

# EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE PREVRTANJA STUPCA OD DVA BLOKA ZBOG UBRZANJA PODLOGE

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DUAL-BLOCK STACK OVERTURING DUE TO BASE EXCITATION

Lidija Rendulić\*, Nina Čeh\*

### Sažetak

*Nakon popuštanja veziva, ljuljanje je bitan dio dinamičkog odgovora povijesnih spomenika, suhozida, grafitnih blokova u AGR jezgri u nuklearnim elektranama i zidanih konstrukcija. Ovdje se eksperimentalno istražuje ljuljanje i određuje područje prevrtanja stupca od dva bloka uslijed ubrzanja podloge. Ispituje se ponašanje stupaca od dva jednaka bloka s različito modeliranim kontaktom te stupaca sastavljenih od blokova različitih vitkosti. Uočene su znatne razlike u ponašanju stupaca s različito modeliranim kontaktom te je pokazana promjena u uvjetima prevrtanja između stupca od jednakih i onog koji se sastoji od različitih blokova.*

**Ključne riječi:** *blokovske konstrukcije, ljuljanje, prevrtanje, eksperimentalni model, pobuda podloge.*

### Abstract

*After binder failure, rocking is an important mode in dynamic response of historical monuments, dry-stone structures, graphite blocks in AGR core in nuclear power plants, and masonry structures. Here we experimentally address rocking and overturning conditions of a dual-block stack subject to base excitation. We observe the behaviour of a stack of two equal blocks with two different contacts and stacks consisting of blocks of various slenderness. A significant difference between the behaviour of stacks with different contact is noticed. Also, the change in the overturning conditions of stack consisting of equal blocks and different blocks is presented.*

**Key words:** *blocky structures, rocking, overturning, experimental model, base excitation.*

---

\* Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka  
E-mail: [lidija.rendulic@student.uniri.hr](mailto:lidija.rendulic@student.uniri.hr), [nina.ceh@uniri.hr](mailto:nina.ceh@uniri.hr)

## 1. Uvod

Ljuljanje elemenata uslijed dinamičke pobude (potresa, djelovanja vjetra, udara i sl.) predstavlja bitan dio dinamičkog odgovora sustava poput povijesnih spomenika, suhozidanih konstrukcija, grafitnih blokova u AGR jezgri u nuklearnim elektranama i zidanih konstrukcija, a nakon popuštanja veziva. Ljuljanje krutog bloka na krutoj podlozi je analitički opisao Housner pomoću jednog stupnja slobode – kuta zaokreta bloka [1]. Slijedio je pretpostavke da nema proklizavanja i odskakivanja bloka u odnosu na podlogu te da je jedna točka donje stranice bloka uvijek u kontaktu s podlogom. Gubitak energije prilikom svakog sudara bloka s podlogom (kada se mijenja ugao oko kojeg blok rotira) je opisao koeficijentom restitucije, koji je definiran kao odnos između kutne brzine bloka neposredno nakon i neposredno prije tog sudara [1]. Nakon njega, ljuljanjem jednog bloka bavili su se mnogi drugi autori. Psycharis je analitički opisao ljuljanje stupca od dva kruta bloka koristeći dva stupnja slobode, odnosno kutove zaokreta gornjeg i donjeg bloka u stupcu [2]. Osim izvođenja jednadžbi kretanja, on je analitički definirao i uvjete zadovoljavanjem kojih će stupac od dva bloka preći iz jedne konfiguracije ljuljanja u drugu (konfiguracije su detaljnije prikazane u dijelu 2. Opis problema) [2]. Kasnije su dvije skupine autora pomoću Lagrangeove jednadžbe ponovno izvele jednadžbe kretanja za stupac od dva bloka i prikazale nekoliko rezultata ljuljanja dobivenih numeričkim rješavanjem jednadžbi kretanja [3], [4]. Najraniji eksperimentalni rezultati ljuljanja stupca od dva bloka dostupni u literaturi dobiveni su mjerenjem akcelerometrima za točno odabrane pobude podloge [5], a u zadnjih nekoliko godina provodi se istraživanje kojim se nastoji dobiti veći broj eksperimentalnih rezultata za dinamički odziv stupca od dva bloka na cijeli niz harmonijskih pobuda podloge radi definiranja uvjeta pobude koji uzrokuju prevrtanje takvog stupca [6].

Radi boljeg razumijevanja ljuljanja stupca od dva bloka, dobivanja eksperimentalnih benchmark rezultata za validaciju analitičkih i numeričkih rješenja te ispitivanja utjecaja fizikalnog modeliranja kontakta u stupcu od dva bloka, u ovom radu se eksperimentalno istražuje ljuljanje i određuju uvjeti prevrtanja stupca koji se sastoji od dva bloka uslijed ubrzanja podloge, s naglaskom na uvjete koji uzrokuju prevrtanje samo gornjeg bloka i prevrtanje cijelog stupca. Promatra se ponašanje stupaca od dva jednaka bloka čiji je kontakt modeliran tako da nije dopušteno relativno klizanje i odizanje gornjeg bloka u odnosu na donji (kontakt modeliran sustavnom trakica), stupaca čiji je kontakt modeliran tako da su dopušteni svi stupnjevi slobode (kontakt modeliran gumom) te stupaca koji su sastavljeni od dva bloka različite vitkosti.

