

Samardaković, M. (1999): Određivanje pokazatelja deformabilnosti tla za analizu interakcije sa plitkim temeljima (I) - Ekvivalentne elastične konstante tla, *Zbornik radova XXI kongresa JUDIMK* (Beograd, 18-19.11.1999), JUDIMK, Beograd, str.211-216.

ODREĐIVANJE POKAZATELJA DEFORMABILNOSTI TLA ZA ANALIZU INTERAKCIJE SA PLITKIM TEMELJIMA (I): EKVIVALENTNE ELASTIČNE KONSTANTE TLA

Miroljub Samardaković

Dipl.inž.građ., Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, 18000 Niš, Beogradska 14

Rezime: Za potrebe analize interakcije tla i plitkih temelja konačne krutosti, u radu su definisane ekvivalentne elastične konstante za područje priraštaja radnih napona u tlu i date teorijske relacije za njihovo određivanje na osnovu odgovarajućih modula deformacije izmerenih konvencionalnim opitima kompresije u triaksijalnom aparatu, edomeru i opitom pločom *in situ* u *homogenom* tlu, kao i postupak za određivanje u slojevitom tlu. Za *slojevito* tlo, metodom integracije deformacija (napona) sračunava se sleganje jednog tipičnog temelja za dati objekat, izjednačuje sa rešenjem po metodi integracije pomeranja (Горбунов-Посадов i dr., 1984) i dobijaju elastične konstante ekvivalentnog poluprostora. Za njega se, geomehaničkim programskim sistemom *GeoData2*, dobijaju dijagrami za dimenzionisanje krutih temelja samaca, direktno preko njihovih opterećenja dobijenih statičkim proračunom objekta i željenih sleganja ili rotacija temelja.

Ključne reči: *Plitki temelji, interakcija, elastične konstante, moduli deformacije, sleganje, rotacija.*

Summary: For soil-foundations interaction analysis, equivalent elastic soil parameters have been defined, the theoretical relations for their determination on the basis of deformation moduli measured by conventional compression tests in a triaxial apparatus, oedometer or by a plate-bearing test for *homogeneous* soil as well as the procedure for their determination in layered soil have been presented. For a *stratified* soil, the settlement of the given typical foundation, calculated by the deformation (stress) integration method, with solution based on displacement integration method results in getting equivalent halfspace elastic constants as well as (by the original knowledge-based system *GeoData2* for geomechanical calculations) two unique diagrams for dimensions of rigid foundations estimation, directly by their loading and by allowable foundation settlement and rotation.

Key words: *Shallow foundations, interaction, elastic constants, deformation moduli, settlement.*

UVOD

U konvencionalnoj građevinskoj praksi temelji konačne krutosti dimenzionišu se na osnovu njihovih deformacija pri *interakciji* sa tлом, određenih za aproksimaciju da je tlo u području radnih napona linearno elastično – kao Winkler-ov medijum ili kao homogen, izotropan, elastičan poluprostor.

Interakcija horizontalnog temelja konačne krutosti i temeljnog tla, iskazana kroz veličine pritisaka i vertikalnih pomeranja za tačke kontaktne površine, kao što je poznato, fizički zavisi od više grupa brojnih uticaja: (a) *deformabilnosti tla*, (b) krutosti temelja (zavisne od oblika, dimenzija i deformabilnosti njegovog materijala), (c) krutosti konstrukcije u vezi sa temeljem i načina veze sa njim, (d) dubine temelja, (e) vremena dejstva opterećenja (na tlo pa i na mate-

rijal u temelju i konstrukciji), (f) tipa opterećenja (statičko ili dinamičko), (g) vrste i redosleda radova pri građenju (efekti iskopa, snižavanja NPV, etapa građenja).

