

Ponašanje dvokatnog ravninskog okvira s obzirom na različit pristup modeliranju tla

Vlaho Akmadžić

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, prof. dr. sc.,
vlaho.akmadzic@fgag.sum.ba

Anton Vrdoljak

Sveučilište u Mostaru, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, mr. sc.,
anton.vrdoljak@fgag.sum.ba

Sažetak: Ovaj rad predstavlja nastavak istraživanja utjecaja različitog modeliranja koeficijenta reakcije tla na odabrani statički sustav. U ovom radu izvršena je analiza ponašanja dvokatnog armiranobetonskog okvira za različite dimenzije temelja i različite vrijednosti koeficijenta reakcije tla. Prikazan je pregled vrijednosti ovih koeficijenata, koji predstavljaju krutost Winklerovih opruga, s obzirom na konkretnu geometriju plitkih temelja. Vrijednosti se razlikuju s obzirom na autora, a kao mjerodavna za komparaciju korištena je prosječna vrijednost. Rezultati numeričke analize za pojedinačni armiranobetonski dvokatni okvir dobivene su uporabom programa SE_Calc i Tower 8. Nakon dobivenih rezultata za svaki pojedinačni okvir, izvršeno je njihovo objedinjavanje i analiza.

Ključne riječi: Dvokatni ravninski okvir, koeficijent reakcije tla, Winklerove opruge, plitki temelji, numerička analiza, SE_Calc

Behavior of a two-story planar frame for different approach to soil modeling

Abstract: This paper is a continuation of the research on the influence of different modeling of the subgrade reaction coefficient on the selected static system. This paper analyzes the behavior of a two-story reinforced concrete frame for different foundation dimensions and different values of the subgrade reaction coefficient. It presents an overview of values of these coefficients, which represent the stiffness of Winkler springs with respect to the specific geometry of shallow foundations. The values are different depending on the author, and the average value was used as relevant for comparison. Results of the numerical analysis for an individual reinforced concrete two-story frame were obtained using the SE_Calc and Tower 8 programs. After obtaining the results for each individual frame, they were combined and analyzed.

Key words: Two-story planar frame, subgrade reaction coefficient, Winkler springs, shallow foundations, numerical analysis, SE_Calc

Akmađić, V., Vrdoljak, A.

Ponašanje dvokatnog ravninskog okvira s obzirom na različit pristup modeliranju tla

1. UVOD

Ovaj rad predstavlja nastavak istraživanja utjecaja različitog modeliranja koeficijenta reakcije tla na odabrani statički sustav dvokatnog ravninskog okvira. Prethodna analiza na jednokatnom 2D okviru oslonjenom na kvadratne temelje [1] je pokazala da veća vrijednost koeficijenta reakcije tla (krući temelji) daje manje maksimalne momente i manje vertikalne pomake konstrukcije. Po pitanju vertikalnih pomaka konstrukcije odstupanje je bilo oko 10%, a momenata $\pm 1\%$.

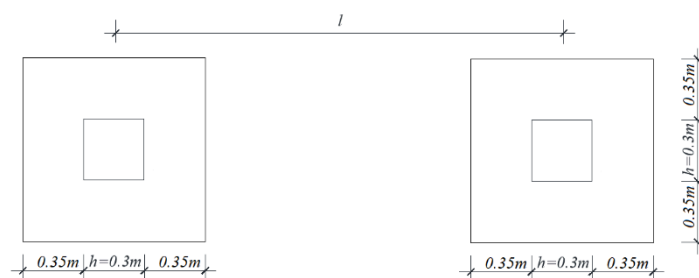
Bitno je istaknuti kako su različite vrijednosti koeficijenta reakcije tla posljedice različitih pristupa istoj problematici od strane različitih autora (Vesić, Biot, Meyerhof & Baika, Kloppe & Glock, Selvadurai). Kako bi se mogao promatrati ovaj utjecaj izračunata je srednja vrijednost koeficijenta reakcije tla i uzeta kao mjerodavna za praćenje odstupanja i u tlu i na konstrukciji. Za ove i edukativne potrebe [2] izrađen je 2018. godine računalni program SE_Calc [3] na Sveučilištu u Mostaru, ustrojbenoj jedinici Građevinski fakultet. Razvoj ovog softverskog rješenja je i dalje u tijeku, a pojedine faze su opisane u nekoliko radova [4], [5].