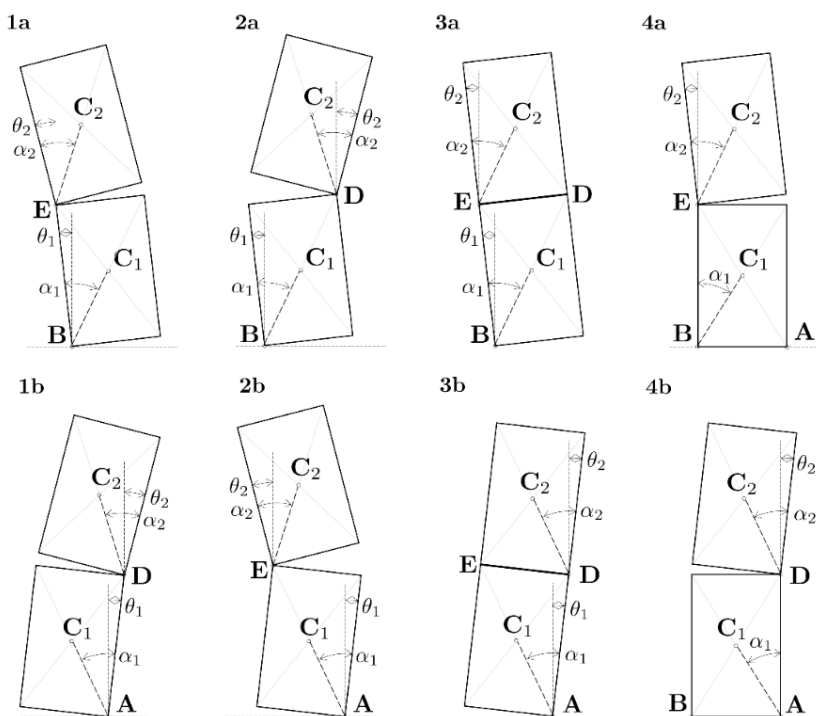
Rezultati eksperimenata pokazuju znatne razlike u ponašanju stupaca sastavljenih od blokova čiji kontakt je modeliran gumom i stupaca čiji je

kontakt je modeliran trakicama [6], [7]. Također, na temelju provedenih eksperimenata je pokazana promjena u područjima prevrtanja između stupca koji se sastoji jednakih blokova i stupca koji se sastoji od blokova različite vitkosti, a jednakih ukupnih gabarita stupca.

## 2. Opis problema

Ljuljanje stupca od dva bloka je obično analitički opisano uz pretpostavku da između blokova nema proklizavanja niti odskakivanja. Smatramo da su uvijek u kontaktu točno jedna točka gornjeg i donjeg bloka te jedna točka donjeg bloka i podloge. Iznimka ovome su dvije situacije: ona u kojoj se donji blok nalazi nepomično na podlozi, a gornji se ljulja po njemu te ona u kojoj su donji i gornji blok u kontaktu cijelim površinama, a stupac se ljulja kao jedno tijelo.

Ljuljanje takvog stupca je gibanje koje se sastoji od osam različitih konfiguracija prikazanih na Slici 1, a svaka konfiguracija je opisana posebnim setom jednadžbi kretanja. Konfiguracije u kojima se ili samo gornji blok ljulja ili se oba bloka ljuljaju zajedno kao jedno kruto tijelo se nazivaju nižim konfiguracijama, a konfiguracije u kojima se blokovi ljuljaju tako da su im kutovi zaokreta različiti se nazivaju višim konfiguracijama.



**Slika 1.** Osam konfiguracija tijekom ljuljanja stupca od dva bloka (prema [6])

Niže konfiguracije imaju samo jedan stupanj slobode, dok više konfiguracije imaju dva nezavisna stupnja slobode. Ljuljanje takvog stupca od dva bloka sastoji se od glatkog kretanja u jednoj od osam konfiguracija i trenutaka u kojima se događa prelazak između konfiguracija (dakle, prilikom sudara između dva tijela ili kada je zadovoljen uvjet za inicijalizaciju nove konfiguracije, kako je prikazano u [6]). Opisivanje takvog sustava analitički je kompleksan problem (kao što je to prikazano u radovima [2]–[4]) te se često pristupa numeričkoj analizi sustava, koristeći primjerice metodu diskretnih elemenata [8].

Uz analitičke i numeričke analize opisanih sustava, najtočnije informacije o njihovom dinamičkom odzivu i stabilnosti, kad su podvrgnuti pobudi podloge, moguće je dobiti provođenjem eksperimentalnih ispitivanja. Radi toga i kako bi se dobilo eksperimentalne rezultate, koji služe za validaciju numeričkih analiza, u nastavku je opisan opširni eksperimentalni program proveden u sklopu izrade završnog rada [7] u Laboratoriju za konstrukcije Građevinskog fakulteta u Rijeci te su prezentirani rezultati dobiveni iz njega.

### 3. Eksperimentalni program

Osmišljene su, isplanirane i provedene tri serije eksperimenata u kojima je promatrano prevrtanje stupca sastavljenog od dva bloka, podvrgnutog dinamičkoj pobudi podloge na kojoj se stupac nalazi. Eksperimenti su provedeni koristeći Quanser STI-III potresnu platformu i GOM Aramis 3D 4M sustav kamera za optička mjerenja. Kontakt između dva bloka u stupcu te između donjeg bloka i podloge modeliran je na dva različita načina – pomoću sustava trakica koje spajaju dva susjedna tijela i pomoću sloja gume, a koji su opisani u nastavku. Eksperimenti su provedeni na stupcima dvije različite veličine i s kontaktima modeliranim na dva različita načina.

