

Primljen / Received: 12.2.2014.

Ispravljen / Corrected: 19.5.2014.

Prihvaćen / Accepted: 20.6.2014.

Dostupno online / Available online: 1.8.2014.

Ispitivanje zidanih građevina s armiranom žbukom na vibracijskom stolu

Autori:



Doc.dr.sc. **Hakan Başaran**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Celal Bayar
Građevinski fakultet
hakan.basaran@cbu.edu.tr



Doc.dr.sc. **Ali Demir**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Celal Bayar
Građevinski fakultet
ali.demir@cbu.edu.tr



Izv.prof.dr.sc. **Muhiddin Bağcı**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Celal Bayar
Građevinski fakultet
muhiddin.bagci@cbu.edu.tr



Dr.sc. **Emre Ercan**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Ege
Građevinski fakultet
emre.ercan@ege.edu.tr

Prethodno priopćenje

Hakan Başaran, Ali Demir, Muhiddin Bağcı, Emre Ercan

Ispitivanje zidanih građevina s armiranom žbukom na vibracijskom stolu

U radu je prikazano određivanje seizmičkog ponašanja zidanih građevina sa žbukom od armiranog morta, pri čemu je naglasak stavljen na promjenu odziva konstrukcije kada se umjesto obične žbuke koristi žbuka armirana polipropilenom i čelikom. Na vibracijskom stolu analizirana je otpornost na seizmičko opterećenje jednokatnih, jednorasponskih zidanih građevina. U toku ispitivanja, određeni su prirodni periodi, spektri ubrzanja odziva i spektar ovisnosti zidanih građevina. Za ispitane su građevine izrađeni i modeli metodom konačnih elemenata te su rezultati proračuna uspoređeni s rezultatima ispitivanja.

Ključne riječi:

zidana građevina, armirana žbuka, vibracijski stol, dinamičko ponašanje

Preliminary note

Hakan Başaran, Ali Demir, Muhiddin Bağcı, Emre Ercan

Shaking table study of masonry buildings with reinforced plaster

The objective of this study is to determine seismic behaviour of masonry buildings with reinforced plaster mortar, with a particular focus on the modification of structural response due to application of the polypropylene and steel reinforced plaster, as compared to an ordinary type of plaster. The resistance of one-storey single-span masonry buildings subjected to seismic load on the shaking table is investigated in the study. Experimental results revealed natural periods, response acceleration spectrums, and spectrum interactions of masonry buildings. In addition, finite element models of test buildings were established, and their results were compared with those obtained during experimental study.

Key words:

masonry building, reinforced plaster, shaking table, dynamic behaviour

Vorherige Mitteilung

Hakan Başaran, Ali Demir, Muhiddin Bağcı, Emre Ercan

Prüfung von Mauerwerksbauten mit verstärktem Putzmörtel auf dem Rütteltisch

In dieser Arbeit wird das seismische Verhalten von Mauerwerksbauten mit verstärktem Putzmörtel erforscht, insbesondere der Einfluss durch Polypropylen oder Stahl verstärkten Mörtels im Vergleich zu herkömmlichem Putz. Die Widerstandsfähigkeit einstöckiger, einspanniger Mauerwerksbauten gegen seismische Einwirkungen ist auf dem Rütteltisch untersucht. Im Verlauf der Prüfungen sind die Eigenschwingungsperioden, die Antwortspektren der Beschleunigung und deren Bezug zu Antwortspektren der Verschiebung ermittelt worden. Finite-Elemente-Modelle der Bauwerke sind ebenfalls erstellt, um die Resultate der Analysen mit den experimentellen Werten zu vergleichen.

Schlüsselwörter:

Mauerwerksbauten, verstärkter Putzmörtel, Rütteltisch, dynamisches Verhalten

1. Uvod

Zidane konstrukcije često se koriste diljem svijeta zbog povoljne cijene i jednostavnog izvođenja. Zidane građevine zastupljene su otprilike sa 50 % u ukupnom fondu svih građevina u Turskoj. Te zidane građevine, a naročito one izvedene u seoskim područjima, izgrađene su uz minimalnu pomoć građevinske struke, a u nekim slučajevima je takva pomoć u potpunosti izostala. Stoga se može reći da takve gradnje ne udovoljavaju zahtjevima koji su zadani u turskom Zakonu o potresima (2007.). Zapravo, potresi koji su do sada zadesili područje Turske zorno pokazuju da se takve građevine ne mogu smatrati sigurnima u slučaju potresa (slika 1).



Slika 1. Štete na zidanim građevinama

Kako je već odavno poznata osjetljivost zidanih konstrukcija na seizmičko opterećenje, veliki se naponi ulažu u izradu uputa za građenje seizmički otpornih kuća i ostalih građevina. Unatoč spomenutim naporima, svake godine bilježimo velik broj žrtava potresa upravo zbog rušenja zidanih građevina [1]. Kod zidanih građevina, vanjski i unutarnji zidovi preuzimaju opterećenja koja djeluju na sustav, nakon čega se opterećenje prenosi na podlogu. Stoga možemo reći da su zidovi izuzetno značajne komponente zidanih građevina. Oštećenja na zidovima slabe nosivi sustav takvih građevina. Materijali koji se upotrebljavaju za građenje zidanih građevina, kao što su kamen i opeka, međusobno su povezani mortom kojem se dodaje mineralno vezivo. Zidovi izvedeni na takav način otporni su na vertikalna opterećenja, ali ne i na horizontalna djelovanja. Da bi se prevladao taj nedostatak, znanstvenici su izradili određen broj studija, te su u okviru toga razvijene i metode za ojačanje zidanih građevina od nearmiranog zida. Te se metode mogu svrstati u dvije kategorije. Metode koje pripadaju prvoj skupini usmjerene su na povećanje prionjivosti na spoju između opeke i morta. Da bi se to postiglo, mješavini