Treba naglasiti da se koeficijenti reakcije tla primjenjuju u raznim poljima građevinarstava gdje je potrebno modelirati kontakt temelj-tlo putem Winklerovih opruga [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12]. Naime, primjenom Winklerovih opruga opisuje se na dovoljno prihvatljiv način karakteristično tlo ispod objekta u slučaju plitkog temeljenja. Dovoljno je u programskom paketu za proračun konstrukcija zadati odgovarajuću vrijednost koeficijenta reakcije tla kako bi se opisalo ponašanje istog. Međutim, budući da su se različiti autori bavili ovom problematikom dobiveni su različiti izrazi. Stoga ovaj rad pokušava dati odgovor na dilemu ispravnog odabira odgovarajućeg koeficijenta reakcije tla.

Napravljene su numeričke analize dvokatnog ravninskog armiranobetonskog okvira, izvršeno je tabelarno objedinjavanje rezultata i interpretacija istih.

2. MATERIJALNE I GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE DVOKATNOG RAVNINSKOG ARMIRANOBETONSKOG OKVIRA

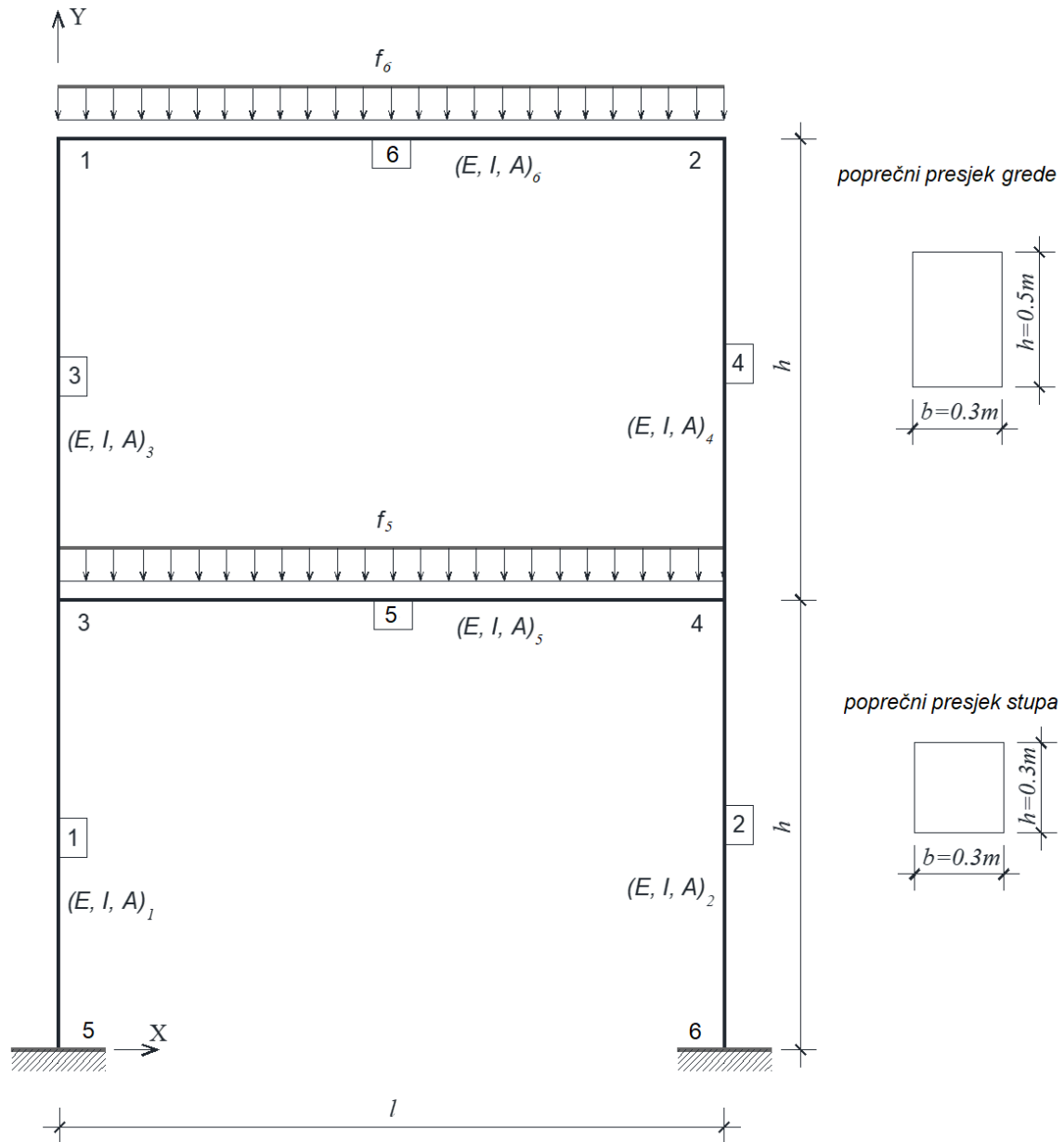
Dimenzije analiziranog dvokatnog ravninskog armiranobetonskog okvira (Slika 2) se mogu zamisliti kao etažna nadogradnja jednokatnog okvira iz rada [1]. Dakle raspon okvira je $l=6,00$ m, a visina $h=4,00$ m. Konstruktivni elementi, stupovi i grede, izrađeni su od betona C25/30. Okvir je u prvom primjeru oslonjen na temelje dimenzija $1,00$ m \times $1,00$ m (Slika 1), debljine 60 cm. U drugom primjeru su te dimenzije $1,20$ m \times $1,20$ m iste debljine. U trećem primjeru su dimenzije $1,50$ m \times $1,50$ m, također iste debljine. Praćen je utjecaj samo za vertikalno jednoliko raspodijeljeno opterećenje iznosa 30 kN/m' u nivou svake grede. Kako bi se simulirale kombinacije opterećenja, ovaj intenzitet od 30 kN/m' je pomnožen s faktorom 2.0 . Dakle, ukupno opterećenje svake grede je 60 kN/m' plus vlastita težina konstrukcije.



