

**UPOREDNA ANALIZA ZGRADA SA SEIZMIČKIM ZIDOVIMA U JEDNOM I U DVA PRAVCA****COMPARATIVE ANALYSIS OF BUILDINGS WITH SHEAR WALLS IN ONE AND TWO DIRECTIONS**Ranko Pajić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GEĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Prema projektnom zadatku, predviđeno su dva sistema i njihovo poređenje zajedno sa sistemom bez zidova za ukrućenje, koji je obrađen na diplomskim studijama. Spratnost objekata je podrum+prizemlje+4 sprata. Ukupno, tri različita statička sistema sa identičnom geometrijom. Prvi objekat (model III), urađen na diplomskim studijama je bez zidova za prijem horizontalnih sila, drugi objekat (model I) sadrži seizmička platna samo u Y pravcu i zbog toga su u tom pravcu grede izostale, treći objekat (model II) u oba svoja pravca ima seizmička platna, tako da su grede u potpunosti uklonjene iz konstrukcije, i seizmička sila se prihvata platinama.

**Ključne reči:** Višespratna armiranobetonska zgrada, Evrokodovi, ramovski skeletni sistem, seizmički zidovi, plan armiranja

**Abstract** – The project task is to build two static systems and compare them together with the system without shear walls, which was processed in bachelors thesis. The number of floors of the building is basement + ground floor + 4 floors. In total, three different static systems with identical geometry. The first object (model III), made in bachelors thesis is without shear walls for receiving horizontal forces, the second object (model I) contains shear walls only in the Y direction and beams are missing in that direction, the third object (model II) in both direction have shear walls so that the beams are completely removed from the structure, and the seismic force is accepted by the shear walls.

**Keywords:** Multi storey RC building, Eurocodes, RC frame, shear walls, structural design, reinforcement plans,

**1. UVOD**

Prema propisima koje daje Evrokod 8, armiranobetonske višespratne objekte možemo podeliti na sledeće sisteme: okvirni, dvojni, duktilni, lako-armiranih zidova, obrnutog klatna, i torziono fleksibilni.

U ovom primeru je obrađen objekat koji ima dva ortogonalna pravca, i u oba pravca može da ima različite konstruktivne sisteme. Kao krajnje slučajeve imamo okvirne sisteme, koji više od 65% ukupne bazne sile prihvata okvirima koje čine grede i stubovi, i zidne sisteme, gde više od 65% ukupne bazne sile prihvataju zidovi.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Đorđe Ladinović, red. prof.

Projektnim zadatkom je predviđeno da se analiziraju dva modela sa kombinacijom krajnjih slučajeva konstruktivnih sistema, i kao takvi, uporede sa sistemom koji je detaljno obrađen na diplomskim studijama.

Naime, model III je objekat ranije obrađen i on je u oba pravca ramovskog konstruktivnog sistema.

Model I poseduje seizmičke zidove za prijem horizontalnog opterećenja (seizmička platna) u Y pravcu, dok su se grede zadržale u X pravcu, tako je model I u X pravcu ramovskog, a u Y pravcu zidnog konstruktivnog sistema.

Model II u oba svoja pravca ima seizmičke zidove, te je tako u oba pravca klasifikovan u zidne konstruktivne sisteme.

Prilikom rasporeda zidova u konstrukciji, vodilo se računa o poklapanju centra masa i centra krutosti, kako bi se izbegla torzija konstrukcije. Sva tri objekta imaju iste dimenzije u osnovi, istu spratnost, pojedine dimenzije elemenata su redukovane, ali ne značajno.

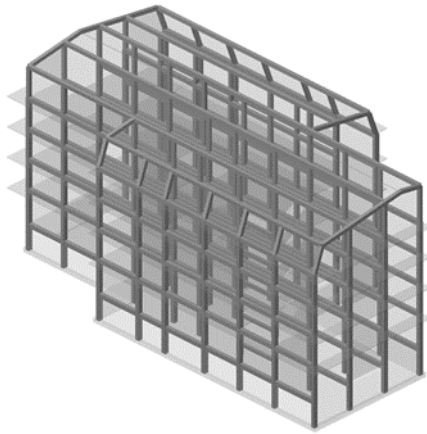
Cilj ovog istraživanja jeste poređenje sva tri moguća (realna) sistema, u pogledu realizacije i distribucije statičkih uticaja, pomeranja konstrukcija, oscilovanja i potrošenoj količini materijala, kako bi se moglo odrediti koji najoptimalniji sistem za izvođenje. Naravno, sve konstrukcije su obrađene prema uputstvima i preporukama Evrokod standarda.

