjske i unutrašnje strane zida (zidovi sa šupljinama i kamenim nabačajem u sredini)
- loša kakvoća zida pa stoga i neodgovarajuća bočna otpornost nosivih zidova što dovodi do pojave dijagonalnih pukotina u zidovima, do odvajanja i do konačnog rušenja
- vitki elementi konstrukcije kao što su zvonici, minareti, dimnjaci i sl.

U poglavlju 1.1 već su prikazani tipizirani mehanizmi oštećenja zidanih zgrada. Važno je napomenuti da se – ako se u rekonstrukcijama primjene tehničke mjere za poboljšanje seizmičke otpornosti kao što su:

- povezivanje zidova
- sidrenje stropnih konstrukcija u zidove
- pojačanje stropnih konstrukcija u horizontalnoj ravnini
- postavu konstrukcijskih zidova u dva ortogonalna smjera
- pridržanje vitkih elemenata
- osiguranje temelja da mogu preuzeti povećana opterećenja u potresu
- i dr.

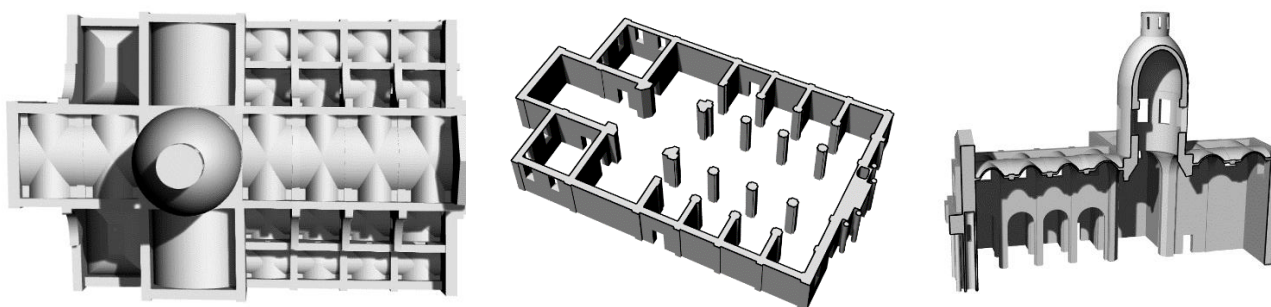
proračun može provoditi i ručno ili na jednostavnim prostornim modelima s linearnim ponašanjem. Za složenije i zahtjevnije zgrade potrebno je provoditi ozbiljniju 3D analizu.

Bez obzira bila podloga 2D ili 3D, uvijek je poželjno pojednostavniti geometriju u prihvatljivoj mjeri kako bi model bio optimalan.



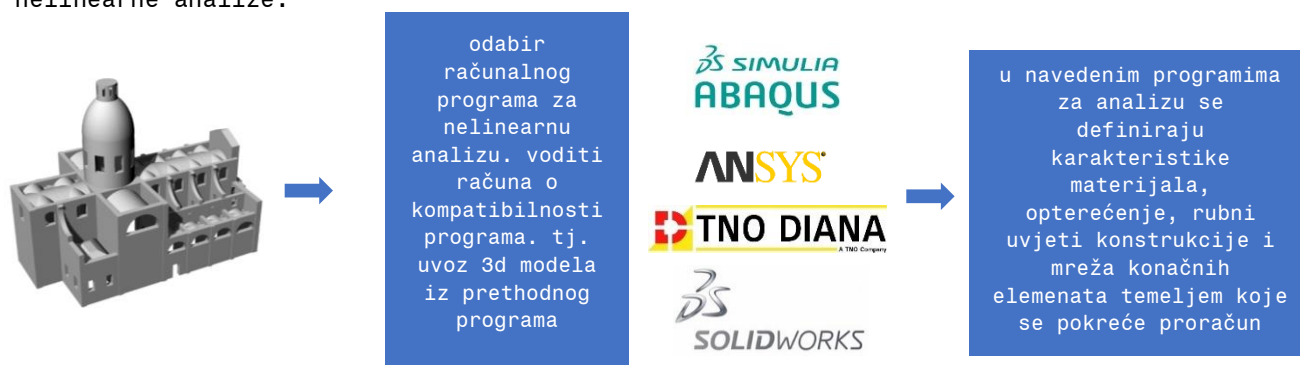
Slika 3.15 Prikaz slijeda i izrada 2D modela ili 3D modela [10]

Primjer izrade 3D modela temeljem snimke zgrade, pregleda arhivskih nacрта, projekata i istražnih radova:



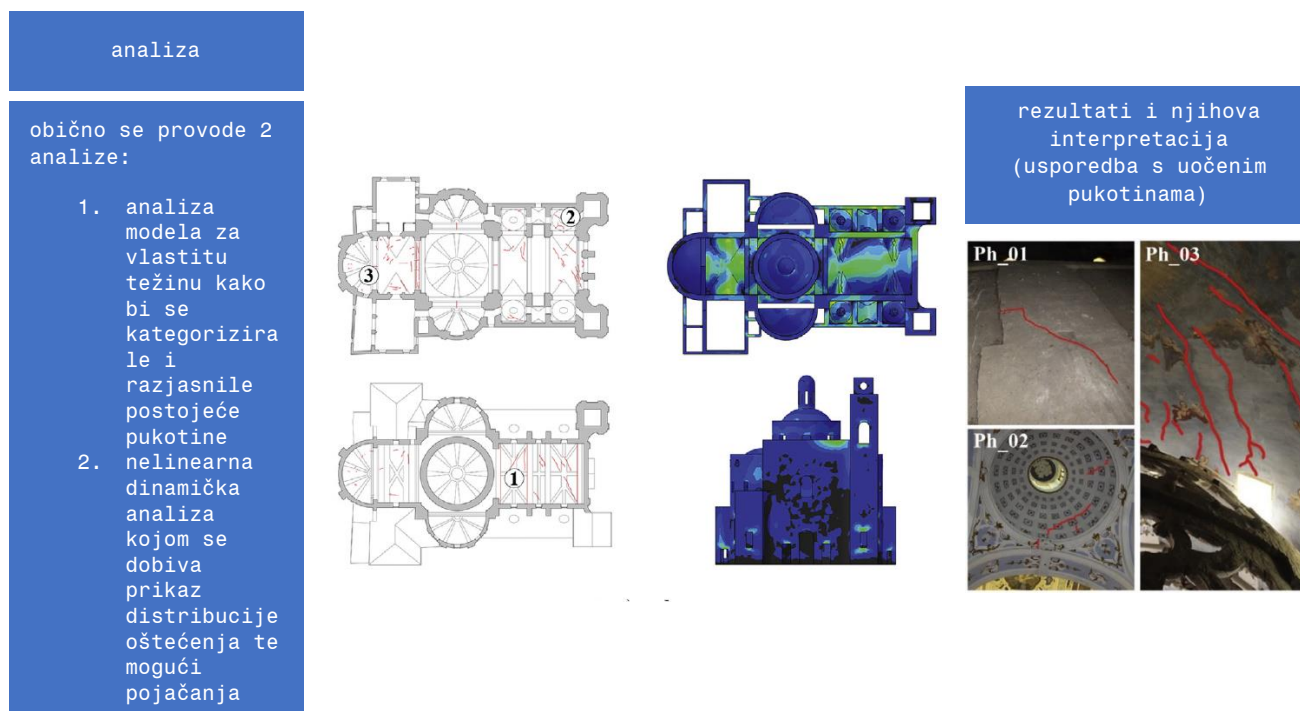
Slika 3.16 Prikaz 3D modela dubrovačke katedrale [9]

Izrađeni 3D model unosi se u neki od dostupnih računalnih programa koji imaju mogućnost nelinearne analize.



Slika 3.17 Prikaz slijeda unosa 3D modela i proračun

Nakon provedenog proračuna potrebna je analiza dobivenih rezultata i usporedba s uočenim oštećenjima. Može se primijetiti da zgrade ovoga tipa imaju pojavu značajnih naprezanja i pukotina na karakterističnim mjestima.



