

Primljen / Received: 4.5.2016.
Ispravljen / Corrected: 14.3.2017.
Prihvaćen / Accepted: 5.5.2017.

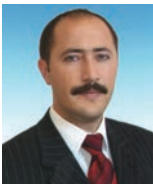
Dostupno online / Available online: 10.4.2018.

Ponašanje prostornih ab okvira postavljenih pod raznim kutovima na potresni stol

Autori:



Doc.dr.sc. **Fatih Bahadır**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Necmettin Erbakan
Visoka škola za građevinske tehnologije
Konya,Turska
fbahadir@konya.edu.tr



Doc.dr.sc. **Fatih Süleyman Balık**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Necmettin Erbakan
Visoka škola za građevinske tehnologije
Konya,Turska
fsbalik@konya.edu.tr

Prethodno priopćenje

Fatih Bahadır, Fatih Süleyman Balık

Ponašanje prostornih ab okvira postavljenih pod raznim kutovima na potresni stol

U radu se analizira ponašanje ab okvira postavljenih pod raznim kutovima (dvoosno) na potresni stol. Ispitivanja su provedena na četiri dvokatna jednokrnlina trodimenzionalna ab okvira izvedenih u mjerilu 1:6, a s ciljem analiziranja nedostataka koji se često uočavaju na stambenim građevinama. Svi uzorci imaju obodne zidove i jednake prozorske otvore. Na postavljenim uzorcima provedeno je sinusoidno dinamičko ispitivanje. Rezultati dobiveni u toku eksperimenta pokazali su da se kod svih uzoraka popuštanje razlikuje u smjerovima x i y.

Ključne riječi:

armiranobetonski ovir, potresni stol, dinamičko ispitivanje, oblik popuštanja

Scientific Paper – Preliminary report

Fatih Bahadır, Fatih Süleyman Balık

Behaviour of 3D RC frames placed at different angles on shaking table

Behaviour of RC frames placed at different angles (biaxially) on the shaking table is analysed in the paper. The testing was conducted on four two-storey one-bay 3D RC frames scaled down to 1:6 of the original size, the aim being to analyse defects commonly observed on residential buildings. All specimens had infill walls and similar window openings. The specimens were subjected to sinusoidal dynamic testing. Test results show that different failure modes occurred at all specimens in the X and Y directions.

Key words:

reinforced-concrete frame, shaking table, dynamic testing, failure mode

Vorherige Mitteilung

Fatih Bahadır, Fatih Süleyman Balık

Verhalten von räumlichen Stahlbetonrahmen, die unter verschiedenen Winkeln auf den Erdbebentisch aufgestellt werden

In der Abhandlung wird das Verhalten von Stahlbetonrahmen analysiert, die unter verschiedenen Winkeln (zweiachsig) auf den Erdbebentisch aufgestellt werden. Die Untersuchungen wurden auf vier zweistöckigen einflügligen dreidimensionalen Stahlbetonrahmen durchgeführt, die in einem Maßstab von 1:6 ausgeführt sind, mit dem Ziel die Mängel zu analysieren, die häufig bei Wohngebäuden bemerkt werden. Alle Modelle haben Umfassungswände und gleiche Fensteröffnungen. Bei den aufgestellten Modellen wurde eine sinusförmige dynamische Untersuchung durchgeführt. Die während des Experiments erhaltenen Ergebnisse zeigten, dass sich bei allen Modellen die Abspannung in den Richtungen x und y unterscheidet.

Schlüsselwörter:

Stahlbetonrahmen, Erdbebentisch, dynamische Untersuchung, Form der Abspannung

1. Uvod

Potresi su prirodne pojave koje sprečavaju provedbu raznih razvojnih ciljeva. Potres nas može zadesiti danas, za tjedan dana ili za nekoliko mjeseci, ili pak za nekoliko godina ili desetljeća [1]. Laboratorijska ispitivanja kojima se određuje seizmička otpornost građevina, te simuliraju potresna opterećenja, obično mogu biti poludinamička ili statička ispitivanja. Detalji poput nelinearnog ponašanja konstrukcije na koju djeluje ciklično opterećenje, otpornost elemenata na plastične rotacije, posmična čvrstoća spojeva između stupova i greda, utjecaj $P - \Delta$, te koeficijent prigušenja, značajni su za analizu stanja armiranobetonske konstrukcije. Međutim, kako su seizmička opterećenja dinamičkog karaktera, statičkim se ispitivanjima ne može odrediti stvarno ponašanje analiziranih konstrukcija. Osim toga, kako se statička ispitivanja provode postupno tj. u koracima, opterećenja koja se nanose na konstrukciju ne mogu precizno odražavati utjecaj inercije na građevinu. U takvim se laboratorijskim ispitivanjima stoga radije koriste potresni stolovi.

Kod pokusa na potresnom stolu, najvažniji detalj je određivanje mjerila uzoraka. Harris i Sabnis [2] predlažu razna pravila za određivanje mjerila uzoraka te za samu provedbu postupaka ispitivanja. U građevinskim se laboratorijima za ispitivanja na potresnom stolu u obrazovne svrhe koriste modeli u mjerilu od 1:10 ili u manjim mjerilima [3-7]. To omogućuje promatranje raznih pojavnih oblika u građevini. Međutim, kod modela u mjerilu većem od 1:10 [8-10] mogu se ipak uočiti razne vrste oštećenja. Pokusi na potresnom stolu na uzorcima u mjerilu od 1:1, 1:2 i 1:3 s jedne su strane vrlo skupi, a s druge složeni zbog veličine sustava [11-14]. Ako se uzorci takvih dimenzija koriste na potresnom stolu, provedba eksperimenta dugo traje i iziskuje znatna financijska sredstva. Zbog toga su uzorci izvedeni u mjerilu 1:6, a samo je ispitivanje provedeno na potresnom stolu prihvatljive cijene. Potresni se stolovi koriste za znanstvena istraživanja seizmičkih pojava te u studijama za analizu raznih konstrukcija još od šezdesetih godina prošlog stoljeća [15, 16]. Kako u prošlosti tako i danas, laboratoriji za ispitivanja konstrukcija raznih zemalja proizvode, razvijaju i upotrebljavaju potresne stolove za provedbu eksperimentalnih istraživanja u mjerilu od 1:1 te u drugim prikladnim mjerilima [9, 17, 18].

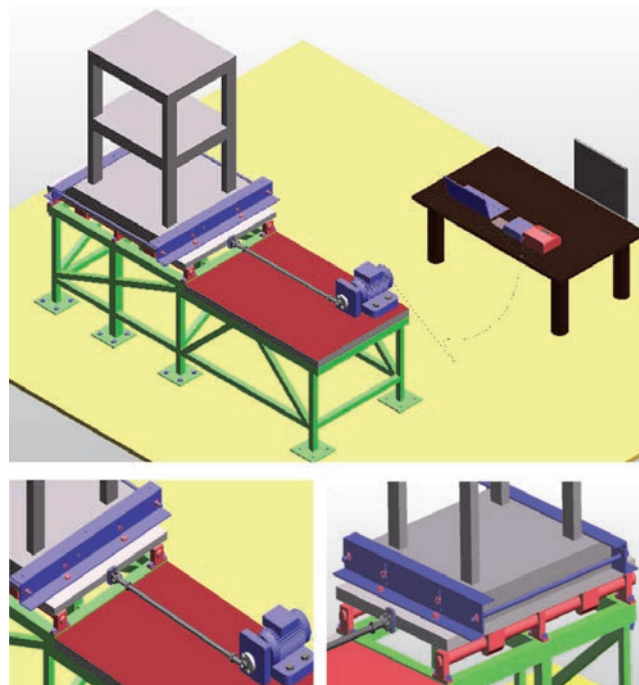
Mjesto i vrijeme trajanja potresa ne može se predvidjeti [1]. Tijekom potresa, na građevine djeluju sile koje se prostiru u raznim smjerovima. Zbog toga su u ovom ispitivanju uzorci postavljeni na potresni stol dvoosno, nakon čega je provedeno dinamičko ispitivanje. Prema očekivanjima, na uzorcima su se trebale iskazati vrste oštećenja i popuštanja koje odgovaraju onima do kojih dolazi tijekom stvarnih potresa. Očekivane vrste oštećenja i popuštanja su: torzijsko djelovanje, ponašanje kratkog stupa, pojava mekih katova, te pojava posmično-elastičnih pukotina na konstrukcijskim elementima i zidovima od opeke. Zbog spomenutih su razloga u ovom ispitivanju dvokatni jednokrlni trodimenzionalni armiranobetonski okviri, izvedeni

u mjerilu 1:6, postavljeni pod raznim kutovima (dvoosno) na potresni stol prihvatljive cijene. Postupak je uključivao gradnju četiri uzorka, postavljanje tih uzoraka pod raznim kutovima (0, 30, 45 i 60 stupnjeva) na potresni stol te dinamičko sinusoidno ispitivanje.