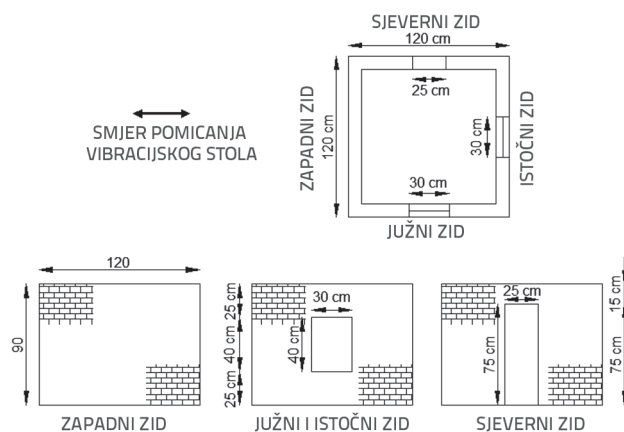
morta dodaju se odgovarajući aditivi. Tako je prema navodima iz literature [2-16] povećana čvrstoća, krutost i duktilnost zidanih građevina. S druge strane, metode koje ulaze u drugu grupu baziraju se na pojačanju površine opeke pomoću materijala kao što su FRP (polimer armiran vlaknima, engl. *Fiber Reinforced Polymer*), žica, vlaknasti materijali, čelična mreža, drvene i čelične trake te rabljene automobilske gume [17-22]. Opsežan pregled tih materijala daje se u radu Luzundia i dr. [23].

U ovom se radu istražuje utjecaj žbuke koja se koristi u zidanim građevinama. Uzorci mortova za zidove zidanih građevina pojačani su čeličnim i polipropilenskim vlaknima. Na vibracijskom je stolu ispitano ponašanje modela jednokatnih jednorasponkih zidanih građevina, umanjениh na jednu trećinu od naravne veličine, za slučaj seizmičkog opterećenja. Ustanovljeno je da uzorci žbuke s gore spomenutim dodacima iskazuju određene promjene seizmičkog ponašanja.

2. Materijali i metode ispitivanja

2.1. Opis uzoraka

Izrađene su tri vrste modela zidanih konstrukcija, umanjениh na jednu trećinu od naravne veličine, pri čemu je mortu za žbuku dodavana mješavina cementa i vapna te polipropilenska i čelična vlakna. Geometrija zidane konstrukcije postavljene na vibracijski stol prikazana je na slici 2. Dimenzije zidane građevine umanjene su tako da odgovaraju kapacitetu i snazi vibracijskog stola. Površina zidane konstrukcije iznosi 120 cm x 120 cm, visina je 90 cm, a debljina ploče iznosi 5 cm. Zid ima nadvoj veličine 10 cm x 10 cm. Za izvođenje zidova konstrukcije korištene su dvostruko obložene miješane opeke, debljine 5 cm.



Slika 2. Geometrija zidane konstrukcije korištene u ispitivanju

Tri tipa zidanih konstrukcija izvedena su za potrebe ispitivanja (tablica 1.). Uzorak pripremljen za ispitivanje prikazan je na slici 3.

Tablica 1. Tipovi zidanih konstrukcija

Vrsta žbuke	Volumni udio [%]	Uzorak
Normalna	-	N
S polipropilenskim vlaknima	2 %	P
S čeličnim vlaknima	3 %	S



Slika 3. Uzorci zidane konstrukcije

Za stvarno dinamičko ispitivanje modela u umanjenom mjerilu trebaju se zadovoljiti zahtjevi iz Cauchy-Froudeovog zakona. Cauchyjev zakon je pogodan za pojavu u kojoj se povratne sile izvode iz konstitutivnog odnosa naprezanja i deformacija, dok se Froudeov zakon primjenjuje u slučajevima kada su značajne gravitacijske sile. Stoga se za realno modeliranje linearnog dinamičkog odziva trebaju uzeti u obzir oba zakona sličnosti, Sullivan i dr. [24]. Istovremeno poštivanje Cauchyjeve i Froudeove sličnosti dovodi do faktora mjerila koji su prikazani u tablici 2.

Tablica 2. Faktori mjerila za prototip (p) i model (m), prilagođeno iz rada Sullivan i dr. (2004.)

Parametar	Simbol	Faktor mjerila
Duljina	L	$L_p/L_m = \lambda$
Modul elastičnosti	E	$E_p/E_m = 1$
Specifična masa	ρ	$\rho_p/\rho_m = \lambda^{-1}$
Površina	A	λ^2
Obujam	V	λ^3
Masa	m	λ^2
Pomak	d	λ
Brzina	v	$\lambda^{1/2}$
Ubrzanje	a	1
Težina	w	λ^2
Sila	F	λ^2
Vrijeme	t	$\lambda^{1/2}$
Frekvencija	f	$\lambda^{-1/2}$

Mjerilo ubrzanja je neutralni element, a jedinica vremena je kvadratni korijen od faktora mjerila geometrijskih veličina λ . To znači da je u modelu jedinica vremena umanjena pomoću faktora $1/\sqrt{\lambda}$. Stoga akcelerogram koji se primjenjuje na konstrukciju traje kraće, ima višu frekvenciju i ista ubrzanja. Još jedna značajna posljedica zakona sličnosti je i povećanje mase modela u odnosu referentni prototip.

