



Pregledni rad/Review paper
Primljen/Received: 22. 10. 2019.
Prihvaćen/Accepted: 13. 12. 2019.

UTJECAJ MODELIRANJA KOEFICIJENTA REAKCIJE TLA NA JEDNOSTAVNI 3D OKVIR IZLOŽEN HORIZONTALNOM SIMETRIČNOM OPTEREĆENJU

Maja Prskalo, prof. dr. sc.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, maja.prskalo@gf.sum.ba

Vlaho Akmadžić, prof. dr. sc.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, vlaho.akmadzic@gf.sum.ba

Anton Vrdoljak, mr. sc.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, anton.vrdoljak@gf.sum.ba

Sažetak: Cilj ovog rada je prikazati utjecaj modeliranja koeficijenta reakcije podloge na jednostavan 3D okvir izložen horizontalnom simetričnom statičkom djelovanju. Budući da rad predstavlja nastavak istraživanja na ovu temu, radi jednostavnosti usvojeno je da je konstrukcija i u ovom slučaju također izvedena na kvadratnim temeljima na granularnom tlu. Različite vrijednosti koeficijenta reakcije, tla dobivene za kvadratne temelje, posljedica su korištenja različitih izraza definiranih od strane pojedinih autora. Tako su na jednom dijagramu prikazane za svakog autora vrijednosti koje nam daju odnos između dimenzija kvadratnih temelja i koeficijenta reakcije tla. Odgovor karakterističnog okvira, dodatno opterećenog horizontalnim djelovanjem, na te utjecaje, prikazan je u radu.

Ključne riječi: horizontalno opterećen 3D okvir, koeficijent reakcije tla, numeričko modeliranje

INFLUENCE OF SUBGRADE REACTION COEFFICIENT MODELLING ON SIMPLE 3D FRAME SUBJECTED TO SYMMETRIC HORIZONTAL LOAD

Abstract: The aim of this paper is to show the influence of the subgrade reaction coefficient modelling on the simple 3D frame subjected to horizontal symmetrical static load. Since the work represents a continuation of the research on this topic, it was decided that the construction, in this case too, was built on the square foundations on granular soil. Different values of subgrade reaction coefficient obtained for the square foundation are the consequence of using different expressions defined by individual authors. Thus, one diagram shows each author's relation between the width of the foundations and the value of the subgrade reaction coefficient. The response of the characteristic structural framework additionally loaded with horizontal static force is then described further in the paper.

Key words: horizontal loaded 3D frame, subgrade reaction coefficient, numerical modelling



1. Uvod

Za svaku konstrukciju potrebno je razmotriti način temeljenja sustava i prema tome njezinu vezu s tlom. U uobičajenoj izgradnji većinom se koristi sustav plitkih temelja. U tom slučaju za modeliranje spoja tla i temelja primjenjuje se model Winklerovih opruga [1], [2], [3]. S numeričkog stajališta potrebno je odrediti točnu vrijednost krutosti Winklerove opruge kroz takozvani koeficijent reakcije tla [4], [5], [6], [7]. U biti on odgovara odnosu između naprezanja ispod temelja i njegovog otklona [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16]. Ove pojave su istraživali mnogi autori i svako rješenje je ponešto drukčije. Tako, za istraživanje je bila zanimljiva primjena prosječne vrijednosti. Ovaj rad je napisan kao rezultat našeg znanstvenog projekta koji se još bavi gore spomenutim pojavama.

Kao što je već spomenuto u [17] u prvom redu trebamo biti svjesni povjerenja koje imamo u točnost i pouzdanost suvremenih statičkih i dinamičkih računalnih proračuna. Prema tome, moramo izbjeći biti kao oni koji slijepo vjeruju svakoj decimali ako je to napisalo računalo, ili svakoj udžbeničkoj formuli ili izrazu, čak i ako se radilo o tiskarskoj pogrešci. Ako govorimo o nazivu koeficijenta reakcije tla, netko bi pomislio da je koeficijent bezdimenzionalna vrijednost, što ne bi bio pravilan način razmišljanja. Iz istraživanja različite literature, za istu stvar koristi se različit naziv. Dobro objašnjenje se može detaljnije pronaći u radu [18] gdje su autori raspravljali o izrazu koji bi trebalo koristiti. Kao što je spomenuto, u različitim publikacijama za ovu vrijednost se koriste različiti nazivi, kao što su modul reakcije tla (podloge), reakcija podloge, modul podloge, koeficijent reakcije tla, Winklerov temelj, Winklerova podloga, vrijednosti K , itd. Nadalje, za potrebe ovog rada za ovu vrijednost će se koristiti naziv koeficijent reakcije tla k_s .