Pošto deformabilnost tla, iskazana geomehaničkim pokazateljima deformabilnosti, zavisi od vrste i stanja tla ispod temelja ali i od uticaja iz ostalih navedenih grupa – *pokazatelje deformabilnosti* datog tla za računsku (pojednostavljenu ali još uvek složenu) analizu interakcije treba što bolje odrediti u zavisnosti od pokazatelja ostalih uticaja. Uslove za izbor navedenih modela tla i postupke za određivanje njihovih parametara na osnovu teorijskih i empirijskih rezultata sistematizuju i analiziraju brojni autori, npr. [1, 2, 3, 4, 5]. Uz domaću geotehničku regulativu ističe se [6, 7] prednost realnijeg ali računski komplikovanijeg modela elastičnog kontinuuma nad Winkler-ovim, dok računski primeri uz inostranu, npr. [8], pokazuju da sile u temeljnoj ploči ili gredi na Winkler-ovoj podlozi ne zaostaju po realnosti – pod uslovom da se vrednosti modula reakcije odrede u skladu sa savremenim saznanjima i mogućnostima.

Savremenim postupcima za obradu i prikaz rezultata geotehničkih istraživanja, ispitivanja i proračuna omogućena je izrada geomehaničkih podloga za racionalnije (ili bar savremenim saznanjima saglasnije) dimenzionisanje temelja konačne krutosti.

U tom smislu, u okviru geomehaničkih programskih sistema *GeoData1* (za određivanje i prikaz pokazatelja svojstava tla) i *GeoData2* (za geomehaničke proračune ponašanja tla plitkih temelja i šipova, u kosinama, uz potporne konstrukcije) autora [12], na osnovu dostupnih teorijsko-empirijskih rezultata i prethodnih radova [9, 10, 11] razrađeni su za praksu pogodni postupci za određivanje ekvivalentnih elastičnih konstanti i modula reakcije temeljnog tla – čije se osnove i primeri sa rezultatima ovde prikazuju.

Svaki od modela, elastični kontinuum ili Winkler-ova podloga, mora da reprezentuje temeljno tlo do *dubine efektivnog dejstva* temelja, najčešće kroz slojeve različitog sastava, stanja i svojstava. Zbog toga se, posle teorijskih relacija za određivanje ekvivalentnih ‘elastičnih konstanti’ *homogenog* tla na osnovu pokazatelja deformabilnosti određenih konvencionalnim geomehaničkim opitima (triaksijalnom kompresijom, konsolidacijom u edometru, opitom pločom), prikazuje i postupak za njihovo određivanje za elastičan poluprostor ekvivalentan datom *slojevitom* tlu (uzevši u obzir dubinu temeljenja i dejstvo susednih temelja), na osnovu čega se dobijaju dijagrami za određivanje sleganja i rotacija proizvoljnih pravougaonih temelja na takvom poluprostoru ili za njihovo dimenzionisanje u ovom pogledu [13].

EKVIVALENTNE ELASTIČNE KONSTANTE HOMOGENOG TLA

Jedinične deformacije homogenog, izotropnog i linearno-elastičnog materijala (Cauchyjevog, koji može generisati energiju pri ciklusima opterećenje-rasterećenje, čime nisu uvaženi opšti zakoni termodinamike), određene uopštenim Hooke-ovim zakonom preko poznatih napona, za nulte tenzore početnih napona i deformacija, npr. [14], su

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_{ij} - \frac{\nu}{E} \sigma_{kk} \delta_{ij} \quad \text{tj.} \quad \varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad \text{itd.,}$$

odakle je, uz konvenciju za tlo da su napon pritiska, skraćenje jedinične dužine i smanjenje zapremine (ΔV) pri kompresiji *pozitivni*, odavde nadalje za *osnosimetrično stanje* napona ($\sigma_z/\sigma_x=\sigma_y$) i deformacija ($\varepsilon_z/\varepsilon_x=\varepsilon_y$), kakvo je pri kompresiji u triaksijalnom aparatu, edometru ili ispod težišta kružne probne ploče,

$$\begin{aligned} \varepsilon_z &= (\sigma_z - 2\nu\sigma_x)/E \\ \varepsilon_x &= [(1-\nu)\sigma_x - \nu\sigma_z]/E \\ \Delta V/V &= \varepsilon_z + 2\varepsilon_x = (1-2\nu)(\sigma_z + 2\sigma_x)/E \end{aligned}$$

