



Određivanje vrijednosti koeficijenta reakcije tla – programsko rješenje

Prethodno priopćenje/ Preliminary communication

Primljen/Received: 28. 3. 2018.;

Prihvaćen/Accepted: 30. 4. 2018.

Vlaho Akmadžić

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, izv. prof. dr. sc.

Anton Vrdoljak

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, mr. sc.

Sažetak: Pri numeričkom modeliranju konstruktivnih sustava potrebno je simulirati i tlo na koje se taj sustav oslanja. Obično se simulacija tla izvodi putem modela Winklerovih opruga. U najjednostavnijem slučaju plitkih temelja krutost opruga se zadaje preko koeficijenta reakcije tla. S obzirom kako se veliki broj autora bavio ovom tematikom za potrebe pouzdanijeg proračuna razvilo se programsko rješenje SE_Calc. U suštini obuhvaćen je proračun po predlošcima više autora kako bi se na kraju grafički mogli prikazati njihovi odnosi i odabrati odgovarajuća vrijednost.

Ključne riječi: numeričko modeliranje, koeficijent reakcije tla, programsko rješenje

Determination of the soil reaction coefficient value – software solution

Abstract: In numerical modeling of structures, it is necessary to model the soil on which the structures rest. This soil simulation is performed through the Winkler springs model. In the simplest case of shallow foundations, this is done through the coefficient of soil reaction. Since a large number of authors have dealt with this topic, for the needs of a more reliable modeling, the SE_Calc software solution has been developed. The subgrade reaction is calculated on the templates of several authors in order to graphically display their relationships.

Key words: numerical modeling, subgrade reaction, software solution



1. UVOD

Za modeliranje tla za potrebe proračuna konstruktivnih sustava najčešće se koristi model Winklerovih opruga. Ovo podrazumijeva kako je potrebno odrediti koeficijent reakcije tla, koji u suštini predstavlja odnos između naprezanja i slijeganja. Brojni autori su se bavili ovom problematikom počevši od Terzaghija, Burmistera, Tenga itd.

S obzirom kako se dosta često javlja dvojba kojeg autora odabrati i koju vrijednost koeficijenta reakcije usvojiti, odlučili smo se za izradu programskog rješenja za kvadratne temelje koje bi automatski dalo usporedni prikaz koeficijenta reakcije tla po pristupima različitih autora. Zbog potrebe provjere točnosti rezultata programskog rješenja i njihove usporedbe s onima iz literature prikaz je ograničen samo na granulirano tlo.

2. PRISTUPI RAZLIČITIH AUTORA

Prije ulaska u problematiku definiranja koeficijenta reakcije tla, a iz razloga poznavanja orijentacionih vrijednosti istog za pojedine vrste tla, u slijedećoj tablici, preuzetoj iz rada [1], navode se empirijske vrijednosti ovog modula.

Table 1. Empirijske vrijednosti modula reakcije tla prema Wölferu

Vrsta tla	k_s (MN/m ³)
rahli treset i organska tla (slična humusu)	5-10
teški, zbijeni treset i organska tla	10-15
fini, rahli pijesak (primjerice u koritu rijeka)	10-15
nasipi od humusa, pijeska i šljunka	10-20
glineno tlo zasićeno vodom	20-30
vlažno glineno tlo	40-50
suho glineno tlo	60-80
suho i tvrdo glineno tlo (čvrste gline)	100
konsolidirani humus sa sitnim pijeskom i malim udjelom stijena	80-100
konsolidirani humus sa sitnim pijeskom i značajnim udjelom stijena	100-120
fini šljunak sa velikim udjelom pijeska	80-100
šljunak srednje veličine pomiješan s finim pijeskom	100-120
šljunak srednje veličine pomiješan s krupnim pijeskom	120-150
grubi šljunak pomiješan s grubim pijeskom	150-200
grubi šljunak s malim udjelom pijeska	150-200
jako konsolidirani grubi šljunak s malim udjelom pijeska	200-250

2.1 Koeficijent reakcije tla po Vesiću

Jedan od često korištenih pristupa pri određivanju koeficijenta reakcije tla na našim prostorima je proračun po Vesiću. Koeficijent reakcije tla za kvadratni temelj širine B, uz poznavanje laboratorijski dobivenog modula elastičnosti tla E_s neporemećenog uzorka, dobiva se iz izraza

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

gdje je

E_b – modul elastičnosti temelja, a I – moment tromosti temelja.