2. Materijali i metode

2.1. Opis uzoraka

U ovom eksperimentalnom istraživanju korištena su četiri armiranobetonska okvira kako bi se izgradila dva trodimenzionalna kata u mjerilu 1:6. Okviri su sadržavali neke od propusta koji se inače često mogu uočiti na stambenim građevinama u Turskoj. Na tim je okvirima provedeno dvoosno ispitivanje na potresnom stolu. Svi uzorci izvedeni su sa zidovima od opeke i s jednakim prozorskim otvorima. Eksperimenti su pripremljeni i provedeni u Laboratoriju za ispitivanje konstrukcija Sveučilišta Necmettin Erbakan u gradu Konya u Turskoj (slika 1.).

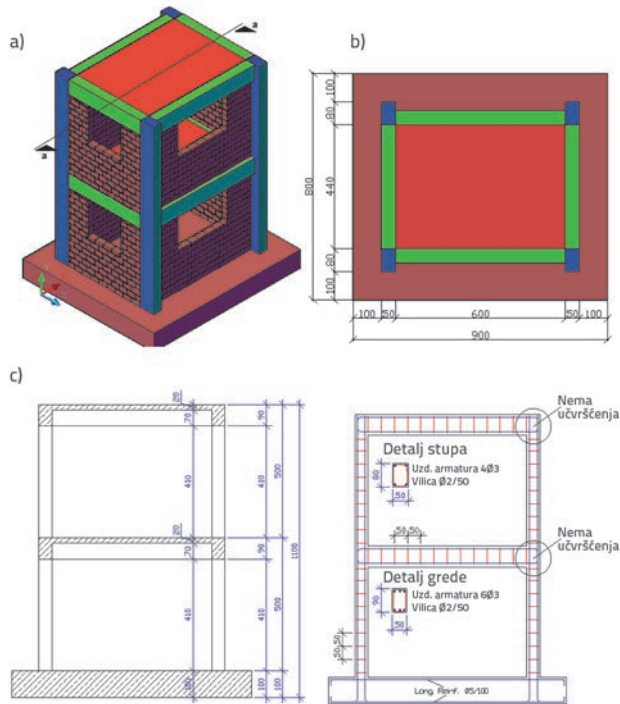


Slika 1. Opći prikaz eksperimenta

Za sva četiri uzorka usvojene su iste vrijednosti širine i visine konstrukcijskih elemenata, te ista kvaliteta betona i armature za okvire (slika 2.). Okviri su namjerno razrađeni tako da sadrže određene nedostatke kao što su beton niske čvrstoće, izvedba čvrsta greda – slabi stup, široki razmak između stremena greda i stupova, izvedba bez spona (vilica) na stupu na spojevima između grede i stupa, te nepostojanje polja učvršćenja na krajevima stupova i greda [19-21]. Osim tih nedostataka, spona su pripremljene s kukama koje su postavljene pod kutom od 90° na slobodnim krajevima stupova i greda uzoraka korištenih u eksperimentu [19-21].

Visina kata iznosila je 500 mm (a to je umanjena stvarna veličina koja iznosi 3000 mm). Dužina okvira od jednog do drugog stupa iznosila je 700 mm. Obične su šipke korištene za uzdužnu armaturu i vilice. Dimenzije stupova bile su 50 x 80 mm, a kao uzdužna armatura korištene su četiri šipke promjera 3 mm. Dimenzije grede bile su 50 x 90 mm, a za armaturu je korišteno šest običnih armaturnih šipaka promjera 3 mm. Za vilice na stupovima i gredama korištene su armaturne šipke širine 2 mm s razmakom od 50 mm između pojedinih šipaka. Dimenzije uzorka i detalji armiranja prikazani su na slici 2. [22].

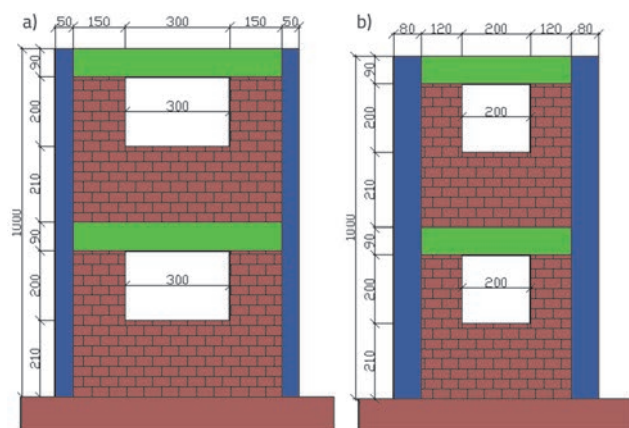
od opeke predstavljaju vanjski okvir stvarne konstrukcije. Srednja os zidova od opeke i okvira nije jednaka: vanjska površina zida od opeke nalazi se na istoj osi kao i vanjska površina greda. Debljina zida iznosi 30 mm, a dubina stupova iznosi 50 mm tj. 80 mm. Opeke korištene u obodnim zidovima izrađene su rezanjem plinobetona. Dimenzije opeka iznose 30 x 50 x 25 mm [22]. Armatura za stupove i grede prikladno je izrađena i postavljena u čelični okvir. Beton je ugrađen vertikalno u oplatu. Beton drugog kata ugrađen je sedam dana nakon ugradnje betona za prvi kat [23]. Oplata je uklonjena nakon ugradnje betona na drugom katu [23]. Etape izvođenja uzorka prikazane su na slici 4.



Slika 2. Prikaz dimenzija i armature analiziranog uzorka (dimenzije u mm): a) 3D; b) tlocrt; c) presjek a-a; d) prikaz armature

Tablica 1. Faktori mjerila za pokuse na potresnom stolu [2,18]

	Parametar	Dimenzije	Faktori mjerila
Opterećenje	Sila, Q	F	S^2
	Tlak, q	FL^{-2}	1
	Ubrzanje, a	LT^{-2}	1
	Gravitacijsko ubrzanje, g	LT^{-2}	1
	Brzina, v	LT^{-1}	$S^{1/2}$
Geometrija	Vrijeme, t	T	$S^{1/2}$
	Linearne dimenzije, l	L	S_1
	Pomak, δ	L	S_1
	Frekvencija, ω	T^{-1}	$S_1^{-1/2}$
	Površina, A	L^2	S_1^2
	Obujam, V	L^3	S_1^3
Svojstva materijala	Moment inercije, I	L^4	S_1^4
	Modul, E	FL^{-2}	1
	Naprezanje, σ	FL^{-2}	1
	Deformacija, ε	-	1
	Poissonov koeficijent, ν	-	1
	Energija, EN	FL	S_1^3
Jedinična gustoća, ρ	$FL^{-4}T^2$	$1/S_1$	



Slika 3. Dimenzije prozorskih otvora (u mm)

Na svim su uzorcima izvedeni otvori za prozore dimenzija 200/300 mm na sredini dužih strana uzorka, dok dimenzije odgovarajućih otvora na kraćim stranama iznose 200/200 mm (slika 3.). Zidovi

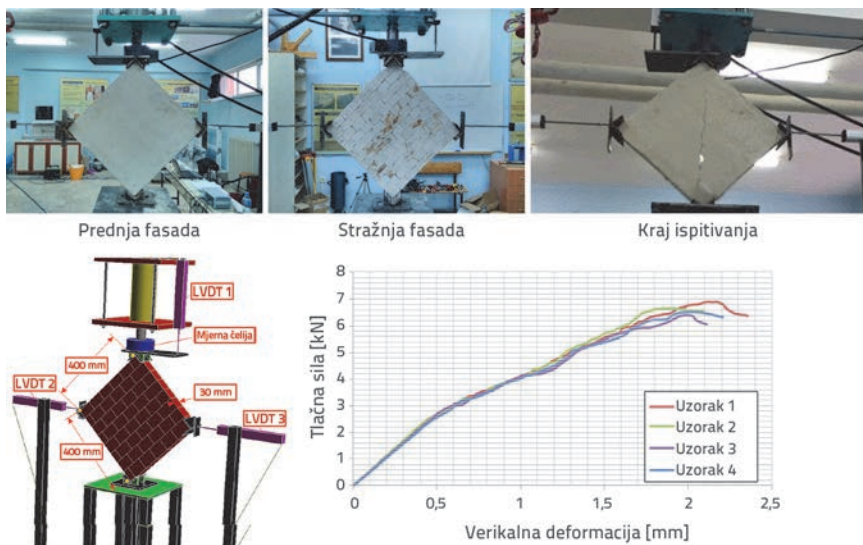


Slika 4. Etape gradnje uzorka

Faktori mjerila korišteni za mjerenje i dimenzioniranje uzoraka na potresnom stolu prikazani su u tablici 1. Prema zakonitostima izvedenima iz tablice 1., isti pomak tla nanesen je na uzorke u kratkim razdobljima i pri visokim frekvencijama [18].

2.2. Parametri za materijale

Okviri uzoraka izrađeni su od betona niske tlačne čvrstoće jer su svi uzorci izvedeni u mjerilu od 1:6. Maksimalna veličina agregata za beton iznosila je 3 mm. Granulometrijski sastav agregata za beton prikazan je na slici 5. Geometrijski sastav agregata u skladu je s TS 3530 EN 933-1:2012 [24].



