

PROJEKAT I UPOREDNA ANALIZA DVA ARMIRANOBETONSKA OBJEKTA OKVIRNOG I DOMINANTNO ZIDNOG SISTEMA PO EVROKOD STANDARDU**DESIGN AND COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO RC FRAME AND STIFFENED FRAME STRUCTURES ACCORDING TO EUROCODE**

Ivan Jovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Projektnim zadatkom predviđeno je da se isprojektuju dve poslovne armiranobetonske zgrade spratnosti suteran + prizemlje + 7 spratova + restoran. Jedna će biti skeletno ukrućeni sistem a druga okvirni sistem. Projekat je urađen u skladu sa odredbama Evrokodova. Izdimenzionisane su sve ploče i po dva rama u oba pravca, a za istraživački deo rada detaljno upoređena ova dva objekta različitih konstruktivnih sistema, kao i različitosti ponašanja ovih konstrukcija.

Ključne reči: Višespratna armiranobetonska zgrada, Evrokodovi, ukrućeni skeletni i okvirni sistemi, statički proračun, dimenzionisanje, plan armiranja, poređenja objekata, seizmička analiza.

Abstract – The project task is to build two administrative reinforced concrete building. That includes basement floor + ground floor + 7 floors + restaurant (7 + 1). The planned structural systems of this two buildings is a frame with shear walls, and without walls (frame system). The project should be done in accordance with the provisions of Eurocodes. It is necessary to dimension all panels and two frames in each direction. Seismic analyses with a comprehensive comparison of joints in these structures.

Keywords: Multi storey RC building, structure, Eurocodes, RC frame with shear walls, statics design, structural design and reinforcement plans, comparison of joints, seismic analysis

1. UVOD

Armiranobetonske višespratne zgrade mogu se svrstati u šest različitih tipova sistema: okvirni, dvojni, duktilni, lako-armiranih zidova, obrnutog klatna, i torziona fleksibilni. EC8 [referenca] propisuje jasne zahteve koje objekat treba da ispuni da bi se svrstao u jedan od spomenutih sistema. Projektnim zadatkom predviđeno je bilo isprojektovati dva na izgled identična objekta, međutim po prijemu horizontalnih seizmičkih sila, koje same po sebi izazivaju najveće momente u stubovima, u mnogome različita. Naime prvi objekat projektovan je sa seizmičkim zidovima sa kojima smo težili da se poklope centar masa i centar krutosti kako bi njihov uticaj u prenosu opterećenja bio što racionalnije iskorišćen kao i ukrućivanje objekta, što se sprečavanje torzije tiče.

NAPOMENA:

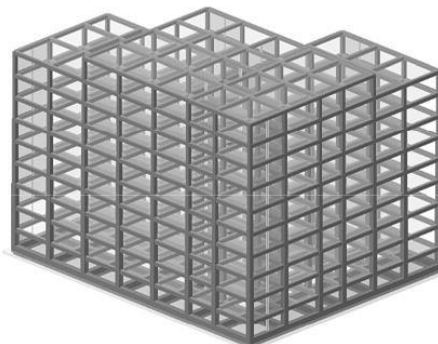
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Đorđe Ladinović, red. prof.

Drugi objekat treba po pitanju same konstrukcije ali isto tako i namene, opterećenja i dr. biti identičan sa prvim, s tim što smo na njemu izostavili seizmičke zidove. Za cilj smo imali da dobijemo dva objekta od kojih će jedan biti svrstan u zidni ili dominantno zidni sistem, a drugi u zavisnosti od pokazanog ponašanja prilikom modalne analize kao i uslova o regularnosti konstrukcije u torziona fleksibilni ili u okvirni sistem. Kasnije, na osnovu proračuna i armiranja ramova i ploča oba objekta, izvršićemo detaljno poređenje u ponašanju ovih konstrukcija, načinu armiranja, količini armature, pomeranjima, oscilovanju, i dr. i ukacaćemo na opasnosti od neadekvatnog sagledavanja situacije prilikom odabira sistema vodeći se pravilima koje propisuje EC8.