2.2 Koeficijent reakcije tla po Biotu

Pristup po Biotu u konačnom izrazu koristi iste članove kao i prethodni izraz po Vesiću. U konačnici ovaj pristup daje izraz za koeficijenta reakcije tla u obliku

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

2.3 Koeficijent reakcije tla po Meyerhof & Blaikeu

Izraz za koeficijent reakcije ovih dvaju autora je nešto jednostavniji od prethodnih. Naime pri određivanju traženog koeficijenta uzima se u obzir samo širina temelja B i karakteristike tla, a ne karakteristike temelja (materijal, moment tromosti...). Izraz je dan u obliku

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

2.4 Koeficijent reakcije tla po Kloppe & Glocku

Slično kao i kod prethodnih autora, izraz za koeficijent reakcije tla je nešto jednostavniji i izgleda

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

2.5 Koeficijent reakcije tla po Selvaduraiu

U nastavku se navodi konačni izraz po Selvaduraiu koji je implementiran u programsko rješenje. Također i u ovom izrazu pri određivanju traženog koeficijenta uzima se u obzir jedino širina temelja B i karakteristike tla, a u obliku

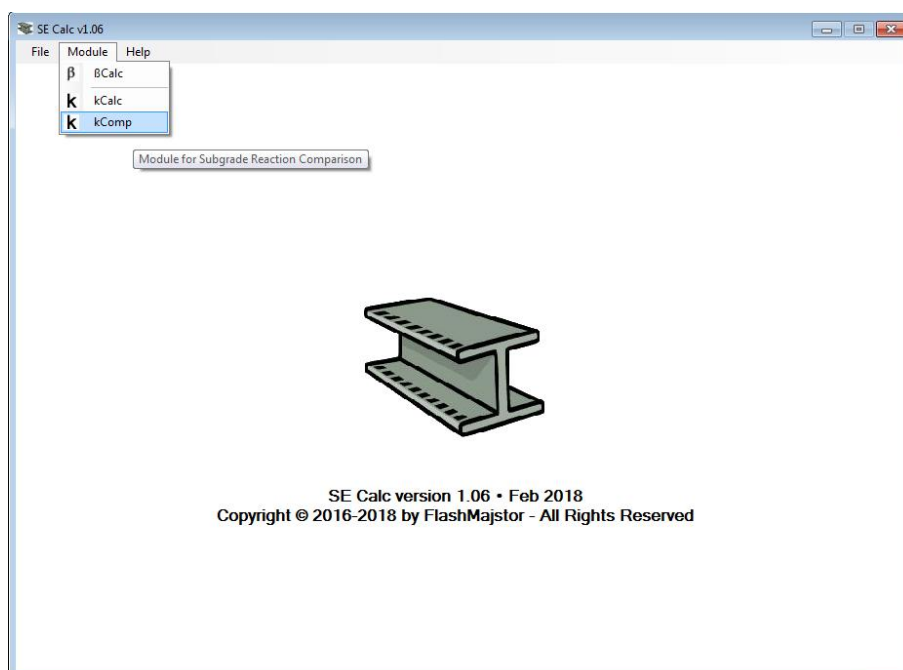
$$k_s = \frac{0.65 \cdot E_s}{B \cdot (1 - \nu_s^2)} \quad (5)$$

3. PROGRAMSKO RJEŠENJE

Implementacija programskog rješenja određivanja vrijednosti koeficijenta reakcije tla izvedena je u objektno orijentiranom programskom jeziku C#, unutar softverskog paketa Microsoft Visual Studio 2015. Izrađen je programski modul kComp za Windows platformu, koji korisniku omogućuje jednostavno zadavanje parametara za širinu temelja i karakteristiku tla, kao i odabir vrste tla u posebnom padajućem izborniku. Po zadavanju parametara korisniku je omogućena usporedba vrijednosti koeficijenata reakcije tla po nekoliko različitih autora u zasebnim prozorima/tabovima, te u tabličnom i grafičkom obliku. Pored standardne opcije ispisivanja rezultata usporedbe, u svakom trenutku moguće je izvesti/spremiti grafički prikazane vrijednosti koeficijenata reakcije tla u posebne slikovne datoteke (.png datoteke) na lokalni tvrdi i/ili flash disk, kao i izvesti snimku kompletnog modula, a sve u svrhu potpunijeg dokumentiranja konkretnog proračuna.