U svakom eksperimentu potresnoj platformi dana je sinusoidalna funkcija pomaka određene amplitude (u cm) i frekvencije (u Hz). U rezultatima je prikazano ponašanje bloka tijekom eksperimenta: stabilno (bez ljuljanja), ljuljanje (bez prevrtanja) te prevrtanje (pad) jednog ili oba bloka.

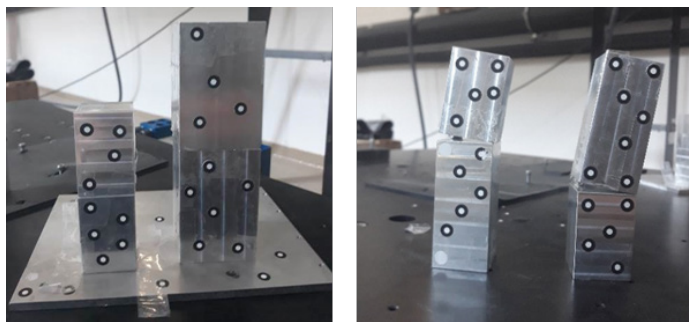
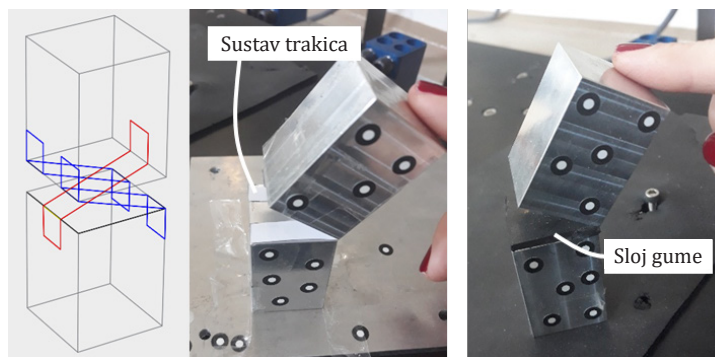
#### 3.1. Veličine ispitanih stupaca blokova i fizikalno modeliranje kontakta

Ispitani su aluminijski blokovi s dimenzijama danim u Tablici 1. Ispitani stupci prikazani su na Slici 2 (lijevo stupci od dva jednaka bloka; desno stupci koji se sastoje od zdepastog bloka na vitkom, odnosno vitkog na zdepastom).

**Tablica 1.** Dimenzije aluminijskih blokova na kojima su provedena ispitivanja[7]

Oznaka	B [m]	H [m]	h/b
B2S	0,03	0,045	1,5
B3S	0,03	0,0675	2,25
B2M	0,045	0,0675	1,5

Kontakt je modeliran na dva različita načina: pomoću sustava trakica zalijepljenih za bočne stranice blokova i podloge (kao što je prikazano na Slici 3 lijevo) te pomoću sloja gume između blokova ili donjeg bloka i podloge (na Slici 3 desno).

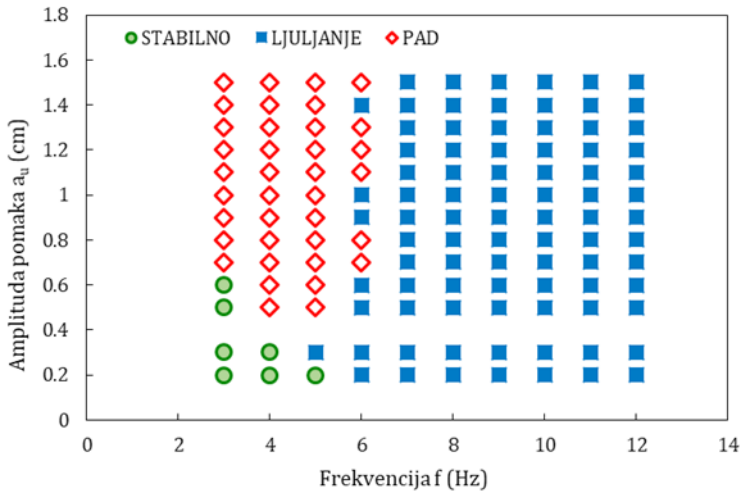
**Slika 2.** Stupci od dva jednaka bloka (lijevo) i dva bloka različite visine (desno) [7]**Slika 3.** Skica i fotografija sustava trakica (lijevo) i sloja gume (desno) kojim su modelirani kontakti [7]

## 4. Rezultati

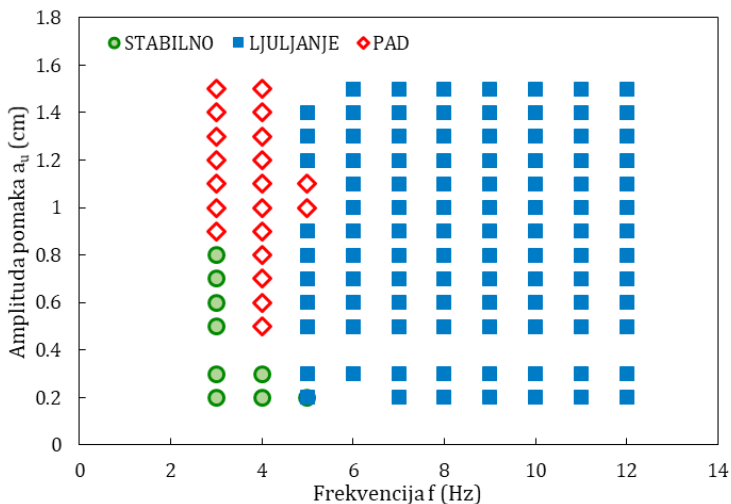
### 4.1. Grafovi stabilnosti ovisno o parametrima funkcije pomaka

#### 4.1.1. Stupac od dva jednaka bloka sa sustavom trakicama na kontaktu

Rezultati dobiveni za stupce od dva jednaka bloka s trakicama na kontaktu prikazani su na Slici 4 za manji blok i Slici 5 za veći blok, ovisno o frekvenciji i amplitudi funkcije pomaka potresnog stola. Stupac od većih blokova je primjetno stabilniji u području frekvencija pobude od 5 i 6 Hz.