Slika 6. Ispitivanje zidova od opeke, postav pokusa za ispitivanje te rezultati ispitivanja



Slika 5. Ispitivanje tlačne čvrstoće betona te granulometrijski sastav agregata [22, 24]

Na obodnim zidovima od opeke proveden je pokus dijagonalne tlačne čvrstoće. Kako struktura zidova od opeke nije homogena, modul elastičnosti i Poissonov koeficijent vrlo su se teško mogli odrediti na temelju rezultata ispitivanja zidova od opeke. Dijagram odnosa tlačne sile i vertikalnog pomaka zida od opeke prikazan je na slici 6. [25].

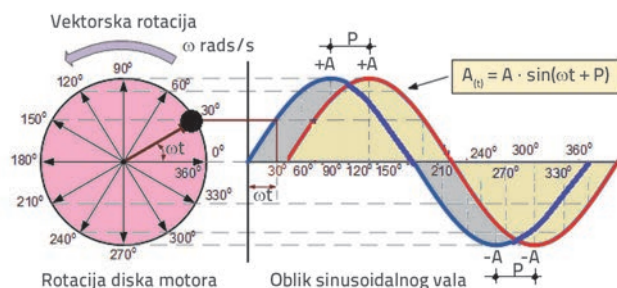
U tablici 2. iskazana je prosječna tlačna čvrstoća betona određena na kockama dimenzije 200 x 200 x 200 mm i valjcima dimenzije 150 x 300 mm, te dijagonalna tlačna čvrstoća zidova od opeke koji su korišteni kao uzorci. Svojstva betona ispitana su u skladu sa zahtjevima iz norme TS EN-12390-3 [26].

Tablica 2. Prosječna tlačna čvrstoća betona te dijagonalna tlačna čvrstoća zidova od opeke

Uzorci	Tlačna čvrstoća zida (400 x 400 mm) [MPa]	Tlačna čvrstoća betona [MPa]	
		Kocka (200 x 200 x 200 mm)	Valjak (150 x 300 mm)
1	0,405	8,07	5,85
2	0,392	8,32	6,02
3	0,376	7,38	6,15
4	0,384	7,98	5,62

3. Program i provedba ispitivanja

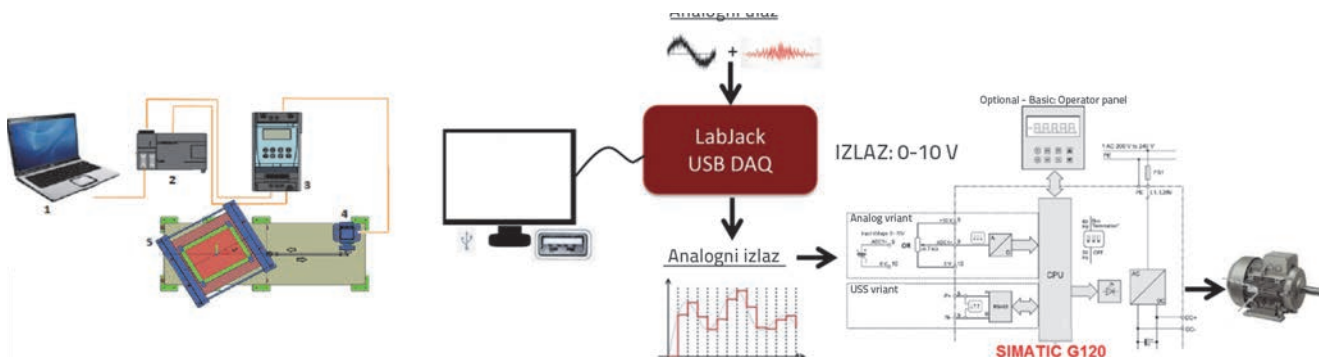
Rad potresnog stola korištenog u ispitivanju temelji se na načelu pretvaranja kružnog kretanja u linearno. Uzorci su podvrgnuti trajnom osnom i sinusoidnom cikličnom opterećenju kako bi se što uspješnije simuliralo potresno djelovanje. Sinusoidno ciklično opterećenje obrađeno je pomoću kartice DAQ-Card (Labjack-U3) [28]. Opća sinusoidna funkcija i odgovarajući dijagram prikazani su na slici 7. Jednadžba za sinusoidnu funkciju iskazana je kao jednadžba (1). O vremenu ovisni faktori jednadžbe prikazani su u tablici 3.



Slika 7. Opća sinusoidna funkcija i odgovarajući dijagram

Tablica 3. Faktori jednadžbe za prvu i drugu fazu pomaka tla

Prvi pomak tla					Drugi pomak tla				
Vrijeme [s]	A	W	P	f	Vrijeme [s]	A	W	P	f
0-2,80	16,52	1,421	12,77	0,704	20,08-22,15	19,87	0,526	67,64	1,902
2,82-5,13	16,45	0,938	6,540	1,067	22,32-26,44	17,22	0,763	-13,45	1,312
5,13-6,39	18,77	0,420	33,03	2,379	26,48-29,36	17,96	0,828	3,561	1,208
6,42-7,54	16,34	0,562	6,874	1,780	29,54-31,39	16,88	0,845	95,93	1,183
7,57-8,99	19,30	0,299	9,044	3,341	31,51-32,64	19,46	0,608	74,44	1,644
9,01-9,61	18,90	0,304	-0,629	3,290	32,64-34,42	19,29	0,607	73,98	1,648
9,64-11,27	19,09	0,318	-10,27	3,143	34,45-36,65	17,97	0,560	106,6	1,787
11,32-12,35	17,72	0,667	37,36	1,500	36,67-37,59	16,90	0,666	40,86	1,501
12,36-13,86	17,16	0,753	25,57	1,328	37,65-38,52	16,43	0,610	83,16	1,640
13,90-15,61	18,56	0,870	22,10	1,150	38,58-40,70	17,97	0,486	77,32	2,056
15,67-17,19	18,19	1,054	73,65	0,949	40,75-41,97	18,26	0,495	124,3	2,019
17,29-18,91	15,43	1,162	26,57	0,861	42,04-45,00	17,60	0,604	6,203	1,656



Slika 8. Blok-dijagram kontrolnog sustava (1 - Računalo, 2 - Labjack-U3, 3 - Simatic-G120, 4 - Motor + reduktor, 5 - Potresni stol)

$$A(t) = A \cdot \sin[(2 \cdot \pi \cdot t/W) + P] \quad (1)$$

gdje je:

- ω - kutna brzina diska motora
- $A(t)$ - vrijednost pomaka potresnog stola
- t - vrijeme pomaka tla
- A - amplituda, tj. vrijednost visina vrha valova, u $A(t)$
- W - vrijeme koje je potrebno za provedbu jednog ciklusa
- f - frekvencija tj. broj ciklusa u jedinici vremena
- P - promjena faze 0 nizova $A(t)$ jednaka je 0 pri $t=0$

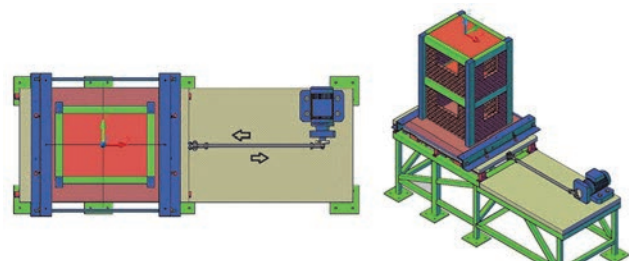
Promjena faze "π" nizova Y doseže maksimalnu vrijednost kada je $t=0$. Ta se vrijednost u jednadžbi sinusoidne funkcije izražava u radijanima.

Osnovni parametri potresnog stola prikazani su u tablici 4. Blok dijagram pokusa prikazan je na slici 8.

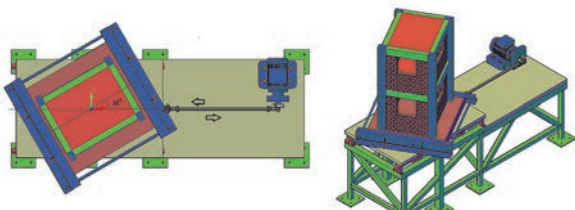
Uzorcima su ispitani na potresnom stolu u vertikalnom položaju pod konstantnim osnim opterećenjem. Prvi uzorak (mjerodavni uzorak) postavljen je pod kutom od 0 stupnjeva (slika 9.), drugi pod kutom od 30 stupnjeva (slika 10.), treći pod kutom od 45 stupnjeva (slika 11.), a četvrti pod kutom od 60 stupnjeva (slika 12.).

