

## Pojačanja nearmiranog ziđa na posmik tkaninom armiranim mortovima (TRM)

**Martina Carić<sup>1</sup>**, izv.prof.dr.sc. **Tomislav Kišiček<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za konstrukcije, [mcari@grad.hr](mailto:mcari@grad.hr)

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za konstrukcije, [kisha@grad.hr](mailto:kisha@grad.hr)

### Sažetak

Za pojačavanje postojećih konstrukcija posljednjih se godina uz vlaknima armirane polimere (FRP) istražuju tkaninom armirani mortovi (TRM). Kao i FRP, TRM kompoziti mogu značajno povećati nosivost i duktilnost postojećih konstrukcija, ali zbog različitih matrica kompozita njihovo ponašanje nije jednako. Pri proračunu nosivosti i uporabivosti od velike je važnosti osigurati puno kompozitno djelovanje TRM-a s elementom koji se pojačava kako bi materijal bio čim bolje iskorišten. Pri pojačanju zidova na posmik TRM-om važno je utvrditi utjecaj broja i konfiguracije slojeva tkanine, vrste i debljine morta, vrste vlakana te način sidrenja TRM-a, kako bi se materijal učinkovito iskoristio i kako bi ga inženjeri u praksi aktivno upotrebljavali u području sanacija.

*Ključne riječi: TRM, kompoziti, nearmirano ziđe, pojačanja, tkanina*

## Shear strengthening of unreinforced masonry walls with textile reinforced mortars (TRM)

### Abstract

In recent years, textile reinforced mortars (TRM) have been investigated, together with fibre reinforced polymers (FRP), as a means for strengthening existing structures. Both TRM and FRP composites can significantly increase the load bearing capacity and ductility of the existing structures but, because of different matrices, their behaviour is not the same. When calculating the load bearing capacity and serviceability, it is highly significant to provide for a full composite action of TRM and the element being strengthened to ensure an optimum utilization of the material. For shear strengthening with TRM, it is important to determine the influence of the number of TRM layers and their configuration, type and thickness of mortar, type of fibres, and TRM anchoring possibilities, in order to enable an efficient use of this material so as to ensure its more widespread use by practical engineers in the repair and rehabilitation of structures.

*Key words: TRM, composites, unreinforced masonry walls, strengthening, textile*

## 1 Uvod

Zidanje je jedan od glavnih načina gradnje do pojave modernijih materijala, poput betona i čelika, koji seže još od razdoblja starih civilizacija. Starije građevine izvedene su uglavnom od kamenih ili opečnih zidanih elemenata povezanih vapnenim ili produžnim mortom bez armiranja. Danas u svijetu i u Hrvatskoj postoji veliki broj nearmiranih ili djelomično armiranih zidanih građevina [1].

U prošlosti su se zidane građevine često gradile na temelju iskustva ili su bile proračunane samo za vertikalno opterećenje. Izloženi horizontalnim djelovanjima vjetrova i potresa, uz ostale uzroke degradacije materijala i grešaka tijekom izvođenja, zidovi trpe deformacije u svojoj ravnini i izvan ravnine koje u konačnici uzrokuju slom zidanih konstrukcija. Budući da je Hrvatska smještena u području jake seizmičke aktivnosti, nearmirane zidane građevine ugrožene su pojavom jačega potresa. Pri potresnom djelovanju ziđe nema sposobnost disipacije – trošenja energije kroz neelastične deformacije. Ziđe može otkazati na dva glavna načina – slom ziđa u ravnini koji može biti posmični ili slom savijanjem te slom ziđa izvan ravnine u kojem dominira savijanje [2].

Zbog već nastalih oštećenja, a i mogućnosti nastanka novih, sve je veća orijentacija inženjera na projekte obnove i sanacije, odnosno pojačanja i popravaka konstrukcija. Kod zidanih konstrukcija istraživane su i primjenjivane razne tehnike pojačanja s naglaskom na povećanje vlačne i posmične čvrstoće te duktilnosti, kao slabih svojstava ziđa, posebno važnih u seizmički aktivnim područjima.

