

**PROJEKAT FUNDIRANJA VIŠESPRATNE ZGRADE I ANALIZA INTERAKCIJE TEMELJNE PLOČE I TLA****PROJECT OF FOUNDATION OF THE MULTI-STOREY BUILDING WITH INTERACTION ANALYSIS OF FUNDAMENTAL SLAB AND SOIL**Stefan Mihajlović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratka sadržaj** – U radu je obrađeno projektno rešenje armirano-betonske temeljne ploče zgrade spratnosti Po+P+6 sa posebnim osvrtom na analizu interakcije temeljne ploče i tla. Analiza svih relevantnih opterećenja koja deluju na konstrukciju i dimenzionisanje karakterističnih armiranobetonskih elemenata je razmatrano prema Evrokodovima. Za proračun konstrukcije korišćen je softverski paket Tower 8.

**Ključne reči:** fundiranje, betonske konstrukcije, statički proračun konstrukcije, višespratna zgrada, temeljna ploča, geomehanika

**Abstract** – The following paper analyses contains design of reinforced concrete fundamental slab of the multi-storey building with flooring Ug+Gf+6 with special consideration on interaction analysis of fundamental slab and soil. Analysis of all relevant loads which are acting on the structure and design of characteristic reinforced elements was considered according to Eurocode standards. For structure analysis software Tower 8 was used.

**Keywords:** foundation, concrete structures, static analysis of structure, multi-storey building, fundamental slab, geomechanics

**1. UVOD**

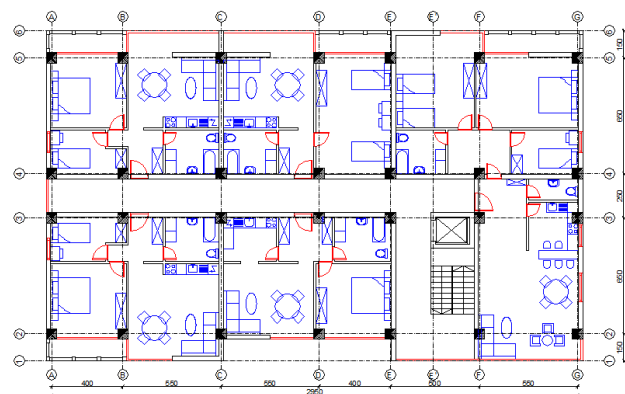
Za potrebe kolektivnog stanovanja urađen je projekat višespratne zgrade pri čemu će se kao poslovni prostor koristiti etaža prizemlja, dok su tipske etaže spratova namenjene za stanovanje. Pre početka faze projektovanja potrebno je izvesti geomehaničke istražne radove na osnovu kojih se dobijaju fizičko mehaničke osobine tla kao i svi neophodni podaci za sledeću fazu procesa projektovanja [3]. Opterećenje koje se aplicira na konstrukciju se određuje saglasno preporukama Evrokodova. Za usvojene vrednosti opterećenja je urađen statički proračun u slučaju kada se temeljna ploča oslanja na tlo modelirano kao poluprostor. Analizira se interakcija temeljne ploče i tla. Razmatraju se vrednosti uticaja za modele tla različitih karakteristika i različitih dimenzija konačnih elemenata, i uspostavlja njihova međusobna zavisnost. Dimenzionisanje temeljne ploče i karakterističnog elementa je urađeno prema ekstremnim uticajima.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mitar Đogo, red.prof.**

**2. TEHNIČKI OPIS**

Armirano-betonska višespratna zgrada je pravougaone osnove dimenzija 18,5 x 29,5 m. Predviđeno je da zgrada ima 8 etaža. Na tipskoj etaži sprata projektovano je pet stambenih jedinica različite površine spratne visine 2,80 m. Poslovni prostor na prizemlju čini 11 lokala spratne visine 3,50 m, dok spratna visina podrumске etaže koja je namenjena za zajedničke i pomoćne prostorije prema projektu iznosi 2,60 m.