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

Objekat se nalazi na lokaciji Novog Sada. Nepravilnih je dimenzija, te je zbog kasnijih pojednostavljenja kod proračuna uticaja od vetra, podeliti na tri celine. Celine imaju sledeće dimenzije: 25,8x19,2, 15x10,2 i 14,4x10,8 m. Kako se radi o poslovnom objektu savremenijeg izgleda sa staklenom kontaktnom fasadom nisu predviđeni nikakvi ispusti u vidu balkona. Ipak na osmom spratu postoje terase ali ne u vidu ispusta, nego će se ravni prohodni krovovi sedmog sprata koristiti kao terase za restoran koji će se nalaziti na gore pomenutoj prvoj celini objekta.

Spratna visina suterena je 3,75 dok su ostale etaže visine 3,5 m. Objekat se sastoji od 7 ramova u X pravcu i 8 ramova u Y pravcu. Ramovi u X pravcu sastoje se od polja dužine 5,4 m sa izuzetkom jednog od 4,2 m. Ramovi u Y pravcu sastoje se od polja dužina 5,4, 4,8 i 3,6 m. Na slici 1. prikazan je prostorni model objekta, a modeliranje je izvršeno u softverskom programu Tower 7.



Slika 1. 3D model konstrukcije

2.2. Elementi konstruktivnog sistema

Noseći sistem je armiranobetonska konstrukcija ojačana seizmičkim platnima kod objekta 1, dok ih objekat 2 ne poseduje. Skeletnu konstrukciju objekta 1 celom visinom ukružuju seizmička platna debljine $d=20$ cm. Grede su dimenzija 40×60 cm, izuzev greda na krovu restorana koje su dimenzija 40×50 cm kao i takozvanih kontra-greda u suterenu dimenzija 60×140 cm. Razlog usvajanja temeljne ploče ojačane gredama je mogućnost izbegavanja probijanja temelja zbog velikih aksijalnih sila koje se javljaju na dnu stubova i dosežu do približno 3900 kN. Stubovi suterena, prizemlja, prvog i drugog sprata su dimenzija 60×60 cm, trećeg, četvrtog i petog sprata 50×50 cm, dok su stubovi šestog, sedmog i osmog sprata dimenzija 40×40 cm. Dobijanje potrebnih dimenzija tavanica sprovedeno je pretpostavljajući stanje koje odgovara simultanom lomu (u isto vreme se dostiže granična nosivost betona i zategnute armature) [1]. Pošto granično stanje upotrebljivosti zahteva debljinu ploče od najmanje 14,2 cm, što je za realne predmetne uslove i raspone mala debljina, međuspratna konstrukcija je usvojena debljine $d=20$ cm na svim etažama (zajedno sa krovnom pločom i pločom prizemlja), a projektovana je kao puna armiranobetonska ploča koja opterećenje prenosi u dva međusobno ortogonalna pravca.

Stepenište se oslanja na grede dimenzija 40×60 cm u nivou tavanica i debljina stepenišne ploče je $d=22$ cm.

Fundiranje objekta izvršeno je na ploči $d=50$ cm koja je prepuštena 1m u odnosu na središnje ose i koja je ojačana kontra-gredama dimenzija 60×140 cm na koje se dalje oslanjaju stubovi i seizmička platna kao i obodni zidovi suterena koji formiraju takozvanu armiranobetonsku kadu. Beton je kvaliteta C30/37, a armatura B500B.

2.3. Analiza opterećenja

Sopstvena težina je automatski proračunata i naneta u računarskom softveru Tower 7 [referenca]. Usvojena zapreminska težina armiranog betona je 25 kN/m^3 .

U dodatno stalno opterećenje spadaju: završni slojevi svih podova, supšteni plafon, elementi podova prohodnog I neprohodnog krova, staklena kontaktna fasada, izolacija fasadnog seizmičkog zida, unutrašnji zidovi, malterisanje seizmičkih zidova, težine obloga stepeništa i težine tla. Kako su pregradni zidovi suterena Rigips ploče debljine 12 cm, i težine manje od 1 kN/m^2 , Evrokod propisuje pravilo kojim ovo opterećenje možemo naneti kao jednako podeljeno u iznosu $0,5 \text{ kN/m}^2$ i svrstati ga u korisna opterećenja.