**2. ANALIZA KONSTRUKCIJE****2.1. Osnovni podaci o objektu**

Osnova je sačinjena od dva smaknuta pravougaonika dimenzija 28,80m x 18,60m i 29,40m x 14,40m. Kota ulaska u zgradu i loklake je 1,00m iznad kote teren. Kota podruma je 2,00m ispod kote terena, a 3,00m ispod kote prizemlja.

Spratna visina prizemlja je 3,90m, spratovi su tipski i njihova spratna visina je 3,40m. Lokacija objekta je Novi Sad. Prizemlje objekta se koristi kao prostor za radnje i prodavnice, dok su ostali spratovi namenjeni za stambene jedinice. Zgrada je male spratnosti i iz tog razloga, a u cilju uštede sredstava izvođenja, je izostavljena vertikalna komunikacija liftom.

Vertikalna komunikacija obavlja se samo stepeništem. Stepenište je dvokrako sa međupodestom. Na slici 1 prikazana je konstrukcije modela I, i svi modeli su obrađeni i proračunati u softveru za strukturnu analizu Tower 8.2.



Slika 1. 3D model konstrukcije

## 2.2. Elementi konstruktivnog sistema

Detaljne dimenzije elemenata po modelima su date tabelom 1.

Tabela 1. Dimenzije elemenata

Elementi	Dimenzije [cm]	Model III	Model I	Model II
Greda	30/40			+
	40/40	+	+	
	50/50	+	+	
	40/60	+	+	
Stubovi	40/40	+	+	+
	40/50	+	+	+
	50/50	+	+	+
Platna	20		+	+
Zid podruma	30	+	+	+
Temeljna ploča	55	+	+	+
Ploča prizemlja		18	18	20
Ploče spratova I, II, III, IV		15	15	20
Krovne ploče	15	+	+	+
Ploče podesta i stepeništa	15	+	+	+

Ploče su pune armiranobetonske, uključujući i temeljnu ploču. Svi armiranobetonski elementi su klase betona C35/45 (modula elastičnosti  $E=33,5$  GPa, i Poasonovog koeficijenta  $\nu=0,2$ ). Fundiranje objekta je izvršeno na temeljnoj ploči koja je zadržala svoju dimenziju kroz sva tri modela bez potrebe za ojačanjem u vidu kontrafora. Sva tri modela imaju po obodu podruma armiranobetonske zidove koji formiraju „kadu“. Kako bi se izvršilo prosvetljavanje hodnika u unutrašnjosti zgrade, predviđene su dve galerije, što je zahtevalo izvođenje dva otvora po svakoj etaži zgrade, odnosno, otvori se nalaze na svim pločama osim na temeljnoj ploči.

## 2.3. Analiza opterećenja

Sopstvena težina je automatski generisana softverom prilikom unosa dimenzija elemenata, dok je za preminska težina armiranog betona usvojena  $25 \text{ kN/m}^3$ . Pored sopstvene težine elemenata, u ovu grupu spadaju težine nekonstruktivnih elemenata, nepokretne opreme i težina tla. U nepokretnu opremu svrstavamo opremu za grejanje i rashlađivanje objekata, nameštaj u stanovima, elektro instalacije... Nekonstruktivni elementi su težina obloga zidova i plafona, fasade i elemenata na krovnoj ploči. Takođe, uzet je u obzir i zid koji se nalazi oko kade konstrukcije, koji ima ulogu obezbeđivanja hidroizolacije podruma i oslanja se na kratki prepust temeljne ploče. Pobrojana stalna opterećenja se još nazivaju i gravitaciona.

Korisna opterećenja su definisana u Evrokod I standardu, a u zavisnosti od namene objekta (prostorije) svrstavaju se u određenu kategoriju. U ovom primeru imamo tri kategorije korisnog opterećenja. Kategorija A, namenjena je za prostorije u stambenim zgradama, iznosi  $1,5 \text{ kN/m}^2$  za stambene prostorije, u hodnicima i na balkonima je  $2,5 \text{ kN/m}^2$ . Kategorija D1 je namenjena za prodajne površine u maloprodajnim radnjama (prizemlje) i iznosi  $4 \text{ kN/m}^2$ . Kategorija H je namenjena za krovove koji se ne koriste, osim za uobičajene popravke i održavanja, i iznosi  $1 \text{ kN/m}^2$ .