2.2. Parametri materijala za analitički model

Zidana konstrukcija je složena struktura koja se sastoji od nekoliko sastavnih materijala. Mehaničke karakteristike zida razlikuju se od mehaničkih svojstava pojedinačnih komponenata. Zbog toga se mehaničke karakteristike zida trebaju odrediti u okviru eksperimentalnih ispitivanja. Svojstva materijala od kojih se sastoji zida dobivena su eksperimentalnim putem, a njihov prikaz nalazimo u radu Basaran i dr. [25]. U toj se studiji određuje ponašanje zidanih zidova sa žbukom armiranom vlaknima, kada su ti zidovi podvrgnuti utjecaju dijagonalnih vlačnih sila. Pune miješane opeke dimenzija $100 \times 50 \times 30$ mm korištene su za izradu zidanih zidova veličine $400 \times 400 \times 100$ mm. Vertikalno opterećenje u iznosu od 0,1 mm/s nanoseno je na uzorke pomoću hidrauličkog klipa od 250 kN. Na uzorke je nanoseno opterećenje s 450 čeličnih kapica. Opterećenje je mjereno pomoću čelije za mjerenje opterećenja koja je postavljena između hidrauličkog klipa i čelične kapice. Pomak uzoraka mjereno je pomoću pet LVDT osjetila (linearno promjenjivih diferencijalnih transformatora) koji su postavljeni horizontalno i vertikalno na hidraulički klip, ili na svakoj strani žbuke. Podaci su prebacivani u računalo pomoću osmkanalnog statičkog sustava za prijenos podataka. Vrijednosti pomaka određene su definiranjem prosjeka horizontalnih očitavanja LVDT-a i vertikalnih vrijednosti LVDT-a. Otpornost na klizanje dobivena je usvajanjem vrijednosti Cos45 za opterećenje, te dijeljenjem dotične vrijednosti s površinom. Tablica 3. prikazuje mehanička svojstva uzoraka zidanih zidova. Opeka korištena u pripremi zidane građevine odlikuje se tlačnom čvrstoćom od 2,65 MPa, dok joj modul elastičnosti iznosi 125 MPa, a vlačna čvrstoća 0,5 MPa.

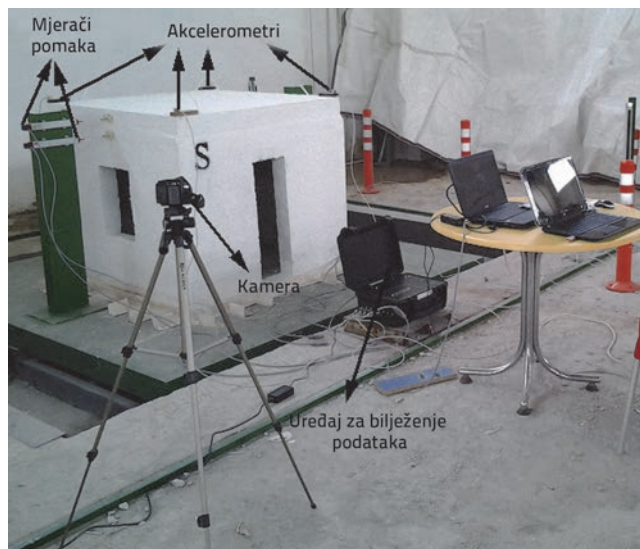
Tablica 3. Mehanička svojstva zidanih zidova

Vrsta uzorka	Tlačna čvrstoća [MPa]	Vlačna čvrstoća [MPa]	Modul elastičnosti [MPa]
N	2,51	0,23	149
P	4,26	0,43	223
S	3,91	0,47	270

2.3. Prikaz eksperimenta

Način postavljanja uzorka prikazan je na slici 4. U ispitivanju pomoću vibracijskog stola korišten je stol dimenzija 250 cm x 250 cm te servomotor s pokretnim mehanizmom kojim

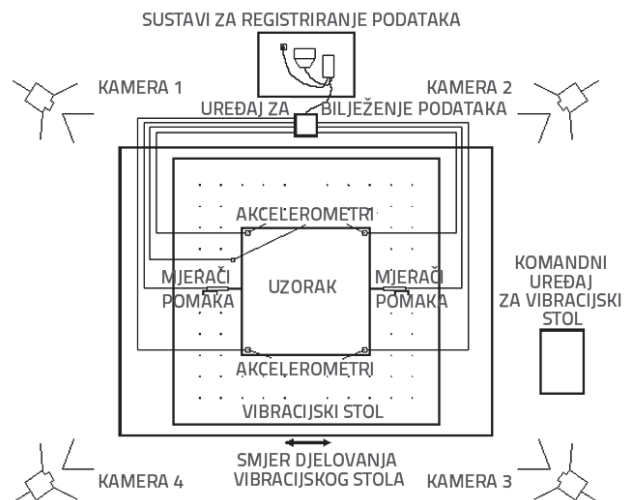
se postiže horizontalna sila od 100 kN i pomak od 100 cm. Za mjerenje su korišteni jedan akcelerometar (dvoosni, kapaciteta ± 4 g) i jedan dvjestomilimetarski potenciometar. Ti su senzori spojeni na 32-kanalni i 24-bitni dinamički sustav za prijenos podataka u realnom vremenu.



Slika 4. Prikaz opreme i uzorka za ispitivanje na vibracijskom stolu

Mjerači pomaka postavljeni su na raznim razinama na istočnom i zapadnom zidu, kao što je to prikazano na slici 4. Dvoosni akcelerometri postavljeni su na raznim visinama zida i na vrhu ploče, a jedan je postavljen i na vibracijski stol. Pokus je praćen pomoću četiri kamere. Shematski prikaz pokusa prikazan je na slici 5.

Simulacije jakih potresa na vibracijskom stolu preuzete su s internetskog portala Istraživačkog centra Peer [26]. Odabrani su snažni potresi koji su uzrokovali gubitak života i imovine u Turskoj i diljem svijeta. Svi zapisi uključuju maksimalno ubrzanje tla od preko 0,3 g. Parametri potresa prikazani su u tablici 3.