Odavde su Young-ov *modul elastičnosti* (E) i *Poisson-ov koeficijent* (ν), tzv. ‘tehničke’ elastične konstante koje se češće koriste od njima odredivih K i G ili Lamé-ovih konstanti, kao konstitutivni parametri dovoljni za proračun deformacija Couchy-jevog materijala [15,11]

$$E = \frac{(\sigma_z + 2\sigma_x)(\sigma_z - \sigma_x)}{\sigma_x(\varepsilon_z - 2\varepsilon_x) + \sigma_z\varepsilon_z} = \frac{(\sigma_z + 2\sigma_x)(\sigma_z - \sigma_x)}{(\sigma_z + 2\sigma_x)\varepsilon_z - \sigma_x(\Delta V/V)} \quad (1)$$

$$\nu = \frac{\sigma_x\varepsilon_z - \sigma_z\varepsilon_x}{\sigma_x(\varepsilon_z - 2\varepsilon_x) + \sigma_z\varepsilon_z} = \frac{(\sigma_z + 2\sigma_x)\varepsilon_z - \sigma_z(\Delta V/V)}{2[(\sigma_z + 2\sigma_x)\varepsilon_z - \sigma_x(\Delta V/V)]} \quad (2)$$

U specijalnim slučajevima, pri *distorzionom* deformisanju (bez promene zapremine) i pri *jednoaksijalnoj kompresiji* sa slobodnim ili sprečenim bočnim širenjem, biće za

$$\Delta V = 0: \quad E = (\sigma_z - \sigma_x)/\varepsilon_z \quad \nu = 0,5 \quad (3)$$

$$\sigma_x = 0: \quad E = \sigma_z/\varepsilon_z \quad \nu = -\varepsilon_x/\varepsilon_z = 0,5[1 - (\Delta V/V)/\varepsilon_z] \quad (4)$$

$$\varepsilon_x = 0: \quad E = \frac{(\sigma_z + 2\sigma_x)(\sigma_z - \sigma_x)}{(\sigma_z + \sigma_x)\varepsilon_z} = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z} \quad \nu = \frac{\sigma_x}{\sigma_z + \sigma_x} = \frac{k_o}{1+k_o} \quad k_o = \frac{\sigma_x}{\sigma_z} = \frac{\nu}{1-\nu} \quad (5)$$

Standardni pokazatelji deformabilnosti tla kao *fizički* nelinearnog materijala su promenljivi *sekantni moduli deformacije*, određeni u različitim uslovima bočnog-horizontalnog deformisanja (E_{tr} u *triaksijalnom* aparatu, M_v u *edometru*, M_s ispod probne *ploče*) za područja *rastućih* radnih napona očekivanih *in situ*. Pri tome su u koordinatnom sistemu sa vertikalnom z -osom komponentalni normalni naponi postali glavni naponi (vertikalni $\sigma_1/\sigma_2=\sigma_3$). Za određivanje računskih *elastičnih konstanti* tla u području radnih napona, *ekvivalentnih* Young-ovom E i Poisson-ovom ν za linearnoelastičan materijal, u (1)-(5) se umesto glavnih napona i njima kolinearnih odgovarajućih dilatacija unose njihovi priraštaji ($\Delta\sigma_1$, $\Delta\varepsilon_1$) za koje su opitima određeni moduli deformacije pri graničnim uslovima dreniranja.