Tablica 4. Osnovni parametri potresnog stola

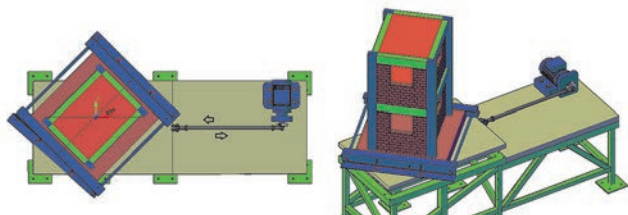
Parametri	Vrijednosti
Veličina platforme	80 mm x 1200 mm
Maksimalno opterećenje	1500 kg
Maksimalni pomak platforme	±20 mm
Maksimalno ubrzanje platforme	±4 g
Frekvencija	0~50 Hz
Maksimalna snaga motora	4 kW
Maksimalni izlazni moment reduktora	100518 mNm
Maksimalna ulazna brzina rotiranja reduktora	3000 rpm
Maksimalna izlazna brzina rotiranja reduktora	380 rpm



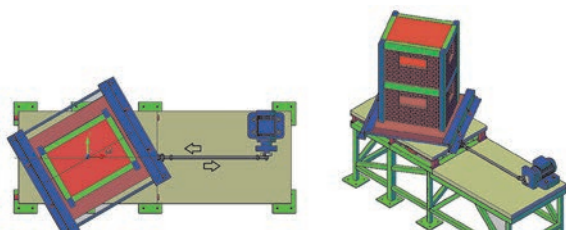
Slika 9. Tlocrt i prostorni prikaz uzorka 1 (kut: 0°)



Slika 10. Tlocrt i prostorni prikaz uzorka 2 (kut: 30°)

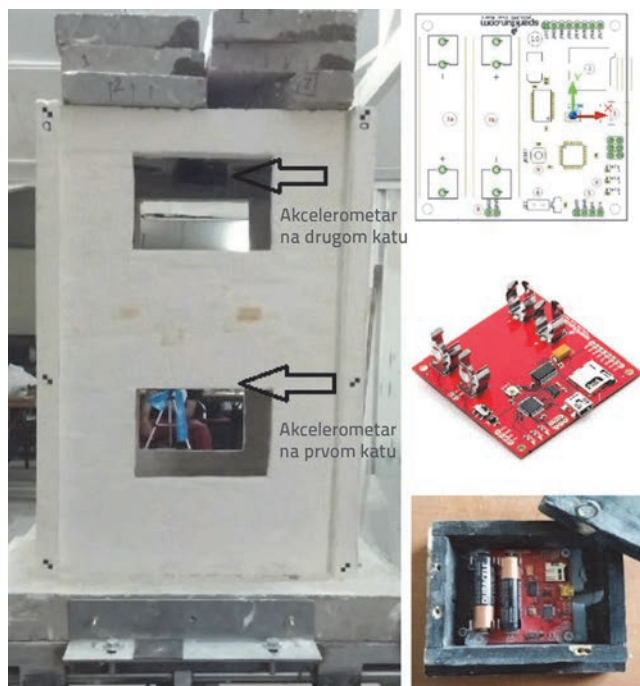


Slika 11. Tlocrt i prostorni prikaz uzorka 3 (kut: 45°)



Slika 12. Tlocrt i prostorni prikaz uzorka 4 (kut: 60°)

Podaci o ubrzanju okvira dobiveni su mjerenjem pomoću akcelerometara ADXL345 (slika 13.) pomoću kojih su obavljena mjerenja na oba kata.

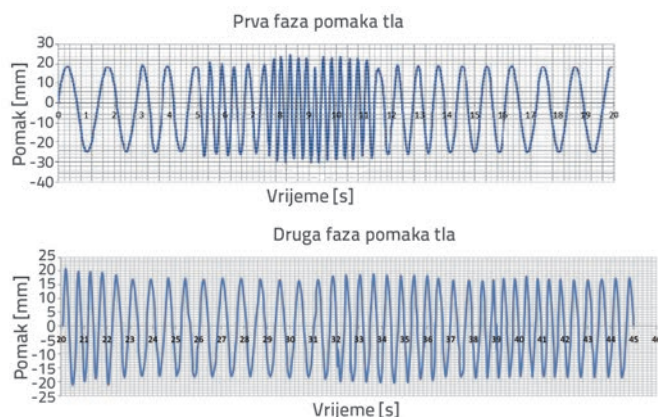


Slika 13. Položaji na koje su postavljeni akcelerometri i prikaz akcelerometra (kontrolna ploča uređaja ADXL345)

ADXL345 je kompletni troosni sustav za mjerenje akceleracije u rasponu od ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g, ili ± 16 g. Tim se uređajem mjeri statička i dinamička ubrzanje uzrokovana kretanjem ili udarom [28].

Vrijednosti akceleracije izmjerene su u oba smjera (X i Y). Prije početka ispitivanja obavljeno je baždarenje akcelerometara, što je uključivalo i obradu slike. Akcelerometri nisu postavljeni paralelno s potresnim stolom, već paralelno s uzorcima. Pri ispitivanjima nisu korišteni LVDT uređaji jer su uzorci postavljeni na potresni stol pod određenim kutom, a pri slomu su zabilježeni veliki vertikalni i horizontalni pomaci uzoraka.

Tijekom ispitivanja na potresnom stolu, uzorci su podvrgnuti utjecaju raznih sila koje su predstavljale pomake tla, a ispitivanje je trajalo sve do sloma. Na uzorke 1 i 4 nanese su sile prvog kretanja tla. Na uzorak 2 nanese je sila prve i druge faze pomaka tla, na uzorak 3 sila prve i druge faze pomaka tla, a nakon toga još jednom sila prve etape kretanja tla. Pomaci tla prikazani su na slici 14.



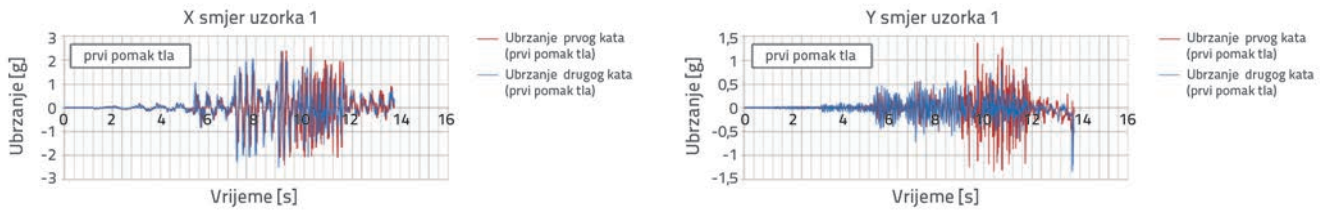
Slika 14. Razni pomaci tla na potresnom stolu

4. Analiza rezultata ispitivanja

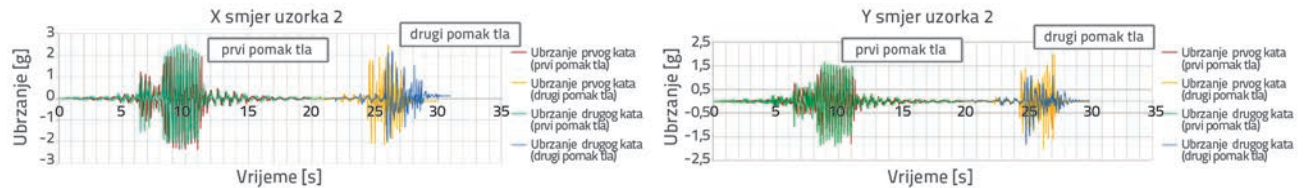
Na uzorcima su obavljena mjerenja ubrzanja na prvom i drugom katu u oba smjera X i Y. Podaci o mjerenju ubrzanja za uzorke 1, 2, 3 i 4 prikazani su na slikama od 15. do 18.

Uzorak 1:

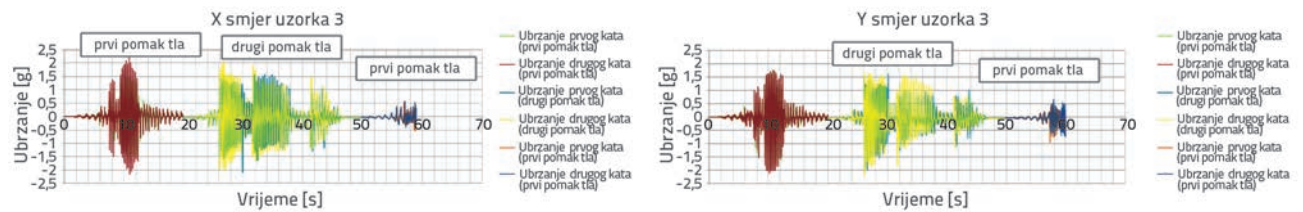
Prvi, tj. mjerodavni uzorak (uzorak 1) postavljen je pod kutom od 0 stupnjeva u odnosu na potresni stol i na njemu je obavljeno ispitivanje mjerodavnog ponašanja za potrebe kasnijeg uspoređivanja. Kao što možemo vidjeti na slici 15., ovaj pokus počeo je nakon 2 s, a završio je nakon 14,2 s. Prve pukotine bile su posmične pukotine, a zabilježene su u kutovima prozorskog otvora na prvom i drugom katu nakon 7,51 s tj. 7,53 s (slika 19.a i tablica 5.). Kasnije su se na uzorku 1 posmične pukotine pojavile na kraju lijevog stupa nakon 7,66 s i na kraju desnog stupa nakon 7,72 s (slika 19.b i tablica 5.). Pojava zgloba uočena je na spoju stup-greda-stup (lijevo) na prvom katu nakon 7,86 s te na spoju stup-greda-stup (desno) na prvom katu nakon 9,56 s. Dijagonalne posmične pukotine pojavile