Slika 3.18 Prikaz slijeda analize i potvrde hipoteza pukotina prije proračuna [10]

Treba imati u vidu da su nelinearni proračuni velikih zgrada vrlo složeni i zahtijevaju dosta vremena i pripreme. Možda je s obzirom na vrijeme analize i manju složenost zgrade optimalan proračun linearno-elastična analiza sa *solid* elementima i kontrolom pomaka i naprezanja. Takvi modeli su jednostavni, brzi i s jasnim prikazom kritičnih mjesta na koja se intervenira.

3.8 IZBOR OPTIMALNIH POSTUPAKA SANACIJE I POJAČANJA

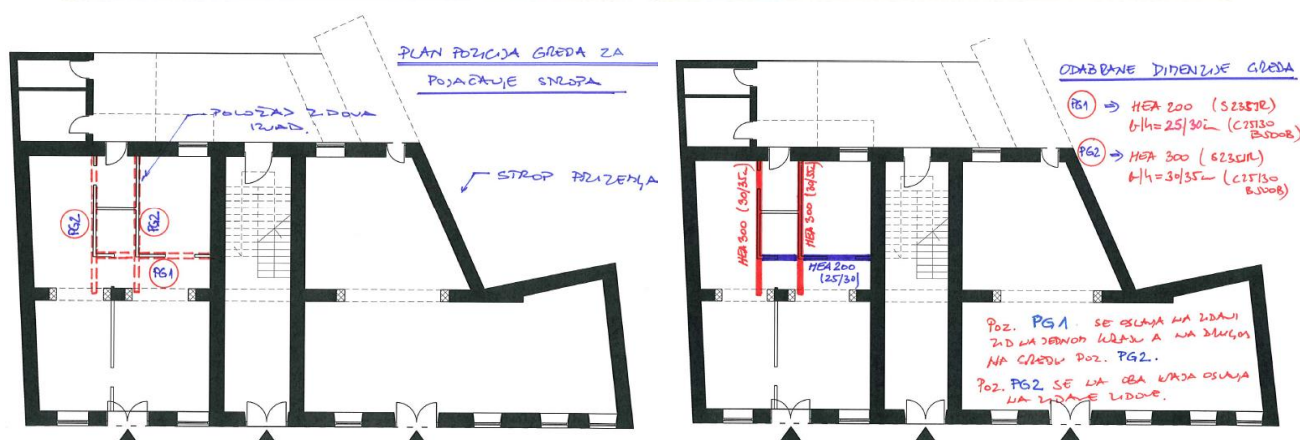
Na temelju proračuna utvrde se kritična mjesta i odabiru optimalni postupci sanacije i pojačanja. Postoje brojne konvencionalne tehnike i postupci, ali za većinu tih slučajeva primjenjive su i specijalne tehnike poput FRP proizvoda. Osnovni su postupci pojačanja sljedeći:

- pojačavanje stropnih dijafragmi i drvene krovne konstrukcije
- omatanje zgrada na podnim i krovnim područjima i povezivanje zidova
- povećanje kapaciteta nosivosti zidova na savijanje okomito na ravninu
- povećanje kapaciteta nosivosti, lukova, svodova i kupola
- povećanje kapaciteta nosivosti zidova u ravnini
- ovijanje stupova radi poboljšanja tlačne čvrstoće i duktilnosti
- pojačavanje i povezivanje pregradnih zidova i zidova ispune.

3.9 SUDJELOVANJE U IZVEDBI PROJEKTA – PROJEKTANTSKI NADZOR

Projektantski je nadzor kod sanacija i rekonstrukcija općenito svih vrsta zgrada neophodan, a posebno kod starih zidanih zgrada. Redovito se pojave situacije koje odstupaju od podloga, pretpostavljenih statičkih sustava i dimenzija koje nije moguće obuhvatiti tijekom projektiranja.

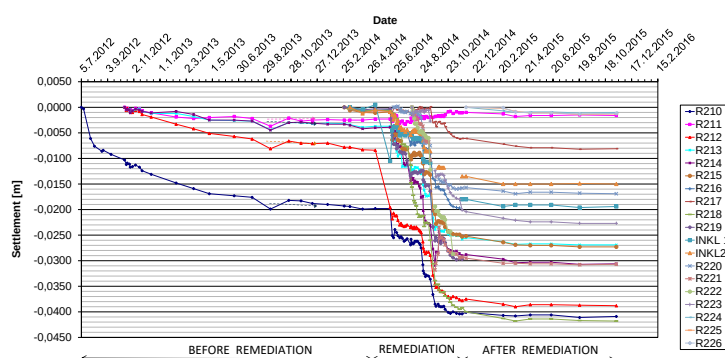
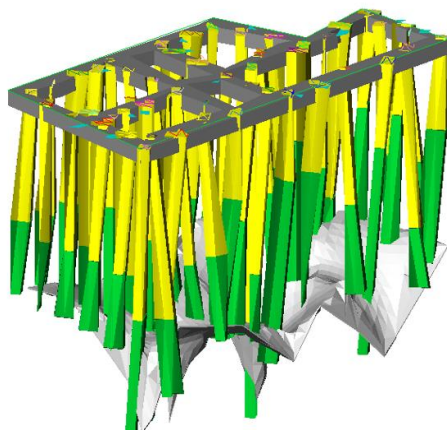
U nastavku slijedi primjer u kojem su se prilikom obnove zidova uklanjali i postojeći slojevi stropa, te je primijećeno kako se pregradni zid oslanja djelomično na drveni grednik bez oslonca ispod. Također, središnji stup nije bio kameni, od jednog komada, nego zidani. Stoga je bilo potrebno pojačanje i osiguravanje oslonca pregradnog zida kako ne bi došlo do daljnje deformacije stropa, ali i dodatno pojačanje stupa.



Slika 3.19 Prikaz stropa s vidljivim pregradnim zidom bez potrebnog oslonca (gore) i skice rješenja s čeličnim gredama

3.10 PRAĆENJE USPJEŠNOSTI SANACIJE I POJAČANJA

Kod sanacija potrebno je provesti praćenje uspješnosti sanacije. To je posebno potrebno kada su uzroci oštećenja slijeganje temeljnog tla, koje uvijek ima neko vrijeme realizacije, te u slučaju kada uzroci oštećenja nisu u potpunosti poznati.



Slika 3.20 Prikaz rješenja sanacije temelja i rezultata praćenja slijeganja za zgradu prikazanu na slici 3.14

Na slici 3.20 prikazano je rješenje za sanaciju zbog oštećenja i pojavu pukotina koje su vidljive na slici 3.14. Razlog oštećenja bilo je slijeganje temelja, pa je odlučeno da će se izvoditi podbetoniranje temelja i tzv. „jet grouting“. Nakon izvedbe i pojačanja temelja praćeni su rezultati i uspoređeni s onima prije pojačanja temelja. Rezultati su pokazivali smanjenje slijeganja i prekid njihova trenda rasta tijekom vremena.

4 SANACIJA I POJAČANJE AB KONSTRUKCIJA

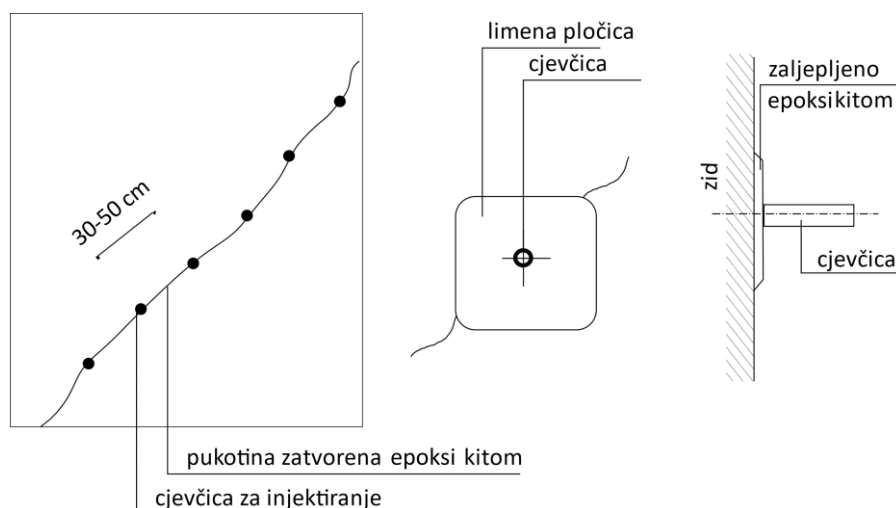
Kako se kod nekoliko zidanih zgrada nalaze i armiranobetonski elementi poput nadvoja, ploča, greda i stupova, slijedi osnovni prikaz sanacije i pojačanja takvih elemenata.