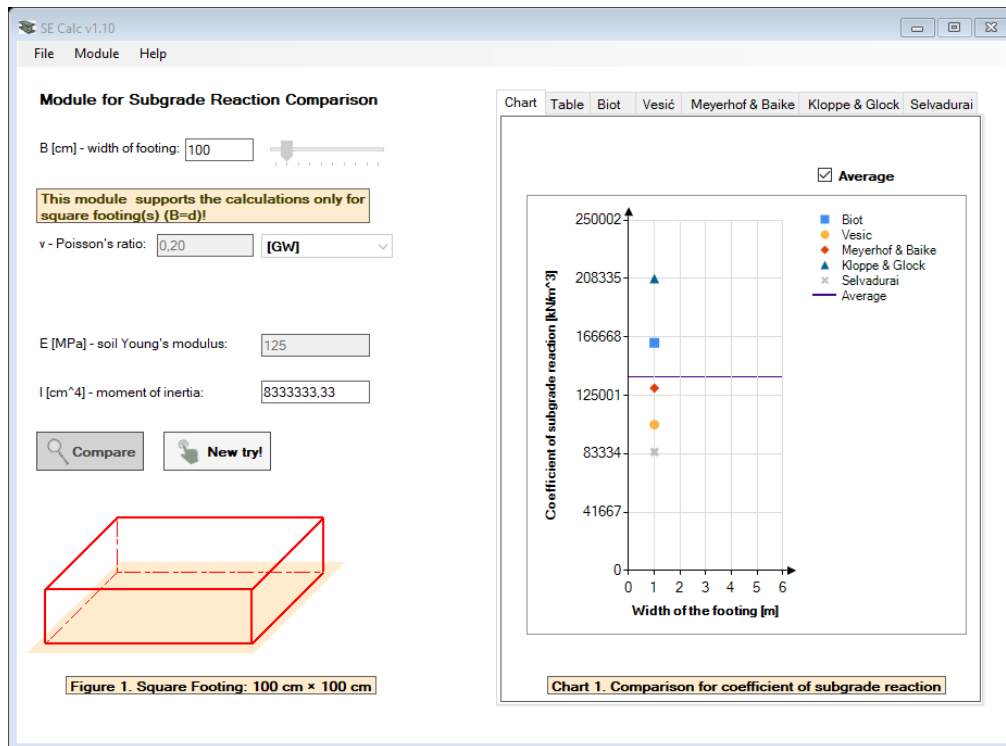
Još jedna namjera autora bila je pokazati kakve posljedice odabrani intenzitet koeficijenta reakcije tla k_s ima na konstrukciju. Zbog toga je razvijen računalni program SE_Calc, a ispitani primjeri su prikazani u radu [10]. Program izračunava koeficijent reakcije tla k_s za različite izraze od (1) do (5) koje su dali navedeni autori. Prve implikacije rezultata analizirane su na jednostavnim 2D okvirima [10], [11], [12]. Pokazuju se određena rasipanja vrijednosti u dijagramima momenata i pomacima [19], [20], osobito u ekstremnim vrijednostima. Ova pojava ima značajan utjecaj na proces dimenzioniranja konstruktivnih elemenata i izradu konstruktivnih detalja.

Najzanimljiviji cilj tog problema je bila usporedba rezultata. Zbog toga je model s prosječnim koeficijentom reakcije tla k_s odabran kao osnovni [11], [12]. S točke polazišta rezultata na jednostavnim 2D okvirima, koristeći prosječni koeficijent reakcije tla k_s , utvrđeno je da se to čini ispravnim pristupom. Negativni aspekt uporabe prosječne vrijednosti je bio u tome da ona nije predstavljala točnu vrijednost koeficijenta reakcije tla k_s , već statističku.