Slika 1. Dispozicija tipskog sprata

Stambeno-poslovni objekat je u konstruktivnom smislu projektovan kao skeletna konstrukcija ojačana zidovima za ukrućenje koja se sastoji od četiri rama upravna na kraću stranu objekta i sedam ramova upravnih na dužu stranu objekta. Za ukrućenje objekta u oba pravca projektovani su armirano-betonski zidovi debljine 25 cm. Prema konstrukcijskom rešenju projektovano je šest ovakvih zidova od kojih su dva postavljena na obodnom delu konstrukcije, dok su ostala četiri koncentrisana u središnjem delu objekta i osim povećanja krutosti konstrukcije imaju ulogu da formiraju zidove okna lifta. Osim zidova za ukrućenje, kao armirano-betonski zidovi debljine 25cm projektovani su i spoljašnji zidovi podrumске etaže. Vertikalni elementi ramovske konstrukcije stubovi su promenljivih dimenzija poprečnog preseka po visini objekta, pa su stubovi u podrumu, na prizemlju, prvom i drugom spratu projektovani dimenzija 60x60 cm, a na ostalim spratovima 40x40 cm. Predviđeno je da grede ramovske konstrukcije budu pravougaonog poprečnog preseka dimenzija 40x60 cm, osim konzolnih greda u vidu ispusta za erkere dužine 150 cm koje su promenljivog poprečnog preseka po visini grede.

Za vertikalnu komunikaciju unutar objekta, predviđeno je da se osim lifta koriste dvokrake stepenice konstruktivnog

sistema puna armirano-betonska kolenasta ploča koja je na jednoj strani oslonjena na gredu a na drugoj je oslonjena na armirano-betonski zid za ukrućenje koji je ujedno i zid okna lifta. Međuspratne tavanice su projektovane kao armirano-betonske pune ploče debljine 20 cm na svim etažama, koje opterećenje prenose u dva upravna pravca. Temelj objekta je projektovan kao temeljna ploča debljine 80 cm, dimenzija u osnovi 19,5x30,5 m, ispod cele površine podrumске etaže sa prepustima dužine od 50 cm sa svake strane objekta.

Fasadni zidovi su projektovani kao sendvič zidovi debljine 42 cm, koji se sastoje od fasadne opeke, stiropora i opeke. Unutrašnji pregradni zidovi će se izvoditi od opeke, pri čemu su pregradni zidovi unutar jedne stambene jedinice debljine 12 cm, dok je za zidove između stanova predviđena debljina 25 cm. Za završnu obradu zidova predviđeno je malterisanje i krečenje, a podova oblaganje parketom ili keramičkim pločicama.

Krov objekta je projektovan kao ravna neprohodna površina.

Za izradu svih armirano-betonskih elemenata višespratne zgrade je predviđeno da se koristi beton klase C 30/37 i rebrasta armatura B500B.

Konstruktivni elementi objekta su dimenzionisani prema uticajima usled stalnog, korisnog, opterećenja od snega i vetra i seizmičkog opterećenja.

### 3. MODELIRANJE KONSTRUKCIJE OBJEKTA I TLA

#### 3.1. Modeliranje konstrukcije objekta

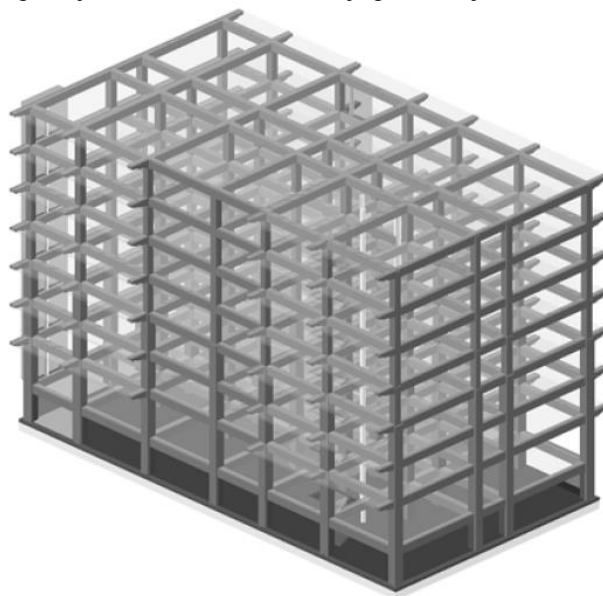
Za potrebe projektovanja i dimenzionisanja konstruktivnih elemenata objekta potrebno je modelirati konstrukciju, a zatim na model konstrukcije aplicirati opterećenja. Modeliranje, proračun i dimenzionisanje konstrukcije je urađeno u softverskom paketu „Tower 8.0“, u kome je proračun statičkih uticaja rađen po linearnoj teoriji elastičnosti, pri čemu je uzeta u obzir geometrijska i materijalna linearnost.