U povremena opterećenja spadaju korisno, opterećenje od snega i vetra. Korisno opterećenje za kancelarije, stepeništa, hodnike kao i restoran usvojeno je 3 kN/m^2 , dok se arhivski deo mora svrstati u kategoriju E13 te je njegovo opterećenje nešto veće i iznosi 5 kN/m^2 . Upravo je ono i bilo opterećenje koje je posmatrano prilikom analiziranja potrebnih dimenzija tavanica. Iako malo neracionalno jer ovaj prostor ne zauzima veliki deo u osnovi konstrukcije. Ipak smo težili da ploča bude iste visine po celoj osnovi objekta. Opterećenje snegom sprovedeno je prema Evrokod propisima, iznosi $1,2 \text{ kN/m}^2$ i naneto je kako na neprohodnu krovnu površinu restorana, tako i na terase koje se nalaze u sklopu istog. Dejstvo vetra na konstrukciju analizirano je u skladu sa odredbama EN 1991-

1-4 [referenca] za fundamentalnu brzinu vetra od 20 m/s za područje Novog Sada. Dobijeno površinsko opterećenje svedeno je na ramovski deo konstrukcije.

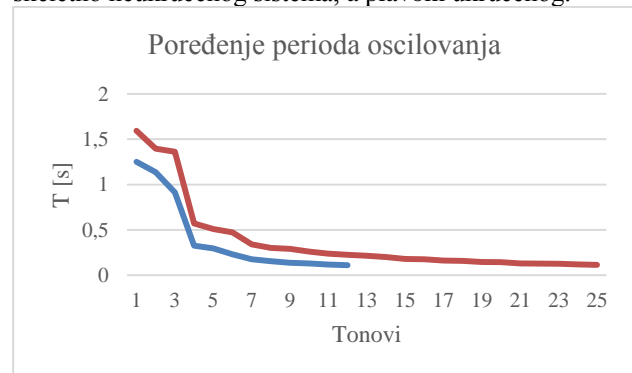
Seizmičko opterećenje sračunatno je za ubrzanje tla od:

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

Ovo ubrzanje pomnoženo je sa koeficijentom klase značaja objekta, gde je naš objekat svrstan u II klasu :

$$\rightarrow a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I = 1,4715 \cdot 1 = 1,4715 \frac{m}{s^2}$$

Za dalji proračun odabrana je kategorija tla B i tip tla 1. Rezultati modalne analize za oba objekta dati su grafikom na slici 2, gde je za prvi objekat $T_1 = 1.25$ s, i $T_2 = 1.59$ s. Crvenom linijom su naznačeni periodi oscilovanja skeletno neukrućenog sistema, a plavom ukrućenog.



Slika 2. Poređenje perioda oscilovanja

2.4. Modeliranje konstrukcije

Modeliranje konstrukcije je kreiranje idealizovane i pojednostavljene reprezentacije ponašanja konstrukcije za neko dejstvo. Moguće greške napravljene tokom modeliranja mogu značajno uticati na proračun uticaja i generalno funkcionisanje celog konstrukcijskog sistema.

Modeliranje se sastoji iz više faza. U konceptualnom nivou definiše se suština i primarna namena modela konstrukcijskog sistema, odnosno dobijaju se statički modeli sistema, dinamički modeli sistema, modeli dejstva na sistem i slično. Računarsko modeliranje obuhvata softversku implementaciju izabranog numeričkog modela.

Izabran softver za proračun je Tower 7 koji je zasnovan na principu metode konačnih elemenata (MKE) [1].

Model konstrukcije formiran je od linijskih (grede i stubovi) i površinskih (zidovi i ploče) elemenata. Predviđeno je da kompletna konstrukcija bude izrađena od betona marke C30/37, armirana armaturom B500B.

Torziona krutost grednih elemenata u graničnom stanju nosivosti je vrlo mala jer se gredni element smatra već isprskalim. Iz tog razloga racionalno je torziju krutost redukovati 10 do 20 puta manjom od homogenog betonskog preseka. U ovom radu redukovano je 10 puta manjom. Evrokod 8 dozvoljava redukciju savojne i smičuće krutosti na polovinu (50%) .

Kako smo E redukovali na E/2, te samim tim smičuću i savojnu krutost smanjili duplo, potrebno je aksijalnu krutost EA da pomnožimo sa dva, $EA * 2$.

Redukcija pločastih elemenata se zanemaruje pošto su ploče praktično nedeformabilni elementi (debljine preko 7 cm se smatraju beskonačno krutim).

U zavisnosti od stepena idealizacije upravo tim redosledom imamo tri proračunska pristupa: linearna promena

kontaktnog naprezanja, Vinklerov model i poluprostorni model. Od tri ponuđena, za proračun je izabran jednoparametarski model - Winkler-ov model tla kao pogodan za softversku analizu. Tlo se tretira kao elastična podloga i zasniva se na proporcionalnosti između pritiska (q) i sleganja (y) u svakom KE.