2. Izrazi za koeficijent reakcije tla

Kao što je već spomenuto, program SE_Calc je razvijen u svrhu određivanja koeficijenata reakcije tla k_s različitim izrazima autora [10] prikazanim formulama od (1) do (5). SE_Calc je ispitan na različitim primjerima iz literature [10], [21] i u novije vrijeme nadograđen mogućnošću izračuna prosječne vrijednosti [22]. U svrhu dimenzioniranja konstruktivnih elemenata i boljeg razumijevanja ponašanja konstrukcije, bilo je zanimljivo prikazati svaku vrijednost koeficijenta i prosječnu vrijednost na istoj slici (slika 1), ili posebno ispod svake kartice (slika 1). Program također ima mogućnost prikazivanja svih vrijednosti u istoj tablici.

Utjecaj modeliranja koeficijenta reakcije tla na jednostavni 3D okvir
izložen horizontalnom simetričnom opterećenju



Slika 1. Usporedba vrijednosti koeficijenta reakcije tla

Autori i njihovi izrazi navedeni su dolje po redoslijedu po kojem su korišteni u programu SE_Calc. Prvi je Biot [10]

$$k_s = \frac{0.95 \cdot E_s}{B \cdot (1 - \vartheta^2)} \cdot \left[\frac{E_s \cdot B^4}{(1 - \vartheta^2) \cdot E_b \cdot I} \right]^{0.108} \quad (1)$$

gdje, kao i u drugim izrazima, k_s predstavlja izračunatu vrijednost koeficijenta reakcije tla, E_s modul elastičnosti tla, E_b modul elastičnosti temelja, B dimenziju kvadratnog temelja, I moment inercije temelja i ϑ Poissonov koeficijent.

Drugi je Vesic, najčešći autor koji se koristi na našim prostorima [10].

$$k_s = \frac{0.65 \cdot E_s}{B \cdot (1 - \vartheta^2)} \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot B^4}{E_b \cdot I}} \quad (2)$$

Treći su Meyerhof i Baike [10]

$$k_s = \frac{E_s}{B \cdot (1 - \vartheta^2)} \quad (3)$$

Četvrti su Kloppe i Glock [10]

$$k_s = \frac{2 \cdot E_s}{B \cdot (1 + \vartheta)} \quad (4)$$



Peti je Selvadurai [10]

$$k_s = \frac{0.65 \cdot E_s}{B \cdot (1 - \nu^2)} \quad (5)$$

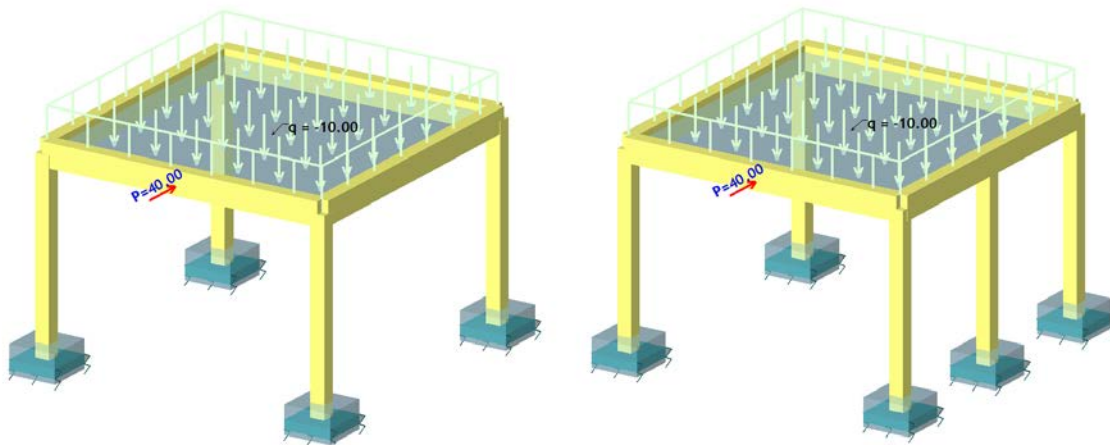
Iz gornjih izraza vidljivo je da se rezultati rasipaju. U slučaju granuliranog tla i dimenzija temelja iz primjera, razlika između najmanje i najveće vrijednosti je gotovo 2,5 puta.