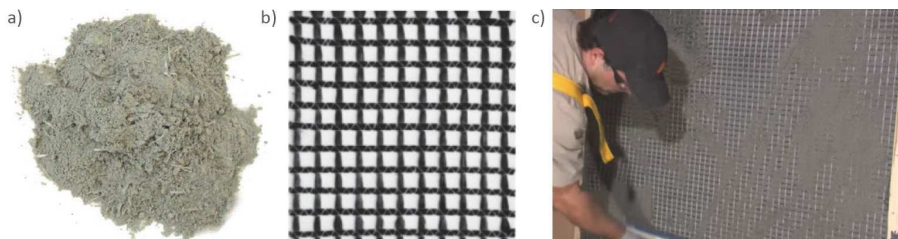
Tradicionalne su tehnike pojačavanja ziđa injektiranje pukotina, oblaganje zidova (torketiranjem, ojačanom žbukom, fero cementom), vanjska pojačanja (prednapinjanje). Iako su tradicionalne metode često prikladna rješenja za pojačanja zidanih konstrukcija, postoje ograničenja njihove uporabe, osobito kod građevina kulturne baštine zbog zahtjeva konzervatora [3]. Zbog toga se razvojem novih materijala razvijaju i nove tehnike pojačavanja konstrukcija, kao što su pojačavanje zidova vlaknima armiranim (modificiranim) mortovima (engl. *fiber reinforced mortars* - FRM), vlaknima armiranim polimerima (engl. *fiber reinforced polymers* - FRP) i tkaninama armiranim mortovima (engl. *textile reinforced mortars* - TRM). Mnogi istraživači proučavaju pojačanja modernim tehnikama, posebice FRP i TRM kompozitima, ali zbog širokog raspona vlakana i mortova i činjenice da je ziđe regionalnoga karaktera, potrebno je provesti još ispitivanja kako bi se utvrdila vjerodostojnost metoda i kako bi se u konačnici dale preporuke za pojačanja koje će biti uvedene u buduće norme i smjernice.

## 2 TRM kompoziti

### 2.1 Razvoj TRM kompozita

FRP su kompoziti koji se sastoje od armaturnih vlakana, najčešće staklenih (engl. glass, G), ugljičnih (engl. Carbon, C), aramidnih (engl. aramid, A), povezanih polimernom matricom, najčešće epoksidnom smolom. Kod pojačanja konstrukcija FRP kompoziti zauzimaju važno mjesto zbog svojih povoljnih svojstava: otpornost na koroziju, visoka vlačna čvrstoća i krutost u smjeru vlakana, iznimno velik omjer čvrstoće i težine, mogućnost primjene u raznim oblicima neograničenih duljina, neosjetljivost na magnetizam i neprovođenje električne struje, dobro ponašanje pod dinamičkim djelovanjem te jednostavnost i brzina primjene. Ipak, FRP kompoziti imaju i nedostatke koji se najviše pripisuju smolama matrice: linearno - elastično ponašanje do sloma, loše ponašanje epoksida na temperaturama višima od temperature staklastog prijelaza i ispuštanje toksičnih plinova prilikom izgaranja zbog čega moraju imati prikladnu zaštitu, nemogućnost nanošenja pri niskim temperaturama i na mokrim podlogama te nekompatibilnost materijala podloga i epoksidnih smola zbog čega je važna priprema površine kako ne bi došlo do preuranjenoga odvajanja FRP - a, manjak paropropusnosti koji može dovesti do oštećenja betonskih konstrukcija i teže procjene štete na njima nakon potresa iza neoštećenoga FRP pojačanja te relativno visoka cijena epoksidnih smola [4, 5].

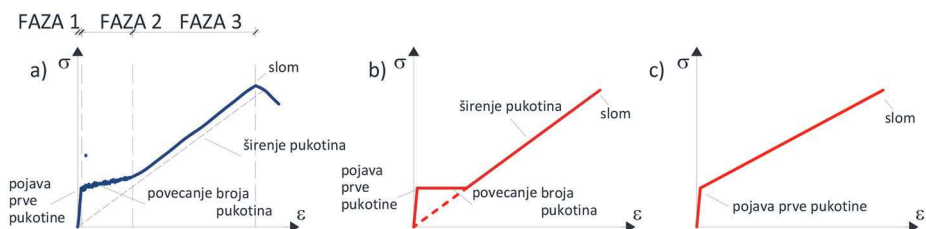
Promjena svojstava matrice, odnosno zamjena organskoga veziva anorganskim, postavlja se kao logično rješenje za navedena loša svojstva što dovodi do nastanka novih, TRM kompozita, u stranoj literaturi poznatih i kao fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) systems, mineral based composites (MBC) ili textile reinforced concrete (TRC) systems. Dok snopovi vlakana kod FRP - a mogu biti formirani u trake ili tkanine, TRM kompoziti su tkanine (mreže) od snopova vlakana u najmanje 2 (najčešće ortogonalna) smjera i anorganske matrice, jer se veza matrice i vlakana ostvaruje mehaničkim uklinjavanjem, odnosno impregnacijom morta kroz razmake u mreži vlakana [5] (slika 1.). Gustoća mreže u svakom se smjeru može kontrolirati neovisno, što utječe na mehanička svojstva tkanine i na vezu s matricom. Vlakna koja mogu biti staklena, ugljična, bazaltna ili PBO (Zylon ili poly (p - phenylene - 2,6 - benzobisoxazole)) preuzimaju vlačna naprezanja, a matrica štiti vlakna i osigurava prijenos naprezanja s materijala koji se pojačava (betona ili зида) do vlakana, pa ovisno o vrsti vlakana postoji GTRM, CTRM, BTRM ili PBOTRM.