Opterećenje snegom je takođe sprovedeno prema propisima Evrokod standarda, i dobijena vrednost od  $0,8 \text{ kN/m}^2$ , je naneta na krovne površine dok je na terasama uzeta vrednost od  $1 \text{ kN/m}^2$ .

Dejstvo vetra je sračunato prema EN 1991-1-4 za fundamentalnu brzinu od  $24 \text{ m/s}$  za područje Novog Sada. Dobijeno opterećenje naneto je na linijske elemente kao linijsko a na površinske kao površinsko opterećenje.

Seizmičko opterećenje je proračunato za ubrzanje tla od:

$$a_{gR} = 0,15 \cdot g = 0,15 \cdot 9,81 = 1,4715 \text{ m/s}^2$$

Objekti koji se analiziraju spadaju u II klasu značaja (obične zgrade) za koje je faktor  $\gamma_1=1$ :

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_1 = 1,4715 \cdot 1 = 1,4715 \text{ m/s}^2$$

Za tip elastičnog spektra odgovora je uzet tip 1, koji odgovara zemljotresu magnitude od oko 7. Usvojen je C tip kategorije tla.

## 2.2. Modeliranje konstrukcije

Za proračun uticaja u konstrukcijama višespratnih zgrada, danas se uobičajeno koriste specijalizovani softveri za strukturalnu analizu bazirani na metodi konačnih elemenata. Takvim softverima je moguće prostorno modeliranje konstrukcije linijskim i površinskim elementima.

Prostorno modeliranje dovodi do realnijih matematičkih sagledavanja konstrukcija, a samim tim se obezbeđuju rezultati koji su bliski onim stvarnima u konstrukciji. Grede i stubovi se modeliraju kao linijski elementi, dok se ploče, ljske i zidovi modeliraju kao površinski elementi. Mana ovakvog projektovanja je ta što se površine i momenti inercije ne menjaju tokom dejstva opterećenja. Time je načinjena gruba greška, ali u fazi određivanja statičkih uticaja, ovo nije od velike važnosti.

Ovo je bitno u procesu dimenzionisanja i usvajanja armature, te se takve greške popravljaju usvajanjem određenih množica. Kompletna konstrukcija je izrađena od betona klase C35/45 i armature B500B.

Oslanjajući se na deformabilnu podlogu (što je i realno stanje) AB konstrukcija ne može biti obrađena kao nepokretno oslonjena. Interakcija konstrukcija-tlo može biti od manjeg ili većeg značaja ali nikako zanemarena. Zbog svoje jednostavnosti u smislu obuhvatanja te interakcije, koristi se Winkler-ov jednoparametarski model tla.

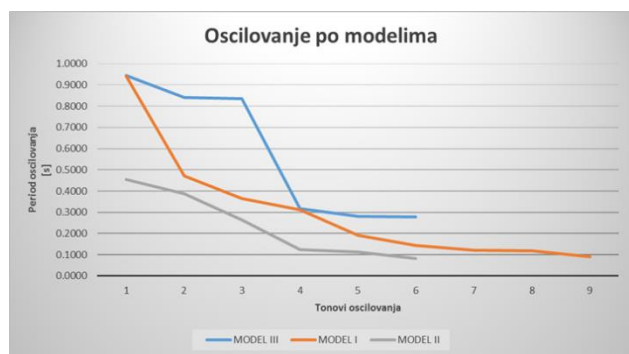
U ovakvom pristupu, tlo se tretira kao elastična podloga i zasniva se na proporcionalnosti između pritiska i sleganja u svakom konačnom elementu. Koeficijent posteljice ili modul reakcije tla nije fizička veličina, već količnik površinskog opterećenja i sleganja. Određuje se pomoću u ispitivanja opitnom pločom. Koeficijent posteljice je

podatak koji je usvojen slobodnom procenom i usvojen je u pravcu oslanjanja  $15000 \text{ kN/m}^3$ , dok je u ostalim pravcima duplo manji, kako se tlo i realno ponaša.