3. Primjeri

Kako ovaj rad predstavlja dio znanstvenog projekta kojim se istražuje ponašanje konstrukcija s obzirom na promjenu koeficijenta reakcije tla k_s , morali su se koristiti isti primjeri iz rada [22]. Jedina razlika je bila u tome što je konstrukcija sada dodatno opterećena horizontalnom statičkom silom od 40kN, što predstavlja oko 10% vlastite težine konstrukcije.

Dakle, ponovo su analizirani horizontalno opterećen simetrični i nesimetrični jednostavni 3D okvir (slika 2) i rezultati su uspoređeni s konstrukcijama opterećenim samo gravitacijskim opterećenjem. Jasno je da bi seizmičke analize bile zanimljive, ali spadaju u područje daljnjih istraživanja i stoga se ne spominju ovdje.

3D okvir u oba smjera ima raspon $l = 6,00\text{m}$, i ukupnu visinu $h = 4,00\text{m}$. Dimenzije stupova su $30 \times 30\text{cm}$, dok su dimenzije greda $30 \times 50\text{cm}$. Grede su povezane s betonskom pločom debljine 22cm . Sve je izrađeno od betona C25/30. Dimenzije temelja su $1,00\text{m} \times 1,00\text{m}$, a debljina je $0,60\text{m}$. Betonska ploča debljine 22cm opterećena je ravnomjerno raspoređenim opterećenjem od 10kN/m^2 , horizontalnim koncentriranim statičkim opterećenjem od 40kN i vlastitom težinom.



Slika 2. Simetrični (lijevo) i nesimetrični (desno) 3D okvir

3.1 Simetrični 3D okvir

Pošto su svi podaci za numeričko modeliranje jednostavnih 3D okvira poznati, kao osnovni model odabran je model s prosječnom vrijednošću koeficijenta reakcije tla k_s . Za potrebe statičkog proračuna koristi se računalni program Tower - 3D Model Builder [23], koji koristi 1D linearne konačne elemente za modeliranje greda i 2D konačne elemente za modeliranje površina. Odabrana gustoća mreže konačnih elemenata za površinske konstrukcije je $0,20 \times 0,20\text{m}$.

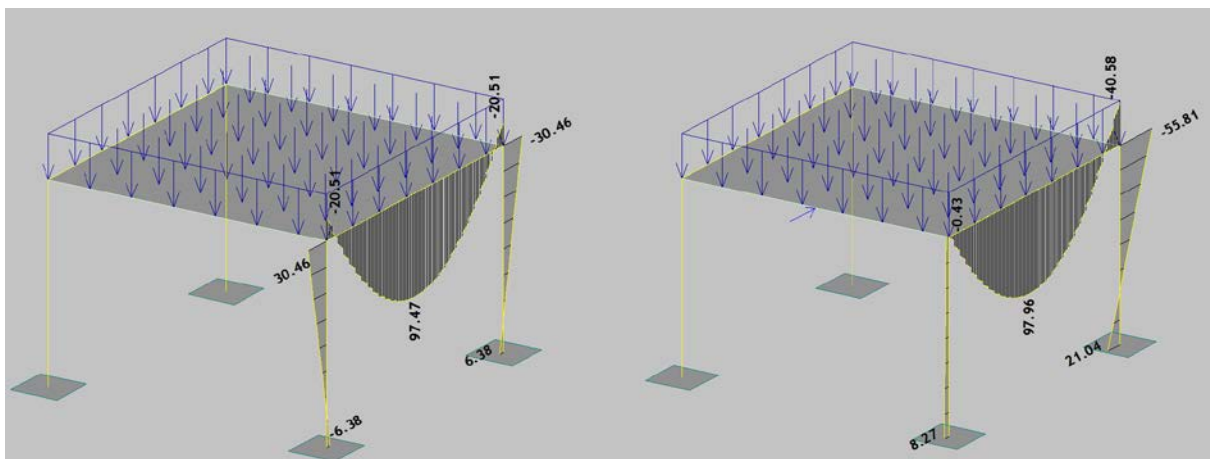


Kao ulazna vrijednost potrebna za modeliranje spoja tla i temelja krutošću Winklerove opruge za program [23], vrijednost koeficijenta reakcije tla k_s dobivena je pomoću SE_Calc [24].