Slika 1. a) Cementna matrica; b) Mreža od ugljičnih vlakana; c) Nanošenje TRM - a na зиde

## 2.2 Svojstva TRM kompozita

Kako bi se osigurao prijenos sila s podloge na TRM i osiguralo kompozitno djelovanje, važna je veza između podloge i matrice, veza matrice i vlakana te veza među vlaknima. Zbog složenog mehanizma prijenosa sila, postoji nekoliko modova otkazivanja TRM - a [6, 7]. Najčešći je mod otkazivanja odvajanje na površini tkanina – matrica, što rezultira ponašanjem koje nije linearno elastično, i uz njega se javlja proklizavanje i deformacija snopova vlakana. Kod uzoraka s jednim slojem pojačanja TRM - a često se javlja proklizavanje tkanine unutar matrice zbog slabe impregnacije vlakana. Treći je mod otkazivanja slom tkanine u matrici, a četvrti je odvajanje kompozita od podloge koja se pojačava, zbog čega je važna priprema podloge brušenjem i pjeskarenjem te injektiranjem postojećih pukotina. Na prionjivost kompozita utječe mnogo faktora [6, 7, 8]. Mort, odnosno matrica mora imati dobru obradivost, otpornost na skupljanje i viskoznost. Za bolju impregnaciju vlakana povoljan je sitniji agregat matrice, a snopovi vlakana mogu se obložiti smolom. Povećanjem broja slojeva i povećanjem duljine sidrenja do efektivne duljine prionjivost se neproporcionalno povećava. Sidrenje se može poboljšati ovijanjem duljine sidrenja ili mehaničkim sidrenjem.

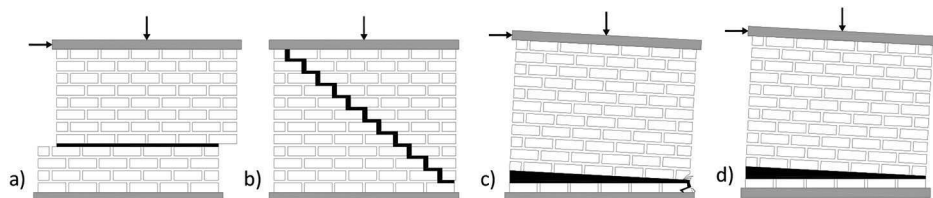


Slika 2. Radni dijagram TRM - a

Osim prionjivosti, za učinkovitost pojačanja važan je radni dijagram vlačno opterećenog uzorka TRM - a koji se sastoji od 3 faze (slika 2.a) [9]. Prva je faza linearno elastična i traje do pojave prve pukotine. U toj fazi primarnu ulogu u preuzimanju naprezanja ima matrica. Nakon pojave pukotine, krutost se smanjuje, a broj pukotina povećava (faza 2). U trećoj se fazi prethodne pukotine proširuju, nema nastanka novih, slika pukotina je stabilizirana s reduciranom krutosti u odnosu na neraspucalo stanje. Modul elastičnosti i čvrstoća u trećoj fazi ovise najviše o svojstvima tkanine, a ona traje do otkazivanja odvajanjem ili slomom vlakana. Triantafillou u [9] prikazuje pojednostavljeni radni dijagram (slika 2.b), a ACI 549 [10] predlaže pojednostavljenje radnoga dijagrama kao bilinearnog (slika 2.c).