4.1 POVEZIVANJE AB ZIDA S PUKOTINOM

Buše se rupe s obje strane pukotine i ugrađuju se spone u obliku slova U okomito na pukotinu. Spone su različitih duljina i orijentacije kako naprezanja ne bi bila koncentrirana u jednoj ravlini. Spone osiguravaju vlačnu vezu.

Za ozbiljnija injektiranja u pravilu se koristi čisti polimer, tj. čiste epoksi smole niske ili srednje viskoznosti (Slika 4.1):

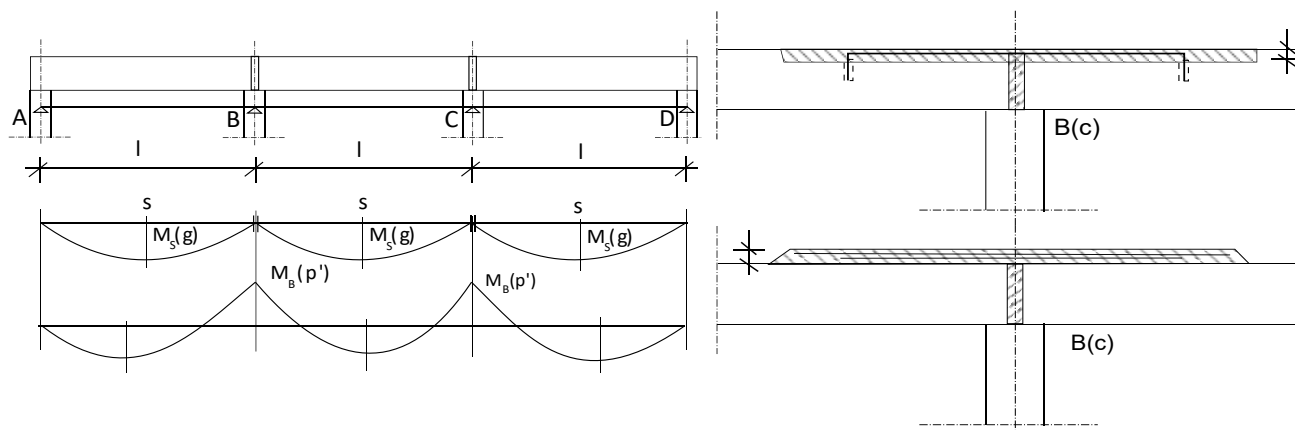
- za pukotine do 0,5 mm – niska viskoznost
- za pukotine preko 0,5 mm – srednja viskoznost.



Slika 4.1 Saniranje pukotine epoksi smolom

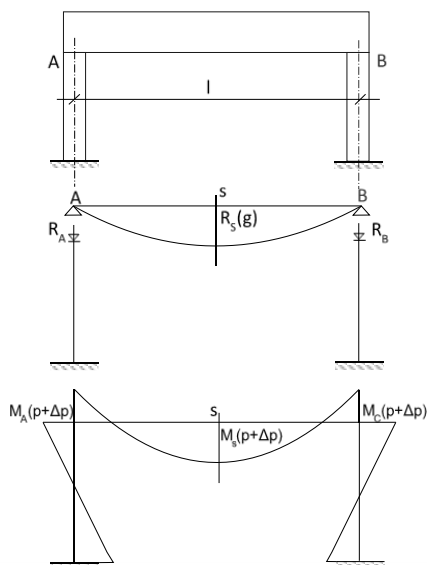
4.2 PROMJENA STATIČKOG SUSTAVA KONSTRUKCIJE KOJI NEMA DOSTATNU NOSIVOST

Promjenom statičkog sustava, kao npr. sustava proste grede u kontinuirani nosač, povećava se nosivost i uporabljivost elementa. Primjer na slici 4.2 jest kontinuiranje postojećeg sustava prostih greda. Detalj na mjestu ostvarenja kontinuiteta formira se dodavanjem armature u gornjoj zoni radi preuzimanja negativnog momenta savijanja (Slika 4.2 desno).



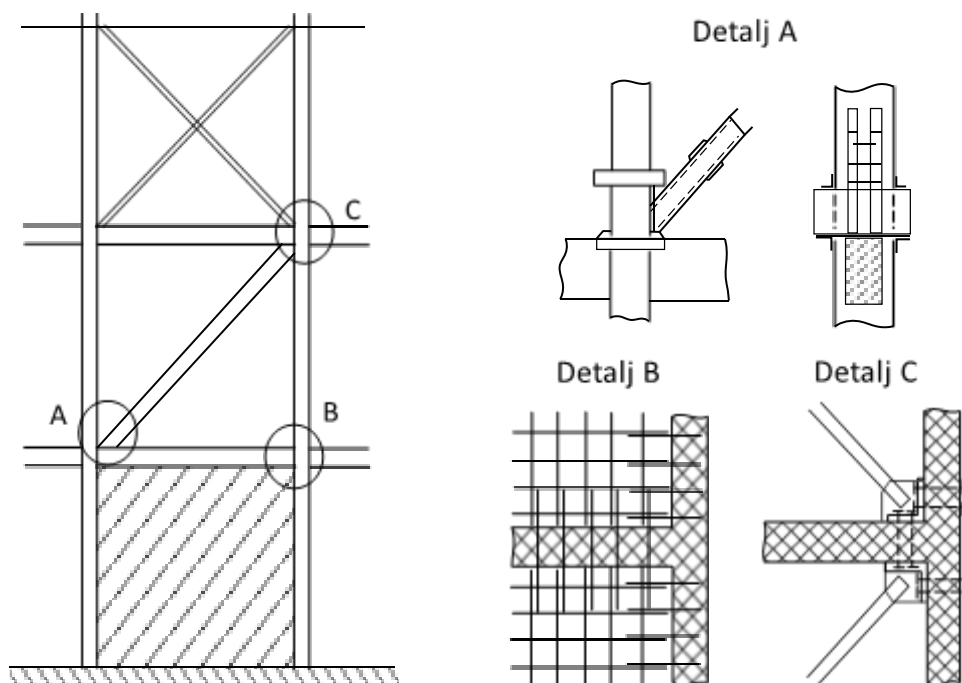
Slika 4.2 Kontinuiranje postojećeg sustava prostih greda i detalj na ležaju

Slika 4.3 pokazuje primjer promjene statičkog sustava povezivanjem grede i stupova u okvirnu konstrukciju. Na mjestu spojnog čvora treba ugraditi dodatnu armaturu i osigurati kontinuitet, odnosno upetost.



Slika 4.3 Integriranje grede i stupova u okvirnu konstrukciju

Primjer na slici 4.4 jest statički sustav koji se pojačava dodavanjem ukrućenja na već postojeće okvire koji su nedovoljne nosivosti.