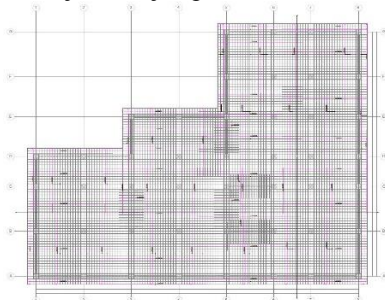
$$q = k \cdot y$$

k - koeficijent posteljice ili modul reakcije tla; Ova vrednost nije fizička veličina, već količnik površinskog opterećenja i sleganja. Određuje se opitom ploče. Usvaja se vrednost 15000 kN/m^3 i ovaj podatak zavisi od vrste tla i dobija se iz geomehaničkog elaborata.

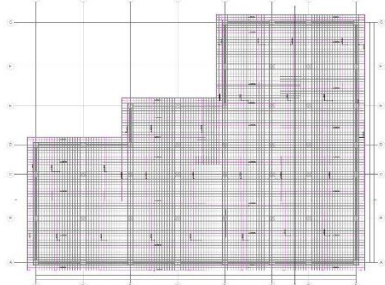
3. STATIČKI PRORAČUN, DIMENZIONISANJE I UPOREDNA ANALIZA

3.1. Proračun, dimenzionisanje i uporedna analiza ploča

Proračunate su i izdimenzionisane sve tavanice u objektu. Ploče kod okvirnog sistema imaju ulogu krute dijafragme, i javljaju se zanemarljivo veći uticaji koji uglavnom i ne potražuju dodatno armiranje. Mala razlika u armiranju je jedino primetna kod temeljne ploče gde se ispod seizmičkih zidova javljaju nešto veći uticaji usled veće aksijalne sile koja se preko njih prenosi. Na slikama armiranja temeljne ploče a i u grafičkoj dokumentaciji se to da primetiti dodatnim armiranjem ispod seizmičkih zidova. Uticaji u ostatku ploče kao i u svim pločama ostalih etaža su približno jednaki. Na slikama 3. i 4. prikazana je razlika u armiranju temeljne ploče.



Slika 3. Armiranje temeljne ploče objekta 1



Slika 4. Armiranje temeljne ploče objekta 2

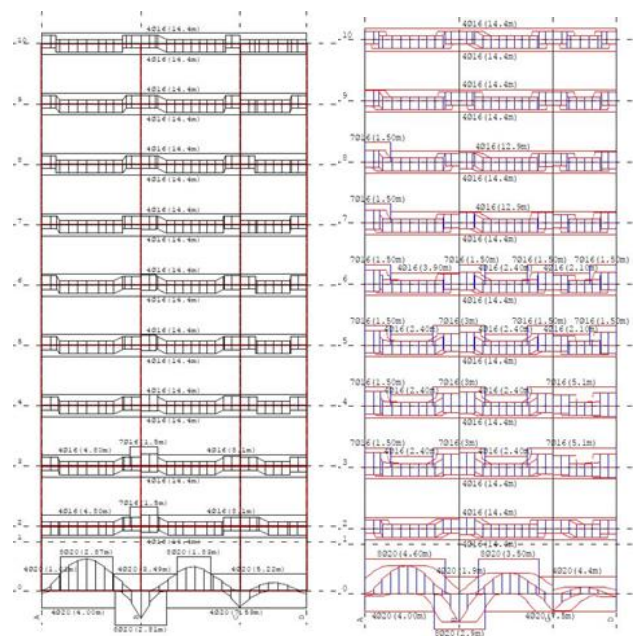
3.1. Proračun, dimenzionisanje i uporedna analiza grednih elemenata

U ramovima u kojima objekat jedan poseduje seizmičke zidove, a objekat dva logično ne poseduje, primećuje se očigledna razlika u momentima temeljnih greda na mestima ispod seizmičkog (tj. krajevima seizmičkog zida) za ova dva objekta. Naime u gredama ispod seizmičkih zidova koji na sebe preuzimaju dobar deo horizontalnog kao i gravitacionog opterećenja te ga prenose vertikalno na temeljne grede, javljaju se dosta veći (čak do 3 puta

veći) momenti na krajevima. Kako je na temeljne grede za razliku od etažnih greda opterećenje zapravo sa donje strane, od podloge, dok su oslonci stubovi, ovi zatežući momenti se javljaju na donjoj strani kontra-greda, međutim i u gornjoj zoni ova razlika zna da ide i do 2 puta. Ipak ovako velika povećanja se dešavaju samo ispod zidova koji se nalaze uz ivicu ili blizu ivice spoljašnjeg rama. Za seizmička platna koja se nalaze unutar objekta, momenti su približno isti (10-30% razlike).