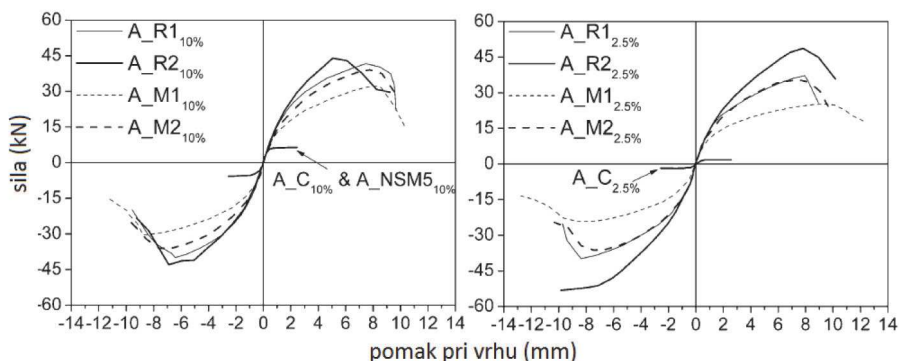
### 3 Pojačanja зида na posmik pomoću TRM - a

Nearmirani zidovi opterećeni u svojoj ravnini mogu otkazati klizanjem po sljubnicama morta kao najpoželjnijim oblikom sloma, dijagonalnim posmičnim slomom kao najčešćim načinom sloma koji nastaje razvojem vlačne pukotine u smjeru tlačne dijagonale, drobljenjem zida u tlačnom kutu i prevrtanjem zida zbog savijanja (slika 3.) [3, 11].



Slika 3. Oblici sloma зида u ravnini: a) klizanje po sljubnicama, b) dijagonalni, c) drobljenje u tlačnom kutu, d) prevrtanje

Jedno od prvih ispitivanja [12] (slika 4.) bilo je зиde pojačano s jednim ili dva sloja TRM - a od ugljičnih vlakana visoke čvrstoće i morta s polimernim vlaknima na cijeloj površini, s obje strane, izloženo vertikalnom tlačnom (2,5 % i 10 % tlačne čvrstoće) i cikličkom horizontalnom opterećenju. U uzorcima s jednim slojem pojačanja vlakna su se postupno lomila pri dnu зида uz pucanje matrice. Uzorci s dva sloja, koji su krutiji, lomili su se drobljenjem u tlačnom kutu i izvijanjem pojačanja. S obzirom na veću krutost većega broja slojeva, čvrstoća se povećava, ali se deformabilnost smanjuje. S povećanjem vertikalne sile nosivost se povećava dok se sposobnost deformiranja malo smanjuje. U usporedbi s pojačanjima s FRP - om, povećanje je čvrstoće je bilo manje (12 – 35 %), ali je povećanje deformabilnosti bilo veće (15 – 30 %), ovisno o broju slojeva i razini uzdužne sile.



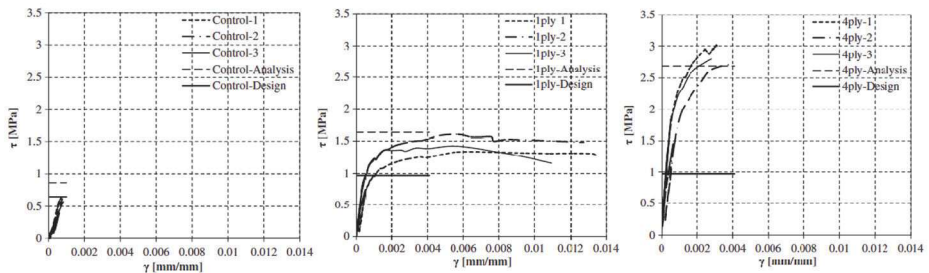
Slika 4. Histerezne anvelope ispitivanja [12] posmičnih zidova pojačanih jednim i dva sloja FRP - a i TRM - a ovisno o razini uzdužne sile (2,5 % i 10 % tlačne čvrstoće)

Corradi [13] je proveo terenska ispitivanja uzoraka zidova kod zgrada od kamena i opeke te laboratorijska ispitivanja zidova pojačanih s jednim slojem mreže od staklenih vlakana i matricom od morta te sidrima od FRP šipaka kako bi se izbjeglo odvajanje sloja pojačanja. Činjenica da su terenska ispitivanja provedena na uzorcima iz zgrada starih preko sto godina daje realniji uvid u učinkovitost pojačanja. Pojačanja su uzrokovala znatno povećanje posmične čvrstoće зида, pri čemu je to povećanje bilo veće kod zidova od kamena nego zidova od opeke. Nadalje, kod debljih zidova, odnosno manjega omjera debljine pojačanja i debljine зида, povećanje posmične čvrstoće bilo je manje. Krutost pojačanih zidova u odnosu na nepojačane znatno se povećala, ali se kapacitet deformacija smanjio s obzirom na nepojačane uzorke. Nelinearna analiza metodom konačnih elemenata u odnosu na eksperimentalne rezultate u tom istraživanju dala je otprilike 20 % konzervativnije rezultate.