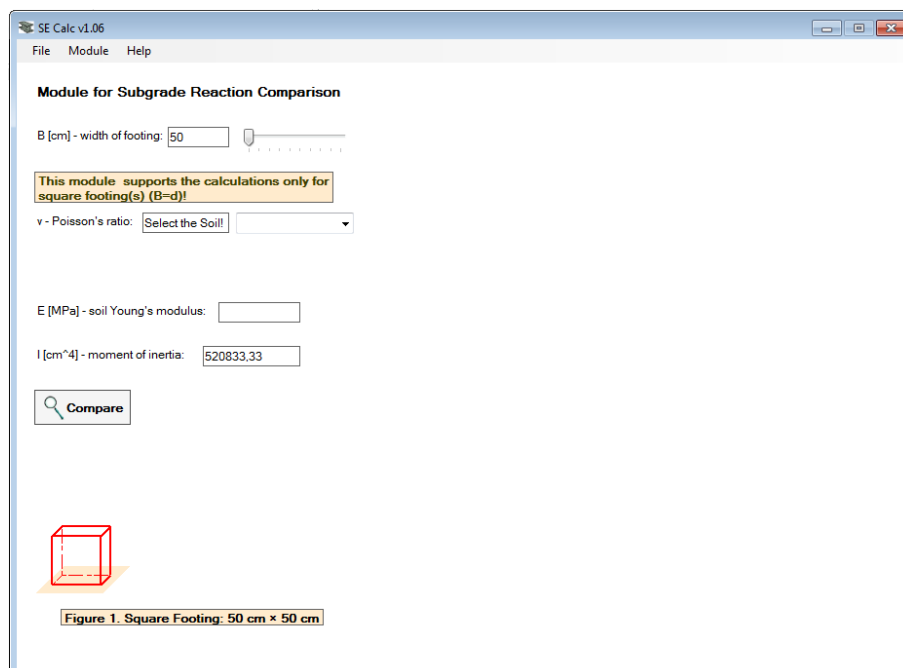


Programsko rješenje implementirano kao modul kComp u sklopu programa SE_Calc prikazano je na slici 1.



Slika 1. Sučelje programskog rješenja

Parametri koji se zadaju su širina temelja B i karakteristike tla. Karakteristike tla se mogu definirati od strane korisnika ili korištenjem onih vrijednosti koje su preuzete iz literature (slika 2.)



Slika 2. Zadavanje ulaznih podataka



U nastavku su se radi provjere pouzdanosti programskog rješenja uzela tri temelja dimenzija:

- 300 cm x 300 cm x 120 cm,
- 250 cm x 250 cm x 120 cm i
- 150 cm x 150 cm x 120 cm.

Module for Subgrade Reaction Comparison

B [cm] - width of footing: 300

This module supports the calculations only for square footing(s) (B=d)!

v - Poisson's ratio: 0,20 [GW]

E [MPa] - soil Young's modulus: 125

I [cm⁴] - moment of inertia: 675000000

Compare New try!

Figure 1. Square Footing: 300 cm x 300 cm

The expression for determining the modulus of subgrade reaction:

$$k_s = \frac{0,65 \cdot E_s}{B \cdot (1 - v_s^2)} \cdot 1,2 \sqrt{\frac{E_s \cdot B^4}{EI}}$$

k_s [kN/m³] = 34702.65

Slika 3. Prikaz proračuna po Vesiću za temelj 300 cm x 300 cm x 120 cm

Module for Subgrade Reaction Comparison

B [cm] - width of footing: 300

This module supports the calculations only for square footing(s) (B=d)!

v - Poisson's ratio: 0,20 [GW]

E [MPa] - soil Young's modulus: 125

I [cm⁴] - moment of inertia: 675000000

Compare New try!