Slika 5. Shematski prikaz pokusa

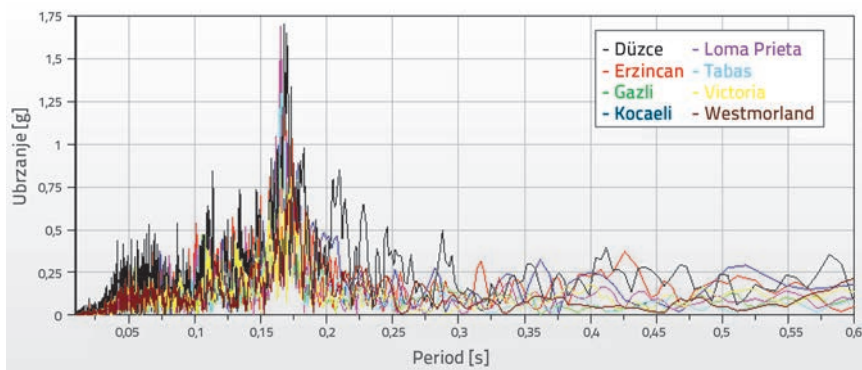
Da bi se uzeo u obzir uvjet vremenske sličnosti, vremenski zapis originalnog akcelerograma umanjen je faktorom $1/\sqrt{3}$.

3. Identifikacija sustava

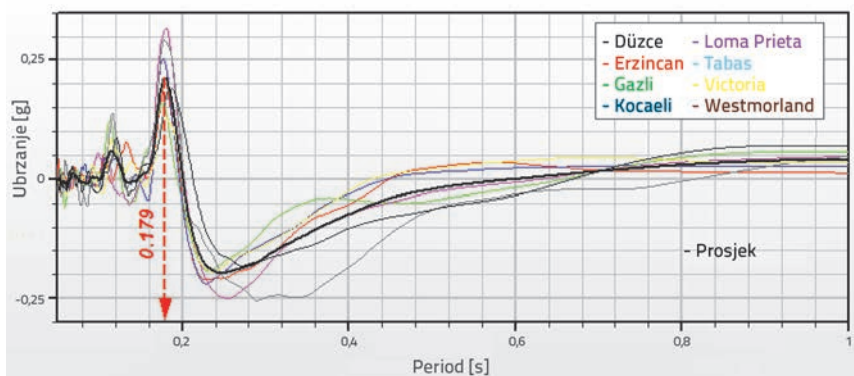
Vrijednosti preuzete s akcelerometara obrađene su pomoću programa DIAdem [27]. Prosječne vrijednosti ubrzanja dobivene u kutovima ploče korištene su u brznoj Fourierovoj transformaciji (FFT). Dijagrami Fourierove transformacije izrađeni su zasebno za svaki uzorak (N, P, S), a dijagram za uzorak S prikazan je na slici 6. Dijagram FFT filtriran je primjenom pojasnopropusnog filtra. Dijagrami ovisnosti ubrzanja o periodu izvedeni su iz prosječnih vrijednosti dobivene primjenom pojasnopropusnog filtra. Dijagram spektra na kojem je korišten pojasnopropusni filter prikazan je na slici 7. za uzorak S. Vršnim vrijednostima iskazanim na tom dijagramu odgovara prirodni period uzorka S. Vrijednosti perioda dobivene primjenom pojasnopropusnog filtra za uzorke N, P i S prikazane su na slici 8.

Tablica 3. Potresi na osnovi kojih su rađeni pokusi pomoću vibracijskog stola

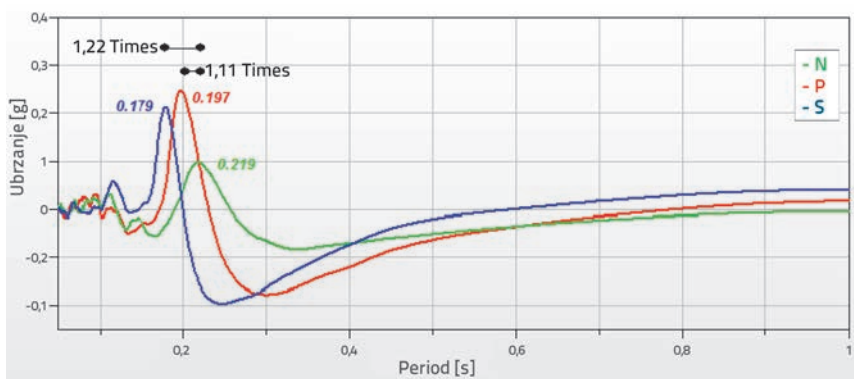
Potres	Država	Maksimalno ubrzanje [g]	Maksimalna brzina [cm/s]	Maksimalni pomak [cm]
Düzce	Turska	0,535	83,5	51,59
Erzincan	Turska	0,515	83,9	27,35
Gazlı	Rusija	1,264	54,2	30,15
Kocaeli	Turska	0,376	79,5	70,52
Loma Prieta	SAD	0,563	94,8	41,18
Tabas	Iran	0,836	97,8	36,92
Victoria	Meksiko	0,621	31,6	13,2
Westmorland	SAD	0,496	34,4	10,89



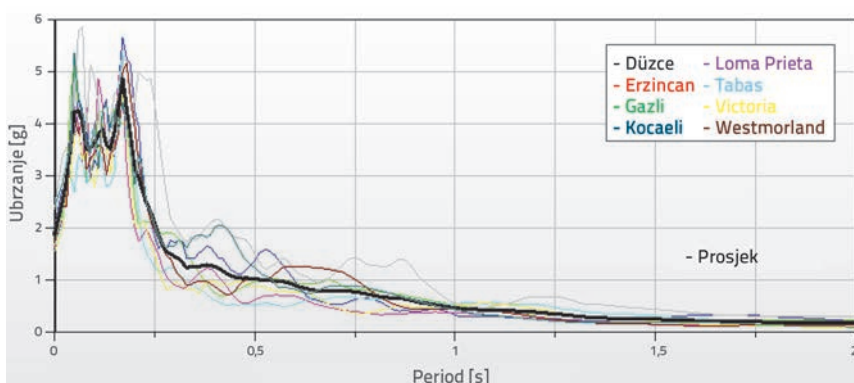
Slika 6. Dijagram Fourierove transformacije za uzorak S