Problem koji se javlja kod pojačavanja zidova na posmik veza je između pojačanja i зида. Ona se može poboljšati mehaničkim sidrenjem slojeva TRM - a za зида. U ispitivanju [14] uzoraka zidova pojačanih GTRM - om bez mehaničkoga sidrenja s jedne i s obje strane zidova pokazano je da zidovi pojačani s GTRM - om s obje strane imaju gotovo 3 puta veću nosivost. Prve, male pukotine javljaju se uzduž tlačne dijagonale te se šire s povećanjem sile dok se pojačanje ne odvoji od зида. Pojačanje s jedne strane uzrokovalo je povećanje krutosti samo na pojačanoj strani. Na nepojačanoj strani javile su se pukotine i deformacije pri mnogo manjoj sili nego na pojačanoj strani do dijagonalnog otkazivanja nepojačane strane i sloma izvan ravnine u isto vrijeme zbog razlike u krutostima na stranama зида. Konačna nosivost u odnosu na nepojačani uzorak veća je 1,6 puta. Istaknuta je potreba sidrenja jednoga sloja TRM pojačanja zbog preranog odvajanja koje ne dozvoljava potpunu iskoristivost pojačanja. I na malim uzorcima зида (engl. walletes) [17] pojačanja s jedne strane ne pridonose povećanju posmične čvrstoće, iako je duktilnost povećana, što je važno, jer je često pri horizontalnom djelovanju duktilnost kritični parametar.

U [15, 16] ispitivani su zidovi od opeke (slika 5.) i betonskih blokova pojačani s jednim ili sa četiri sloja CTRM - a postavljenim s obje strane зида bez sidrenja. U odnosu na nepojačane zidove čvrstoća se povećala 2,4 – 4,7 puta ovisno o broju slojeva za zidove od opeke i 2,0 – 2,4 puta za zidove od betonskih blokova. U usporedbi sa CFRP - om u odnosu na kalibrirani koeficijent armiranja  $\omega_f = \rho E_f / E_m$ , pri čemu je  $\rho$  omjer površine pojačanja i površine зида,  $E_f$  modul elastičnosti FRP - a ili TRM - a i  $E_m$  modul elastičnosti зида, povećanja posmične čvrstoće su slična. Kod elemenata s kalibriranim koeficijentom armiranja većim od 1,5 % za zidove od betonskih blokova i 4 % za zidove od opeke, dolazi do otkazivanja drobljenjem betona u tlačnom kutu, što znači da povećanje tog koeficijenta nema učinka. Povećanje duktilnosti nije proporcionalno povećanju broja slojeva, iako je kod pojačanih zidova veća nego kod nepojačanih. Za pojačane betonske zidove duktilnost je ograničena drobljenjem u tlačnom kutu za jedan i za četiri sloja pojačanja, dok je za opečne zidove ograničena

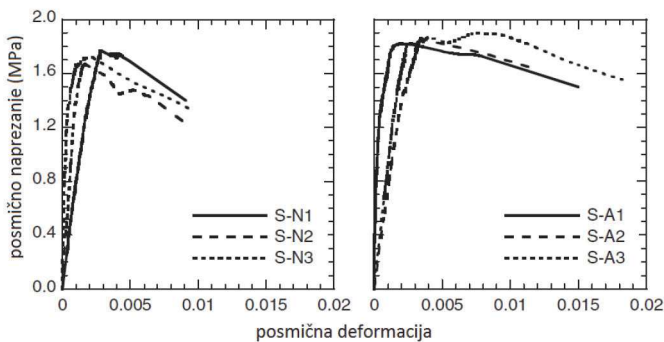
drobljenjem u tlačnom kutu za 4 sloja pojačanja. To proizlazi iz veće krutosti više slojeva pojačanja, što rezultira većom duktilnošću za manji broj slojeva.



Slika 5. Dijagrami posmično naprezanje – deformacija za nepojačane te zidove pojačane s jednim i sa 4 sloja CTRM - a [16]

Uloga sidrenja raspodjela je i prijenos naprezanja sa зида na tkaninu. Sidrenje vijcima pomaže u kontroli širina pukotina i poboljšava postkritično ponašanje uzoraka s manjom redukcijom krutosti [17] (slika 6.).