U zavisnosti od elementa konstrukcije, za potrebe modeliranja korišćeni su linijski konačni elementi (za modeliranje stubova dimenzija 60x60 cm i 45x45 cm i greda dimenzija 40x60 cm), površinski konačni elementi (za modeliranje međuspratnih tavanica, kolenastih ploča i međupodesta stepeništa, zidova za ukrućenje i spoljašnjih obodnih zidova na podrumskoj etaži). Na slici 2. dat je proračunski model nosećih elemenata konstrukcije.

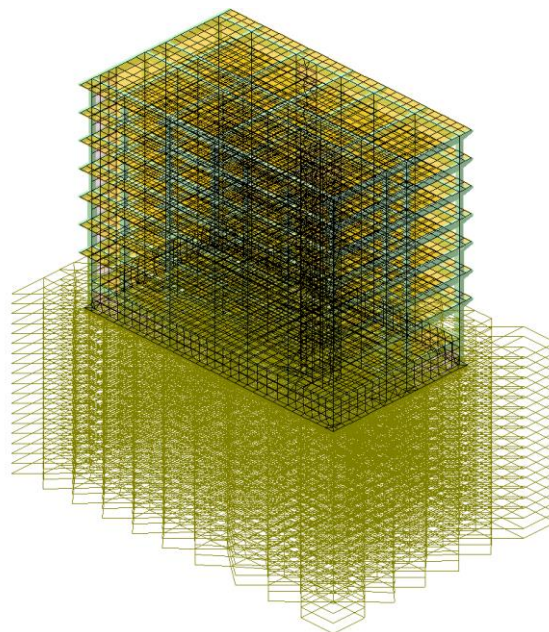
#### 3.2. Modeliranje tla

Tlo ispod temeljne ploče je modelirano kao poluprostor. Takav način modeliranja podrazumeva predstavljanje tla zapreminski, odnosno korišćenjem zapreminskih konačnih elemenata odgovarajućih karakteristika. Za opisan objekat, zbog pojednostavljenja proračuna usvojen je poluprostor dubine 18 m, dimenzije za po 2 m veće širine sa svake strane u odnosu na gabarite objekta, iako modeliranje tla kao poluprostora teorijski znači da se poluprostor pruža neograničeno osim sa gornje strane gde je ograničen površinom tla. Dimenzije poluprostora je potrebno racionalno proceniti i usvojiti tako da proračunski model bude jednostavniji, a dobijeni rezultati proračuna dovoljno tačni [1, 2]. Pri ovakvom načinu modeliranja, tlo je opisano sa dva parametra: vrsta tla je određena modulom deformacije i Poisson-ovim koefici-

jentom. Za konkretan slučaj usvojeno je tlo čiji je Poisson-ov koeficijent jednak 0,30. Zapreminska težina tla je usvojena jednakom  $20 \text{ kN/m}^3$ . Model konstrukcije i tla podeljen na konačne elemente je prikazan na slici 3.



Slika 2. Proračunski model konstrukcije



Slika 3. Model konstrukcije i tla

Modul deformacije tla je promenljiv za različite slučajeve modela tla. Za svaki slučaj modela tla analizirani su uticaji u konstrukciji, i predstavljena njihova međusobna zavisnost. Za različite slučajeve modela, tlo je predstavljeno kao jednoslojno i višeslojno sa varijacijama debljine slojeva i modula deformacije tla.

Za sve slučajeve modela tla analiziran je i uticaj veličine konačnog elementa na dobijene rezultate, pa su korišćeni konačni elementi veličine 1,25m, 1,0m i 0,75m. Modelirani su sledeći slučajevi predstavljanja tla:

Prvi slučaj podrazumeva da je tlo istih karakteristika, odnosno da je poluprostor modeliran jednim slojem debljine 18 m, a njegov modul deformacije je usvojen jednakim 10 MPa.