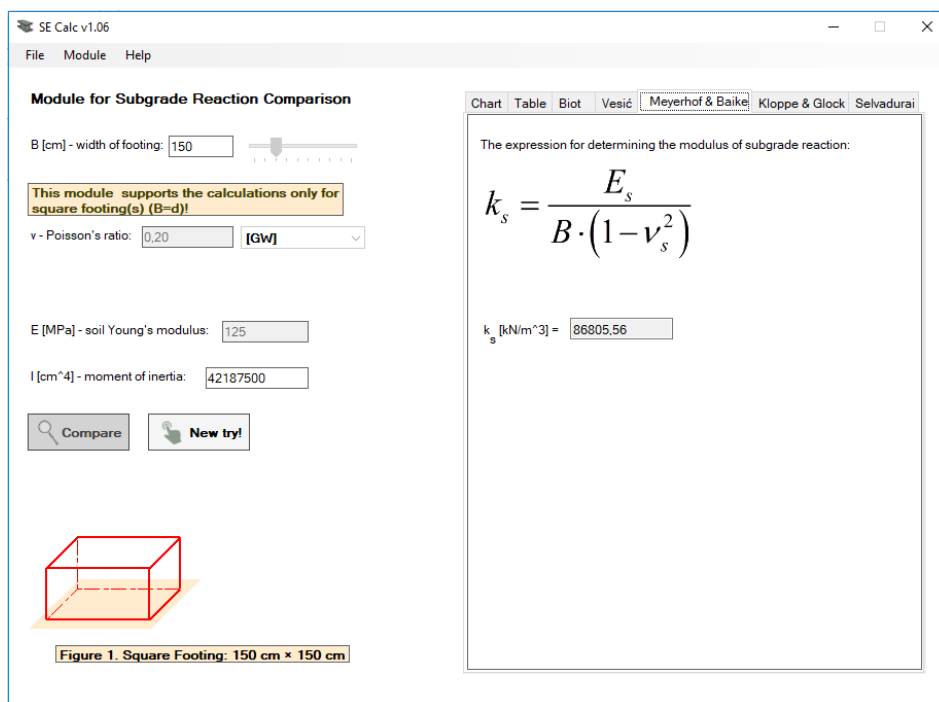
Figure 1. Square Footing: 300 cm x 300 cm

The expression for determining the modulus of subgrade reaction:

$$k_s = \frac{0,95 \cdot E_s}{B \cdot (1 - v_s^2)} \cdot \left[\frac{B^4 \cdot E_s}{(1 - v_s^2) \cdot EI} \right]^{0,108}$$