Slika 4.4 Dodavanje ukrućenja postojećim okvirima

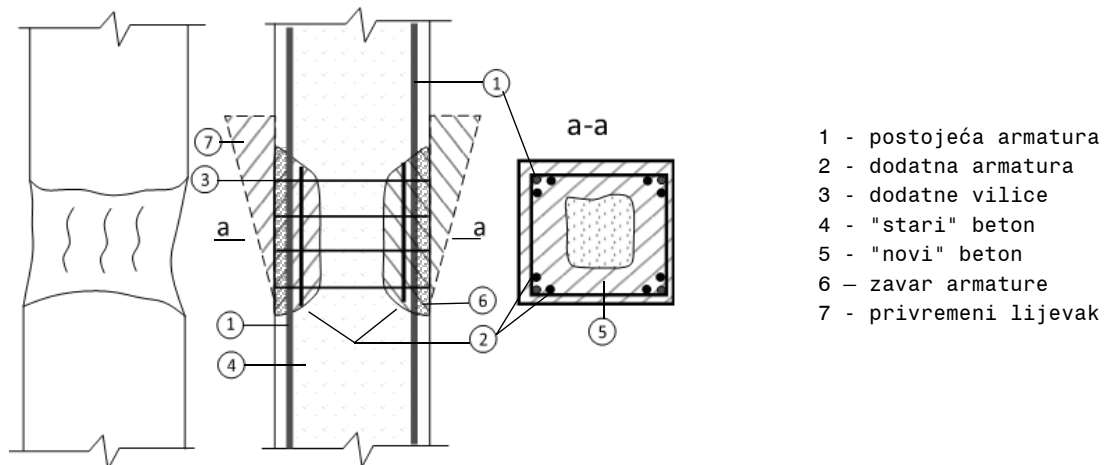
4.3 POJAČANJE AB KONSTRUKCIJE POVEĆANJEM PRESJEKA

Za pojačanje konstrukcije povećanjem presjeka s dodatnim površinama betona i armature dva su načina pojačanja:

- ukloni se zaštitni sloj betona i uz postojeće šipke armature dodaju se nove šipke armature koje se zavare uz postojeće, a zaštitni sloj izvede se sanacijskim mortom (u ovome slučaju ploština presjeka ostaje ista)

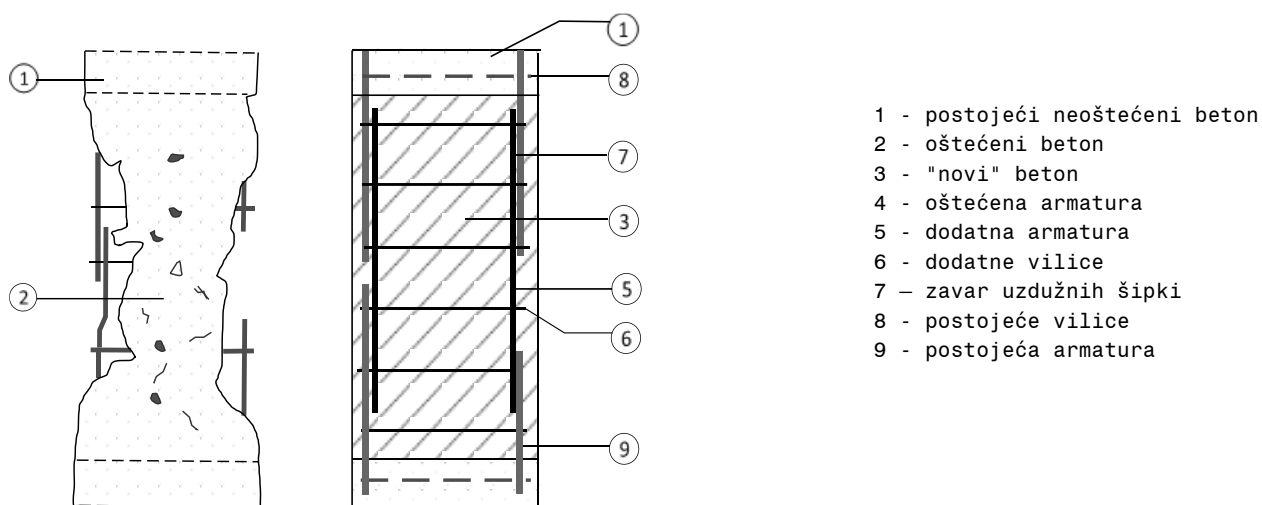
- oko postojećeg presjeka izvede se dodatni sloj betona s novom armaturom, pri čemu je povećana ploština presjeka betona i armature.

Primjeri (Slika 4.5) lokalnoga saniranja stupova (lokalno je korozija oštetila armaturu i poprečni presjek).



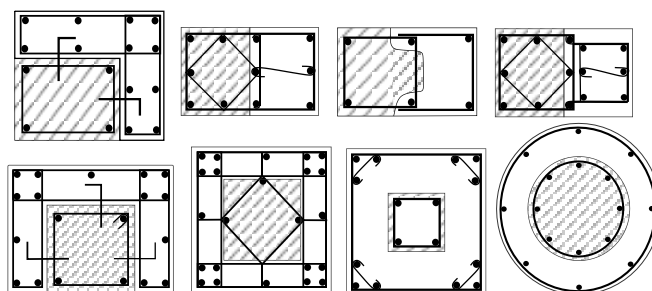
Slika 4.5 Lokalno saniranje stupova

Drugi je primjer (Slika 4.6) lokalnoga saniranja stupova kada postoji dublje oštećenje i u tome se slučaju u cijelosti uklanja postojeći beton, a taj segment stupa izvodi se novim betonom.



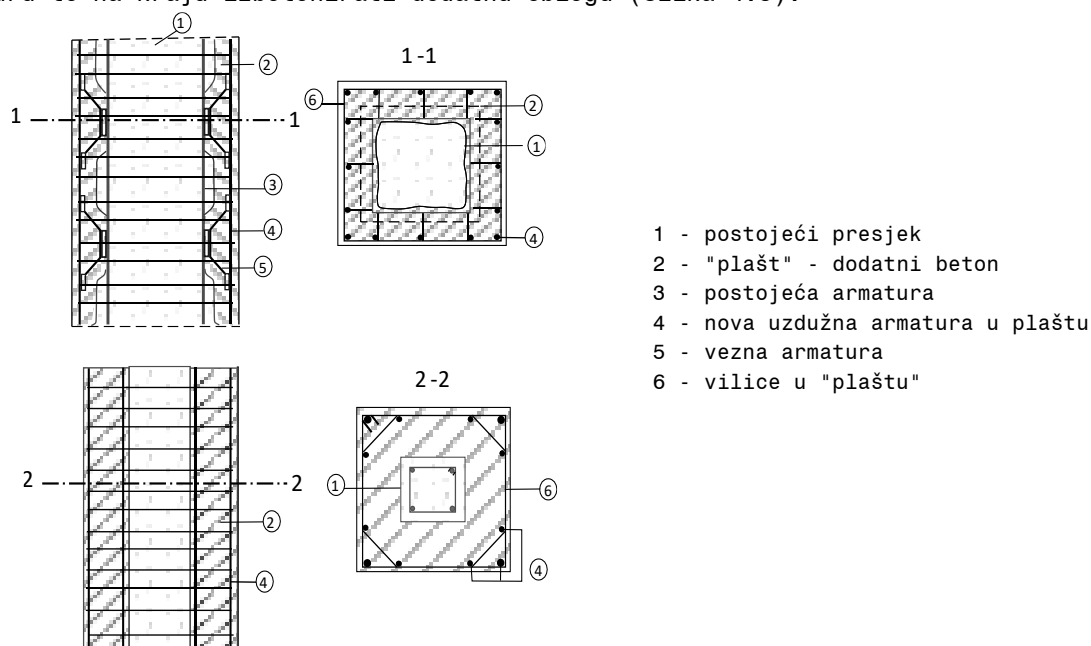
Slika 4.6 Lokalno saniranje stupova za dublja oštećenja

Na ovome primjeru (Slika 4.7) izvodi se pojačanje stupova povećanjem presjeka na način da se oko postojećeg presjeka izvede dodatni betonski dio s armaturom. Postojeći presjek i novi beton treba povezati sidrenim šipkama.



Slika 4.7 Pojačanje stupova povećanjem presjeka

Sljedeći je primjer izvedbe dodatne obloge oko postojećega presjeka stupa (Slika 4.8). Potrebno je prvo pripremiti površinu postupkom „štemanja“, a zatim postaviti dodatnu armaturu te na kraju izbetonirati dodatnu oblogu (Slika 4.9).