Slika 7. Vrijednosti filtrirane pojasnopropusnim filtrom za uzorak S



Slika 8. Vrijednosti prirodnih perioda uzoraka filtriranih pojasnopropusnim filtrom



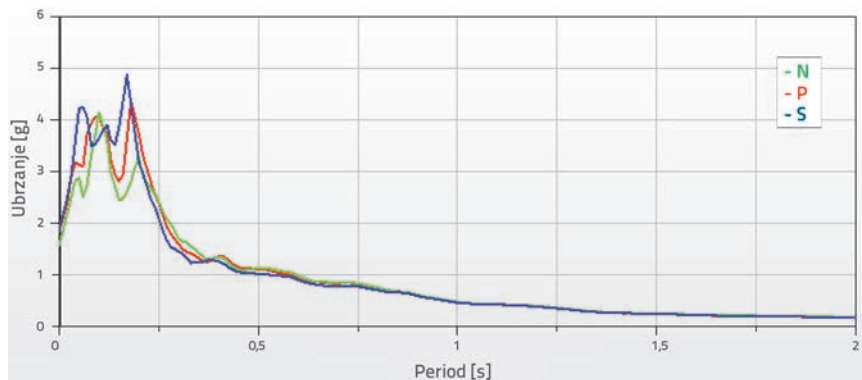
Slika 9. Spektar ubrzanja odziva za uzorak S

Periodi uzoraka P i S niže su od perioda referentnog uzorka N za 11 tj. 22 posto. Prosječni spektar ubrzanja odziva (crna linija) za uzorak S prikazan je na slici 9., zajedno s prikazom ubrzanja odziva (obojena linija) za svaki potres. Prikazi prosječnog ubrzanja odziva za sve su uzorke prikazani na slici 10.

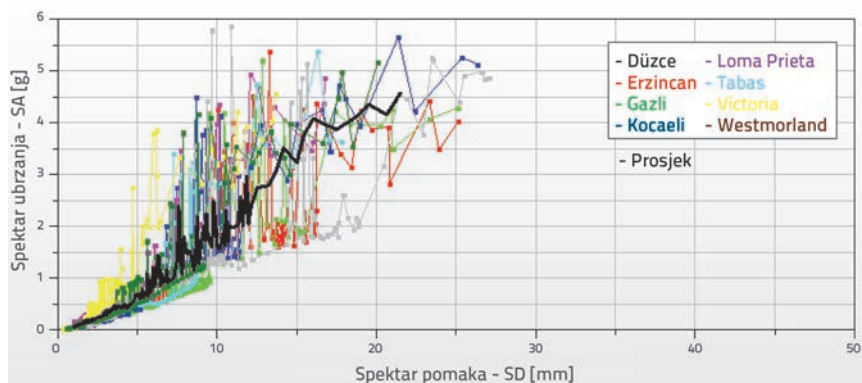
Najviša vrijednost ubrzanja dobivena je za uzorak S, nakon čega slijede vrijednosti za uzorke P i N. Položaji vršnih vrijednosti perioda mogu upućivati na krutost konstrukcije. Uzorak S ima najveću krutost, a nakon njega slijede uzorci P i N. Prva vrijednost vršnog ubrzanja uočena je nakon 0,06 sekundi za uzorak S, nakon 0,09 sekundi za P, te nakon 0,1 sekunde za N. Isto tako, druga vrijednost vršnog ubrzanja registrirana je nakon 0,17 sekundi za uzorak S, nakon 0,18 sekundi za uzorak P, te nakon 0,2 sekunde za uzorak N.

Prikazi ovisnosti spektara između uzoraka određeni su da bi se objasnio odnos između ubrzanja i pomaka uzorka, te da bi se obavile usporedbe između pojačanih uzoraka. Ti prikazi su izrađeni na sljedeći način:

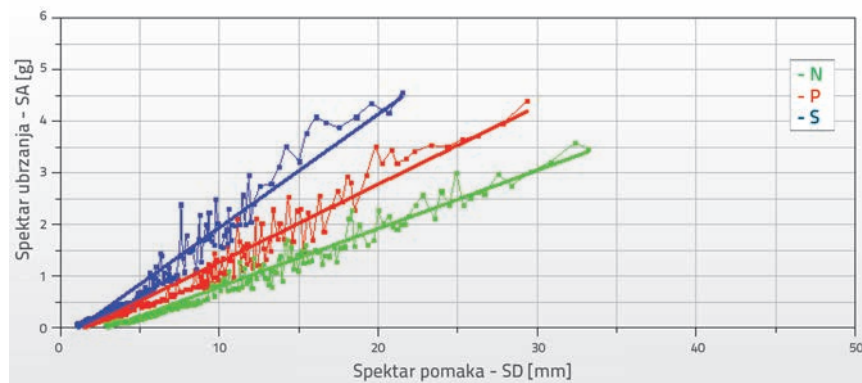
- Spektar ubrzanja dobiven je kao funkcija perioda pomoću vrijednosti ubrzanja dobivenih ispitivanjem.
- Spektar pomaka dobiven je kao funkcija perioda pomoću vrijednosti pomaka dobivenih ispitivanjem.
- Definirane su i rangirane vrijednosti spektara pomaka i ubrzanja koje odgovaraju segmentima jednakog perioda.
- Dijagrami ovisnosti spektara izrađeni su tako da za svaki potres vrijednosti spektara pomaka budu na horizontalnoj osi, a vrijednosti spektara ubrzanja na vertikalnoj osi.
- Prosječne vrijednosti dijagrama za osam potresa, tj. dijagrami filtrirane linearne ovisnosti spektara prikazani su na slici 11. za uzorak S (crna linija).
- Linija je filtrirana na prosječne vrijednosti u prikazu ovisnosti spektara (crna linija). Tangente linija pokazuju krutost konstrukcija (slika 12.).