Drugi slučaj podrazumeva da je tlo istih karakteristika, odnosno da je poluprostor modeliran jednim slojem debljine 18 m, a njegov modul deformacije je usvojen jednakim 25 MPa.

Treći slučaj podrazumeva da je tlo istih karakteristika, odnosno da je poluprostor modeliran jednim slojem debljine 18 m, a njegov modul deformacije je usvojen jednakim 50 MPa.

Četvrti slučaj podrazumeva da je tlo različitih karakteristika, odnosno da je poluprostor modeliran sa tri sloja debljine po 6 m, pri čemu je za modul deformacije prvog sloja (mereno od površine terena do dubine od 6m) usvojena vrednost od 10 MPa, drugog sloja (6-12 m) 25 Mpa i trećeg sloja (12-18 m) 50 MPa.

Peti slučaj podrazumeva da je tlo različitih karakteristika, odnosno da je poluprostor modeliran sa tri sloja debljine po 6 m, pri čemu je za modul deformacije prvog sloja (mereno od površine terena do dubine od 6m) usvojena vrednost od 50 MPa, drugog sloja (6-12 m) 25 Mpa i trećeg sloja (12-18 m) 10 MPa.

#### 4. ANALIZA INTERAKCIJE TEMELJNE PLOČE I TLA

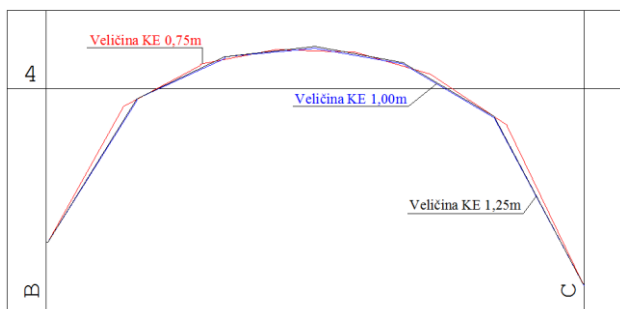
Analizirani su statički uticaji – momenti savijanja

u preseku temeljne ploče za navedene slučajeve modela tla u odnosu na veličinu konačnog elementa kojim je tlo modelirano i karakteristike tla.

U nastavku su date zavisnosti momenata savijanja u polju temeljne ploče između osa B i C (maksimalni momenat na osloncu) u odnosu na veličinu konačnog elementa i deformabilnost tla.

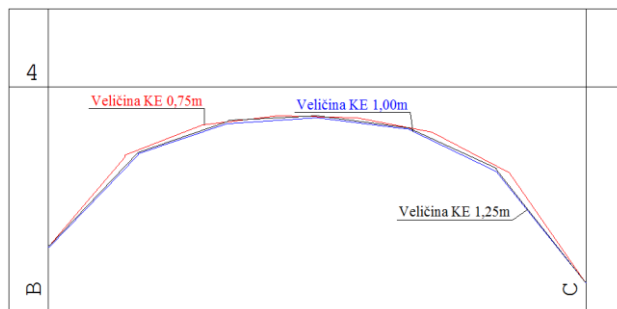
##### 4.1. Zavisnost momenata savijanja u odnosu na veličinu konačnog elementa

Na slikama 4. i 5. prikazani su momenti savijanja  $M_s$  i  $M_n$  za slučaj kada je tlo modelirano sa tri sloja debljine po 6 m, pri čemu je za modul deformacije prvog sloja (mereno od površine terena do dubine od 6m) usvojena vrednost od 10 MPa, drugog sloja (6-12 m) 25 Mpa i trećeg sloja (12-18 m) 50 MPa i konačnim elementima veličine 1,25m; 1,0m i 0,75m.



Slika 4. Momenti savijanja  $M_s$  u zavisnosti od veličine KE

U tabelama 1. i 2. date su karakteristične vrednosti momenata na osloncima odnosno u polju temeljne ploče i procentualna razlika u odnosu na veličinu konačnog elementa. Na slici 6. procentualna razlika je prikazana grafički.