Usporedba karakterističnih vrijednosti između okvira bez horizontalnog opterećenja [22] i s horizontalnim opterećenjem je prikazana u tablici 1. Za lakše razumijevanje dobivenih rezultata, na slici 3 prikazane su karakteristične vrijednosti momenta desnog okvira za prosječnu vrijednost koeficijenta reakcije tla k_s za okvir bez horizontalnog opterećenja (slika 3, lijevo) i s horizontalnim opterećenjem (slika 3, desno).

Tablica 1. Usporedba koeficijenta reakcije tla i vrijednosti momenata na simetričnom sustavu

Autor	Koeficijent reakcije tla [kN/m ³]	Okvir bez horizontalnog opterećenja			Okvir s horizontalnim opterećenjem		
		M [kN/m]	M [kN/m]	M [kN/m]	M [kN/m]	M [kN/m]	M [kN/m]
		<i>Stup - Greda</i>	<i>Stup - Temelj</i>	<i>Sredina grede</i>	<i>Stup - Greda</i>	<i>Stup - Temelj</i>	<i>Sredina grede</i>
Vesić	104107,95	29,99	5,28	97,74	56,59	18,67	98,27
Biot	162490,76	30,75	7,06	97,31	55,42	22,39	97,77
Meyerhof i Baike	130208,33	30,36	6,15	97,53	55,96	20,55	98,02
Kloppe i Glock	208333,33	31,19	8,12	97,06	54,94	24,37	97,49
Selvadurai	84635,42	29,65	4,54	97,93	57,25	16,93	98,50
Prosjek	137955,16	30,46	6,38	97,47	55,81	21,04	97,96



Slika 3. Dijagram momenta na simetričnom okviru bez horizontalnog opterećenja (lijevo) i s horizontalnim opterećenjem (desno)

U tablici 2, utjecaj promjene koeficijenta reakcije tla k_s na maksimalno i minimalno normalno naprezanje ispod temelja je prikazan za slučaj okvira bez horizontalnog opterećenja [22] i s horizontalnim opterećenjem. Kao što je prikazano, razlika između maksimalnih i minimalnih naprezanja ispod temelja je značajna (oko 35% veća od maksimalnog naprezanja i 65% manja od minimalnog naprezanja).



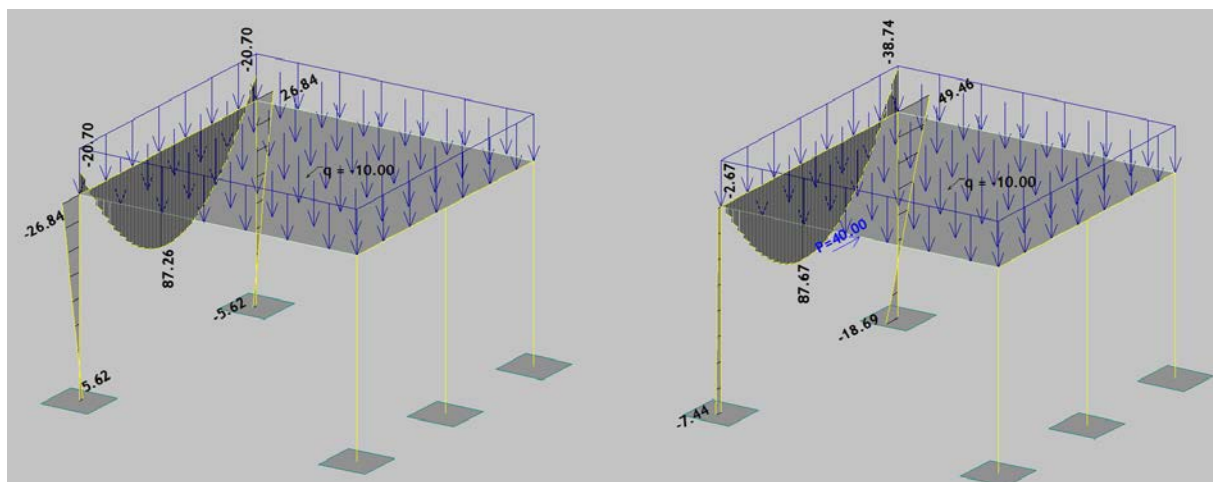
Tablica 2. Usporedba naprezanja ispod temelja na simetričnom sustavu