Slika 10. Prosječni spektar odziva ubrzanja za sve uzorke



Slika 11. Prikaz ovisnosti spektara za uzorak S



Slika 12. Prikaz prosječnih ovisnosti spektara za sve uzorke

Dijagrami prosječne ovisnosti spektara prikazani su na slici 12. za sve uzorke. Kao što se iz te slike vidi, vrijednosti krutosti mogu se prikazati od najniže do najviše, za čelikom i polipropilenom ojačani mort za žbuku i za obični mort za žbuku.

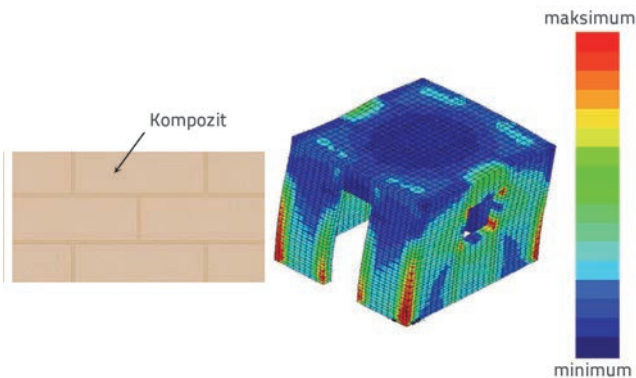
4. Model konačnih elemenata i numerička analiza

Program za proračun metodom konačnih elemenata SAP2000 korišten je za usporedbu rezultata ispitivanja s numeričkim analizama. Niti jedan od uzoraka na koje je nanoseno opterećenje nije bio oštećen tijekom ispitivanja. Stoga je

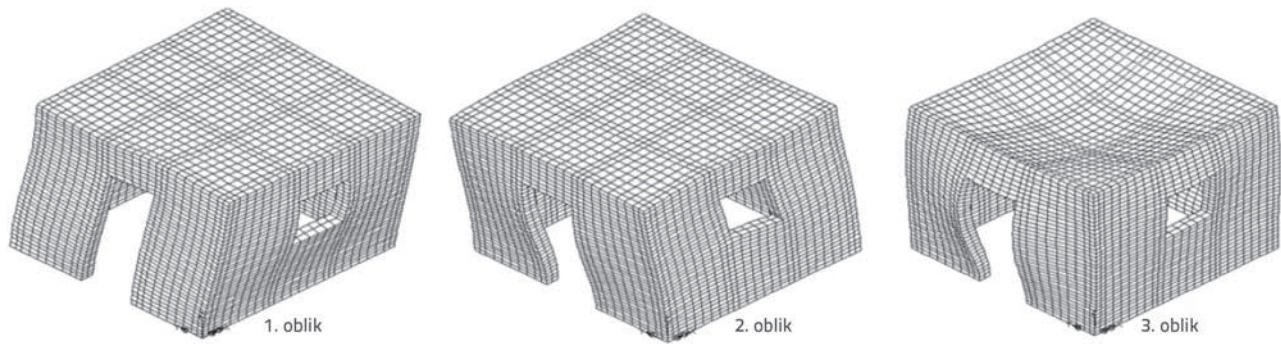
metoda linearne analize odabrana kao sredstvo za definiranje numeričkog rješenja analiziranih konstrukcija. Dijagrami ovisnosti spektara generirani su pomoću vrijednosti ubrzanja i pomaka koje su dobivene iz proračuna primjenom vremenskog zapisa. Programom za proračun metodom konačnih elemenata definirane su i numeričke frekvencije.

4.1. Modeliranje konstrukcije

Najvažnijim korakom u analizi konačnih elemenata za zidane građevine smatra se modeliranje nosivih elemenata zidova. U nelinearnoj analizi mikromodela zidanih građevina broj je nepoznanica izuzetno velik, a to bitno povećava vrijeme potrebno za dobivanje rješenja za matrice krutosti velikih sustava. Neki autori za rješenje ovog problema predlažu primjenu metode homogenizacije [28]. Ta metoda omogućuje definiranje svojstava pojedinačnih materijala zidnog elementa sastavljenog od opeke, morta i žbuke. Mehanička svojstva modela su svojstva kompozitnog materijala koji se homogenizira [29-31]. U našem su ispitivanju mehanička svojstva složenog zidnog elementa dobivena primjenom vrijednosti koje su prikazane u tablici 3., tj. konverzijom tih vrijednosti pomoću faktora mjerila (pod pretpostavkom da je $E_p/E_m = 1$, tj. da materijal i prototip imaju ista svojstva). Za prikaz zidova odabrani su plošni elementi. Model konačnih elemenata za uzorke prikazan je na slici 13.