U [18] dan je širi pregled ispitivanja pojačanja s više parametara. Ispitani su neoštećeni i prethodno oštećeni posmični zidovi na cikličko opterećenje s GTRM mrežom postavljenom horizontalno, odnosno vertikalno na cijeloj površini s različitim brojem sidara od ugljičnih vlakana, GTRM mrežom postavljenom dijagonalno na cijeloj površini bez sidrenja te GTRM - om postavljenim dijagonalno s usidrenom mrežom koja nosi vertikalno na krajevima. Ispitan je i uzorak s tanjim slojem morta kao matrice (0,5 mm u odnosu na ostale od 1,5 mm).

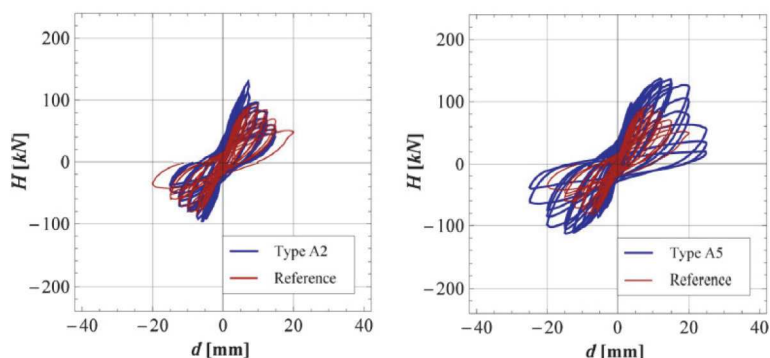


Slika 6. Rezultati dijagonalnog testa uzoraka malih dimenzija sa sidrenjem rubne tkanine i bez njega

Na manjim uzorcima ispitana je i veza zidova i pojačanja. Na ispitanim manjim uzorcima koji su otkazali lomom vlakana izvan područja veze zaključeno je da je prionjivost veća od sile koju vlakna mogu preuzeti i s tim se rezultatima ulazilo u numerički proračun. Međutim, numerička analiza nije pokazala zadovoljavajuće rezultate (nu-



merički dobivena nosivost bila je 2 do 5 puta veća od eksperimentalne) osim kod uzorka s dijagonalnom i vertikalnom mrežom, jer je do izvijanja i odvajanja tkanine došlo prije nego su vlakna u tkanini iskorištena, pa se kapacitet vlakana ne može iskoristiti u potpunosti, a nakon odvajanja glavnu ulogu u nosivosti preuzima žiđe. Uzorak s dijagonalnom i vertikalnom mrežom otkazao je dijagonalno posmično kao i nepojačani uzorak. Proizlazi da sidrenje nema zadovoljavajući učinak. Mogući je razlog da sidra trebaju biti postavljena na razmaku koji je otprilike jednak debljini zida. Uzorci s tanjim slojem morta imali su manje povećanje nosivosti i deformacijskoga kapaciteta, kao što je i očekivano. Na slici 7. prikazane su histerezne krivulje sila – pomak uzoraka žiđa sa standardno postavljenom GRTM mrežom bez sidara i sa sidrima na otprilike svakih 55 cm.



Slika 7. Histerezne krivulje sila – pomak za žiđe s GRTM - om bez sidara (Type A2) i sa sidrima na svakih 55 cm (Type A5)