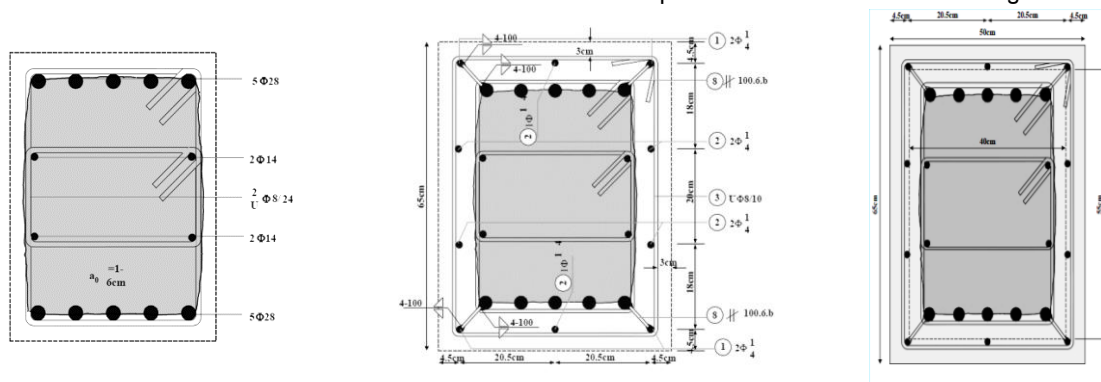


Slika 4.8 Izvedba dodatne obloge oko postojećeg presjeka stupa

Priprema površine stupa

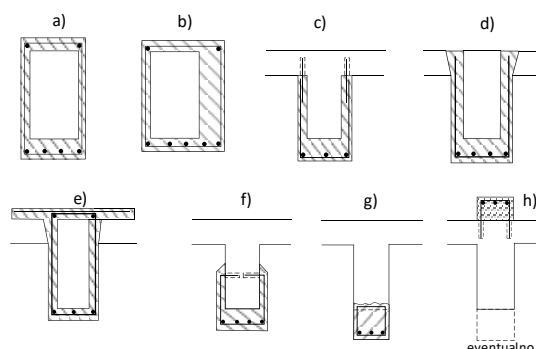
Postavljanje dodatne armature stupa

Betoniranje dodatne
obloge

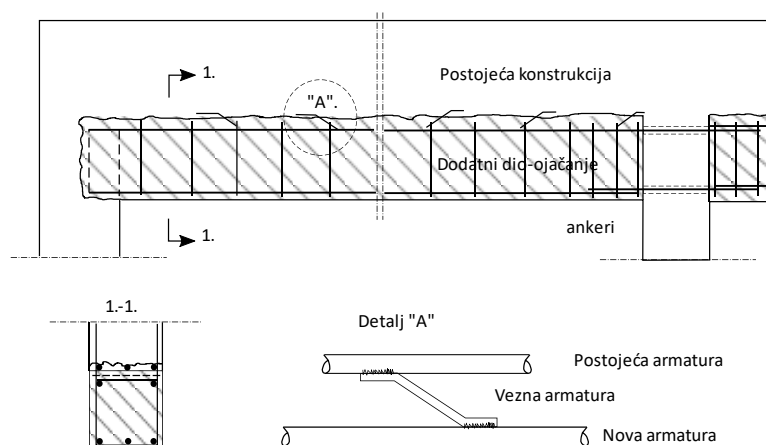


Slika 4.9 Koraci za izvedbu dodatne obloge

Primjer za pojačanje greda povećanjem presjeka (Slika 4.10) na način da se oko postojećeg presjeka izvede dodatni betonski dio s armaturom. Postojeći presjek i novi beton treba povezati sidrenim šipkama. Na sljedećem primjeru (Slika 4.11) izvedba dodatnog dijela jest ispod rebra grede na način da se postojeća i nova armatura povežu zavarivanjem.

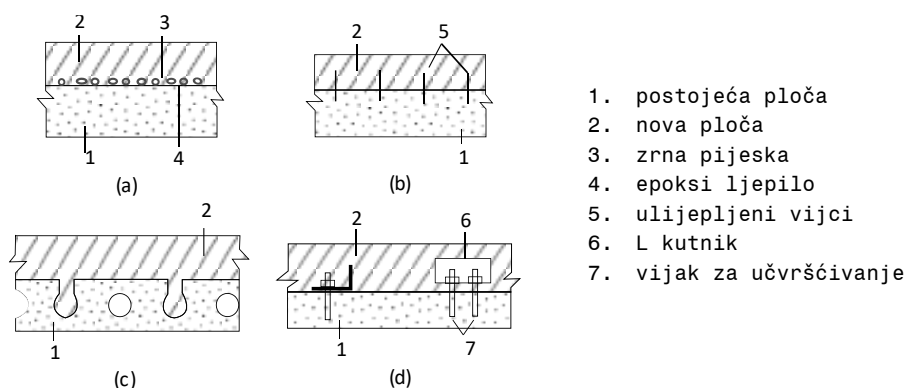


Slika 4.10 Oko postojećega presjeka izvede se dodatni betonski dio s armaturom



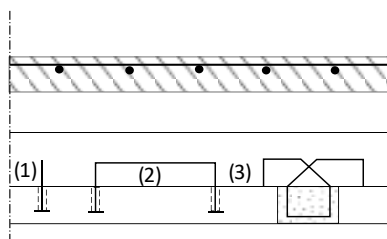
Slika 4.11 Detalj izvedbe dodatnog dijela ispod rebra grede

Pojačanje ploče povećanjem presjeka. Na gornje ili donje strane ploče dobetonira se sloj koji se povezuje s postojećom pločom (Slika 4.12).



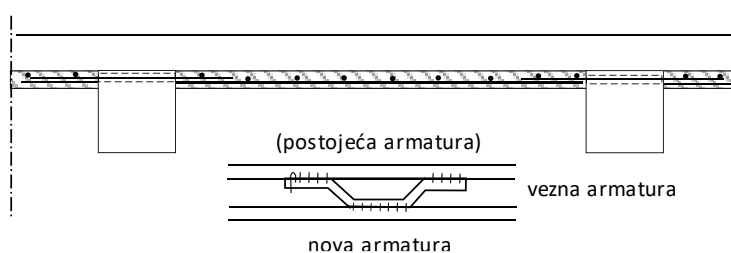
Slika 4.12 Povezivanje novoga betona s postojećom pločom

Još jedan primjer (Slika 4.13) pojačanja izvedbom sloja betona po postojećoj ploči. Beton se izvodi s gornje strane. Potrebno je postojeću i novu ploču povezati sidrima za sprežanje.



Slika 4.13 Povezivanje postojeće i nove ploče sidrima za sprežanje

Primjer pojačanja izvedbom sloja betona ispod postojeće ploče (Slika 4.14). Beton se izvodi s donje strane. Potrebno je postojeću i novu ploču povezati sidrima za sprežanje ili zavarivanjem postojeće i nove armature.



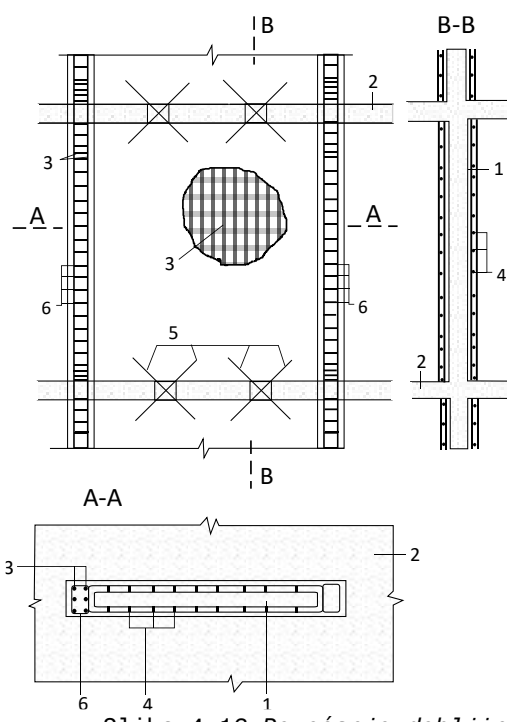
Slika 4.14 Pojačanje izvedbom sloja betona ispod postojeće ploče

Ukloni se zaštitni sloj s donje strane ploče i poveže se nova armatura i postojeća. Najčešće je to zavarivanjem, ali može i mehanički - sidrenjem. Donji sloj betona izvodi se torkretiranjem debljine 3-6 cm (Slika 4.15).



Slika 4.15 Postavljanje armature i torkreta s donje strane ploče [17]

Kod problema nedovoljne nosivosti na savijanje ili posmik može se povećati debljina ili duljina zida ugradnjom dodatne armature (Slika 4.16 i Slika 4.17).