**Slika 4.** Područje translacije, ljuljanja bez prevrtanja i prevrtanja za stupac od dva bloka B2S sa sustavom trakica na kontaktu (prema [7])

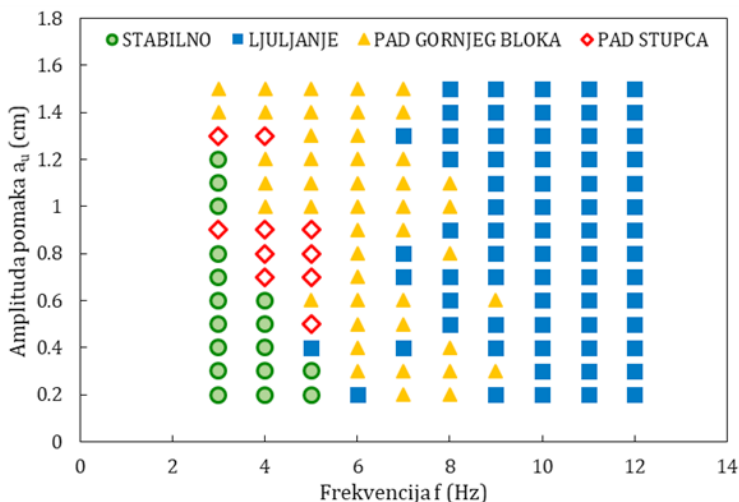


**Slika 5.** Područje translacije, ljuljanja bez prevrtanja i prevrtanja za stupac od dva bloka B2M sa sustavom trakica na kontaktu (prema [7])

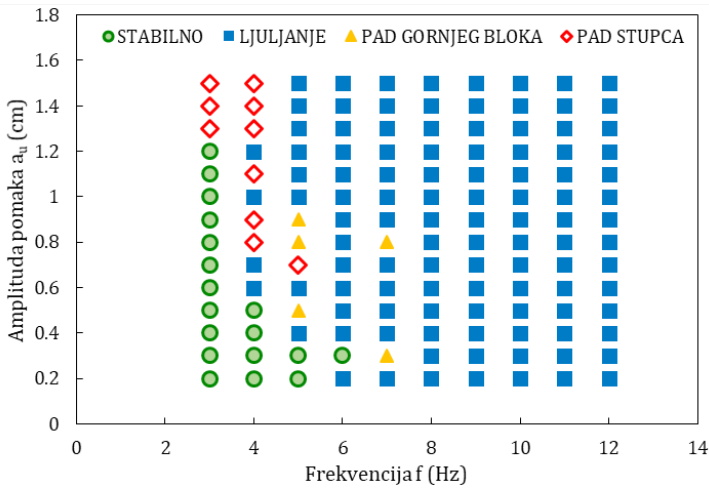
#### 4.1.2. Stupac od dva jednaka bloka s gumenim slojem na kontaktu

Rezultati dobiveni za stupce od dva jednaka bloka sa slojem gume na kontaktu prikazani su na Slici 6 za manji blok i Slici 7 za veći blok, ovisno o frekvenciji i amplitudi funkcije pomaka potresnog stola. Kod kontakta modeliranog slojem gume je, za razliku od kontakta modeliranog sustavom trakica, moglo doći do prevrtanja samo gornjeg bloka jer sloj gume ne prenosi vlačne sile s gornjeg na donji blok. Stupac od većih blokova je ponovno znatno stabilniji, i to za raspon frekvencija od 5 do 9 Hz. Također, kod stupca od manjih blokova primijećeno je češće prevrtanje samo gornjeg bloka, a tek nekoliko situacija u kojima se cijeli stupac prevrnuo.

Usporedbom Slika 4 i 6 vidimo da je stupac kod kojeg je kontakt modeliran slojem gume znatno manje stabilan, nego stupac sa sustavom trakica na kontaktu. Mogući razlog za to je što sloj gume dopušta proklizavanje i odskakivanje blokova na kontaktu, a rezultat toga je da se gornji blok u nekim eksperimentima neznatno pomiče po donjem, dok u nekom trenutku na krene u rotaciju oko točke koja više nije na donjem bloku. Usporedbom Slika 5 i 7 može se primijetiti slično ponašanje u području malih amplituda funkcije pomaka pri frekvencijama 5 i 7 Hz, dok je stupac sa slojem gume na kontaktu u mnogim drugim situacijama stabilniji.