Za *zasićeno* tlo u uslovima *bez dreniranja*, kada je disipacija pornog nadpritiska (konsolidacija) sprečena ili za nju nema vremena pa je tlo pod priraštajem opterećenja i totalnih napona deformabilno ali praktično nestišljivo ($\Delta V=0$) jer još nema promene efektivnih napona, iz (3) se dobijaju tzv. *nedrenirane ekvivalentne elastične konstante* tla

$$E_u = (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)/\Delta\varepsilon_1 \quad \nu_u = 0,5 \quad (6)$$

Za *zasićeno* ili *nezasićeno* tlo *posle dreniranja*, kada su priraštaji napona u celini preneti na skelet tla ($\Delta\sigma_1'/\Delta\sigma_2'=\Delta\sigma_3'$), za jednake ostale uslove biće ostvareni veći priraštaji deformacija ($\Delta\varepsilon_1'/\Delta\varepsilon_2'=\Delta\varepsilon_3'$) pa se iz (1) i (2) dobijaju tzv. *efektivne ekvivalentne elastične konstante tla* [16, 17, 11]

$$E' = \frac{(\Delta\sigma_1' + 2\Delta\sigma_3')(\Delta\sigma_1' - \Delta\sigma_3')}{\Delta\sigma_3'(\Delta\varepsilon_1' - 2\Delta\varepsilon_3') + \Delta\sigma_1'\Delta\varepsilon_1'} = \frac{(\Delta\sigma_1' + 2\Delta\sigma_3')(\Delta\sigma_1' - \Delta\sigma_3')}{(\Delta\sigma_1' + 2\Delta\sigma_3')\Delta\varepsilon_1' - \Delta\sigma_3'(\Delta V'/V)} \quad (7)$$

$$\nu' = \frac{\Delta\sigma_3'\Delta\varepsilon_1' - \Delta\sigma_1'\Delta\varepsilon_3'}{\Delta\sigma_3'(\Delta\varepsilon_1' - 2\Delta\varepsilon_3') + \Delta\sigma_1'\Delta\varepsilon_1'} = \frac{(\Delta\sigma_1' + 2\Delta\sigma_3')\Delta\varepsilon_1' - \Delta\sigma_1'(\Delta V'/V)}{2[(\Delta\sigma_1' + 2\Delta\sigma_3')\Delta\varepsilon_1' - \Delta\sigma_3'(\Delta V'/V)]} \quad (8)$$

$$\Delta V'/V = \Delta\varepsilon_1' + 2\Delta\varepsilon_3' = (1/E')(\Delta\sigma_1' + 2\Delta\sigma_3')(1-2\nu')$$

Iz modula smicanja $G_u=G'$, izraženih preko E_u, ν_u i E', ν' , dobija se međuzavisnost nedreniranih i efektivnih konstanti [16, 18, 19] odakle se vidi da je za $\nu' \leq 0,5$ $E_u/E'/1$:

$$(1+\nu_u)/E_u = (1+\nu')/E' \quad \text{tj.} \quad E_u/E' = 1,5/(1+\nu') \quad (9)$$

Na osnovu mnogih eksperimentalnih rezultata, za inženjerske materijale i tlo treba očekivati $\nu' = 0-0,5$. Neke vrste građevinskog tla (zbijeno krupnozrno tlo ili prekonsolidovana glina), kao zrnasti *dilatantni* materijali, usled relativnih pomeranja susednih zrna pri deformisanju mogu da povećavaju zapreminu pa je u takvoj zoni tla $\nu' > 0,5!$

Opitom triaksijalne kompresije, za željeni priraštaj devijatora $\Delta(\sigma_1 - \sigma_3) = \Delta(\sigma'_1 - \sigma'_3)$ pri $\Delta\sigma_3 = 0$ i sprečeno ili ostvareno dreniranje, ekvivalentne elastične konstante dobijaju se direktno iz odnosa priraštaja vertikalnog napona i vertikalne dilatacije, jer iz (4, 6-8)

$$E_u = (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) / \Delta\varepsilon_1 = \Delta(\sigma_1 - \sigma_3) / \Delta\varepsilon_1 = E_{tru} \quad \nu_u = 0,5 \quad (10)$$

$$E' = \Delta\sigma'_1 / \Delta\varepsilon'_1 = \Delta(\sigma'_1 - \sigma'_3) / \Delta\varepsilon'_1 = \Delta(\sigma_1 - \sigma_3) / \Delta\varepsilon'_1 = E'_{tr} \quad \nu' = 0,5[1 - (\Delta V'/V) / \Delta\varepsilon'_1] \quad (11)$$