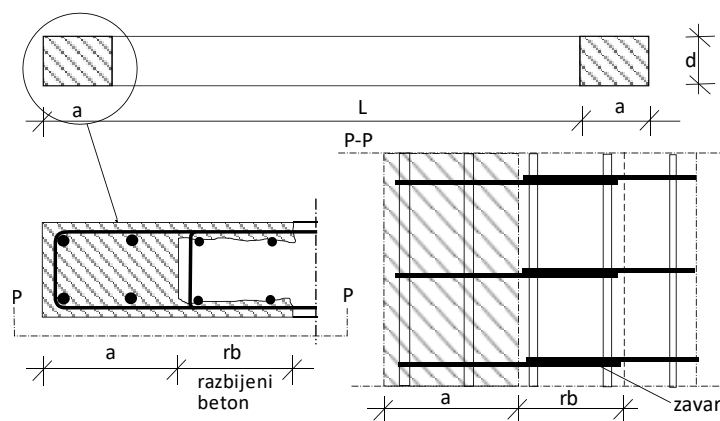


1. postojeći zid
2. postojeća ploča
3. dodatna uzdužna armatura
4. dodatna mrežasta armatura
5. dodatne kose šipke za povezivanje zidova po visini
6. dodatne vilice na krajevima zida

Kod izvedbe rupa u ploči armatura se ne smije oštetiti.

Slika 4.16 Povećanje debljine zida ugradnjom dodatne armature

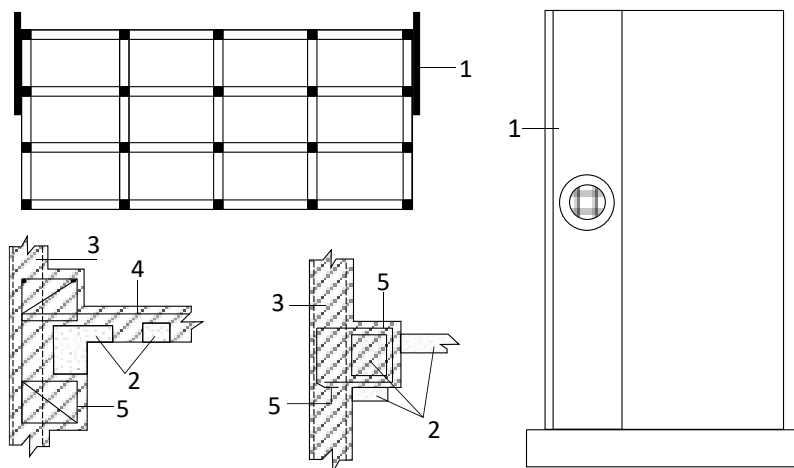
Ako je problem samo nedovoljna nosivost na savijanje, zid je dovoljno samo produljiti (Slika 4.17).



Slika 4.17 Povećanje duljine zida ugradnjom dodatne armature

4.4 POJAČANJE AB KONSTRUKCIJE DODAVANJEM NOVIH KONSTRUKCIJSKIH ELEMENATA

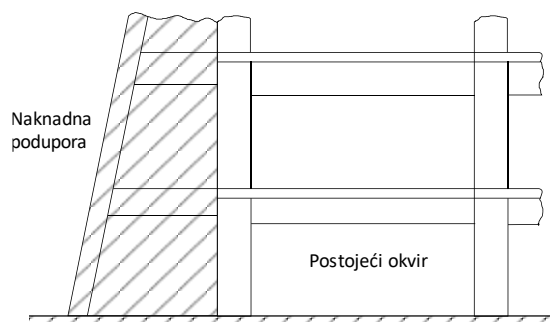
Ovaj model je jedan od najčešćih kod seizmičkog pojačanja postojeće zgrade u slučaju da postojeći sustav (najčešće okvirni) nema dostatnu seizmičku otpornost i stabilnost. Taj model pojačanja čest je i u slučaju dogradnji, kada postojeća konstrukcija u prizemlju ili donjim etažama nema dovoljnu nosivost da prihvati dodatne horizontalne sile zbog dogradnje. Primjer pojačanja konstrukcije dodavanjem novog konstrukcijskog elemenata prikazan je na slici 4.18. Princip je ubaciti novi zid između postojećih stupova, ali je najbolja opcija postaviti ga na pročeljima izvan okvira radi jednostavnijeg vođenja armature.



1. dodatni posmični zid; 2. postojeći beton; 3. novi beton; 4. nova armatura; 5. nove dijagonale

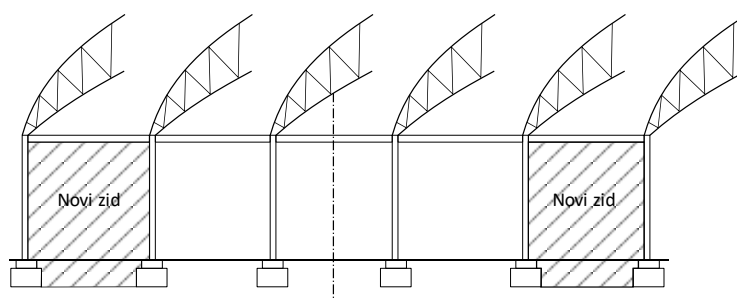
Slika 4.18 Izrada novih AB zidova za prihvaćanje horizontalnog opterećenja

U slučaju manje katnosti može se izvesti primjer sa Slika 4.19. Vanjski AB zid je izrađen kao podupora koja je u stanju prihvatiti seizmičku silu. Ovaj je način prihvatljiv za manju katnost zgrade.



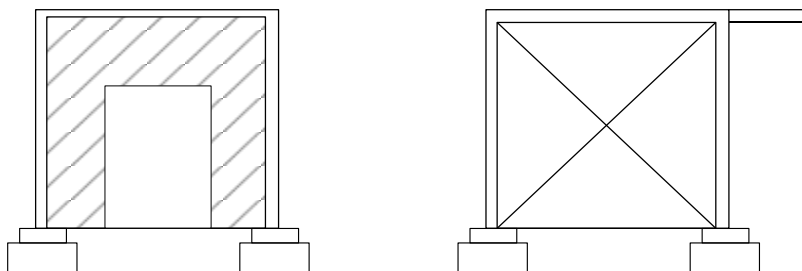
Slika 4.19 Novi AB zid za preuzimanje seizmičkih opterećenja konstrukcije manje katnosti

Izrada novih AB zidova velike krutosti primjerena je za ukrućenje postojeće konstrukcije. Također se koristi u slučaju kada se zbog otvaranja fasade moraju ukloniti postojeće vertikalne stabilizacije. Kod ovakvih konstrukcija treba voditi računa o utjecaju temperature (Slika 4.20).



Slika 4.20 Izrada novih AB zidova velike krutosti

Izrada novih jakih AB okvira ili čeličnih spregova (Slika 4.21) izvodi se ako je kroz pojačanje nužno osigurati prolaz i sl.

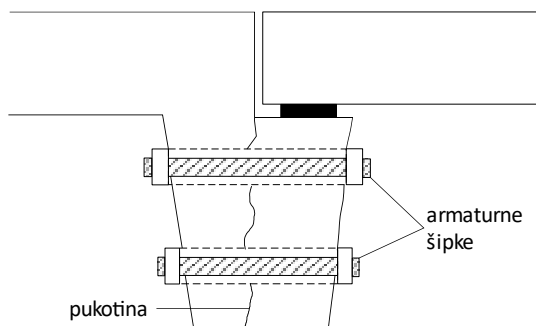


Slika 4.21 Izrada novih jakih AB okvira ili čeličnih spregova

4.5 POJAČAVANJE POPREČNIH PRESJEKA LIJEPLJENJEM LAMELA OD ČELIKA

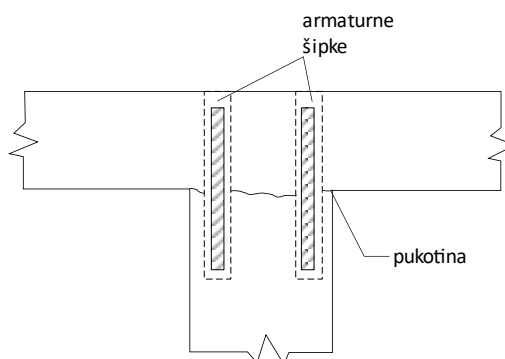
Ovaj način je najčešći za slučaj kada je potrebno pojačati gredu ili ploču. Razlozi su „jednostavna“ izvedba, pri čemu presjek ostaje nepromijenjen, kao i utjecaj na ostale konstrukcijske elemente. Često se koristi i kod pojačanja ploče radi izrezivanja otvora za stubište ili instalacije, kao i kod seizmičkog pojačanja okvira.