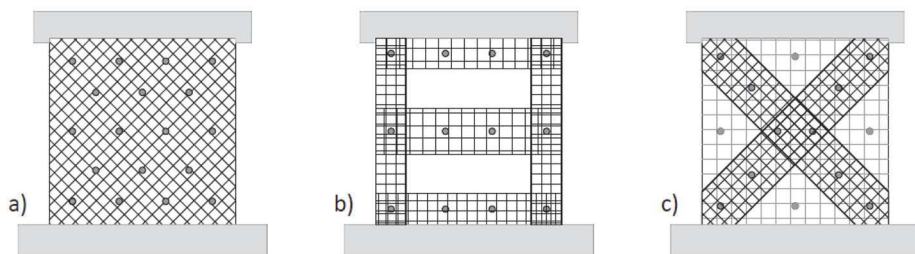
## 4 Ciljevi istraživanja

Istraživanje će biti usmjereno ispitivanju ponašanja posmičnih zidova pojačanih GRTM - om opterećenim tlačnim vertikalnim opterećenjem i cikličkim horizontalnim. Uzorci žiđa bit će od pune opeke dimenzija 6,5/12/25 cm. Pokušat će se nabaviti starija opeka kako bi se realnije simulirale postojeće starije građevine. Odnos visine i duljine žiđa bit će otprilike u omjeru 1:1. Ispitivat će se prethodno neoštećeni uzorci. Žiđe će biti pojačano mrežom od staklenih vlakana koja nosi u jednom i u dva smjera, kao cjenovno prihvatljivije rješenje u odnosu na ostali tip vlakana koja će biti usidrena u žiđe pomoću snopova od staklenih vlakana. Osim ispitivanja posmičnih zidova, na manjim uzorcima planiraju se ispitivati i sve upotrebljavane komponente i materijali: zidni elementi, mort za zidanje, mort za matricu, vlakna, ugljična sidra. Bilo bi dobro ispitati i vezu kompozita sa žiđem.

Iako se ovaj tip pojačanja na temelju prethodnih istraživanja pokazao kao učinkovit u smislu povećanja čvrstoće i duktilnosti, mehanizam ponašanja još je nedovoljno istražen zbog širokoga raspona parametara koji utječu na nosivost i otkazivanje zidova. Često se



nosivost vlakana ne može u potpunosti iskoristiti zbog odvajanja pojačanja od podloge ili potrebnoga prevelikog broja sidara što povećava kompleksnost izvedbe, naročito na velikim površinama zidova. Zbog pojave odvajanja teško je procijeniti razinu pojačanja, odnosno kapacitet nosivosti i razinu duktilnosti, i kao posljedica toga mnogi su dosadašnji rezultati prilično kvantitativni. Cilj je spriječiti odvajanje pojačanja od zida kako bi se vlakna što više iskoristila, te kako bi se točnije procijenio doprinos pojačanja i ovisnost različitih parametara (debljine i vrste mortova, gustoća mreže, broj slojeva). Radi sprječavanja odvajanja TRM - a od zida treba proučiti različite konfiguracije pojačanja. Na slici 8. prikazane su moguće konfiguracije pojačanja TRM - om. Na slici 8.a TRM mreža je postavljena dijagonalno na cijeloj površini i usidrena sidrima od staklenih vlakana na otprilike svakih 20 cm, na slici 8.b TRM je postavljen po širini zida te po vertikalnim rubovima, a na slici 8.c TRM mreža je postavljena ortogonalno na cijeloj površini s dodatnim dijagonalnim trakama kako bi se smanjio broj sidara u odnosu na sliku 8.a.



Slika 8. Različite konfiguracije TRM - a u budućem ispitivanju

Također, osim eksperimentalne analize provest će se numerička analiza kojom će se pokušati obuhvatiti različiti parametri koji imaju utjecaj na otpornost zida na posmik. Usporedit će se rezultati tog numeričkog modela s eksperimentalnim rezultatima s ciljem poboljšanja numeričkoga modela za slučajeve koji nisu eksperimentalno ispitani.

## 5 Zaključak

TRM (mortovi armirani vlaknima) tehnika su pojačanja koja se razvila iz potrebe za poboljšanjem nedostataka kompozita FRP - a koji se posljednjih desetljeća istražuje i primjenjuje u području sanacija konstrukcija. U usporedbi s FRP - om, koji je kompatibilniji s betonom, TRM je bolji za pojačanje zida, što je naročito važno kod pojačanja građevina kulturne baštine. Imaju velik potencijal u povećanju nosivosti i duktilnosti, što potvrđuju prethodna istraživanja pojačanja zidanih, a i betonskih konstrukcija (koja u ovom radu nisu opisana). Općenito se može zaključiti da su pri normalnim temperaturama nešto manje učinkoviti od FRP - a u smislu nosivosti, ali ne u svim slučajevima.

Posebnu pozornost treba posvetiti složenom mehanizmu ponašanja kompozita i načinu njihova otkazivanja. Veza između tkanine i kompozita može se optimizirati pravilnim izborom morta i vlakana, kao i modificiranjem gustoće mreže vlakana. Ta veza zajedno s vezom između matrice i podloge utječe na način otkazivanja i povećanje kapaciteta nosivosti. Zbog toga je potrebno još ispitivanja kako bi se utvrdili i kvantificirali utjecaji različitih parametara na ponašanje kompozita.