Slika 1. Tlocrt temelja

Akmađić, V., Vrdoljak, A.

Ponašanje dvokatnog ravninskog okvira s obzirom na različit pristup modeliranju tla



Slika 2. Dvokatni armiranobetonski ravninski okvir

3. KOEFICIJENT REAKCIJE TLA

Za potrebe modeliranja tla bitno je poznavati njegove karakteristike obično dobivene nakon izrade geomehaničkog elaborata. S obzirom na to da rad predstavlja nastavak na prethodno istraživanje [1], a kako i tamo tako i ovdje je uzeto da se radi o granuliranom tlu. Za potrebe određivanja numeričkih vrijednosti koeficijenta reakcije tla po različitim autorima (Vesić, Biot, Meyerhof & Baïke, Kloppe & Glock, Selvadurai) prema izrazima navedenim u radovima [1], [4], [5], te srednje vrijednosti korišten je program SE_Calc [3].

Akmađić, V., Vrdoljak, A.

Ponašanje dvokatnog ravninskog okvira s obzirom na različit pristup modeliranju tla

Vrijednosti koeficijenta reakcije tla za tri vrste kvadratnih temelja širokih 1.00 m, 1.20 m i 1.50 m, a dubokih 0.60 m navedeni su u sljedećim tablicama.

Tablica 1. Usporedba vrijednosti na temelju dimenzija 1.00 m × 1.00 m × 0.60 m

Autor	Površina m ²	Koeficijent kN/m ³	Prosjek kN/m ³	Odstupanje %
Vesić	1.00	104107.95	137955.16	-24.53
Biot	1.00	162490.76	137955.16	+17.79
Meyerhof & Baike	1.00	130208.33	137955.16	-5.62
Kloppe & Glock	1.00	208333.33	137955.16	+51.02
Selvadurai	1.00	84635.42	137955.16	-38.65

Tablica 2. Usporedba vrijednosti na temelju dimenzija 1.20 m × 1.20 m × 0.60 m

Autor	Površina m ²	Koeficijent kN/m ³	Prosjek kN/m ³	Odstupanje %
Vesić	1.44	86756.63	114962.63	-24.53
Biot	1.44	135408.97	114962.63	+17.79
Meyerhof & Baike	1.44	108506.94	114962.63	-5.62
Kloppe & Glock	1.44	173611.11	114962.63	+51.02
Selvadurai	1.44	70529.51	114962.63	-38.65

Tablica 3. Usporedba vrijednosti na temelju dimenzija 1.50 m × 1.50 m × 0.60 m

Autor	Površina m ²	Koeficijent kN/m ³	Prosjek kN/m ³	Odstupanje %
Vesić	2.25	69405.30	91970.11	-24.53
Biot	2.25	108327.17	91970.11	+17.79
Meyerhof & Baike	2.25	86805.56	91970.11	-5.62
Kloppe & Glock	2.25	138888.89	91970.11	+51.02
Selvadurai	2.25	56423.61	91970.11	-38.65