Slika 13. 3D model konačnih elemenata za uzorke, izrađen pomoću programa SAP2000

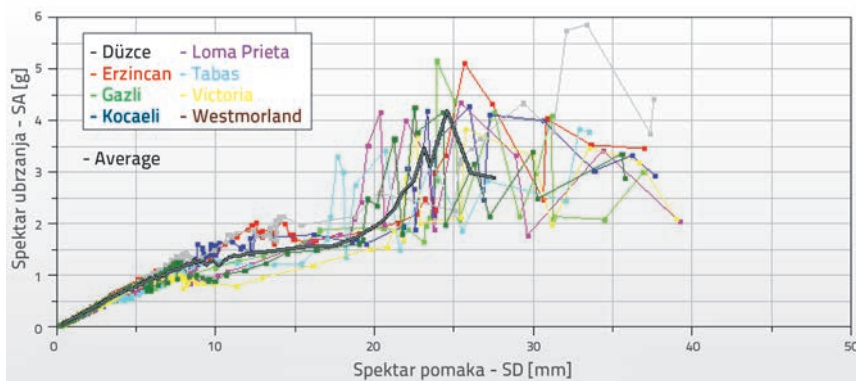


Slika 14. Prva tri modalna oblika

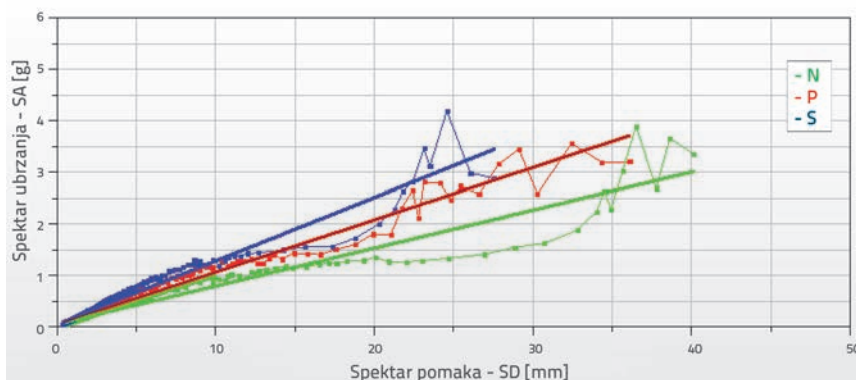
Zadani rubni uvjeti odgovarali su onima koji su bili definirani za eksperiment. U analizi su ubrzanja dobivena na vibracijskom stolu preuzeta kao funkcija opterećenja. Kao što se može vidjeti iz tablice 4, eksperimentalni su rezultati podudarni s numeričkim rezultatima. Prva tri oblika dobivena modalnom analizom prikazana su na slici 14. Prvi oblik označava smjer u kojem je krutost niska.

Tablica 4. Prirodni periodi definirani pomoću programa SAP2000

Uzorak	Eksperiment	Numerička analiza
N	0,219	0,221
P	0,197	0,209
S	0,179	0,192



Slika 15. Dijagrami prosječnih ovisnosti spektara izrađeni za uzorak (SAP 2000)

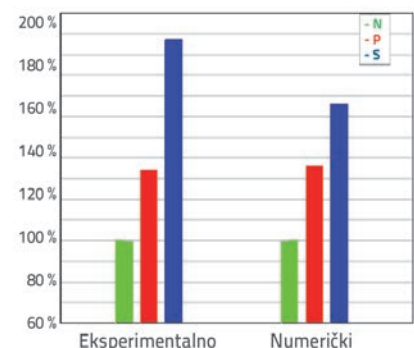


Slika 16. Dijagrami prosječnih ovisnosti spektara izrađeni pomoću programa SAP2000

4.2. Određivanje ovisnosti spektara pomoću računalne analize

Najprije su za konstrukciju definirane vrijednosti ubrzanja i pomaka pomoću računalnog programa SAP2000. Zatim su izrađeni dijagrami ovisnosti spektara.

Kao vrijednosti ubrzanja korištena su prosječna ubrzanja točaka u četiri kuta na razini poda. Prosjeci točaka koje odgovaraju mjestima na kojima su postavljeni mjerači pomaka korišteni su kao vrijednosti pomaka. Dijagrami ovisnosti spektara dobiveni pomoću programa SAP2000 prikazani su na slici 15. za uzorak S. Dijagrami prosječnih ovisnosti spektara za uzorke, dobiveni pomoću programa SAP2000, prikazani su na slici 16. Omjeri ovisnosti spektara dobiveni eksperimentalno i numerički prikazani su na slici 17. Iako je za uzorke N i P ostvarena dobra podudarnost između eksperimentalnih i numeričkih rezultata, kod uzorka S uočen je mali raskorak između numeričkih i eksperimentalnih vrijednosti.



Slika 17. Odnosi ovisnosti spektara

5. Zaključak

Ovo je istraživanje provedeno da bi se odredilo seizmičko ponašanje zidanih konstrukcija sa žbukom od armiranog i običnog morta. Eksperimentalni konstrukcijski sustav postavljen je na vibracijski stol. Tri vrste modela zidanih konstrukcija u mjerilu 1 : 3 ožbukane su normalnom žbukom, te žbukom armiranom polipropilenom i čelikom, nakon čega je na njih nanoseno jako potresno opterećenje. Seizmičko ponašanje zidanih konstrukcija pojačanih polipropilenom i čelikom uspoređeno je s ponašanjem konvencionalno građenih zidanih konstrukcija.

Prirodni periodi su određeni pomoću Fourierove transformacije, spektara odziva ubrzanja te ovisnosti spektara. Ustanovljena je poprilična sličnost između perioda zidanih konstrukcija

definiranih metodom filtriranja, dijagramima spektra te dijagramima prosječne ovisnosti spektara. Periodi uzoraka P i S niži su od perioda referentog uzorka N za 11 tj. 22 posto. Uzorci s nižim prirodnim periodom su krući. Pomaci su također niži kod krućih uzoraka. Iako je za uzorke N i P ostvarena dobra podudarnost između eksperimentalnih i numeričkih rezultata baziranih na programu SAP2000, kod uzorka S ipak je uočen mali raskorak između numeričkih i eksperimentalnih vrijednosti.

Zahvale

Ovo je istraživanje provedeno u sklopu projekta br. 2012-47, a uz podršku Skupine za koordinaciju znanstvenih istraživanja Sveučilišta Celal Bayar. Autori ovime izražavaju svoju zahvalnost na iskazanoj podršci.