Opitom kompresije u edometru, pri sprečenoj horizontalnoj deformaciji ($\varepsilon_3 = 0$) meri se vertikalna ($\Delta\varepsilon'_1$) posle konsolidacije za priraštaj efektivnih napona ($\Delta\sigma'_1 = \Delta\sigma_1$) i iz (5, 7-9)

$$E' = \frac{(1+\nu')(1-2\nu')}{1-\nu'} \frac{\Delta\sigma'_1}{\Delta\varepsilon'_1} = \frac{(1+\nu')(1-2\nu')}{1-\nu'} M_v \quad (12)$$

$$\nu' = \frac{\Delta\sigma'_3}{\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_3} = \frac{k_o}{1+k_o}, \quad k_o = \frac{\sigma'_3}{\sigma'_1} = \frac{\nu'}{1-\nu'} \cong (1 - \sin\varphi')\sqrt{OCR} \quad * \text{ prema Eurocode 7, 1992} \quad (13)$$

$$E_u = E' \cdot 1,5 / (1 + \nu') = M_v \cdot 1,5(1 - 2\nu') / (1 - \nu') \quad (14)$$

Opitom kružnom pločom, prema švajcarskom i starom domaćem standardu (JUS U.B1.046), tlo se opterećuje *in situ*, za svaki stupanj rastućeg prosečnog kontaktnog pritiska (p) meri sleganje (s) posle konsolidacije i za merodavni priraštaj pritiska računa modul stišljivosti $M_s = (\Delta p / \Delta s) D$ koji reprezentuje tlo do dubine $\approx 1,5D$ efektivnog dejstva opterećene ploče. Primenom rešenja Boussinesq-ovog problema za utiskivanje krute ploče prečnika D u konturu polubeskrajnog elastičnog tela (npr. [15] ili za specijalan slučaj opštijeg rešenja [20]), kao i (12), dobija se

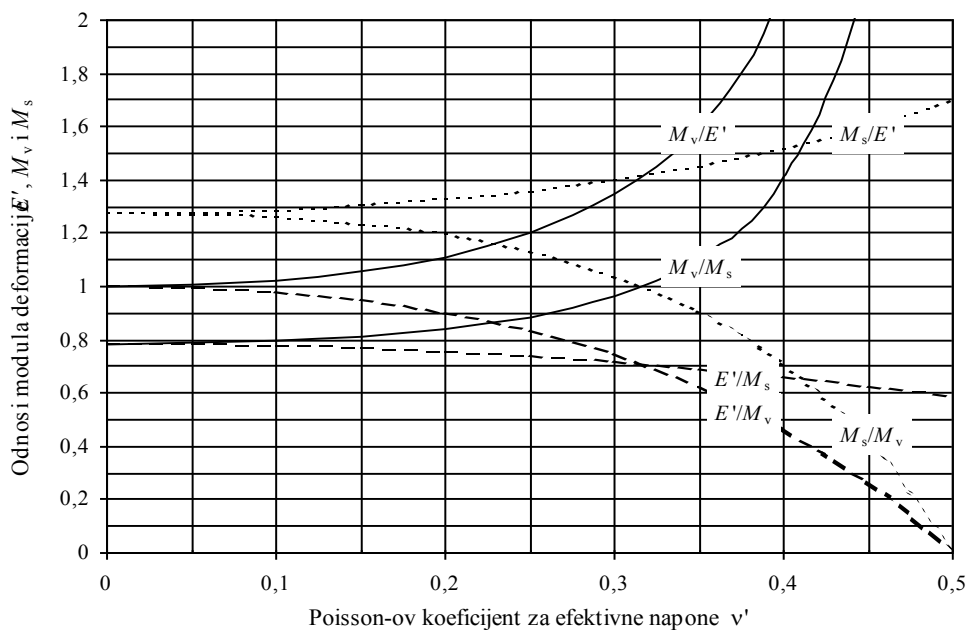
$$s = (\pi/4) [(1 - \nu'^2) / E'] p B \quad (15)$$