**Slika 6.** Područje translacije, ljuljanja bez prevrtanja i prevrtanja za stupac od dva bloka B2S s gumenim slojem (prema [7])

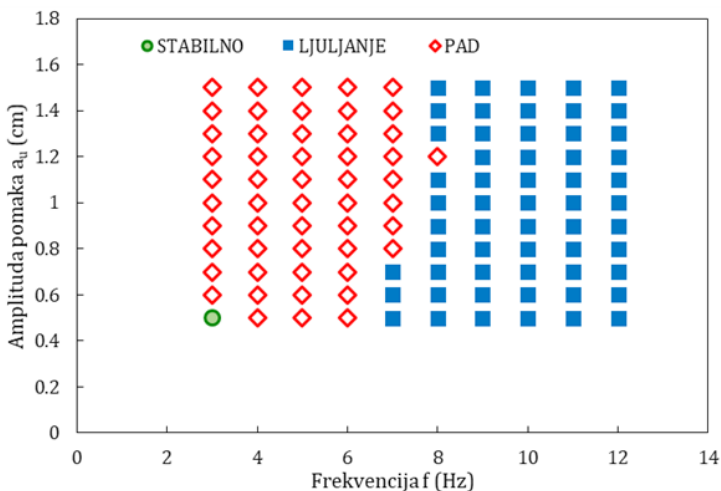


**Slika 7.** Područje translacije, ljuljanja bez prevrtanja i prevrtanja za stupac od dva bloka B2M s gumenim slojem (prema [7])

#### 4.1.3. Stupac od dva bloka različite vitkosti s trakicama na kontaktu

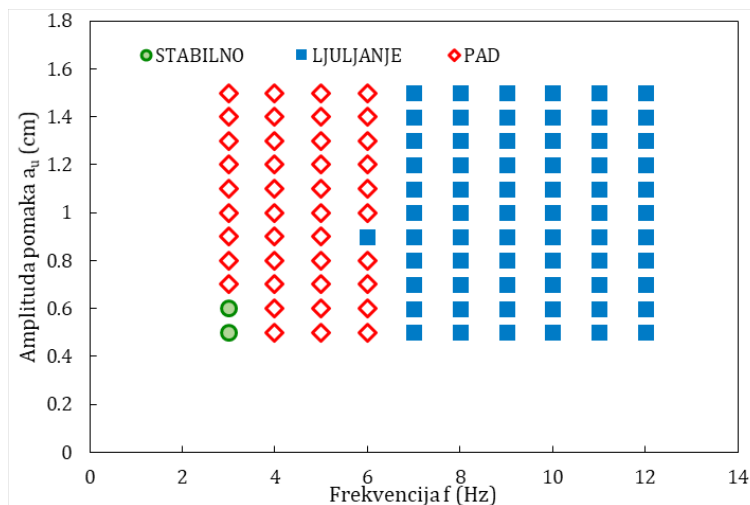
Rezultati dobiveni za stupce od dva bloka različite vitkosti (ali jednakih ukupnih gabarita stupca) prikazani su na Slici 8 za stupac u kojem je gornji blok vitkiji i Slici 9 za stupac u kojem je gornji blok zdepastiji, ovisno o frekvenciji i amplitudi funkcije pomaka potresnog stola.

Kao što je i očekivano, kod stupca u kojem je vitkiji blok iznad zdepastog, češće se događa prevrtanje nego kod stupca u kojem je zdepasti blok na vrhu, a posebice je to vidljivo pri frekvencijama pobude od 7 i 8 Hz.



**Slika 8.** Područje translacije, ljuljanja bez prevrtanja i prevrtanja za stupac od dva bloka, gdje je gornji vitkiji od donjeg (prema [7])





**Slika 9.** Područje translacije, ljuljanja bez prevrtanja i prevrtanja za stupac od dva bloka, gdje je gornji zdepastiji od donjeg (prema [7])

## 4.2. Rezultati optičkih mjerenja

Radi boljeg razumijevanja ljuljanja stupaca od dva bloka i razlika u ponašanju stupaca jednakih ukupnih gabarita, ali s drukčije modeliranim kontaktom ili promijenjenim omjerom vitkosti između gornjeg i donjeg bloka stupcu, provedena su optička mjerenja odabranih eksperimenata. Koristeći optički mjerni sustav GOM mbH PONTOS 3D 4M sniman je cijeli eksperiment, pa su dobiveni pomaci podloge i blokova te kutovi zaokreta blokova u vremenu.

### 4.2.1. Stupac od dva jednaka bloka s različito modeliranim kontaktima

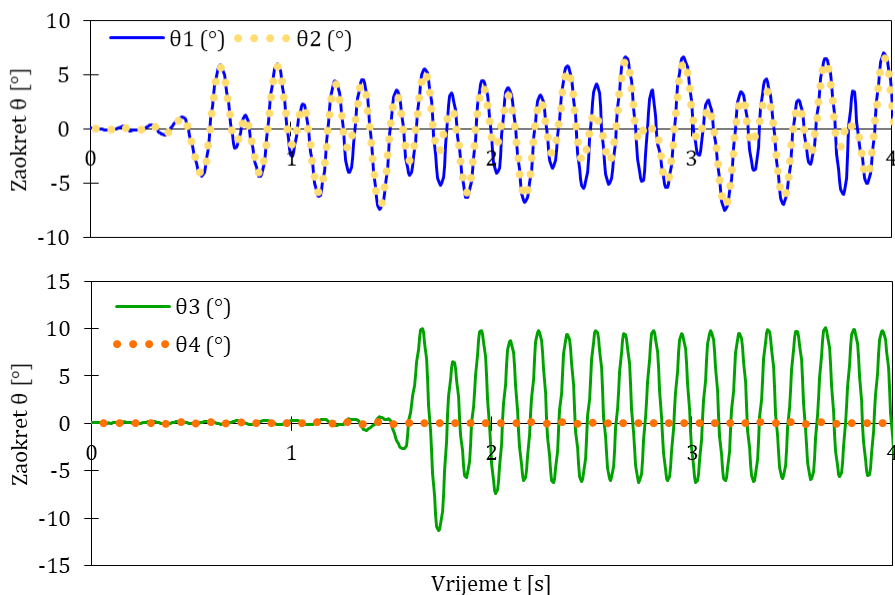
Stupci od dva jednaka bloka, od kojih lijevi na Slici 10 ima sustav trakica na kontaktu, a desni sloj gume, izloženi su sinusoidalnoj pobudi u obliku funkcije pomaka amplitude od 0,3 cm, a frekvencije od 7 Hz. Blokovi su označeni kako je prikazano na Slici 10, a kutovi zaokreta u vremenu su prikazani na Slici 11 gore i dolje za lijevi i desni stupac, slijedom.