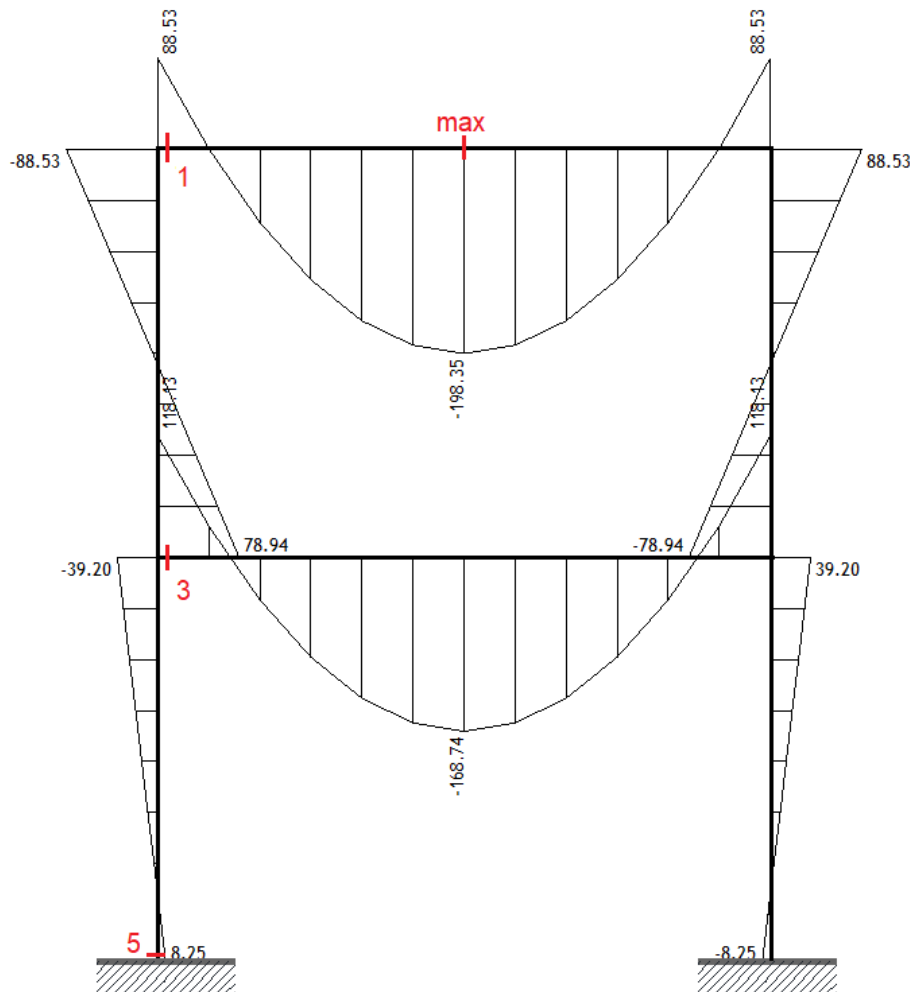
4. UTJECAJ KOEFICIJENTA REAKCIJE TLA NA RASPODJELU MOMENATA NA KONSTRUKCIJI I NAPREZANJE U TLU

4.1 Prosječna vrijednost koeficijenta reakcije tla

S obzirom na činjenicu da su sada poznati svi parametri za modeliranje konstrukcije (materijal, geometrija, opterećenje) i modeliranje tla (koeficijent reakcije tla) može se pristupiti numeričkom modeliranju različitim varijanti uz pomoć programskog paketa Tower 3D Model Builder 8.0 [13]. Kao što je već prethodno spomenuto kao osnovni model poslužit će onaj s prosječnom vrijednošću koeficijenta reakcije tla prikazan na slici 3, a na temeljima 1.00 m × 1.00 m × 0.60 m.

Akmađžić, V., Vrdoljak, A.

Ponašanje dvokatnog ravninskog okvira s obzirom na različit pristup modeliranju tla



Slika 3. Dvokatni armiranobetonski ravninski okvir – dijagram momenata

4.2 Vrijednost momenata u karakterističnim točkama za vrijednosti koeficijenta reakcije tla dobivenog od strane drugih autora

Zbog ograničenja prostora prikazan je samo jedan dijagram momenata na konstrukciji, a ostale vrijednosti će se pratiti tabelarno.