Torziona krutost grede opada brzo sa formiranje torzionih prslina. Gubitkom torziona krutosti elementom se ne mogu prihvatiti momenti torzije koji bi odgovarali homogenom preseku. Oni moraju biti preraspodeljeni susednim elementima, gredama upravnog pravca pružanja.

Druga posledica jeste povećanje deformabilnosti konstrukcije. U praksi je uobičajeno da se torziona krutost greda redukuje na vrlo mali deo krutosti homogenog preseka, na  $1/10$  ili čak  $1/20$  (redukovana je na 10%). Dok je savojna krutost greda redukovana za 50%. Stubovi, kao dominantno pritisnuti elementi imaju sposobnost zatvaranja pojavljenih prslina, te se iz tog razloga njihova torziona krutost, umesto na 10% kao kod greda, redukuje na 50%, dok je savojna ista kao i kod greda, redukovana na 50%.

### 2.3. Modalna analiza



Slika 2. Periodi oscilovanja po modelima i tonovima

Nakon svega analiziranog, izmodelirane konstrukcije, nanetog opterećenja, urađena je modalna analiza konstrukcije koja je uvod za definisanje seizmičkog opterećenja, jer sa ovom analizom dolazimo do perioda oscilovanja konstrukcije. Na slici 2 su prikazani kroz grafik tonovi oscilovanja po modelima.

Radi lakšeg shvatanja podataka prikazani dijagrami na slikama 3 i 4 daju podatke o angažovanju masa po tonovima, modelima i pravcima objekta.

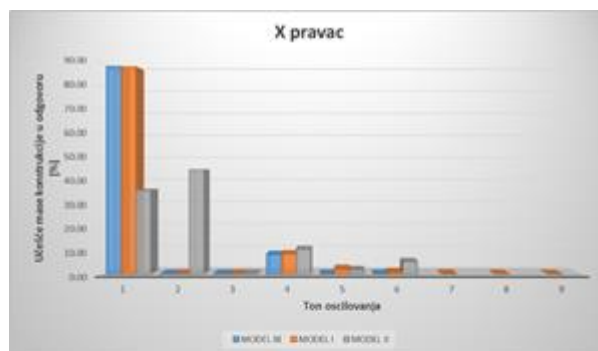
Učešće perioda u generisanju ukupnih seizmičkih sila za vreme trajanja zemljotresa zavisi od efektivne modalne mase za taj period, posmatranog svojstvenog oblika i stvarnog rasporeda masa po visini objekta.

Prilikom odabira broja analiziranih tonova, potrebno je voditi računa o tome da je zbir modalnih masa veći od 90% ukupne mase konstrukcije i obuhvatiti sve tonovi sa efektivnim modalnim masama koje su veće od 5% od ukupne mase.

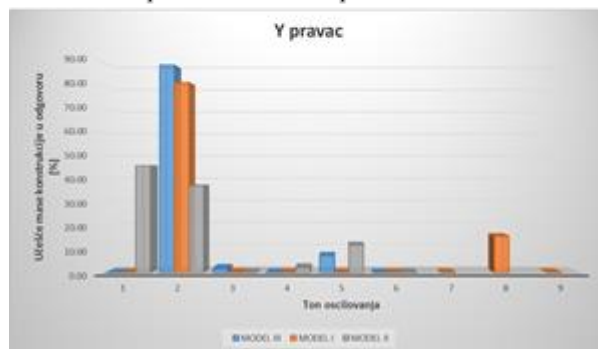
Na spektru ubrzanja očitavamo odgovarajuću vrednost ubrzanja u zavisnosti od perioda, tu vrednost množimo sa pripadajućom efektivnom modalnom masom i dobijamo ukupnu seizmičku silu za odgovarajući period.

Ukupna seizmička sila računa se za svaki period i raspoređuje se po visini objekta.

Time smo predstavili seizmičko opterećenje kao odgovarajuće statičko i dalje možemo da određujemo statičke uticaje u konstrukciji.