Autor	Okvir bez horizontalnog opterećenja		Okvir s horizontalnim opterećenjem	
	Naprezanje [kN/m ²]	Naprezanje [kN/m ²]	Naprezanje [kN/m ²]	Naprezanje [kN/m ²]
	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}
Vesić	245,77	125,78	331,03	58,23
Biot	265,87	105,42	361,53	26,18
Meyerhof i Baike	255,59	115,85	346,29	42,18
Kloppe i Glock	277,82	93,27	378,45	8,44
Selvadurai	237,36	134,27	317,27	72,74
Prosjek	258,22	113,17	350,26	38,00

3.2 Nesimetrični 3D okvir

Za bolje razumijevanje ponašanja jednostavne 3D konstrukcije izrađen je nesimetrični model. Na sredini okvira na desnoj strani dodan je jedan stup (slika 2, desna slika). Promatrani portalni okvir nije isti kao u radu [22]. Zbog toga rezultati zapisani u tablici 3 za okvir bez horizontalnog opterećenja nisu isti kao rezultati iz tablice 4 u radu [22]. Kako bi se izbjegla dvojba čitatelja u ovom slučaju, promatrani portal je onaj prikazan na slici 4, a u ovom slučaju također za prosječnu vrijednost koeficijenta reakcije tla k_s .

Kao što je spomenuto u prethodnom primjeru, jedina razlika između rađenih primjera i onog objavljenog u radu [22] je horizontalna sila u iznosu od 40kN (slika 4, slika na desnoj strani). Usporedba rezultata između okvira bez horizontalnog opterećenja i okvira s horizontalnim opterećenjem prikazana je u karakterističnoj točki u tablici 3 i tablici 4.



Slika 4. Dijagram momenta na nesimetričnom okviru bez horizontalnog opterećenja (lijevo) i s horizontalnim opterećenjem (desno)



Tablica 3. Usporedba koeficijenta reakcije tla i vrijednosti momenata na nesimetričnom sustavu

Autor	Koeficijent reakcije tla [kN/m ³]	Okvir bez horizontalnog opterećenja			Okvir s horizontalnim opterećenjem		
		M [kN/m]	M [kN/m]	M [kN/m]	M [kN/m]	M [kN/m]	M [kN/m]
		<i>Stup - Greda</i>	<i>Stup - Temelj</i>	<i>Sredina grede</i>	<i>Stup - Greda</i>	<i>Stup - Temelj</i>	<i>Sredina grede</i>
<i>Vesić</i>	104107,95	26,51	4,67	87,75	50,26	16,61	88,21
<i>Biot</i>	162490,76	27,05	6,21	86,98	49,07	19,88	87,37
<i>Meyerhof i Baike</i>	130208,33	26,77	5,42	87,36	49,61	18,26	87,78
<i>Kloppe i Glock</i>	208333,33	27,37	7,13	86,57	48,57	21,62	86,94
<i>Selvadurai</i>	84635,42	26,29	4,02	88,13	50,92	15,07	88,61
<i>Prosjek</i>	137955,16	26,84	5,62	87,26	49,46	18,69	87,67

Tablica 4. Usporedba naprezanja ispod temelja na simetričnom sustavu

Autor	Okvir bez horizontalnog opterećenja		Okvir s horizontalnim opterećenjem	
	Naprezanje [kN/m ²]	Naprezanje [kN/m ²]	Naprezanje [kN/m ²]	Naprezanje [kN/m ²]
	σ_{max}	σ_{min}	σ_{max}	σ_{min}
<i>Vesić</i>	258,52	93,35	327,23	42,33
<i>Biot</i>	280,08	82,28	357,00	21,60
<i>Meyerhof i Baike</i>	269,09	87,83	342,10	31,76
<i>Kloppe i Glock</i>	292,75	76,06	373,61	8,39
<i>Selvadurai</i>	249,39	98,28	313,88	52,21
<i>Prosjek</i>	271,91	86,39	345,98	29,08