Tablica 4. Usporedba vrijednosti na temelju dimenzija 1.00 m × 1.00 m × 0.60 m

Autor	Čvor 1 kNm	Čvor 3 kNm	Čvor 5 kNm	Maksimum kNm	Odstupanje %
Vesić	88.60	117.75	6.83	198.27	-17.21
Biot	88.49	118.37	9.12	198.39	+10.55
Meyerhof & Baike	88.54	118.05	7.95	198.33	-3.64
Kloppe & Glock	88.42	118.72	10.49	198.46	+27.15
Selvadurai	88.65	117.48	5.87	198.22	-28.85
Prosjeak	88.53	118.13	8.25	198.35	0.0

Akmadžić, V., Vrdoljak, A.

Ponašanje dvokatnog ravninskog okvira s obzirom na različit pristup modeliranju tla

Tablica 5. Usporedba vrijednosti na temelju dimenzija 1.20 m × 1.20 m × 0.60 m

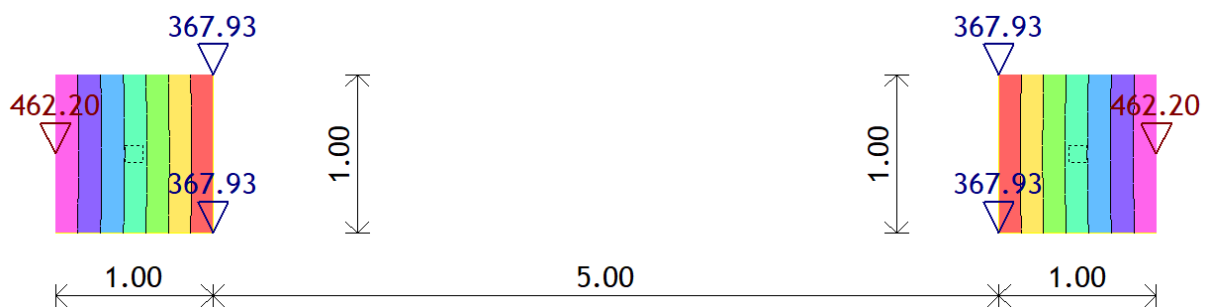
Autor	Čvor 1 kNm	Čvor 3 kNm	Čvor 5 kNm	Maksimum kNm	Odstupanje %
Vesić	88.47	118.43	9.59	198.40	-14.06
Biot	88.35	119.09	12.07	198.52	+8.15
Meyerhof & Baike	88.41	118.76	10.84	198.46	-2.87
Kloppe & Glock	88.29	119.43	13.42	198.59	+20.25
Selvadurai	88.53	118.13	8.46	198.34	-24.19
Prosjeak	88.40	118.85	11.16	198.48	0.0

Tablica 6. Usporedba vrijednosti na temelju dimenzija 1.50 m × 1.50 m × 0.60 m

Autor	Čvor 1 kNm	Čvor 3 kNm	Čvor 5 kNm	Maksimum kNm	Odstupanje %
Vesić	88.31	119.28	13.04	198.56	-10.07
Biot	88.20	119.88	15.29	198.67	+5.45
Meyerhof & Baike	88.26	119.59	14.21	198.62	-2.00
Kloppe & Glock	88.15	120.16	16.40	198.73	+13.10
Selvadurai	88.37	118.98	11.90	198.50	-17.93
Prosjeak	88.24	119.67	14.50	198.63	0.0

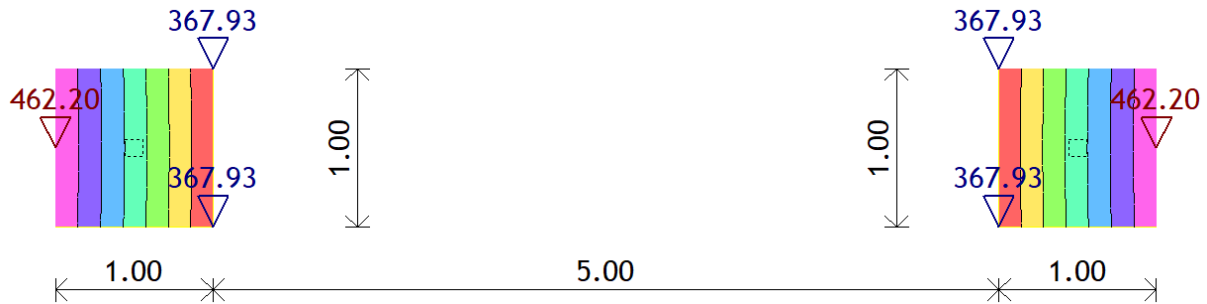
4.3 Raspodjela naprezanja i slijeganja ispod temelja