Vidimo da blokovi stupca s trakicama na kontaktu znatno ranije kreću u ljuljanje, dok stupac sa slojem gume na kontaktu miruje gotovo 1 sekundu tijekom iste pobude podloge. Mogući razlog tome je što sloj gume



**Slika 10.** Prikaz blokova pri optičkom snimanju [1]

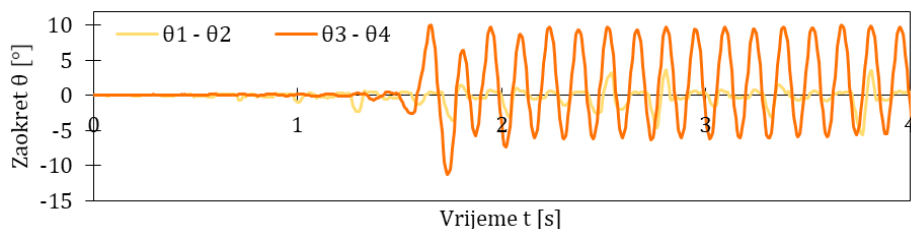
na kontaktu dva bloka i donjeg bloka s podlogom umanjuje prijenos pobude podloge na stupac. Nakon što se gornji blok stupca sa slojem gume pokrene u ljuljanje (između 1. i 2. sekunde), njegov kut zaokreta (označen zelenom bojom na Slici 11 dolje) je znatno veći od kuta zaokreta gornjeg bloka lijevog stupca (označenog plavom bojom na Slici 11 gore). Donji blok desnog stupca je gotovo nepomičan.



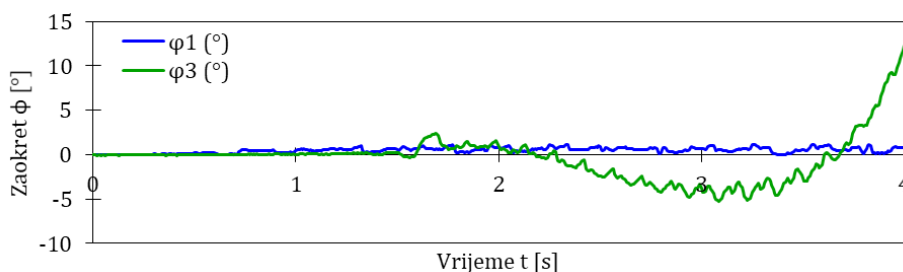
**Slika 11.** Kutovi zaokreta blokova iz stupca sa tracicama (gore) i stupca sa slojem gume (dolje) na kontaktu (prema [7])

Na Slici 12 prikazani su relativni kutovi zaokreta gornjeg bloka u odnosu na donji za oba stupca, iz kojih možemo vidjeti otvaranje i zatvaranje kontakta između dva bloka. Iz Slika 11 (dolje) i 12 vidi se da je ljuljanje gornjeg bloka u stupcu sa slojem gume na kontaktu periodično približno nakon 2. sekunde. Unatoč tome, prevrtanje gornjeg bloka toga stupca se dogodilo oko 4. sekunde zbog toga što je gornji blok doživio znatne rotacije oko svoje vertikalne osi, koje su prikazane na Slici 13. Te rotacije oko vertikalne osi, u kombinaciji s periodičnim ljuljanjem u ravnini djelovanja pobude, dovele su do toga da uglovi gornjeg bloka nakon nekog vremena više nisu na površini donjeg bloka, nakon čega je uslijedilo njegovo rušenje. Nasuprot tome, ljuljanje stupca s tracicama na kontaktu nije izazvalo rušenje blokova, a primijećeno je i puno manje otvaranje kontakta između gornjeg i donjeg bloka (narančasta linija na Slici 12). Takvo značajnije otvaranje kontakta kod stupca sa slojem gume na kontaktu može biti uzrokovano time što gornji blok u stupcu s gumom vrlo rano doživljava rotacije oko vertikalne

osi (i pomicanje uglova koji predstavljaju centre rotacije). Prvo značajnije otvaranje kontakta kod stupca blokova s gumom na kontaktu je na Slici 12 vidljivo istovremeno s pojavom rotacije oko vertikalne osi na Slici 13.