Ako govorimo o normalnom naprezanju ispod temelja, ponašanje raspodjele naprezanja je gotovo isto (oko 35% veće maksimalno naprezanje ispod temelja i 65% manje minimalno naprezanje ispod temelja) kao u slučaju simetričnog okvira. Odgovor na pitanje zašto se to događa može se pronaći u dodatnom horizontalnom opterećenju koje uzrokuje dodatni moment od 160kNm. S druge točke gledišta, raspodjela momenta na gredu i stup pokazuje gotovo isto ponašanje u raspršenju rezultata momenta iz vrijednosti dobivenih primjerom s prosječnom vrijednošću koeficijenta reakcije tla k_s . Naravno, horizontalno opterećenje malo povećava to rasipanje. U interesu za daljnja istraživanja poželjno je istražiti to djelovanje unutar drugog softvera [25].

4. Zaključak

Ovaj rad predstavlja dio znanstvenog projekta kojim se istražuje ponašanje konstrukcija s obzirom na promjenu koeficijenta reakcije tla k_s . Iz tog razloga u ovom radu je analiziran odgovor simetričnog i nesimetričnog 3D okvira, dodatno opterećenog horizontalnim statičkim opterećenjem. Intenzitet tog opterećenja je bio oko 10% vlastite težine konstrukcije. Radi jednostavnosti, konstrukcija je imala istu geometriju i karakteristike tla kao ona opterećena samo gravitacijskim opterećenjem.



Treba napomenuti da se za modeliranje spoja betonskog temelja i tla koristi model Winklerove opruge. Kapacitet opruge definiran je koeficijentom reakcije tla k_s . Njegove vrijednosti su dobivene razvijenim programom SE_Calc koji izračunava različite vrijednosti izrazima različitih autora. Prosječna vrijednost je bila osnovna vrijednost za usporedbu rezultata. Kao i u slučaju 2D okvira i 3D okvira samo s gravitacijskim opterećenjem, rezultati izračuna su pokazali da veća vrijednost koeficijenta reakcije tla daje manje vršnih momenata, što je izraženije na nesimetričnom sustavu.

Napravljena je usporedba normalne raspodjele naprezanja ispod temelja gravitacijski opterećenog i dodatno horizontalno opterećenog 3D okvira. Ponašanje je gotovo isto za simetrični i nesimetrični 3D okvir. Maksimalno normalno naprezanje ispod temelja je bilo oko 35% veće, a minimalno normalno naprezanje oko 65% manje. Odgovor na pitanje zašto se to događa lako se može pronaći u dodatnom horizontalnom opterećenju, koje uzrokuje dodatni moment.

Kao i u slučaju 2D okvira i jednostavnog 3D okvira, i u ovom slučaju s horizontalnim opterećenjem se također pokazalo da se s točke polazišta rezultata pristup korištenja prosječnog koeficijenta reakcije tla čini ispravan. Općenito, s gledišta naprezanja ispod temelja, veći koeficijent reakcije tla daje veće naprezanje i manji vertikalni pomak (slijeganje) temelja za ove vrste građevina.

Za daljnje istraživanje potrebno je analizirati 2D višeraspanske i 3D višekratne konstrukcije pod simetričnim, asimetričnim i seizmičkim horizontalnim opterećenjem.