U ostalim gredama razlika u momentima savijanja ne prelazi više od 25% povećanja kod objekta broj dva u odnosu na objekat broj jedan. To povećanje konkretno se javlja na krajevima grednih elemenata dok su u polju momenti približnih veličina, jer su pozitivni momenti u polju pretežno posledica gravitacionih opterećenja a momenat usled seizmike u ovim preseccima ima vrednosti jednakoj blizu nule. Treba još naglasiti da ima mesta gde momenti na krajevima greda idu i do 100% većih vrednosti kod skeletno ukrućenog objekta, ali to se dešava samo na mestima gde se grede spajaju sa seizmičkim zidom, tačno na tom mestu spoja. Upravo iz tog razloga se kod skeletno ukrućenog objekta na mestima spoja greda i seizmičkih zidova i javlja potražnja za dodatnim armiranjem.

Za objekat bez seizmičkih zidova potrebna je veća količina armature u grednim elementima, kako kod njih nemamo seizmičke zidove na koje će se sa tavanica preneti jedan deo opterećenja, već sve prenosi ram. Na slikama 5. i 6. biće prikazane razlike u armiranju, gde se jasno vidi veća potreba za armaturom na mestima čvorova.



Slike 5. i 6. Armiranje greda (levo objekta 1 desno 2)

3.2. Proračun, dimenzionisanje i uporedna analiza stubova

Aksijalne sile kod stubova nisu poređene za stubove koji su povezani sa seizmičkim zidovima, kako ovi stubovi deluju zajedno sa seizmičkim zidom i čine jedno seizmičko platno.

Primećujemo maltene identične vrednosti aksijalnih sila za sve stubove ovih objekata izuzev stubova koji su u prvom objektu bili povezani sa seizmičkim platnima. Oni

su u neku ruku relaksirani, u smislu da se javljaju manje aksijalne sile u njima kod skeletno ukrućene konstrukcije. Razlog za to leži u činjenici koja je već prva napisana kod poređenja uticaja u stubovima, a to je da ti stubovi rade u sklopu seizmičkih zidova te zajedno rade kao seizmičko platno pa isto tako zajedno i prenose vertikalno opterećenje. Kao zaključak se može reći da jedino stubovi koji su u u skeletno ukrućenom sistemu bili u sklopu zidova, u skeletno neukrućenom sistemu zbog nedostatka istih, moraju da prenose do 50% veće opterećenje.

Momenti savijanja se takođe ne razlikuju previše za sve stubove izuzev onih koji su povezani sa zidnim platnima u skeletno ukrućenom sistemu. Za slobodne stubove oba objekta povećani su momenti savijanja kod skeletno neukrućenog sistema ali u jako malim granicama koje se opet kreću do nekih 50%, na nekim mestima izuzetno i duplo veći. Dok kod stubova koji su u prvom objektu bili deo seizmičkih platana, kod drugog objekta gde nemamo ukrućenja takvog tipa, javljaju se čak i momenti koji su bili jako malih intenziteta, ili nisu čak ni postojali u tom pravcu, dosta većeg intenziteta. Iako su ti momenti i do 10x veći kod skeletno neukrućenog sistema, oni su deset puta veći od zanemarljivo malih momenata, te su i sami i dalje ne preterano velikog intenziteta.

Seizmičke kombinacije su te koje izazivaju momente u stubovima, jasno je da u mnogome od njih zavisi i armiranje istih. Razlika u armiranju je neprimetna zbog povećanja seizmičkog dejstva u Y pravcu 1,15 puta kako bismo u obzir uzeli uticaje drugog reda zbog velikih pomeranja kod objekta 2, a prethodno nam je elastični spektar odgovora smanjen 3,9 puta za isti objekat. Te smo se nekako vratili u sličnu situaciju kao i kod objekta sa seizmičkim zidovima.