**Slika 12.** Relativni kutovi zaokreta gornjeg bloka u odnosu na donji za stupac sa trakicama (žuto) i sa slojem gume (narančasto) na kontaktu (prema [7])

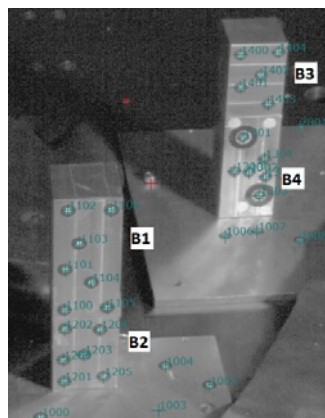


**Slika 13.** Kutovi zaokreta gornjeg bloka oko vertikalne osi za stupac sa trakicama (plavo) i sa slojem gume (zeleno) na kontaktu (prema [7])

#### 4.2.2. Stupac od dva bloka različite vitkosti

Stupci od blokova različite vitkosti, od kojih lijevi na Slici 14 ima vitki blok na zdepastom, a desni zdepastiji blok na vitkom, izloženi su sinusoidalnoj pobudi amplitude funkcije pomaka od 1,5 cm, a frekvenciji od 7 Hz. Blokovi su označeni kako je prikazano na slici 14 (lijevi je stupac s vitkijim blokom gore, a desni sa zdepastijim blokom gore), a kutovi zaokreta u vremenu su prikazani na Slici 15 gore i dolje za lijevi i desni stupac, slijedom.

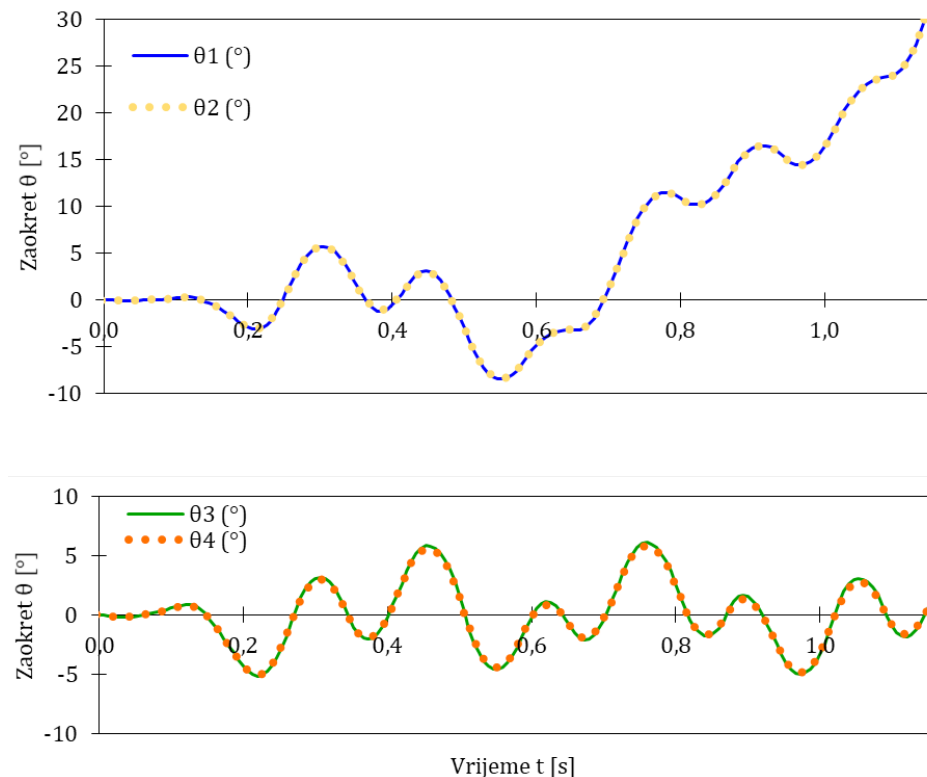
Iz Slike 15 vidimo da se oba stupca ponašaju vrlo slično na početku eksperimenta (do 0,4 sekunde), iako postoje manje razlike u veličinama kutova zaokreta. Nakon 0,4 sekunde se javljaju velike razlike u ponašanju,



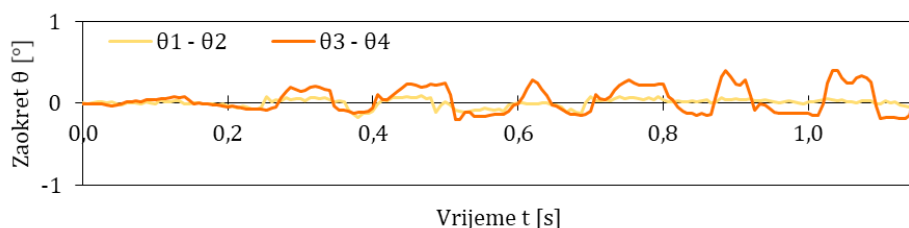
**Slika 14.** Prikaz blokova pri optičkom snimanju [1]

koje u konačnici rezultiraju rušenjem lijevog stupca, dok se desni stupac nastavlja ljuljati.

Osim, toga, na Slici 16 su prikazani relativni kutovi zaokreta gornjeg bloka u odnosu na donji za oba stupca, iz čega možemo vidjeti da je kut do kojeg se otvara kontakt između dva bloka veći kod desnog stupca. Trenutci u kojima se na Slici 16 vidi otvaranje kontakta između blokova za desni stupac odgovaraju trenutcima sudara tog stupca (odnosno donjeg bloka) s podlogom (kad su kutovi zaokreta jednaki nuli na Slici 15, dolje). Kod tog stupca je na dnu vitkiji blok i prilikom svakog sudara donjeg (vitkijeg) bloka s podlogom se gubi manje energije nego prilikom svakog sudara donjeg (zdepastijeg) bloka lijevog stupca s podlogom. To ponašanje je potrebno detaljnije promotriti u nastavku ovog istraživanja, posebice zato što prilikom sudara donjeg bloka s podlogom na ponašanje (dakle i na gubitak energije) utječe i gornji blok u stupcu.