5. Literatura

1. Daloglu, A.T., Vallabhan, C.V.G.: *Values of k for slab on Winkler foundation*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2000, Vol. 126 (5), pp. 463-471
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2000\)126:5\(463\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2000)126:5(463)).
2. Stavridis, L.T.: *Simplified analysis of layered soil-structure interaction*, Journal of Structural Engineering, 2002, Vol. 128 (2), pp. 224-230,
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2002\)128:2\(224\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2002)128:2(224)).
3. Peyman, M., Ehsan, S.H.: *A Modified Method for Modelling of Spread Footing Under Uniform Distributed Load Using Winkler's Model*, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2019, Vol. 49 (1), pp. 39-50.
4. Marto, A. & others: *Foundation size effect on modulus of subgrade reaction on sandy soils*, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2012, Vol. 17, pp. 2523-2530.
5. Sandrekarimi, J., Akbarzad, M.: *Comparative study of methods of determination of coefficient of subgrade reaction*, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2009, Vol. 14, pp. 1-14.
6. Prskalo, M., Vrdoljak, A.: *Analysis of settlement of foundation plates by finite difference method*, Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium, Katalinic, B. (Ed.), 2016, pp. 0854-0859, <https://doi.org/10.2507/27th.daaam.proceedings.123>.
7. Imanzadeh, S., Denis, A., Marache A.: *Effect of uncertainty in soil and structure parameters for buried pipes*, In: Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4, Coutinho, R.Q. & Mayne, P.W. (Ed.), 2012, pp. 1847-1853.
8. Prskalo, M., Akmadzic, V., Colak, I.: *Numerical modelling of raft foundations*, Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21st International DAAAM Symposium, Katalinic, B. (Ed.), 2010, pp. 0851-0852.
9. Caselunghe, A., Eriksson, J.: *Structural element approaches for soil-structure interaction*, M.Sc. Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2012.
10. Akmadzic, V., Vrdoljak, A.: *Određivanje vrijednosti koeficijenta reakcije tla – programsko rješenje*, e-Zbornik: Elektronički zbornik radova Građevinskog fakulteta, 2018 god. 8 (15), str. 22-29, <https://hrcak.srce.hr/203800>.



11. Akmadzic, V., Vrdoljak, A.: *Influence of soil reaction coefficient on 2D steel frame behavior*, Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering Sciences and Technologies, Platko, P., Ali, M. & Kušnir, Š. (Ed.), 2018., pp. 1-4.
12. Akmadzic, 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.
13. Fang, H-Y.: *Foundation Engineering Handbook*, Springer, New York, USA, 1991.
14. Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G.: *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1996.
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, Florida, USA, 2013.
17. Lazarević, D., Dvornik, J.: *Manjkavosti proračunskih modela inženjerskih konstrukcija*, Građevinar, 2005, Vol. 57(04.), str. 227-236, <https://hrcak.srce.hr/9353>.
18. Wayne, W.W., Holland, J.A.: *Modulus of Subgrade Reaction - Which One Should be Used?*, Structural Services, Inc., Engineering Bulletin, 2012, pp. 1-11.
19. Akmadžić, V., Vrdoljak, A., Smoljanović, H.: *Behaviour of the base grid structure regard to the soil reaction coefficient*, Proceedings of the 18th International Scientific Conference on Construction and Architecture (VSU' 2018), Borisov, B. (Ed.), 2018.
20. Akmadžić, V., Vrdoljak, A., Balić, I.: *Influence of the soil reaction coefficient change on the steel grid foundation*, Proceedings of the 18th International Scientific Conference on Construction and Architecture (VSU' 2018), Borisov, B. (Ed.), 2018.
21. Šolbić, A., Skejić, A.: *Određivanje koeficijenta posteljice temeljnih stopa za dopuštena slijeganja granuliranog tla*, Zbornik radova 12. Međunarodne naučne konferencije iNDiS 2012, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2012.
22. Akmadzic, 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. 294-298, <https://doi.org/10.2507/29th.daaam.proceedings.042>.
23. Radimpex (2019): Tower - 3D Model Builder, Version 8.0, software, <http://www.radimpex.rs>.
24. SE_Calc (2018): SE Calc - the Software Solution for Subgrade Reaction Calculation, Last stable version: v1.10 (Jun 2018), software, https://antonvrdoljak.netlify.com/project/se_calc/.
25. Pleše, D., Barić, I., Sigmund, V.: *Usporedba rezultata numeričkog proračuna zgrade dobivenih različitim programima*, Elektronički časopis Građevinskog fakulteta Osijek-e-GFOS, 2012, Vol. 3 (4), str. 37-45, <https://hrcak.srce.hr/79892>.