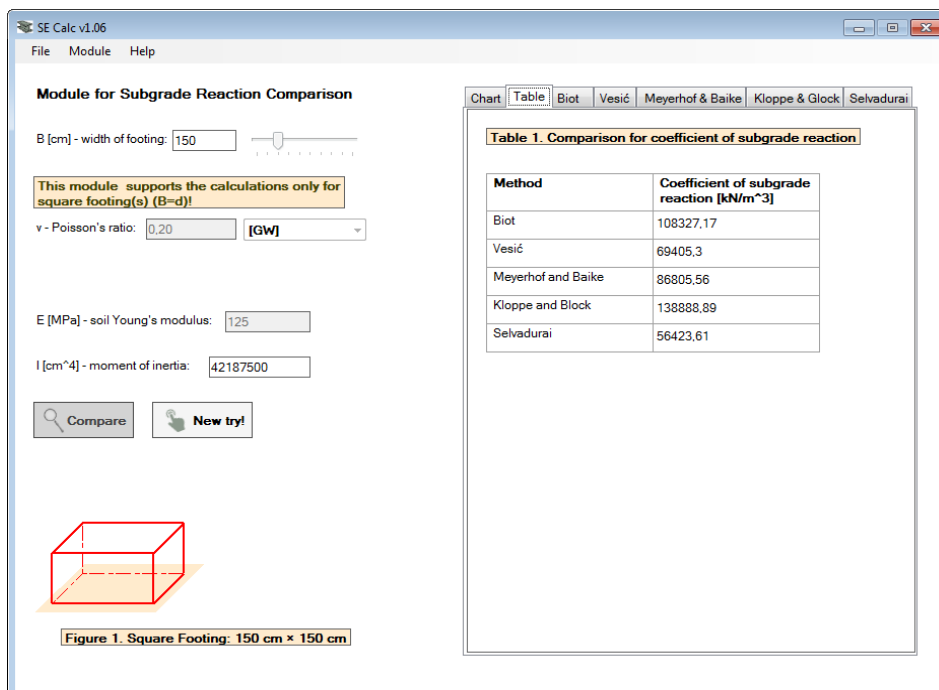
k_s [kN/m³] = 54163.59

Slika 4. Prikaz proračuna po Biotu za temelj 250 cm x 250 cm x 120 cm

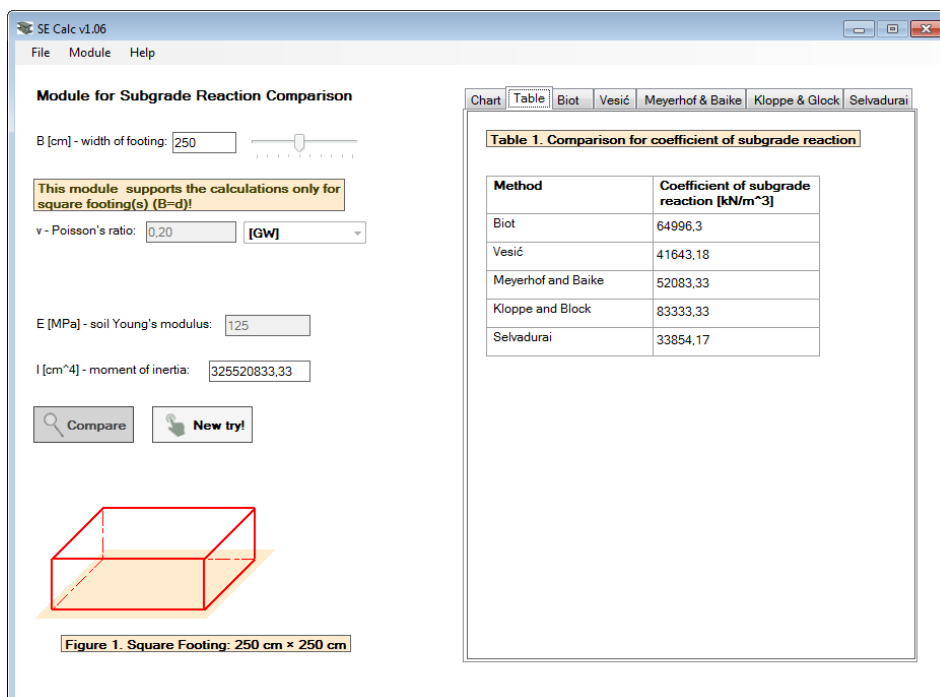


Slika 5. Prikaz proračuna po Meyerhof & Blaikeu za temelj 150 cm x 150 cm x 120 cm

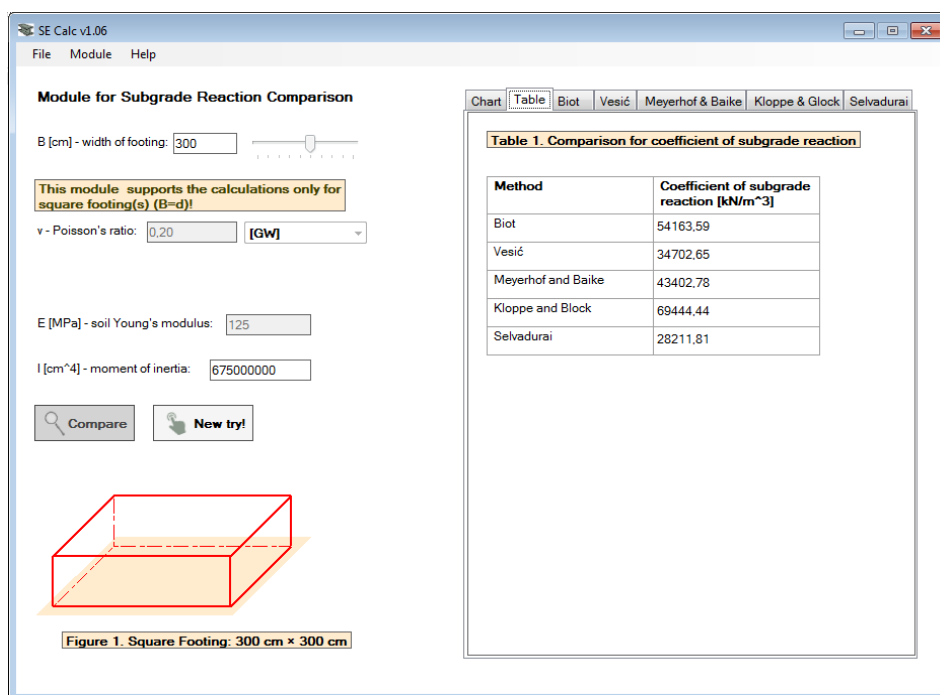
Rezultati dobiveni za ove temelje za sve navedene autore uspoređeni su s onim navedenim u literaturi [2]. Njihove vrijednosti navedene na slici ispod pokazuju identične vrijednosti onima navedenim u literaturi [2].