Primjer pojačanja AB konstrukcije čeličnim elementima jest u slučaju saniranja kratkih konzola. Armaturne šipke postavljaju se okomito na pravac pukotine (Slika 4.22). Prvo se izbuše rupe u koje se postavljaju šipke nakon što su prethodno namočene u epoksi ljepilo.



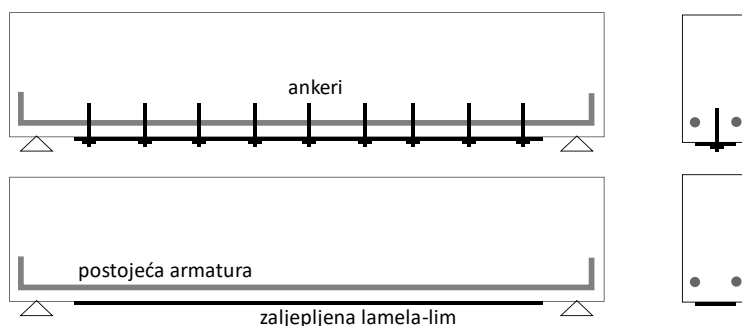
Slika 4.22 Saniranje armaturnim šipkama

Saniranje armaturnim šipkama moguće je i u slučaju kada je potrebno povezivanje dva AB elementa nakon što je došlo do razvoja pukotina. To se koristi i u slučaju naknadnog povezivanja montažnih elemenata radi povećanja seizmičke otpornosti (Slika 4.23).

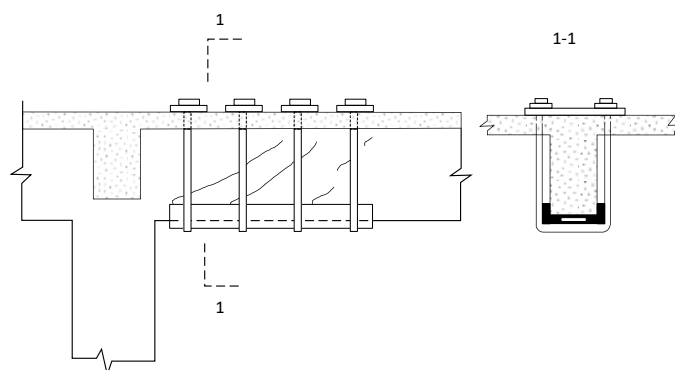


Slika 4.23 Saniranje dva AB elementa armaturnim šipkama

Pojačanje greda i ploča ankeriranjem ili lijepljenjem lamela prikazano je na slici 4.24. Prvo je potrebno pripremiti odnosno očistiti plohe betona i ako nisu puno oštećene, izravnati ih reparaturnim mortom te zatim na njih lijepiti čelične lamele. Druga prikazana metoda je posmično pojačanje čeličnim lamelama i čeličnim šipkama (Slika 4.25).

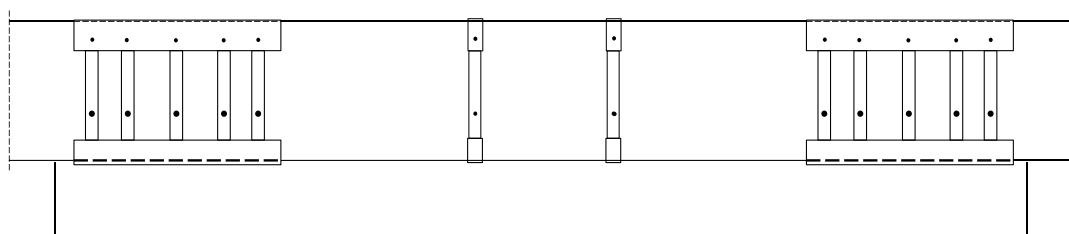


Slika 4.24 Pojačanje greda i ploča ankeriranjem ili lijepljenjem lamela



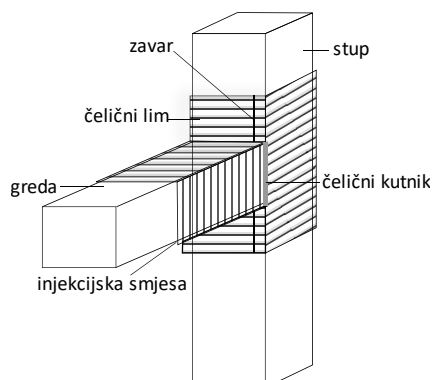
Slika 4.25 Posmično pojačanje čeličnim lamelama i sidrenjem čeličnih šipki

Primjer sanacije gdje je potrebno pojačati gredu na savijanje i posmik vidljiv je na slici 4.26. U sredini raspona dodaju se posmična ojačanja koja ujedno pridržavaju nalijepljenu čeličnu lamelu na dnu presjeka. Čelična se lamela proteže duž osi grede.



Slika 4.26 Pojačanje na savijanje i posmik

Pojačanje čvorova okvira zbog potrebe povećanja nosivosti i duktilnosti može se izvesti po principu prema slici 4.27. Prostor čvora ovije se čeličnim limovima koji se lijepe na beton (prostor između lima i betona ispuni se epoksi ljepilom ili drugom injekcijskom smjesom) i dodatno zavare.



Slika 4.27 Pojačanje čvorova okvira radi povećanja nosivosti i duktilnosti

4.6 POJAČANJE POPREČNIH PRESJEKA LIJEPLJENJEM LAMELA OD FRP-A

FRP (polimeri ojačani vlaknima) nova je i sve popularnija metoda. U tijeku su brojni novi projekti vezani za razumijevanje i standardizaciju proračuna pojačanja FRP-om.

Glavni tipovi pojačanja FRP-om jesu GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymers*) i CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) s epoksi smolom kao vezom između konstruktivnog elementa i kompozita. Izbor tipa pojačanja određen je brzinom izvedbe na gradilištu, nužnosti povećanja nosivosti u agresivnom okruženju i, na kraju, smanjenjem ukupnih troškova i troškova održavanja. Usto, prednost FRP-a kao laganog materijala omogućava jednostavnu i brzu izvedbu u konstrukcijama.

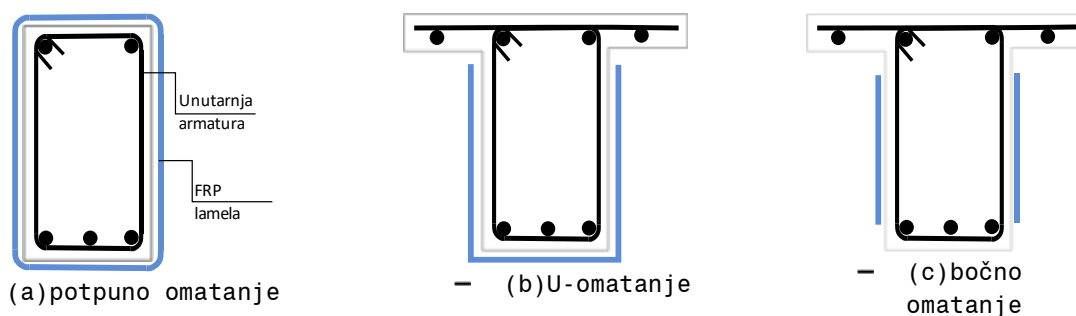
Omjer težine i čvrstoće FRP-a omogućuje veću nosivost u usporedbi s ostalim građevinskim materijalima. Ova se metoda koristi u različitim tipovima konstrukcija i daje dobre rezultate za pomičnu otpornost, otpornost na savijanje i tlačnu otpornost.