Slika 5. Momenti savijanja  $M_n$  u zavisnosti od veličine KE

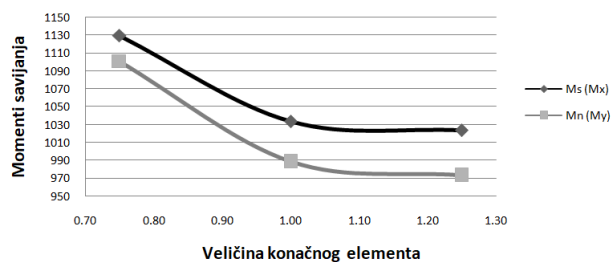
Tabela 1. Momenti savijanja  $M_s$  u zavisnosti od veličine KE

Momenti savijanja $M_s$ ( $M_x$ ) u [kNm]				Procentualna razlika		
Položaj	Veličina konačnog elementa u [m]			Veličina konačnog elementa u [m]		
	0.75	1.00	1.25	0.75	1.00	1.25
oslonac B	887.59	807.02	801.55	9.1%	0.0%	-0.7%
polje B-C	226.08	220.19	219.48	2.6%	0.0%	-0.3%
oslonac C	1129.55	1033.58	1023.83	8.5%	0.0%	-1.0%

Tabela 2. Momenti savijanja  $M_n$  u zavisnosti od veličine KE

Momenti savijanja $M_n$ ( $M_y$ ) u [kNm]				Procentualna razlika		
Položaj	Veličina konačnog elementa u [m]			Veličina konačnog elementa u [m]		
	0.75	1.00	1.25	0.75	1.00	1.25
oslonac C	1100.78	988.24	972.99	10.2%	0.0%	-1.6%

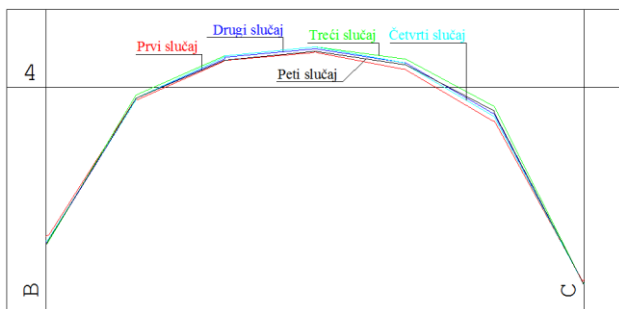
##### Momentni savijanja u zavisnosti od veličine konačnog elementa



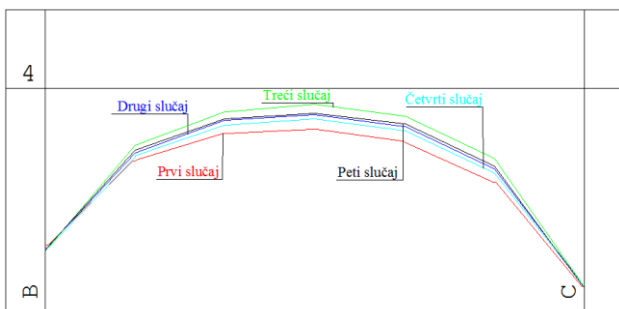
Slika 6. Procentualna razlika momenata savijanja  $M_s$  i  $M_n$  u zavisnosti od veličine KE

##### 4.2. Zavisnost momenata savijanja u odnosu na karakteristike – deformabilnost tla

Na slikama 7. i 8. prikazani su momenti savijanja  $M_s$  i  $M_n$  za slučaj kada je tlo modelirano konačnim elementima veličine 1,0 m i karakteristikama tla za pet različitih slučajeva koji su navedeni.



Slika 7. Momenti savijanja  $M_s$  u zavisnosti od karakteristika tla



Slika 8. Momenti savijanja  $M_n$  u zavisnosti od karakteristika tla

U tabeli 3. date su karakteristične vrednosti momenata savijanja  $M_s$  i  $M_n$  na osloncima odnosno u polju temeljne ploče u odnosu na karakteristike – deformabilnost tla.