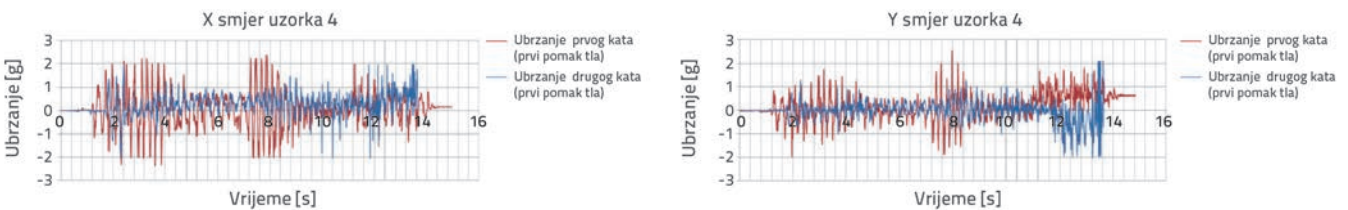
Slika 15. Podaci o ubrzanju za uzorak 1 (0°)



Slika 16. Podaci o ubrzanju za uzorak 2 (30°)

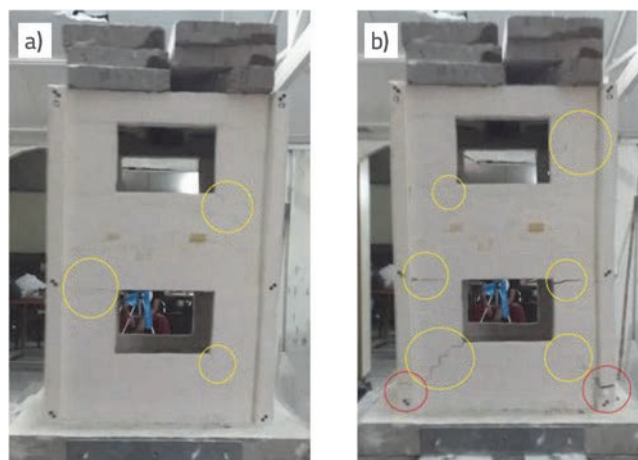


Slika 17. Podaci o ubrzanju za uzorak 3 (45°)



Slika 18. Podaci o ubrzanju za uzorak 4 (60°)

su se na dvije strane prozorskog otvora u zidu od opeke na drugom katu nakon 9 sekundi. Posmične pukotine pojavile su se na prozorskom otvoru na prvom i drugom katu. Uzorak 1 potpuno je uništen rušenjem prvog kata na kraju ispitivanja (slika 20.).




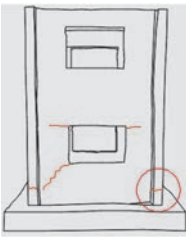
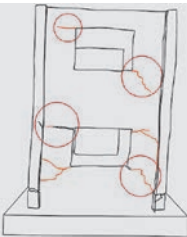

Slika 19. a) Zidovi od opeke na uzorku 1; b) Stupovi na uzorku 1 na kojima je uočena pojava prvih pukotina



Slika 20. Način sloma uzorka 1 (0°)

Prva faza pomaka tla: Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 2,39 g nakon 9,18 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 2,53 g nakon 10,28 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 1,32 g nakon 10,41 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog

Tablica 5. Pojava prvih pukotina na uzorku 1

Uzorak br. 1	Kat	Smjer	Prva pukotina na okviru				Prva pukotina na zidu				
			Pomak prema naprijed		Pomak prema nazad		Pomak prema naprijed		Pomak prema nazad		
			Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	
Kut postavljanja uzorka 0°	1	X	7,66	0,30	7,75	-1,38	7,51	-1,64	7,63	1,40	
		Y		-0,06		-0,02		0,11		-0,02	
	2	X	7,72	-2,06		-1,16	7,53	0,48	7,6	0,89	
		Y		-0,17		-0,36		0,20		-0,21	
	Slike										
	Napomena: Slike sloma nisu u mjerilu; temelje se na fotografiji.										

ubrzanja na prvom katu iznosila je 1,33 g nakon 9,73 s u smjeru Y.

Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je - 2,49 g nakon 8,49 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 2,38 g nakon 9,03 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je - 0,703 g nakon 7,15 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 0,83 g nakon 13,2 s u smjeru Y.

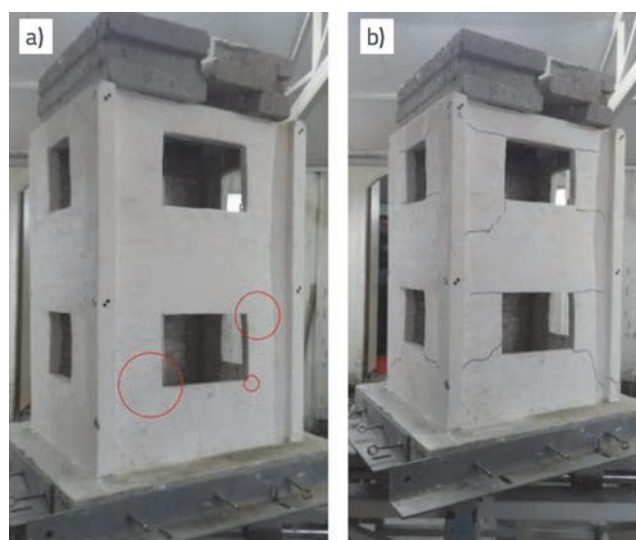
Uzorak 2:

Drugi uzorak postavljen je pod kutom od 30° u odnosu na potresni stol. Ispitana je otpornost uzorka 2 na prve i druge faze pomaka tla. Prema slici 16., ovo ispitivanje počelo je kod 0 s i završilo je nakon 28,70 s. Prve pukotine pojavile su se kao posmične pukotine na donjim lijevim i desnim uglovima prozorskih otvora na prvom i drugom katu nakon 6,43 i 6,45 s (slika 21.a i tablica 6.). Prve pukotine pojavile su se kod pomaka tla unaprijed. Kasnije su se pojavile i druge pukotine u obliku posmičnih pukotina na gornjim lijevim i desnim uglovima prozorskih otvora na prvim i drugim katovima nakon 6,54 s i 6,55 s (slika 21.b i tablica 6.). Te pukotine pojavile su se kod pomaka tla unatrag. Posmične pukotine pojavile su se na kraju desnog stupa nakon 7,41 s (slika 21.b i tablica 6.). Uzorak 2 nije se u potpunosti srušio do kraja ispitivanja.

Prva faza pomaka tla: Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 2.37 g nakon 10,98 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 2.15 g nakon 9,4 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost

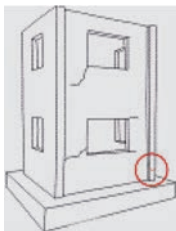
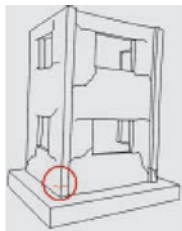
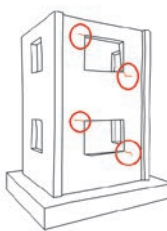
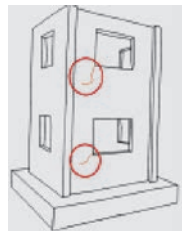
negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 1.79 g nakon 10,98 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 1.47 g nakon 10,37 s u smjeru Y.

Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je - 2.32 g nakon 9,70 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 2.51 g nakon 9,36 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je - 1,87 g nakon 8,54 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 1.68 g nakon 8,86 s u smjeru Y.



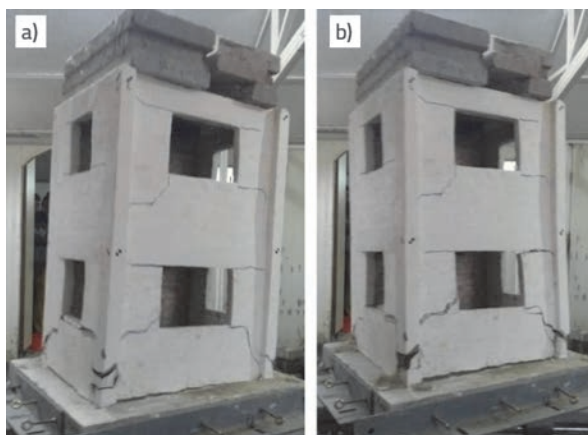
Slika 21. a) Prve su se pukotine pojavile na uzorku 2 nakon prve faze pomaka tla; b) oštećenje na kraju prve faze pomaka tla

Tablica 6. Pojava prvih pukotina na uzorku 2

Uzorak br. 2	Kat	Smjer	Prva pukotina na okviru				Prva pukotina na zidu			
			Pomak prema naprijed		Pomak prema nazad		Pomak prema naprijed		Pomak prema nazad	
			Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]
Kut postavljanja uzorka 30°	1	X	7,41	0,16	24,41	-0,93	6,43	-0,25	6,54	0,2
		Y		0,40		-0,63		0,02		-0,27
	2	X		-0,14		0,09	6,45	-1,2	6,55	0,84
		Y		-0,32		-0,12		-1,07		-0,1
	Slike									

Napomena: Slike sloma nisu u mjerilu; temelje se na fotografiji.