$$E' = (\pi/4) (1 - \nu'^2) (\Delta p / \Delta s) D = (\pi/4) (1 - \nu'^2) M_s \quad (16)$$

$$E_u = (3\pi/8) (1 - \nu') M_s \quad (17)$$

$$M_s = M_v \cdot (4/\pi) (1 - 2\nu') / (1 - \nu'^2) \quad (18)$$

Uz ograničenja koja se podrazumevaju iz uslova izvođenja navedenih konvencionalnih geomehaničkih opita na fizički nelinearnom materijalu (homogen sloj, reprezentativan uzorak, odgovarajuća promena vertikalnog napona i dr.), odnosi modula (12, 16, 18) za jednake priraštaje vertikalnog efektivnog napona, prikazani i na Sl.1, u geotehničkoj praksi mogu biti od koristi ako se prethodno odredi ili, kao što je uobičajeno, proceni vrednost ν' .



Sl.1. Odnosi modula E' , M_v i M_s u zavisnosti od ν'

EKVIVALENTNE ELASTIČNE KONSTANTE SLOJEVITOG TLA I PRIMENA

Za proračun sleganja slojeva tla do dubine efektivnog dejstva opterećenja (temelja), u geomehničkoj praksi se najčešće primenjuju rešenja metodom integracije dilatacija tj. napona, korišćenjem pokazatelja stišljivosti u edometru. Programom sistema *GeoData2* ovakav proračun vrši se za proizvoljnu tačku idealno savitljivog ili krutog temelja (ili pored temelja), uz sadejstvo susjednih, na različitim dubinama i različito opterećenih. Izjednačenjem dobijenog sleganja sa odgovarajućim rešenjem za proračun sleganja metodom integracije pomeranja, tipa (15), može se dobiti vrednost $(1-\nu^2)/E'$ za homogen, elastičan i izotropan poluprostor (ekvivalentan datom slojevitom tlu), na čijoj površini bi od takvih uticaja nastalo takvo pomeranje. Ovakva vrednost važi za tlo do dubine efektivnog dejstva tretiranog temelja, koja ne ostaje jednaka za drugačiju geometriju i opterećenje temelja, ali čini nam se realnijom od vrednosti prema rešenjima tipa $E = \Sigma(E_i h_i)/h_i$ ili detaljnijih sličnih.

Za dobijeni elastičan poluprostor, ekvivalentan datom slojevitom tlu, otvaraju se široke mogućnosti primene različitih rešenja Teorije elastičnosti i vezanih za njih. Tako se, adaptacijom [13] novijih teorijskih rešenja [5], za idealno *krute* pravougaone temelje sa ivicama osnove B i L ($B \leq L$) *sleganja* (s) i *rotacije* temelja (uglovi α_L usled momenta M_L oko kraće ose i α_B usled momenta M_B oko duže ose osnove temelja), računaju iz