Kod granuliranog tla i plitkog temeljenja uobičajeno je da se uzme jednolika raspodjela naprezanja ispod temelja. Linearna raspodjela naprezanja zasniva se na pretpostavci kako je geometrija poprečnog presjeka nepromjenjiva (beskonačna krutost) [1], [14], [15]. Za potrebe velikog broja uobičajenih inženjerskih objekata, a iz praktičnih razloga, zanemaruje se činjenica o deformaciji oblika temelja, tla i njihovoj interakciji [15], [16]. Tako se pristupilo i u ovom primjeru. Kao primjer navodi se dijagram naprezanja ispod temelja (Slika 4) i dijagram slijeganja (Slika 5) a za primjer sa slike 3, s mrežom konačnih elemenata 0.20 m × 0.20 m.



Slika 4. Raspodjela naprezanja (kPa) ispod temelja 1.00 m × 1.00 m × 0.60 m – TOWER

Akmadžić, V., Vrdoljak, A.

Ponašanje dvokatnog ravninskog okvira s obzirom na različit pristup modeliranju tla

Slika 5. Raspodjela slijeganja (mm) za temelj 1.00 m x 1.00 m x 0.60 m – TOWER

Iz razloga prostornog ograničenja i preglednosti u narednim tablicama navode se ekstremne vrijednosti naprezanja i slijeganja za sva tri karakteristična temelja.

Tablica 7. Usporedba vrijednosti na temelju dimenzija 1.00 m x 1.00 m x 0.60 m

Autor	σ (max) kN/m ²	σ (min)t kN/m ²	s (max) mm	s (min) mm
Vesić	454.16	376.18	-3.61	-4.36
Biot	467.14	362.84	-2.23	-2.87
Meyerhof & Baike	460.50	369.68	-2.84	-3.54
Kloppe & Glock	474.86	354.84	-1.70	-2.28
Selvadurai	448.72	381.74	-4.51	-5.30
Prosjeak	462.20	367.93	-2.67	-3.35

Tablica 8. Usporedba vrijednosti na temelju dimenzija 1.20 m x 1.20 m x 0.60 m

Autor	σ (max) kN/m ²	σ (min)t kN/m ²	s (max) mm	s (min) mm
Vesić	324.51	260.96	-3.01	-3.74
Biot	332.56	252.47	-1.86	-2.46
Meyerhof & Baike	328.56	256.71	-2.37	-3.03
Kloppe & Glock	336.91	247.78	-1.43	-1.94
Selvadurai	320.83	264.78	-3.75	-4.55
Prosjeak	329.61	255.60	-2.22	-2.87

Tablica 9. Usporedba vrijednosti na temelju dimenzija 1.50 m x 1.50 m x 0.60 m

Autor	σ (max) kN/m ²	σ (min)t kN/m ²	s (max) mm	s (min) mm
Vesić	215.26	169.76	-2.45	-3.10
Biot	219.03	165.44	-1.53	-2.02
Meyerhof & Baike	217.23	167.55	-1.93	-2.50
Kloppe & Glock	220.84	163.21	-1.18	-1.59
Selvadurai	213.34	171.86	-3.05	-3.78
Prosjeak	217.72	166.99	-1.82	-2.37

Akmađić, V., Vrdoljak, A.

Ponašanje dvokatnog ravninskog okvira s obzirom na različit pristup modeliranju tla

5. ZAKLJUČAK

Prilikom modeliranja bilo kakve konstrukcije težimo da usvojeni numerički model što vjernije opiše ponašanje stvarne konstrukcije pri pobudi različitim opterećenjima. Za to modeliranje neophodno je poznavanje karakteristika tla koje se za slučaj plitkog temeljenja u numeričkim modelima obično simulira Winklerovim modelom opruge. Karakteristike opruge se zadaju preko koeficijenta reakcije tla.