U drugoj fazi pomaka tla, pojava zgloba manifestirala se na dužoj fasadi na spoju između stupova i baze te na spoju između zidova i baze, a posmične pukotine su se pojavile ispod i na uglu prozorskog otvora na drugoj kratkoj fasadi uzorka 2 nakon 16,95 sekundi. Odvajanje zida od opeke od armiranobetonskog okvira iznad prozorskog otvora prikazano je na slici 22. Slučajevi oštećenja zbog pomaka prema naprijed i prema nazad na potresnom stolu prikazani su na slikama 22.a i 22.b.



Slika 22. Uzorak 2 oštećen je zbog pomaka na potresnom stolu: a) prema naprijed, b) prema nazad

Glavno oštećenje uzorka 2 registrirano je na spojevima stupa i baze u obliku plastičnog zgloba. Osim toga, na svim okvirima na uzorku 2 uočeno je torzijsko djelovanje. Kako su obodni


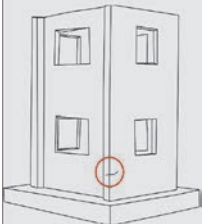


zidovi od opeke potpuno uništeni na prvom katu, na uzorku 2 može se uočiti i pojava mekog kata (slika 23.).



Slika 23. Modalitet sloma uzorka 2 na kraju druge faze pomaka tla

Druga faza pomaka tla: Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 2,07 g nakon 24,72 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 2,24 g nakon 26,05 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 2,03 g nakon 26,35 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 1,97 g nakon 27,07 s u smjeru Y. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je - 1,98 g nakon 25,95 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 2,19 g nakon 26,36 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja

Tablica 7. Pojava prvih pukotina na Uzorku 3

Uzorak br. 3	Kat	Smjer	Prva pukotina na okviru				Prva pukotina na zidu			
			Pomak prema naprijed		Pomak prema nazad		Pomak prema naprijed		Pomak prema nazad	
			Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]
Kut postavljanja uzorka	1	X	6,54	-0,25	7,13	-0,20	6,54	-0,25	7,13	-0,20
		Y		0,22		0,13		0,22		0,13
	2	X		-0,16		-0,20		-0,16		-0,20
		Y		0,16		-0,11		0,16		0,11
45°	Slike									

Napomena: Slike sloma nisu u mjerilu; temelje se na fotografiji.

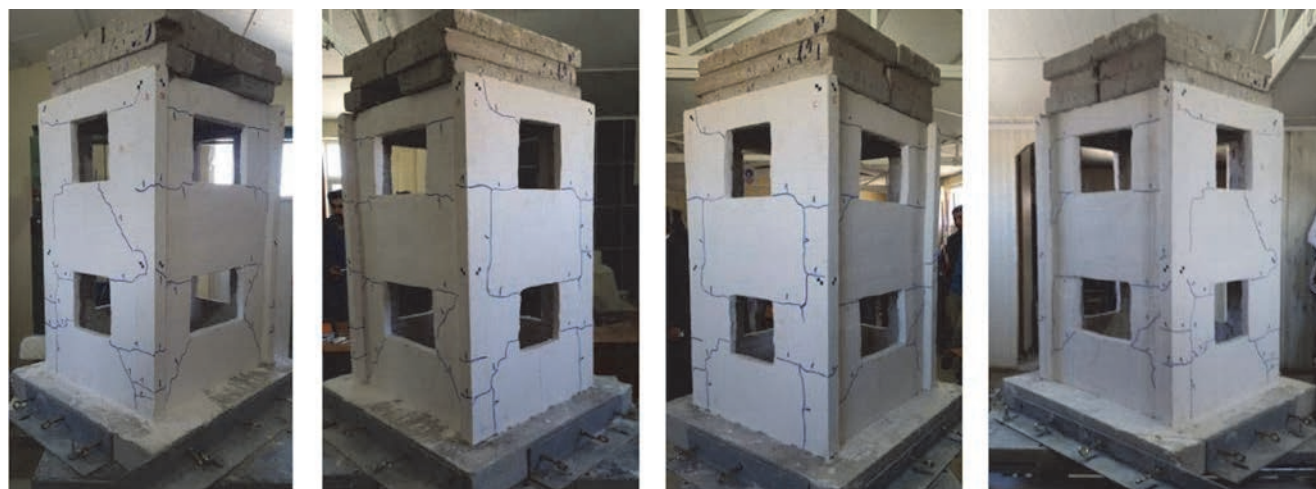
na drugom katu iznosila je – 1,83 g nakon 24,94 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 1,09 g nakon 25,35 s u smjeru Y.

Uzorak 3:

Treći uzorak postavljen je pod kutom od 45 stupnjeva u odnosu na potresni stol. Taj je uzorak ispitan u prvoj fazi pomaka tla (20 s) i u drugoj fazi pomaka tla (25 s) i zatim još jednom u prvoj fazi pomaka tla (10 s). Pukotine koje su se pojavile na uzorku obilježene su raznim bojama kako bi se razlikovala prva faza pomaka tla (plavo) od druge etape pomaka tla (crveno). Druga faza pomaka tla počela je nakon 20 s i završila je nakon 45 s. Prva faza pomaka tla ponovno je aktivirana u 50-oj sekundi i završila je u 60-oj sekundi.

Prve pukotine pojavile su se u obliku posmičnih pukotina u donjem lijevom uglu i u gornjem desnom uglu prozorskog otvora na prvom katu nakon 6,54 s (slika 24. i tablica 7.). Posmične pukotine pojavile su se na kraju lijevog stupa nakon 6,54 s (pomak tla unaprijed) i desnog stupa nakon 7,128 s (pomak tla unatrag). Te su se pukotine pojavile samo na uglovima prozorskih otvora u prvoj fazi pomaka tla na kraju etape (slika 24. i tablica 7.). Posmične pukotine i savojne pukotine pojavile su se na stupovima okvira (slika 24. i tablica 7.). Uzorak 3 nije popustio do kraja prve etape pomaka tla.

Prva faza pomaka tla: Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je – 1,74 g nakon 11,19 s, a



Slika 24. Način popuštanja uzorka 3 (45°) u prvoj fazi pomaka tla



Slika 25. Način popuštanja uzorka 3 u drugoj fazi pomaka tla



Slika 26. Način popuštanja uzorka 3 na kraju ponovljene prve faze pomaka tla

maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 1,695 g nakon 10,13 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 1,97 g nakon 9,9 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 1,73 g nakon 10,72 s u smjeru Y. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je - 2,17 g nakon 9,98 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 2,26 g nakon 10,89 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je - 2,12 g nakon 10,16 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 1,75 g nakon 10,77 s u smjeru Y.

Na uzorku 3, prvi kat se nije potpuno urušio na kraju druge etape pomaka tla (slika 25.). Međutim, na tom su katu uočena velika oštećenja. Srušio se gornji dio zida od opeke iznad prozorskog otvora na prvom katu. Osim toga, u drugoj fazi pomaka tla uočena je pojava plastičnog zgloba na spojevima stup-baza i stup-greda-stup. Na tim su spojevima registrirana velika oštećenja. Uočeno je i oštećenje kratkog stupa, a posmične i savojne pukotine dopirale su do stupova. Također je na svim stupovima uočeno i torzijsko djelovanje.

Druga faza pomaka tla: Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 2,08 g nakon 29,91 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 1,56 g nakon 33,61 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 1,99 g nakon 26,67 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 1,61 g nakon 30,16 s u smjeru Y. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je - 2,04 g nakon 26,85 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 2,05 g nakon 26,75 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je - 2,2 g nakon 26,18 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 1,64 g nakon 26,87 s u smjeru Y.

Kod ponovljene prve etape pomaka tla, pojava plastičnog zgloba zahvatila je nakon 8,5 s spojeve stup - greda - stup i spojeve stup - baza, a uzorak 3 potpuno je popustio na razini prvog kata do kraja ispitivanja (slika 26.). Kako je utjecaj torzije registriran na svim okvirima, ovaj je uzorak potpuno popustio do kraja ispitivanja.

Ponovljena prva faza pomaka tla: Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je – 0,52 g nakon 58,85 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 0,55 g nakon 56,97 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je – 0,95 g nakon 57,36 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 0,54 g nakon 57,86 s u smjeru Y. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je – 0,41 g nakon 57,29 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 0,58 g nakon 57,1 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je – 0,75 g nakon 59,98 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 0,668 g nakon 57,98 s u smjeru Y.