4. KLJUČNE RAZLIKE I ZAKLJUČAK

U Y pravcu javila se potreba za uzimanjem uticaja II reda u obzir množenjem S_y sa 1.15 i to je urađeno na sledeći način. $\rightarrow s = \sqrt{s_x^2 + 1.15 * s_y^2}$

Na prvi pogled, što nekako deluje i jako čudno, kada se osvrnemo na dimenzionisanje samih elemenata dobijamo utisak da je utrošak betona i čelika za ova dva tipa objekta maltene identičan. S tim u vezi nedvosmisleno se može postaviti pitanje koji je onda i razlog postavljanja seizmičkih zidova ako smo i bez njih ispunili sve kriterijume koje propisuje Evrokod 8.

Kako bi dali odgovor na to pitanje morali bismo da se vratimo malo ranije te možda ponovo preispitamo naš odabir konstruktivnog sistema objekta bez seizmičkih zidova. Naime iako je objekat dva modalnom analizom pokazao oscilovanje konstrukcije koje ne daju nikakve naznake torziono fleksibilnog sistema, pitanje je koliko je to bilo ispravno. Istina je da bismo odabirom torziono fleksibilnog sistema smanjili koeficijent redukcije spektra odgovora sa 3,9 na 2, te dobili veće momente u stubovima.

Naravno da treba obratiti pažnju i na pomeranja konstrukcije. Naime dobili smo pomeranje na V etaži, što zapravo i nije čudno iako objekat ima još etaža iznad spomenute (pošto se radi o okvirnoj neukrućenoj konstrukciji) 34 mm i ako je dozvoljeno 35mm. A pomeranje od 3,4 cm na visini V sprata koji je na oko 20 m od tla nije uopšte zanemarljivo. Ovakva pomeranja

možda ne bi nanela nikakvu štetu našoj konstrukciji, jer smo se prethodno pozabavili capacity design-om, ali zasigurno bi oštetila dobar deo nenosećih elemenata.

Kao prvi element koji odmah zapada za oko, a koji je relativno učestao u današnjoj gradnji poslovnih objekata, možemo izdvojiti staklenu fasadu. Pomeranja od 3,4 cm iako su dozvoljena po pitanju našeg konstruktivnog sistema, sigurno bi u mnogome oštetila ili kompletno uništila elemente od stakla kojima smo obložili naš objekat.

Ipak kada se na kraju sve sabere dodatno armiranje greda i stubova se negde može i preklopiti sa dodatnim armiranjem seizmičkih zidova ukoliko ih imamo. Ovim se pokušava reći da izbacivanjem seizmičkih zidova možda malo gubimo na masi konstrukcije i nije potrebna armatura za iste, ali će se ona svakako nadoknaditi kroz povećano armiranje čvorova kako bi napravili duktilniji objekat. Sa ove tačke gledišta po pitanju utroška materijala, ne naziru se neke prevelike razlike za ova dva objekta.

Iz svega prethodno rečenog, jasno je da i ukoliko ispunimo sve propise i zahteve koji se postavljaju pred glavnog i odgovornog projektanta, ipak treba dublje ući u materiju i dobro razmisliti o svim aspektima ponašanja armiranobetonske zgrade i da li se isplati izostaviti seizmičke zidove. Savet je svakako da se ne izostavljaju. Pogotovo da se to ne radi sa predumišljajem da time možemo ostvariti zaradu smanjenom količinom utroška materijala, ako smo već prethodno uspeli da svrstamo objekat u okvirne sisteme, te samim tim još dodatno i smanjili uticaje u elementima koji su isti za oba objekta.

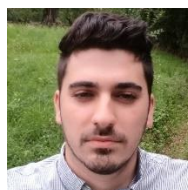
Ovakve sisteme (okvirne), koji će verovatno i biti na granici torziono fleksibilnih prilikom provere ispunjavanja nekih uslova, možda je potrebno svrstati u torziono fleksibilne umesto u okvirne. Time se dobija veća potreba za armaturom, krući objekat, a samim tim i smanjena pomeranja.

Ipak ovakve konstrukcije treba izbegavati te se kao finalni zaključak može izvesti da seizmički zidovi moraju postati obavezni element svake stambene ili administrativne zgrade danas.

5. LITERATURA

- [1] Ivan Jovanović, „Projekat i uporedna analiza dva armiranobetonska objekta okvirnog i dominantno zidnog sistema po Evrokod standardu – Master rad”, Novi Sad 2019.

Kratka biografija:



Ivan Jovanović rođen je u Šapcu 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo odbranio je 2019. god.