Postoje dvije vrste proizvoda:

- šipke i lamele (danas postoje i gotovi profili kao kod čelika)
- tkanine i mreže od vlakana kojima se polimerna matrica dodaje prilikom postave.

Tkanina može imati dvosmjerno ili jednosmjerno orijentirana vlakna dok šipke i lamele imaju isključivo jednomjerno orijentirana vlakna.

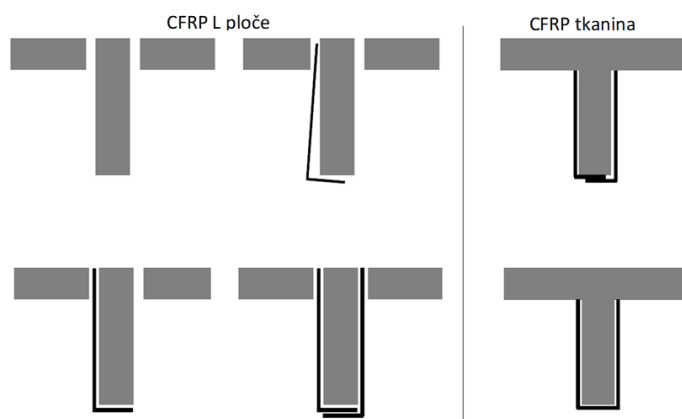
Ovisno o geometriji, ako potpuno omatanje poprečnog presjeka nije moguće, FRP daje mogućnost djelomičnog omatanja (Slika 4.28).



Slika 4.28 Načini vanjskog omatanja FRP-om

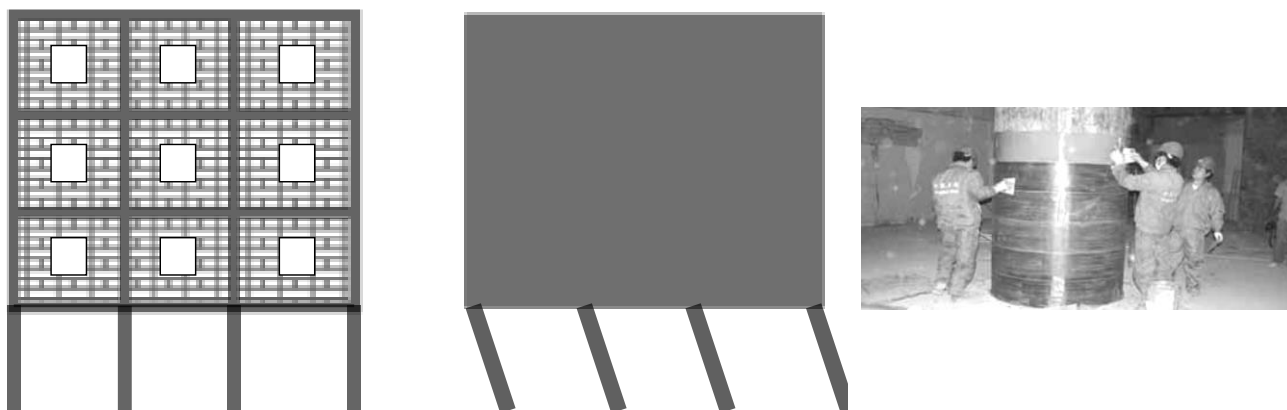
Osim omatanja trakama ili lamelama, moguće je i ojačanje nosivim elementima od FRP-a odnosno CFRP-a ili GFRP-a.

Jedan od primjera pojačanja konstrukcije na posmik prikazan je na slici 4.29.



Slika 4.29 Pojačanja konstrukcije na posmik

Primjer pojačanja stupova ovijanjem radi povećanja duktilnosti izvodi se kada postoji slučaj tzv. „mekane etaže“ prizemlja, a relativno krute gornje etaže. Dolazi do velikih pomaka između temelja i prve etaže te malih pomaka između gornjih etaža (Slika 4.30).



Slika 4.30 Pojačanja stupova i zidova ovijanjem (izvor Sika)



Slika 4.31 Mogućnosti pojačanja različitih elemenata konstrukcije (izvor Sika)

5 LITERATURA:

1. Brehm, E., Dickie, J. E., Lissel, S. L. (2009.), *Reliability of Masonry Panels Subjected to In-Plane Shear*, 11th Canadian Masonry Symposium, Toronto, Ontario, May 31- June 3, 2009.
2. Kashyap, J., Griffith, M. C., Mohamed Ali, M. S., Oehlers, D. J. (2011.), *Prediction of Load-Slip Behavior of FRP Retrofitted Masonry*, Journal of Composites for Construction, 15(6), str. 943–951. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000224](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000224)
3. CNR-DT 200R1/2013 (2014.), *Guide for the Design and Construction of externally bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures, Materials, RC and PC structures, Masonry Structures*, National Research Council, Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction, Roma – CNR, Rim, Italija
4. Meireles, H., i Bento, R. (2013.), *Rehabilitation and strengthening of old masonry buildings*, ICIST, DTC, (02)
5. Bothara, J. i Brzev, S. (2012.), *A tutorial: Improving the seismic performance of stone masonry buildings*, Earthquake Engineering Research Institut, Oakland, California
6. Stepinac, M., Šušteršič, I., Gavrić, I., Rajčić, V. (2020.), *Seismic Design of Timber Buildings: Highlighted Challenges and Future Trends*, Applied Sciences, 10(4), 1380, <https://doi.org/10.3390/app10041380>
7. Branco, J. M., Descamps, T., & Tsakanika, E. (2017.), *Repair and Strengthening of Traditional Timber Roof and Floor Structures*, Building Pathology and Rehabilitation 9, str. 113–138, https://doi.org/10.1007/978-981-10-5858-5_5
8. Amiraslanzadeh, R., Ikemoto, T., Miyajima, M., Fallahi, A. (2012.), *A comparative study on seismic retrofitting methods for unreinforced masonry brick walls*, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa 2012, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, str. 2-10
9. Galić, J., Vukić, H., Andrić, D. (2019.), *Structural Assessment Of Dubrovnik Cathedral, Croatia*, Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XVI, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 191, str. 467-478, <https://doi.org/10.2495/STR190401>
10. Barbieri, G., Valente, M., Biolzi, L., Togliani, C., Fregonese, L., Stanga, G. (2017.), *An insight in the late Baroque architecture: An integrated approach for a unique Bibiena church*, Journal of Cultural Heritage, 23, str. 58–67, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.07.006>
11. da Porto, F., Valluzzi, M. R., Munari, M., Modena, C., Arêde, A., Costa, A. A. (2018), *Strengthening of Stone and Brick Masonry Buildings*, Strengthening and Retrofitting of Existing Structures, str. 59-84, Springer, Singapore, https://doi.org/10.1007/978-981-10-5858-5_3
12. Dolinšek, B., Bergant, M. (2006.), *Utrjevanje kamnitih in opečno-kamnitih zidov z injektiranjem*, Gradbenik, 2, str. 1–12.
13. Farough, S. H., Ilyas, M., Ghaffar, A., (2006.), *Technique for Strengthening of Masonry Wall Panels Using Steel Strips*, Asian Journal of Civil Engineering (Building And Housing), 7(6), str. 621-638.
14. Cilia, M., Colajanni, P., Marnetto, R., Recupero, A., Spinella, N., (2014.), *Experimental Tests on Typical Masonry of Messina Area (Italy) Retrofitted With CAM: a Full Scale Arch*, 9th International Masonry Conference in Guimarães, 9th IMC2014, str. 1-11.
15. Ortega, J., Vasconcelos, G., Rodrigues, H., Correia, M., Lourenço, P. B., (2017.), *Traditional earthquake resistant techniques for vernacular architecture and local seismic cultures: A literature review*, Journal of Cultural Heritage, 27, str. 181-196. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.015>
16. Korany, Y., & Drysdale, R., (2004.), *Enhancing seismic flexural resistance of historic masonry walls using carbon fiber rope*, The Masonry Society Journal, 22(1), str. 27-38.

17. Najdanović, D., *Sanacije, rekonstrukcije i održavanje betonskih konstrukcija u visokogradnji.*