Slika 3. Angažovanost mase konstr. po tonovima za X pravac

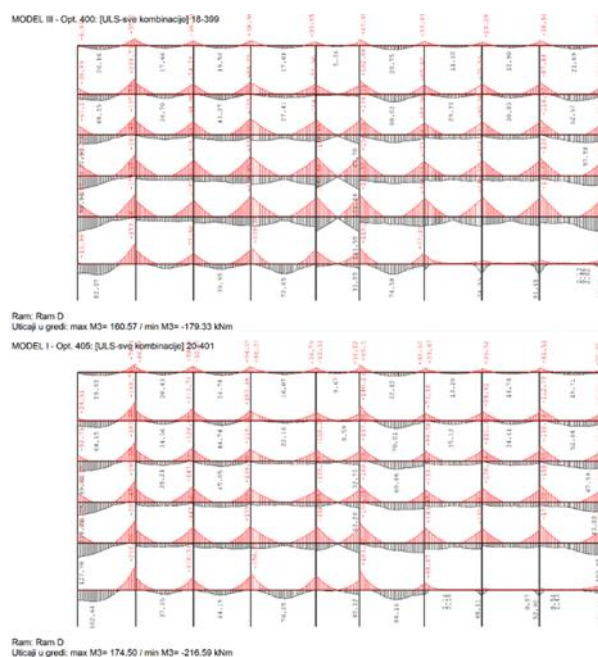


Slika 4. Angažovanost mase konstr. po tonovima za Y pravac

## 3. STATIČKI PRORAČUN, DIMENZIONISANJE I UPOREDNA ANALIZA

Kod poređenja modela, akcent se daje na poređenje momenata savijanja, jer je postojanje zidova u konstrukciji upravo sa idejom smanjenja momenata u gredama i stubovima.

### 3.1. Grede



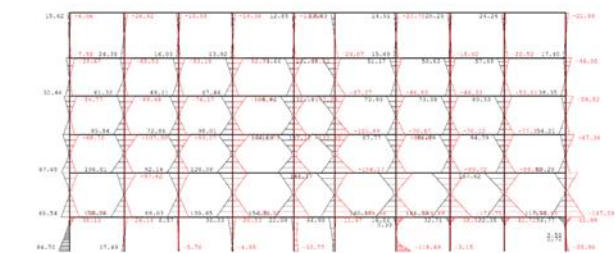
Slika 5. Ram D i momenti savijanja greda modela III i I

Slika 5 prikazuje jedino moguće poređenje grede X pravca modela III i I, jer se samo u tim modelima i u tom pravcima nalaze grede.

U modelu III prvo je uočljivo to da su grede bile znatno angažovanije u svojoj donjoj zoni, dok se to menja uvođenjem zidova u Y pravcu kod modela I. Oba modela imaju jednake konturne uslove na krajevima greda i grede su jednakih dimenzija. Napomenimo da ne postoje zidovi za prijem horizontalnih sila u pravcu u kom se nalazi ram D kod modela I. Angažovanje donje zone kod greda, a i generalno angažovanje greda u obe zone su smanjili seizmički zidovi koji postoje upravno na pravac rama D. Njihova uloga jeste prihvat horizontalnog opterećenja u Y pravcu, ali neminovno je to da će prihvatiti deo opterećenja i u X pravcu. Ne veliki, i ne toliki da se možemo na njih osloniti u vezi sa prijemom u X pravcu, ali će primiti i umanjiti momente u gredama X pravca.

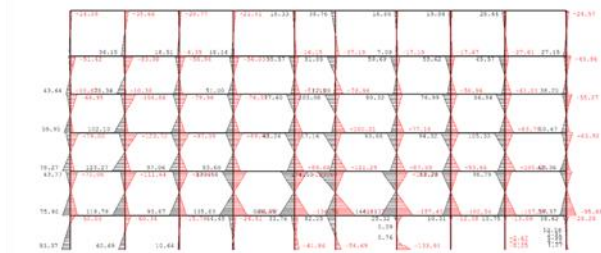
### 3.2. Stubovi

MODEL III - Opt. 400 [ULS-ive kombinacije] 18-399



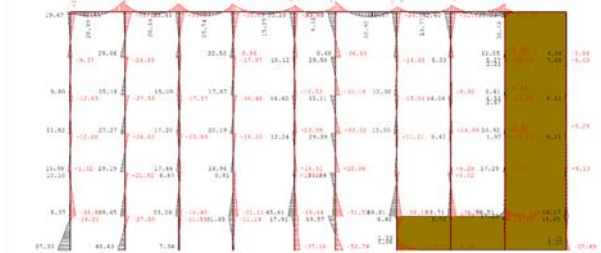
Ram: Ram D  
Uslučaj u gredi: max M3= 160.57 / min M3= -179.33 kNm