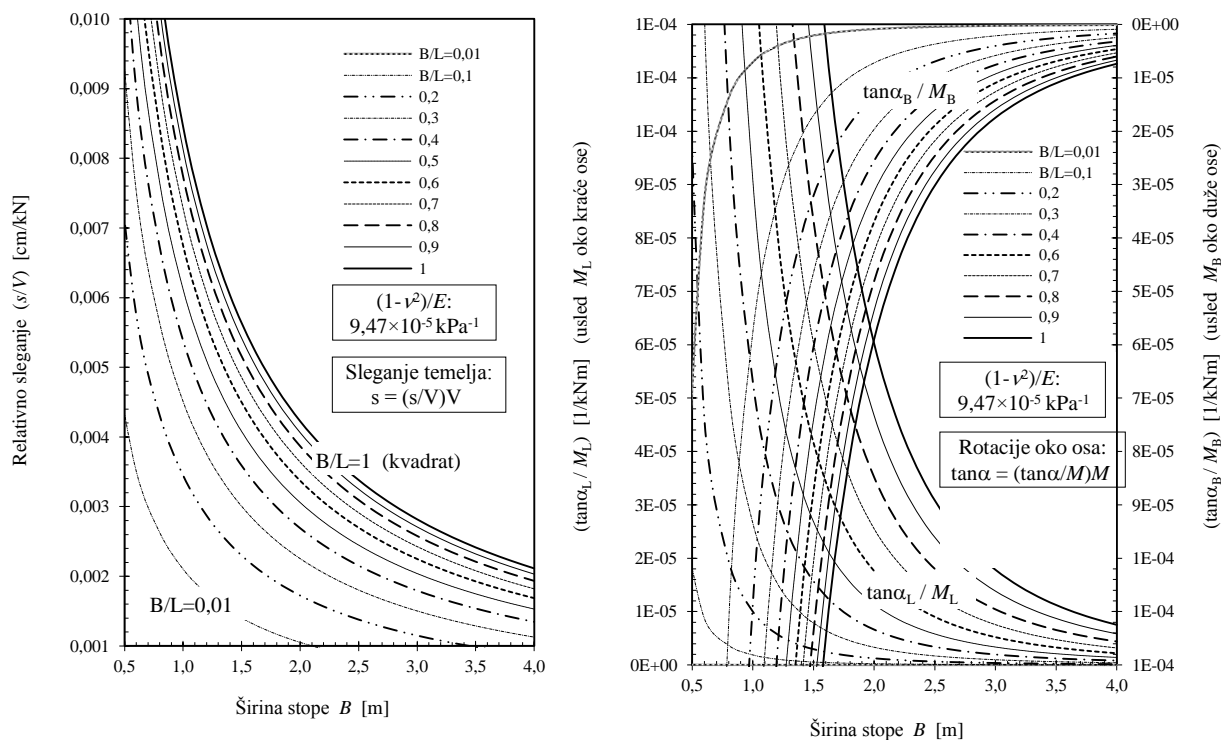
$$s = \frac{1-\nu^2}{E} p B I_s \quad \tan \alpha_L = \frac{1-\nu^2}{E} \frac{M_L}{B^3} I_{\alpha L} \quad \tan \alpha_B = \frac{1-\nu^2}{E} \frac{M_B}{B^3} I_{\alpha B} \quad (19)$$

gde su: ν i E ekvivalentne elastične konstante tla (*nedrenirane* za početne ili *efektivne* za krajnje deformacije), p srednji kontaktni pritisak i I_s , $I_{\alpha L}$, $I_{\alpha B}$ koeficijenti sleganja i rotacije temelja, zavisni od oblika (B/L) osnove temelja, čije su jednačine trenda [13], odabrane pogodnim tipom regresije sa visokim vrednostima koeficijenta korelacije

$$I_s = -0,5765 \ln(B/L) + 0,8929 \quad R^2 = 0,9984 \quad (20)$$

$$I_{\alpha L} = 5,0855 (B/L)^{2,4074} \quad R^2 = 0,9996 \quad (21)$$

$$I_{\alpha B} = 4,9817 (B/L)^{0,9129} \quad R^2 = 0,9989 \quad (22)$$



Sl.2. Primer dijagrama za određivanje sleganja i rotacija (ili dimenzionisanje) krutih temelja na datom ekvivalentnom poluprostoru

Na osnovu navedenih relacija i sračunatog sleganja jednog (za dati objekat tipičnog) temelja samca, sistemom *GeoData2* dobijaju se dijagrami (primer na *Sl.2*) za određivanje sleganja i rotacija krutih temelja proizvoljnih dimenzija – direktno preko opterećenja dobijenih statičkim proračunom konstrukcije – ili, obrnuto, za dimenzionisanje svih stopa u datom računskom profilu terena tako da one imaju jednake (ili željene) veličine očekivanih sleganja ili rotacija. Ovakva geotehnička podloga omogućava da projektant, bez zalaženja u geomehaničke detalje, čeka na dopune geomehaničara ili preplitanja kompetencija, u pogledu sleganja i rotacija odabere optimalne dimenzije temelja.