Slika 6. Tablični prikaz vrijednosti po svim autorima za temelj 150 cm x 150 cm x 120 cm

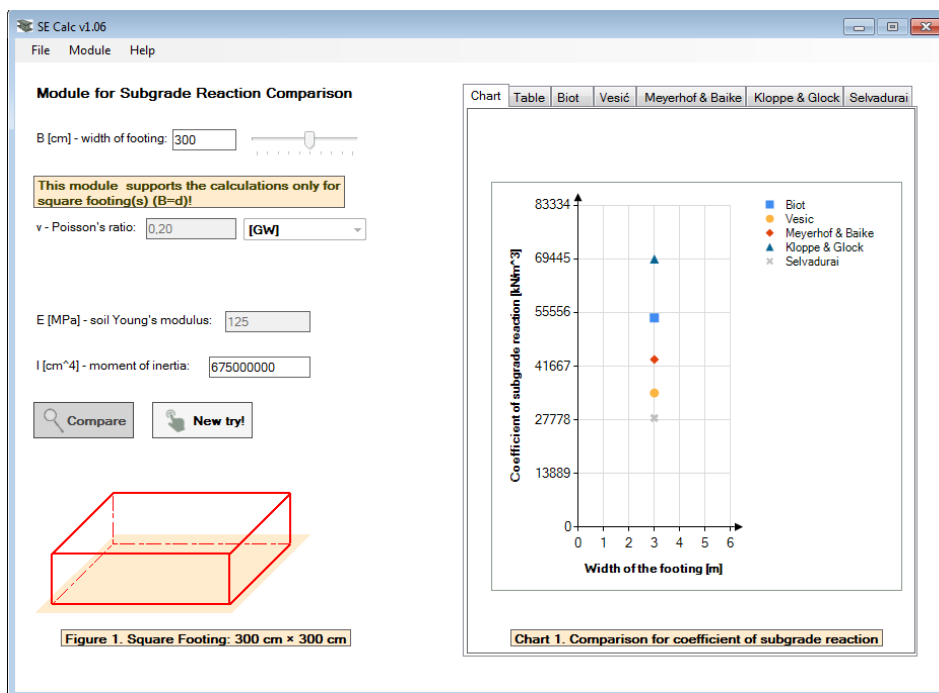


Slika 7. Tablični prikaz vrijednosti po svim autorima za temelj 250 cm x 250 cm x 120 cm



Slika 8. Tablični prikaz vrijednosti po svim autorima za temelj 300 cm x 300 cm x 120 cm

Naravno rezultati se mogu prikazati i preko dijagrama koji prikazuje vrijednosti koeficijenta reakcije tla u ovisnosti od širine temelja B, a dobivene po pojedinim autorima. Zbog ograničenosti prostora u nastavku će se prikazati samo dijagram za temelj dimenzija 300 cm x 300 cm x 120 cm.



Slika 9. Grafički prikaz vrijednosti koeficijenta izračunatog po svim navedenim autorima za temelj 300 cm x 300 cm x 120 cm

4. ZAKLJUČAK

Numeričko modeliranje konstruktivnih sustava podrazumijeva poznavanje karakteristika tla kako bi se isto moglo simulirati obično putem modela Winklerovih opruga. Rad obrađuje najjednostavnije slučajeve kvadratnih plitkih temelja kada se krutost tla ispod temelja zadaje putem koeficijenta reakcije tla. Budući su se različiti autori bavili ovom problematikom razvijeno je programsko rješenje koje daje vrijednost ovog koeficijenta po svim navedenim autorima. Nakon proračuna dobiva se grafički prikaz koji zorno prikazuje navedene vrijednosti, te time pomaže projektantu pri odluci koju vrijednost usvojiti. U daljnjem razvoju programskog rješenja ostaje još odrediti prosječnu vrijednost ovog koeficijenta uzimajući u obzir vrijednosti dobivene različitim proračunima.

LITERATURA

1. Hofer T., Perić LJ.: *Kombinirano temeljenje temeljnim pločama i pilotima*, e-Zbornik Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Mostaru, broj 14., str. 47-75
2. Šolbić A., Skejić A.: *Određivanje koeficijenta posteljice temeljnih stopa za dopuštena slijeganja granularnog tla*, iNDiS Zbornik radova, 2012., Novi Sad
3. Nonveiller E.: *Mehanika tla i temeljenje građevina*, Školska knjiga, Zagreb, 1979.
4. Selimović M.: *Mehanika tla i temeljenje – II dio*, Građevinski fakultet Univerziteta Džemal Bijedić, Mostar, 2000.
5. McMillan M.: *Data structures and algorithms using C#*, Cambridge University Press, New York, 2007.