Tabela 3. Momenti savijanja  $M_s$  i  $M_n$  u zavisnosti od karakteristika – deformabilnosti tla

Momenti savijanja $M_s$ i $M_n$ u [kNm]				
Slučaj	Položaj			
	oslonac B	polje B-C	oslonac C	oslonac C
Prvi slučaj	792,03	178,73	1025,10	1013,89
Drugi slučaj	777,28	196,71	980,59	925,86
Treći slučaj	735,23	192,12	916,46	835,55
Četvrti slučaj	807,02	220,19	1033,58	988,24
Peti slučaj	739,19	172,16	921,70	862,36

## 5. ZAKLJUČAK

Analiza rezultata interakcije temeljne ploče i tla se sastoji iz dva dela: u prvom delu su analizirani momenti savijanja u odnosu na veličinu konačnog elementa, dok su u drugom delu analizirani momenti savijanja u zavisnosti od deformabilnosti tla.

Prema veličini konačnog elementa, modeli sa konačnim elementima veličine 1,0 m i 1,25 m daju približne vrednosti momenata savijanja, dok model sa konačnim elementima veličine 0,75 m daje nešto veće vrednosti momenata savijanja  $M_s$  i  $M_n$ .

Ako se izuzme vreme potrebno za proračun, preporuka je modelirati konstrukciju sa što većim brojem konačnih elemenata, pri čemu je u tom slučaju proračun na strani sigurnosti. Pošto je racionalnost jedan od bitnijih faktora prilikom faze projektovanja, moguće je koristiti konačne elemente većih dimenzija, pri čemu bi racionalno objašnjenje za ovaj postupak bilo korišćenje koeficijena sigurnosti i usvajanje nešto veće količine armature u poprečnom preseku od potrebne količine u procesu dimenzionisanja.

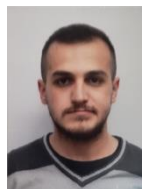
Rezultati dobijeni na osnovu karakteristika tla se razlikuju za slučajeve kada je tlo modelirano kao jednoslojno ili višeslojno. Momenti savijanja u oba upravna pravca su najveći kada je tlo modelirano kao jednoslojno debljine 18 m, modula deformabilnosti 10 MPa. Sa povećanjem modula deformabilnosti tla, momenti savijanja u poprečnom preseku temeljne ploče se smanjuju. Za model višeslojnog tla koje se sastoji od tri sloja debljine po 6 m, momenti savijanja imaju veće vrednosti u slučaju kada je ispod temeljne ploče tlo lošijih karakteristika odnosno manjeg modula deformabilnosti.

Dimenzionisanje temeljne ploče radi se prema statičkim uticajima koji su dobijeni za slučaj kada je tlo modelirano kao višeslojno, odnosno kada je poluprostor modeliran sa tri sloja debljine po 6 m, pri čemu je za modul deformacije prvog sloja (mereno od površine terena do dubine od 6m) usvojena vrednost od 10 MPa, drugog sloja (6-12 m) 25 MPa i trećeg sloja (12-18 m) 50 MPa. Za određivanje potrebne količine armature u donjoj odnosno gornjoj zoni temeljne ploče, i kontrolu na probijanje temeljne ploče korišćeni su uticaji dobijeni kada je poluprostor modeliran konačnim elementima veličine 0,75 m.

## 6. LITERATURA

- [1] D.Milović, M.Đogo, "Greške u fundiranju", Monografija, Fakultet tehničkih nauka, str. 1-438, Novi Sad, 2005.
- [2] D.Milović, M.Đogo, "Problemi interakcije tlo – temelj - konstrukcija", Monografija, SANU – Ogranak u Novom Sadu, str. 1-428, Novi Sad, 2009.
- [3] M.Vasić, "Inženjerska geologija", Fakultet tehničkih nauka, str. 1-285, Novi Sad, 2001.

### Kratka biografija:



**Stefan Mihajlović** rođen je u Prištini 1993. god. Studirao je u Kraljevu i Novom Sadu. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu iz oblasti Građevinarstvo – Geotehnika odbranio je 2019.god. kontakt: mihajlovic.s@mfkv.kg.ac.rs