REFERENCE

- [1] Selvadurai, A.P.S.: *Elastic analysis of soil-foundation interaction*, Elsevier, Amsterdam, 1979, 13-42, 407-437.
- [2] Scott, R.F.: *Foundation analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1981, 223-261.
- [3] Bowles, J.E.: Spread footings, Combined and special footings, poglavlja u *Foundation engineering handbook* (editors Winterkorn, H.F. and Fang, H.-Y.), Van Nostrand Reinhold Comp., New York, 1975, 481-527.
- [4] Bowles, J.E.: *Foundation analysis and design*, McGraw-Hill, Singapore, 1982, 66-74, 320-326.
- [5] Горбунов-Посадов, М.И. и др.: *Расчет конструкций на упругом основании*, Стройиздат, Москва, 1984, 7-84, 392-399.
- [6] Šuklje, L.: *Objašnjenje Pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i izvođenje radova kod temeljenja građevinskih objekata*, Izgradnja, Beograd, 1979, 105-108.
- [7] Stevanović, S.: *Fundiranje I*, Naučna knjiga, Beograd, 1989, 275-282.
- [8] *** Berechnung der Sohldruckverteilung unter Flächengründungen (Beiblatt 1 zu DIN 4018, 1981), *DIN Taschenbuch 36*, Beuth Verlag, Berlin, 1983, 143-204.
- [9] Samardaković, M.: Modeli tla u analizi interakcije i određivanje Winkler-ovog modula reakcije tla, *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, 8, GF Univerziteta u Nišu, Niš, 1987, 53-65.
- [10] Samardaković, M.: Racionalna debljina temeljne ploče i statički modul reakcije tla – međusobna zavisnost i dijagrami za njihovo određivanje, *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, 12, GF Univerziteta u Nišu, Niš, 1991, 257-269.
- [11] Samardaković, M., Davidović, N.: Ekvivalentne elastične konstante tla i njihovo određivanje konvencionalnim geomehaničkim opitima, *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, 15-16, GF Univerziteta u Nišu, Niš, 1995, 189-198.
- [12] Samardaković, M.: Geomehanički programski sistemi *GeoData1* i *GeoData2*, *Zbornik radova*, Međunarodni naučni skup “Pravci razvoja geotehnike” (Beograd, 18-19. novembar 1996), Rudarsko-geološki fakultet i Sava centar, Beograd, 1996, 395-404.
- [13] Samardaković, M.: Dimenzionisanje plitkih temelja (II) – Sleganje i rotacija temelja, *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, 17, GF Univerziteta u Nišu, Niš, 1996, 113-122.
- [14] Chen, W.-F., Saleeb, A.T.: *Constitutive equations for engineering materials, Vol.1: Elasticity and modeling*, John Wiley and Sons, New York, 1982, 151-160.
- [15] Rašković, D.: *Teorija elastičnosti*, Naučna knjiga, Beograd, 1985, 95-98.
- [16] Lambe, T.W., Whitman, R.V.: *Soil mechanics*, John Wiley and Sons, New York, 1969, 153.
- [17] Lee, I.K. White, W., Ingles, O.G.: *Geotechnical engineering*, Pitman, Boston, 1983, 117.
- [18] Maksimović, M.M.: *Mehanika tla*, Grosknjiga, Beograd, 1995, 272.
- [19] Habib, P.: *Précis de Géotechnique*, Dunod, Paris, 1973, 20.
- [20] Milović, D.: *Analiza napona i deformacija u Mehanici tla*, Institut za građevinarstvo SAP Vojvodine, Subotica, 1974, 138.