**Slika 15.** Kutovi zaokreta blokova iz stupca sa vitkijim blokom na vrhu (gore) i stupca sa zdepastijim blokom na vrhu (dolje) (prema [7])



**Slika 16.** Relativni kut zaokreta gornjeg bloka u odnosu na donji za stupac sa vitkijim blokom na vrhu (žuto) i stupac sa zdepastijim blokom na vrhu (narančasto) (prema [7])

## 5. Diskusija i zaključci

Proveden je niz eksperimenata dinamičkog odgovora stupca od jednakih blokova i od blokova različite vitkosti na harmonijsku pobudu podloge na kojoj se nalaze. Kod stupaca od jednakih blokova korištena su dva različita modela kontakta: sustav trakica i sloj gume na kontaktu.

Na temelju provedene serije eksperimenata uočeno je, očekivano, da su područja i uvjeti prevrtanja različita za stupce različitih veličina, ali i da se bitno razlikuju s obzirom na način na koji smo modelirali kontakt među tijelima. Eksperimenti su pokazali kako stupci sastavljeni od većih blokova imaju manje područje prevrtanja od stupaca sastavljenih od manjih blokova te kako je područje prevrtanja kod stupaca sastavljenih od blokova čiji kontakt je modeliran gumom također veće nego kod stupaca čiji kontakt među blokovima je modeliran trakicama. Jedan od mogućih razloga za to je što prilikom modeliranja kontakta slojem gume nije nikako spriječeno odskakivanje blokova i dopuštene su rotacije oko sve tri koordinatne osi u prostoru. Nasuprot tome, kada je kontakt modeliran sustavom trakica, znamo da pratimo ravninsko ljuljanje te da je odskakivanje, ukoliko postoji zbog rastezanja trakica, minimizirano.

Također je eksperimentalno dokazano da se nestabilnosti prilikom ljuljanja stupca od dva bloka događaju znatno češće kada se vitkiji blok nalazi na zdepastijem, nego kada se zdepastiji blok nalazi na vitkijem.

Radi boljeg razumijevanja dinamičkog odgovora stupca od dva bloka na pobudu podloge, provedena su i optička mjerenja odabranih eksperimenata. Iz tako dobivenih rezultata vidljivo je kako gornji blokovi kod stupaca, čiji kontakt je modeliran gumom, osim ljuljanja imaju i značajnu rotaciju oko ostalih osi, što je mogući uzrok češćeg rušenja takvih stupaca, a pogotovo gornjih blokova, u usporedbi sa stupcima kod kojih je ravninsko ljuljanje postignuto sustavom trakica.

Opisani eksperimentalni rezultati predstavljaju podatke za validaciju programskih paketa koji numerički rješavaju probleme dinamičkog odziva krutih tijela na pobude podloge. No, otvaraju i neka nova pitanja o skaliranju ljuljanja krutih tijela i fizikalnom modeliranju kontakta među njima. Motivirani time, u nastavku istraživanja planiram proširiti opisani eksperimentalni program na veće blokove (osim dvije veličine prikazane ovdje) i drukčije fizikalne modele kontakta.

**Zahvala.** *Ovaj je članak rezultat završnog rada studentice Lidije Rendulić [7], a nastao je koristeći laboratorijsku opremu nabavljenu u okviru projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001), koji je sufinanciran iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH. Opisano istraživanje se provodi dijelom u sklopu UKF projekta Collisions in Rocking Multi-Body Systems – Experimental and Numerical Investigation.*

## Literatura

- [1] G. W. Housner, "The Behavior of Inverted Pendulum Structures during Earthquakes," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 53, no. 2, pp. 403–417, 1963.
- [2] I. N. Psycharis, "Dynamic Behaviour of Rocking Two-Block Assemblies," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 19, no. December 1989, pp. 555–575, 1990, doi: 10.1002/eqe.4290190407.
- [3] P. D. Spanos, P. C. Roussis, and N. P. Politis, "Dynamic Analysis of Stacked Rigid Blocks," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 21, no. 7, pp. 559–578, 2001, doi: 10.1016/S0267-7261(01)00038-0.
- [4] A. N. Kounadis, G. J. Papadopoulos, and D. M. Cotsovos, "Overturning Instability of a Two-Rigid Block System Underground Excitation," *ZAMM - J. Appl. Math. Mech. / Zeitschrift für Angew. Math. und Mech.*, vol. 92, no. 7, pp. 536–557, 2012, doi: 10.1002/zamm.201100095.
- [5] T. Winkler, K. Meguro, and F. Yamazaki, "Response of Rigid Body Assemblies to Dynamic Excitation," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 24, no. 10, pp. 1389–1408, 1995.
- [6] N. Čeh, "A Contribution to Dynamic Characterisation of Ordered Blocky Systems," University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering in Rijeka, 2018.
- [7] L. Rendulić, "Prevrtanje stupca od dva bloka zbog ubrzanja podloge tijekom potresa," Sveučilište u Rijeci. Građevinski fakultet., 2019.
- [8] H. Smoljanović, Ž. Nikolić, N. Živaljic, and I. Balić, "Stability of Rigid Blocks Exposed to Single-Pulse Excitation," *Acta Mech.*, vol. 227, no. 6, pp. 1671–1684, Jun. 2016, doi: 10.1007/s00707-016-1589-2.