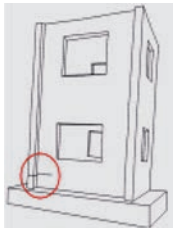

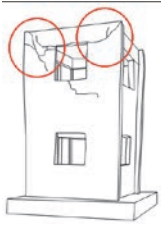



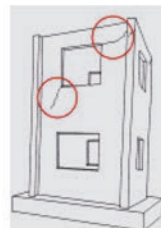

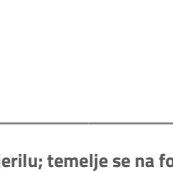

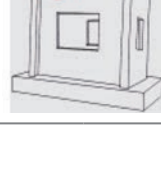

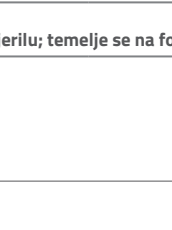


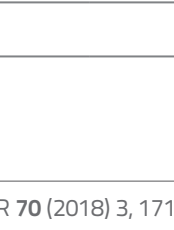
Uzorak 4:

Četvrti uzorak postavljen je pod kutom od 60 stupnjeva u odnosu na potresni stol. Uzorak 4 ispitivan je nanošenjem sile u okviru prve etape pomaka tla. Prve pukotine pojavile su se na svakom uglu fasadnog prozora na drugom katu i to u obliku posmičnih pukotina. Na spoju stupa i grede na drugom katu

te su se pukotine pojavile nakon 1,96 s u obliku zgloba (slika 27. i tablica 8.). Posmične pukotine pojavile su se na krajevima stupova prvog kata nakon 2,03 s te na spoju stupa i grede na drugom katu nakon 2,25 s (slika 27. i tablica 8.). Kao što se vidi iz slike 27., šteta na drugom katu bila je veća od štete zabilježene na prvom katu. Plastični zglob se javio na spojevima stup – greda – stup na drugom katu na kraju druge etape pomaka tla. Dijagonalne posmične pukotine pojavile su se na uglovima prozora svih zidova od opeke. Svi zidovi od opeke popustili su na kraju ispitivanja (slika 28.). Pojava zgloba zabilježena je nakon 11 sekundi na spojevima stup – greda – stup i stup – baza na uzorku 4.

Prva faza pomaka tla: Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je – 2,36 g nakon 3,61 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 2,36 g nakon 7,86 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na prvom katu iznosila je - 1,97 g nakon 1,96 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na prvom katu iznosila je 2,35 g nakon 7,98 s u smjeru Y. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu

Tablica 8. Pojava prvih pukotina na uzorku 4

Uzorak br. 4	Kat	Smjer	Prva pukotina na okviru				Prva pukotina na zidu				
			Pomak prema naprijed		Pomak prema nazad		Pomak prema naprijed		Pomak prema nazad		
			Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	
Kut postavljanja uzorka 60°	1	X	2,03	-0,81	1,96	1,96	1,98	2,03	-0,81		
		Y		0,48					-1,97	0,48	
	2	X		-0,20					-1,29	-1,29	-0,20
		Y		0,05					0,75	0,75	0,05
	Slike										
											
											
											
Napomena: Slike sloma nisu u mjerilu; temelje se na fotografiji.											



Slika 27. Pojava prvih pukotina na uzorku 4 (60°) u raznim smjerovima



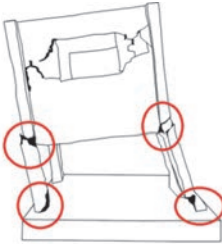
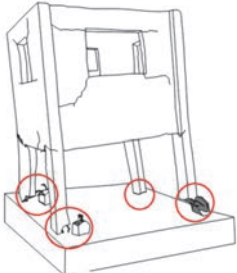
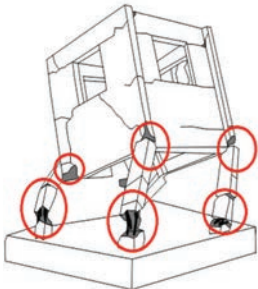
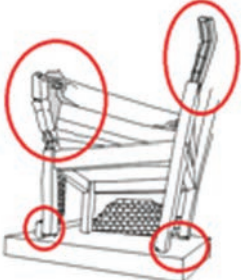
Slika 28. Način popuštanja uzorka 4

iznosila je $-2,05$ g nakon 2,28 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 1,93 g nakon 2,41 s u smjeru X. Maksimalna vrijednost negativnog ubrzanja na drugom katu iznosila je $-1,01$ g nakon 3,71 s, a maksimalna vrijednost pozitivnog ubrzanja na drugom katu iznosila je 1,28 g nakon 8,48 s u smjeru Y.

Shematski prikazi popuštanja uzorake te maksimalna pozitivna i negativna ubrzanja prikazani su u tablici 9. Što se tiče maksimalnih pozitivnih i negativnih ubrzanja:

- Uzorak 1 (0 stupnjeva) popustio je u prvoj fazi pomaka tla. Na tom je uzorku postignuto očekivano ubrzanje u smjeru X. Kako su zidovi od opeke prvog kata popustili izvan ravnine, ubrzanja u smjeru Y bila su viša od očekivanih (naročito na razini prvog kata) u usporedbi s ubrzanjima u smjeru X.
- Uzorak 2 (30 stupnjeva) popustio je u drugoj fazi pomaka tla. Na tom je uzorku postignuta očekivano ubrzanje i u smjeru X i u smjeru Y, s tim da su više vrijednosti ubrzanja postignute u smjeru X u odnosu na smjer Y.

Tablica 9. Maksimalna pozitivna i negativna ubrzanja uzoraka i shematski prikazi popuštanja uzoraka

Broj uzorka i kut postavljanja	Faza pomaka tla	Kat	Smjer	Maksimalno pozitivno ubrzanje		Maksimalno negativno ubrzanje		Shematski prikaz popuštanja	
				Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]	Vrijeme [s]	Ubrzanje [g]		
1	0°	1.	X	10,28	2,53	9,18	-2,39		
			Y	9,73	1,33	10,41	-1,32		
		2.	X	9,03	2,38	8,49	-2,49		
			Y	13,2	0,83	7,15	-0,703		
2	30°	1.	X	9,4	2,15	10,98	-2,37		
			Y	10,37	1,47	10,98	-1,79		
		2.	X	9,36	2,52	9,70	-2,32		
			Y	8,86	1,68	8,54	-1,87		
		1.	X	26,05	2,44	24,72	-2,07		
			Y	27,07	1,97	26,35	-2,03		
		2.	X	26,36	2,19	25,95	-1,98		
			Y	25,35	1,09	24,94	-1,83		
3	45°	1.	X	10,13	1,70	11,19	-1,74		
			Y	10,72	1,73	9,9	-1,97		
			2.	X	10,89	2,26	10,98		-2,17
				Y	10,77	1,75	10,16		-2,12
		1.	X	33,61	1,56	29,91	-2,08		
			Y	30,16	1,61	26,67	-1,99		
		2.	X	26,75	2,05	26,85	-2,04		
			Y	26,87	1,64	26,18	-2,2		
		1.	X	56,97	0,547	58,85	-0,523		
			Y	57,86	0,535	57,36	-0,949		
			2.	X	57,1	0,578	57,29		-0,414
				Y	57,98	0,668	59,98		-0,754
4	60°	1.	X	7,86	2,362	3,615	-2,365		
			Y	7,984	2,353	1,96	-1,97		
		2.	X	2,41	1,93	2,28	-2,05		
			Y	8,48	1,28	3,71	-1,01		

- Uzorak 3 (45 stupnjeva) popustio je tijekom ponovljene prve faze pomaka tla. Otprilike jednake vrijednosti ubrzanja postignute su u smjerovima X i Y.
- Uzorak 4 (60 stupnjeva) popustio je tijekom prve faze pomaka tla. Otprilike jednake vrijednosti maksimalnih pozitivnih i negativnih ubrzanja postignute su u smjerovima X i Y.

Na svim je uzorcima uočena intenzivna pojava dijagonalnih posmičnih pukotina na prozorskim otvorima svih obodnih opekenih zidova. Prvi katovi tih uzoraka u potpunosti su bili uništeni do kraja ispitivanja.

5. Zaključak

U ovom je radu provedeno ispitivanje prostornih armiranobetonskih okvira pod raznim kutovima na potresnom stolu, kako bi se odredilo dinamičko ponašanje konstrukcije. Uzorci su se sastojali od trodimenzionalnih dvokatnih jednokrlnih modela izvedenih u geometrijskom mjerilu od 1:6. Ti su uzorci ispitani do sloma pri raznim intenzitetima pomaka tla na potresnom stolu. Pojava prvih pukotina tijekom ispitivanja uzoraka može se sažeti kako slijedi:

- Pojava plastičnog zgloba zabilježena je na spojevima stup – greda – stup na uzorku 1. Posmične pukotine registrirane su na obodnim zidovima od opeke uzorka 1.
- Glavno oštećenje uzorka 2 iskazuje se u obliku plastičnog zgloba na spojevima stup – baza. Osim toga, torzijsko djelovanje zabilježeno je na svim okvirima na uzorku 2. Kako su svi obodni zidovi od opeke na prvom katu bili potpuno

razrušeni, uočena je i pojava mekog kata na uzorku 2. Na svim obodnim zidovima od opeke zabilježena je i pojava posmičnih pukotina ispod i u kutovima prozorskih otvora.