Kod pojačavanja zidova, osobito onih koji nisu međuprozorski, pa ih nije moguće potpuno oviti, važno je osigurati puno kompozitno djelovanje kako bi vlakna bila što više iskorištena. Zbog toga treba proučiti načine sidrenja, optimalan broj i raspored sidara, vrstu i debljinu morta matrice, broj slojeva tkanine i različite konfiguracije tkanine.

Osim potrebnih eksperimentalnih ispitivanja, nužno je unaprjeđivati numeričke modele koji predviđaju kapacitet nosivosti i uporabivosti ovoga načina pojačanja neoštećenih i prethodno oštećenih elemenata.

Daljnjim eksperimentalnim i numeričkim analizama bit će moguće razviti pouzdane modele i jednostavnije proračune, koji bi se onda mogli uvesti u buduće smjernice i norme, te bi time bili dostupni inženjerima za primjenu u praksi.

## Literatura

- [1] Sorić, Z.: Povijest zidanih konstrukcija, Zidane konstrukcije, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, pp. 1 - 12, 2016.
- [2] Bruneau, M.: State - of - the - Art Report on Seismic Performance of Unreinforced Masonry Buildings, *Journal of Structural Engineering*, 120 (1994) 1, pp. 230 - 251
- [3] Kalali, A., Kabir, M. Z.: Experimental response of double - wythe masonry panels strengthened with glass fiber reinforced polymers subjected to diagonal compression tests, *Engineering Structures*, 39 (2012), pp. 24 - 37
- [4] D'Ambrisi, A., Focacci, F.: Flexural strengthening of RC beams with cement based composites, *Journal of Composites for Construction*, 15 (2011) 5, pp. 707–720
- [5] Elsanadedy, H.M., et al.: Flexural strengthening of RC beams using textile reinforced mortar – Experimental and numerical study, *Composite Structures*, 97 (2013), pp. 40 - 55
- [6] Awani, O., El Refai, A., El - Maaddawy, T.: Bond characteristics of carbon fabricreinforced cementitious matrix in double shear tests, *Construction and Building Materials*, 101 (2015), pp. 39 - 49
- [7] Ombres, L.: Analysis of the bond between Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM) strengthening systems and concrete, *Composites: Part B*, 69 (2015), pp. 418 - 426

- [8] Raoof, S.M., Koutas, L.N., Bournas, D.A.: Bond between textile - reinforced mortar (TRM) and concrete substrates: Experimental investigation, *Composites: Part B*, 98 (2016), pp. 350 - 361
- [9] Triantafillou, T.: Mechanical properties, *Textile Fibre Composites in Civil Engineering*, Elsevier Science & Technology, pp. 363 - 364, 2016.
- [10] ACI Committee 549.4R (2013), *Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric - Reinforced Cementitious Matrix Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures (ACI 549.4R - 13)*, ACI, Farmington Hills, 2013.
- [11] Rahman, A., Ueda, T.: In - Plane Shear Performance of Masonry Walls after Strengthening by Two Different FRPs, *Journal of Composites for Construction*, 20 (2016) 5
- [12] Papanicolaou, C.G., et al.: Textile - reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in - plane cyclic loading, *Materials and Structures*, 40 (2007) 10, pp. 1081 - 1097
- [13] Corradi, M., et al.: Shear strengthening of wall panels through jacketing with cement mortar reinforced by GFRP grids, *Composites: Part B*, 64 (2014), pp. 33 - 42
- [14] Yardim, Y.: Shear strengthening of unreinforced masonry wall with different fiber reinforced mortar jacketing, *Construction and Building Materials*, 102 (2016), pp. 149 - 154
- [15] Babaeidarabad, S., et al.: Shear strengthening of un - reinforced concrete masonry walls with fabric - reinforced - cementitious - matrix, *Construction and Building Materials*, 65 (2014), pp. 243 - 253
- [16] Babaeidarabad, S., et al.: URM walls Strengthened with Fabric - Reinforced Cementitious Matrix Composite Subjected to Diagonal Compression, *Journal of Composites for Construction*, 18 ( 2014) 2
- [17] Sagar, S.L., et al.: Diagonal Shear and Out - of - Plane Flexural Strength of Fabric - Reinforced Cementitious Matrix - Strengthened Masonry Wall, *Journal of Composites for Construction*, 21 (2017) 4
- [18] Gams, M., Tomažević, M., Berset T.: Seismic strengthening of brick masonry by composite coatings: an experimental study, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2017.