MODEL I - Opt. 405 [ULS-ive kombinacije] 20-401



Ram: Ram D  
Uslučaj u gredi: max M3= 174.50 / min M3= -216.59 kNm

MODEL II - Opt. 406 [ULS-ive kombinacije] 20-401



Ram: Ram D  
Uslučaj u gredi: max M3= 87.33 / min M3= -157.10 kNm

Slika 6. Ram D i momenti savijanja stubova modela III, I i II

Na slici 6, uočavamo da su momenti u modelu III manji u odnosu na momente u modelu I, i kao objašnjenje se nameće da je došlo do preraspodele momenta u čvorovima sa gredama iz suprotnog pravca kod modela III, dok grede u suprotnom pravcu modela I ne postoje. Kod modela I i II, uočava se pad vrednosti momenata savijanja, model I ima veće vrednosti. Stubovi modela II u oba rama su opterećeni samo gravitacionim opterećenjem. Što se tiče ukleštenja stubova u temeljnu ploču, momenti su približno jednaki na sva tri modela.

### 3.3. Ploče i zidovi

Kod ovih elemenata se ništa značajno od očekivanog nije desilo, osim što su ploče zbog probijanja morale biti deblje u modelu II.

### 3.4. Materijal

Model III zahteva 5537.59t, model I 5126.52t, model II 5365.16t betona.

Model III zahteva 68770.1t, model I 63864.27t, model II 51536.54t armature.

Ovi podaci su dobijeni iz okvirnog predmera softvera, i ne treba ih shvatati kao definitivno tačne.

### 3.5. Spratno pomeranje

Spratno pomeranje modela je prikazano tabelom 2:

Tabela 2. Spratno pomeranje

Spratno pomeranje [mm]						
Etaža	MODEL III		MODEL I		MODEL II	
	X	Y	X	Y	X	Y
Krov	6.42	5.34	15%	27%	15%	23%
IV sprat	11.35	9.29	1%	16%	60%	47%
III sprat	17.19	13.94	1%	45%	73%	65%
II sprat	21.55	17.73	1%	61%	79%	74%
I sprat	23.51	23.36	1%	75%	83%	81%
Prizemlje	0.54	1.55	39%	7%	48%	36%

Obratimo pažnju na I sprat, koji je u sva tri modela imao najveća pomeranja, u tabeli poredimo pomeranja modela I i II u odnosu na model III. U modelu I smo uveli platna samo u Y pravcu, i vidmo da su pomeranja ista u X pravcu i manja za 75% u Y pravcu. Već u modelu I, uvođenjem zida u jednom pravcu se vidi veliki značaj zida. U modelu II, sa zidovima u oba pravca, pomeranja su manja za 82% u oba pravca.

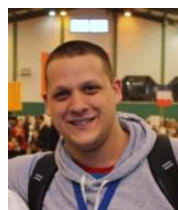
### 4. ZAKLJUČAK

U ovom primeru su analizirani krajnji slučajevi, sa platnima i bez greda ili sa gredama i bez platna u jednom od pravca. Konstrukcija se ponaša daleko bolje ako poseduje seizmičke zidove, i iz tog razloga se ovde daje prednost konstrukciji sa zidovima u oba pravca. Međutim, ako poredimo model I i model II, ja bih prednost dao modelu II, jer zahteva manje armature, manje materijala i nešto deblje ploče zbog probijanja. Idealno rešenje je kombinovanje greda i zidova u jednom pravcu, jer smo se time osigurali od probijanja ili efekta „slaganja“ tavanaci kada se desi probijanje ploče. Takođe, grede doprinose krutosti po spratovima, zidovi će biti manje debljine, ali će se ta razlika nadomestiti nešto većim poslovima oko postavljanja oplata za grede. Iz tog razloga, moja procena je da je model I najoptimalniji model u ovoj analizi [1].

### 5. LITERATURA

[1] Ranko Pajić, „Uporedna analiza zgrada sa seizmičkim zidovima u jednom i u dva pravca – Master rad“, Novi Sad 2021.

### Kratka biografija:



**Ranko Pajić**, rođen je u Novom Sadu 1993. godine. Master rad na fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva odbranio je 2021. godine.