Problemom određivanja vrijednosti koeficijenta reakcije tla su se bavili različiti autori, i svaki od njih je dao svoje rješenje. Rad ne ulazi u problematiku ispravnosti određenog pristupa. Naprotiv, istražuje se odgovor konstrukcije ravninskog dvokatnog armiranobetonskog okvira za različite numeričke vrijednosti koeficijenta reakcije tla.

Numeričkim modeliranjem različitih kombinacija (različita vrijednost koeficijenta zbog različitih autora i dimenzija temelja) pratila se vrijednost momenata u karakterističnim čvorovima, kao i naprezanje i slijeganje ispod temelja.

Rezultati proračuna su pokazali kako viša vrijednost koeficijenta reakcije tla daje manje ekstremne vrijednosti momenata na spoju stupa i zadnje grede. Međutim, s druge strane daje veće momente u polju i veće vrijednosti na spoju stup temelj. S povećanjem dimenzija temelja ova pojava još više dolazi do izražaja. Ako se pogledaju naprezanja ispod temelja može se uočiti kako veća vrijednost koeficijenta reakcije tla daje i veće vrijednosti naprezanja, dok je sa slijeganjem situacija suprotna što je bilo i za očekivati. Utjecaj asimetričnosti opterećenja i konstrukcije, kao i prostorno djelovanje nije analizirano i ostavljeno je u domeni daljnjih istraživanja.

LITERATURA

1. Akmađić, V., Vrdoljak, A.: Behavior of the 2D frames for different approach to soil modeling, *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III: Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering Sciences and Technologies (ESaT 2018)*, Ali, M. & Platko, P. (Ed.), 2018, pp. 3-8, <https://doi.org/10.1201/9780429021596>
2. Vrdoljak, A., Akmađić, V.: Improvement of students' engineering skills in numerical modelling of the structural systems, *Proceedings of the 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA*, 2019, pp. 373-376.
3. SE_Calc (2018): SE Calc - the Software Solution for Subgrade Reaction Calculation, Last stable version: v2.10 (April 2020), software, https://antonvrdoljak.netlify.app/project/se_calc/
4. Akmađić, V., Vrdoljak, A.: Determination of the soil reaction coefficient value—software solution, *e-Zbornik: Electronic collection of papers of the Faculty of Civil Engineering*, 2018, Vol. 8, No. 15, pp. 22-29, <https://hrcak.srce.hr/203800>
5. Akmađić, V., Vrdoljak, A., Ramljak, D.: Influence of the Subgrade Reaction Coefficient Modelling on the Simple 3D Frame, *Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium*, Katalinic, B. (Ed.), 2018, pp. 0294-0298, <https://doi.org/10.2507/29th.daaam.proceedings.042>
6. Biot, M. A.: Bending of an Infinite Beam on an Elastic Foundation, *Journal of Applied Mechanics*, 1937, Vol. 59, pp. A1-A7.
7. Terzaghi, K.: Evaluation of coefficients of subgrade reaction, *Géotechnique*, 1955, Vol. 5, No. 4, pp. 297-326.
8. Vesić, A. B.: Beams on elastic subgrade and the Winkler's hypothesis, *Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISMFE`61)*, 1961, pp. 845-850.

Akmađić, V., Vrdoljak, A.

Ponašanje dvokatnog ravninskog okvira s obzirom na različit pristup modeliranju tla

9. Selvadurai, A. P. S.: Elastic analysis of soil-foundation interaction, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979.
10. Nonveiller, E.: Mehanika tla i temeljenje građevina, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
11. Selimović, M.: Mehanika tla i temeljenje – II. dio, Građevinski fakultet Univerziteta Džemal Bijedić, Mostar, 2000.
12. Caselungha, A., Eriksson, J.: Structural element approaches for soil-structure interaction, Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2012.
13. Radimpex (2019): Tower - 3D Model Builder, Version 8.0, software, <http://www.radimpex.rs>
14. Prskalo, M., Akmađić, V., Vrdoljak, A.: Influence of subgrade reaction coefficient modelling on simple 3D frame subjected to symmetric horizontal load, e-Zbornik: Electronic collection of papers of the Faculty of Civil Engineering, 2019, Vol. 9, No. 18, pp. 38-46, <https://hrcak.srce.hr/230950>
15. Bowles, J. E.: Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA, 1997.
16. Tsudik, E. A.: Analysis of structures on elastic foundations, J. Ross Publishing, Plantation, USA, 2013.