- Na uzorku 3 zabilježena su znatna oštećenja na spojevima stup – baza i stup – greda – stup. Oštećenje stupova na uzorku 3 uzrokovano je pojavom kratkog stupa te pojavom posmičnih i savojnih pukotina. Kako je kod svih okvira zabilježeno torzijsko djelovanje, ovaj je uzorak u potpunosti popustio do kraja ispitivanja.
- Na uzorku 4 pojava plastičnog zgloba registrirana je na spojevima stup – greda – stup i stup – baza. Ploča na drugom katu srušila se zbog popuštanja spojeva između grede i ploče. Svi zidovi od opeke također su popustili do kraja ispitivanja. Osim toga, u potpunosti su uništena oba kata na uzorku 4.

Pojava mekog kata zabilježena je na svim uzorcima. Općenito uzevši, šteta je nastala zbog savojnog i posmičnog ponašanja stupova te torzijskog djelovanja na armiranobetonske okvire. Rezultati ispitivanja na potresnom stolu pokazuju da je pojava plastičnog zgloba nastala na svim uzorcima na spojevima stup – greda i stup – baza. Osim toga, zidovi od opeke na prvim katovima svih uzoraka srušili su se izvan ravnine. Rezultati ispitivanja također pokazuju da uzorci postavljeni pod raznim kutovima iskazuju drugačije mehanizme sloma u smjerovima X i Y.

Kako uzorci nisu izrađeni u skladu s pravilima za projektiranje i građenje koja su definirana u normama TEC-2007 [29] i TS-500 [30], oštećenje uočeno na ispitanim uzorcima odraz je oštećenja uzrokovano seizmičkim djelovanjem.

LITERATURA

- [1] USGS, <http://earthquake.usgs.gov/research/parkfield/repeat.php>, April 06, 2016 20:29:19 UTC
- [2] Harris, G.H., Sabnis, M.G.: Structural modeling and experimental techniques, second edition, CRC Press, pp. 76-77, ISBN-10:0849324696, ISBN-13:978-0849324697, 1999.
- [3] Penzien, J., Bouwkamp, J.G., Clough, R.M., Rea, D.: Feasibility Study Large-Scale Earthquake Simulator Facility, EERC Report, 67/01, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, pp. 13-17, 1967.
- [4] Stephen, R.M., Bouwkamp, J.G., Clough, R.W., Penzien, J.: Structural Dynamic Testing Facilities at the University of California Berkeley, EERC Report 69/8, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, pp. 1-18, 1969.
- [5] Oliva, M.G., Clough, R.W.: Biaxial seismic response of R/C frames, Journal of Structural Engineering, 113 (1987) 6, pp. 1264-1281, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1987\)113:6\(1264\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1987)113:6(1264))
- [6] 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.
- [7] Turer, A., Korkmaz, S.Z., Korkmaz, H.H.: Performance Improvement Studies of Masonry Houses Using Elastic Posttensioning Straps, Earthq. Eng. Struct. D., 36 (2007) 5, pp. 683-705.
- [8] Hanazato T., Minowa C., Narafu T., Imai H., Qaisar, A., Kobayashi K., Ishiyama Y., Nakagawa T.: Shaking Table Test of Model House of Brick Masonry for Seismic Construction, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China, 2008.
- [9] Ersubasi, F., Korkmaz, H.H.: Shaking Table Tests on Strengthening of Masonry Structures Against Earthquake Hazard, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., pp. 1209-1220, <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1209-2010>, 2010
- [10] Kamanli, M., Balik, F.S.: The Behaviour of Roof Gable Walls Under the Effect of Earthquake Load, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., pp. 251-263, <https://doi.org/10.5194/nhess-10-251-2010>, 2010.
- [11] Türker, H.T., Mertayak, C., Kocaman, S.: Application of Digital Image Processing Technique on the Study of Dynamic Response of Structural Models on an Educational Shake Table, 9th International Congress on Advances in Civil Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, 27-30 September 2010.

- [12] Tanrikulu, A.K., Baran, T., Dundar, C., Tanrikulu, A.H.: Construction And Performance Test Of A Low-Cost Shake Table, *Experimental Techniques*, 35 (2011), pp. 8-16.
- [13] Torun, A., Çunkaş, M.: Implementation and Design of a Shaking Table Oscillating in Two-Axis, *Afyon Kocatepe University Journal of Science*, 9 (2011) 2, pp. 85-96.
- [14] Leite, J., Lourenco, P.B.: Solutions for Infilled Masonry Buildings: Shaking Table Tests, 15th International Brick and Block Masonry Conference, Florianópolis, Brazil, 2012
- [15] Nanjunda Rau, K.S., Ramesh Babu, R.: Assessment of Seismic Performance of Reinforced SMB Masonry Building Models through Shock Table and Shaking Table Tests, *CISTUP Indian Institute of Science, Bangalore*, July 2012
- [16] Sharma, A., Reddy, G.R., Vaze, K.K.: Shake Table Tests on a Non-Seismically Detailed RC Frame Structure, *Structural Engineering and Mechanics*, 41 (2012) 1, pp. 1-24.
- [17] Saito, T., Moya, L., Fajardo, C., Morita, K.: Experimental Study on Dynamic Behaviour of Unreinforced Masonry Walls, *Journal of Disaster Research*, 8 (2013) 2, pp. 305-311.
- [18] Başaran, H., Demir, A., Bağcı, M., Ercan, E.: Shaking Table Study of Masonry Buildings with Reinforced Plaster, *GRAĐEVINAR*, 66 (2014) 7, pp. 625-633, <https://doi.org/10.14256/JCE.1036.2014>
- [19] Bahadır, F., Kamanlı, M., Korkmaz, H.H., Balık, F.S., Unal, A., Korkmaz, S.Z.: Strengthening of Gravity Load Designed Reinforced Concrete Frames With the External RC Shear Walls, *Advanced Materials Research*, 747 (2013), pp. 265-268, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.747.265>
- [20] Balık, F.S., Korkmaz, H.H., Kamanlı, M., Bahadır, F., Korkmaz, S.Z., Unal, A.: An Experimental Study on Reinforced Concrete Infilled Frames with Openings, *Advanced Materials Research*, 747 (2013), pp. 429-432, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.747.429>
- [21] Unal, A., Kaltakçı, M.Y., Balık, F.S., Korkmaz, H.H., Bahadır, F., Korkmaz, S.Z., Kamanlı, M.: Strengthening of Reinforced Concrete Frames Not Designed According to TDY2007 With External Shear Walls, *Advanced Materials Research*, 747 (2013), pp. 433-436 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.747.433>
- [22] Bahadır, F., Balık, F.S.: Seismic Performance Improvement of 3D Reinforced Concrete Frames with Different Strengthening Applications, *Applied Mechanics and Materials Manufacturing Science and Technology VI Chapter: 8 Civil Engineering*, 789-790 (2015), pp. 1140-1144, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.789-790.1140>
- [23] Erdem, I., Akyüz, U., Ersoy, U., Özcebe, G.: An Experimental Study on Two Different Strengthening Techniques for RC Frames, *Engineering Structures*, 28 (2006), pp. 1843-1851, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.03.010>
- [24] Tests for geometrical properties of aggregates-Part 1: Determination of particle size distribution-Sieving method, TS 3530 EN 933-1:2012, Turkish Standardization Institute, Ankara, Turkey, 2012
- [25] Okuyucu, D., Sevil, T., Canbay, E., Shear Behaviour of Hollow Brick Infill Wall Panels Strengthened by Precast Reinforced Concrete Panels and Steel Fiber Reinforced Plaster, A Preliminary Study for RC Frame Strengthening. *WCCE-ECCE-TCEE Joint Conference, Earthquake & Tsunami, Civil Engineering Disaster Mitigation Activit*, 2009.
- [26] Testing hardened concrete-Part 3: Compressive strength of test specimens, TS EN 12390-3, Turkish Standardization Institute, Ankara, Turkey, 2010
- [27] Labjack U3-HV, <https://labjack.com/support/datasheets/u3>, 2015.
- [28] ADXL345 Evaluation Board, <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Accelerometer/ADXL345.pdf>, 2009
- [29] Specification for Structures to be Built in Disaster Areas PART III - EARTHQUAKE DISASTER PREVENTION TEC-2007, Ministry of Public Works and Settlement Government of Republic of Turkey, Ankara, Turkey, 2007
- [30] Requirements for design and construction of reinforced concrete structures TS500, Turkish Standardization Institute, Ankara, Turkey, 2000