REFERENCES

- [1] Korkmaz, H.H., Korkmaz S.Z., Donduren, M.S.: Earthquake hazard and damage on traditional rural structures in Turkey, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, pp. 605-622, 2010.
- [2] Döndüren, M.S.: The Effect of wall and cast mortar with improved binding property on the mechanical behaviour of out of plane loaded brick walls, Selcuk University, Graduate. School of Natural and Applied Sci. PhD Thesis, Konya, 2008.
- [3] Valluzzi, M.R., Binda, L., Modena, C.: Mechanical Behaviour of Historic Masonry Structures Strengthened by Bed Joints Structural Repointing, *Construction and Building Materials*, 19, pp. 63-73,
- [4] Luciano, R., Sacco, E.: A Damage Model for Masonry Structures, *European Journal of Mechanics, A/Solids*, 17-2, pp. 285-303, 1998.
- [5] Crisafulli, F.: Seismic Behaviour of Reinforced Structures with Reinforced Masonry Infills. Phd thesis, University of Canterbury, New Zeland, 1997.
- [6] Laurence, P., Rots, J.: Multisurface interface model for analysis of masonry structures. *Journal of Engineering Mechanics*, 123-7, pp. 660-668, 1997.
- [7] Lopez, J., Oller, S., Onate, E., Lubliner, J.: Homogenous constitution model for masonry. *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, 41, pp. 1651-1671, 1999.
- [8] Bakir, P.: Instrumentation and system identification of a typical school building in Istanbul, *Structural Engineering and Mechanics*, 43-2, pp.179-197, 2012.
- [9] Bayraktar, A., Coşkun, N., Yalçın, A.: Performance of Masonry Stone Buildings during the March 25 and 28, 2004 Aşkale (Erzurum) Earthquakes in Turkey, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, pp. 21-6, pp. 432-440, 2007.
- [10] Bayraktar, A., Coşkun, N., Yalçın, A.: Damages of Masonry Buildings during the July 2, 2004 Doğubayazıt (Ağrı) Earthquake in Turkey, *Journal of Engineering Failure Analysis*, 14, pp. 147-157, 2007.
- [11] Corradi, M., Borri, A., Vignoli, A.: Experimental study on the determination of strength of masonry walls, *Construction and Building Materials*, 17-5, pp. 325-337, 2003.
- [12] Guinea, G. V., Hussein, G., Elices, M., Planas, J.: Micromechanical modeling of brick-masonry fracture, *Cement and Concrete Research*, 30-5, pp. 731-737, 2000.
- [13] Laurence, P., Rots, J.: Multi surface interface model for analysis of masonry structures, *Journal of Engineering Mechanical*, 123-7, pp. 660-668, 1997.
- [14] Lee, J. S., Pande, G. N., Middleton, J., Kralj, B.: Numerical modeling of brick masonry panels subject to lateral loadings, *Computers and Structures*, 61-4, pp. 735-745, 1996.
- [15] Lopez, J., Oller, S., Onate, E., Lubliner, J.: A homogeneous constitutive model for masonry, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 46-10, pp. 1651-1671, 1999.
- [16] Marfia, S., Sacco, E.: Modeling of reinforced masonry elements, *International Journal of Solids and Structures*, 38-24-25, pp. 4177-4198, 2001.
- [17] Ehsani, M. R., Saadatmanesh, H., Al-Saidy, A.: Shear behavior of URM retrofitted with FRP overlays, *Journal of Composites for Construction*, 1-1, pp. 17-25, 1997.
- [18] Kolsch, H.: Carbon fiber cement matrix (CFCM) overlay system for masonry strengthening, *Journal of Composites for Construction*, 2-2, pp.105-109, 1998.
- [19] Kreaikas, T.D., Triantafyllou, T.C.: Computer-aided strengthening of masonry walls using fibre-reinforced polymer strips, *Materials and Structures*, 38-275, pp. 93-98, 2005.
- [20] Stratford, T., Pascale, G., Manfroni, O., Bonfiglioli, B.: Shear strengthening masonry panels with sheet glass-fiber reinforced polymer, *Journal of Composites for Construction*, 8-5, pp. 434-443, 2004.
- [21] Valluzzi, M. R., Binda, L., Modena, C.: Mechanical behaviour of historic masonry structures strengthened by bed joints structural repointing, *Construction and Building Materials*, 19-1, pp. 63-73, 2005.

- [22] Kamanlı, M., Donduren, M. S., Cogurcu, M. T., Altın, M.: Experimental study of some masonry-wall coursework material types under horizontal loads and their comparison, *Materials and Technology*, 45-1, pp. 3-11, 2011.
- [23] Lizundia, B., Holmes, W.T., Longstreth, M., Kren, A., Abrams, D. P.: Development of Procedures to Enhance the Performance of Rehabilitated URM Buildings, NIST GCR 97-724-1, 1997.
- [24] Sullivan, T., Pinho, P., Pavese, A.: An introduction to structural testing techniques in earthquake engineering. Educational Report IUSS Press (ROSE 2004/01). Pavia, Italy, 2004.
- [25] Başaran, H., Demir, A., Bağci, M.: The Behavior of Masonry Walls with Reinforced Plaster Mortar, *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 436946, 2013. (doi.org/10.1155/2013/436946)
- [26] The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), University of California, Berkeley, U.S.A.
- [27] DIAdem, National Instruments Ireland Resources Limited.
- [28] Lourenço, P. B.: Computational Strategies for Masonry Structures. Delft, PhD Thesis, Netherland, 1996.
- [29] Cecchi, A., Milani, G., Tralli, A.: Validation of Analytical Multiparameter Homogenization Models for Outof plane Loaded Masonry Walls by Means of the Finite Element Method., *Journal of Engineering Mechanics*, pp. 185-198, 2005.
- [30] Sab, K.: Yield Design of Thin Periodic Plates by a Homogenization Technique an Application to Masonry Walls, *Comptes Rendus Mécanique*, 331-9, pp. 641-646, 2003.
- [31] Anthoine, A.: Homogenization of Periodic Masonry: Plane Stress, Generalized Plane Strain or 3D Modeling, *Communications in Numerical Methods in Engineering*, 13, pp. 319-326, 1997.