

ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING SOIL SHEAR STRENGTH DESIGN VALUES

J. Amšiejus

To cite this article: J. Amšiejus (2000) ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING SOIL SHEAR STRENGTH DESIGN VALUES, *Statyba*, 6:2, 120-127, DOI: [10.1080/13921525.2000.10531575](https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531575)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531575>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 260



Citing articles: 3 View citing articles [↗](#)

GRUNTO STIPRUMO RODIKLIŲ SKAIČIUOJAMŲJŲ REIKŠMIŲ NUSTATYMO METODŲ ANALIZĖ

J. Amšiejus

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Pagrindai, kaip ir kitos statybinės konstrukcijos, skaičiuojami ribinių būvių metodu. Poveikių ir medžiagų savybių rodiklių skaičiuojamosioms reikšmėms nustatyti naudojami determinuoti patikimumo koeficientai. Jų reikšmės parinktos apibendrinus statybinę patirtį. Šiuo metodu apskaičiuotų konstrukcijų patikimumą lemia koeficientų nustatymo kokybė. Siekiant supaprastinti konstrukcijų skaičiavimą, sumažinti galimų klaidų kiekį, imamas minimalus dalinių koeficientų kiekis. Kai yra maža patikimumo koeficientų, negalima suprojektuoti racionalių pamatų pagrindų. Kita aplinkybė, dėl kurios negalima suprojektuoti racionalių pamatų pagrindų, yra tai, kad, skirtingai negu kitų statybinių medžiagų, grunto kerpamasis stiprumas nusakomas dviem rodikliais: vidinės trinties kampo tangentu ir sankabumu. Šių rodiklių įtaka pagrindo stiprumui, šlaitų pastovumui yra nevienoda. Todėl, skaičiuojant pagrindus ar kitas konstrukcijas ribinių būvių metodu naudojant pastovius grunto patikimumo koeficientus, jų įtaka bendrai konstrukcijos saugai bus skirtinga.

Skaičiuojant sekliųjų pamatų pagrindus taikoma Kulono ir Moro stiprumo teorija. Pagal ją gruntas suyra, kai tangentiniai įtempimai grunte pasiekia jo kerpamąjį stiprumą. Įvertinant tai, kad grunto kerpamasis stiprumas tiesiškai priklauso nuo normalinės apkrovos, jo stiprumo sąlygą galima užrašyti:

$$\tau \leq \operatorname{tg} \varphi \cdot \sigma + c \quad (1)$$

arba išreiškus per svarbiausius įtempimus:

$$\sigma_1 - k \sigma_2 = C, \quad (2)$$

čia $k = \operatorname{tg}^2(45 + \varphi/2)$, $C = 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg}(45 + \varphi/2)$.

Grunto stiprumo rodikliai: vidinės trinties kampo tangentas ir sankabumas nustatomi tiriant ribotą grunto bandinių skaičių. Taip apskaičiuoti grunto stiprumo ro-

dikliai yra atsitiktiniai dydžiai. Pagrindų skaičiavimams imamos skaičiuojamosios jų reikšmės. Jos gaunamos vidutinės rodiklių reikšmės padalijus iš grunto patikimumo koeficientų. Jų reikšmės pateiktos norminiuose dokumentuose. Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių naudojimas projektuojant pamatų pagrindus neuztikrina vienodo jų patikimumo. Tikimybiniai-statistiniai metodai yra gera priemonė analizuoti ribinių būvių sąlygų argumentų skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo metodus.

Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo problema tapo aktuali, kai Europos Sąjunga pradėjo rengti techninių taisyklių rinkinį statybos ir inžineriniams darbams projektuoti. Jis pradžioje būtų kaip pakaitalas dabar įvairiose šalyse galiojančioms techninėms taisyklėms, o paskui jas pakeistų. Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo metodų, pateiktų darbuose [1–4], analizė rodo, kad daugiausia tikslinami determinuoti patikimumo koeficientai arba siūloma nagrinėti daugiau projektuojamų sąlygų. Medžiagų savybių rodiklių patikimumo koeficientams apskaičiuoti mažiau taikomi tikimybiniai-statistiniai metodai [5].

Darbo tikslas yra išanalizuoti grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo metodus, pateiktus СНиП2.02.01-83, СНиП2.02.02-85, DIN 4017, Euro-normose 7, kuo vadovautasi juos nustatant, pateikti pasiūlymus, kaip juos tobulinti.

2. Gruntas ir jo tyrimo metodas

Darbe analizuoti grunto tyrimo modernizuotu tiesioginio kirpimo aparatu su paslankia apatine kirpimo žiedo dalimi (SPF-2) [6, 7] duomenys. Tirtas suardytos struktūros vidutinio stambumo (pagal LST 1445 žvyringas), vidutinio tankumo smėlis. Mineralinė jo sudėtis: kvarcas – 86%, lauko špatai – 6%, karbonatai – 6%, žeručiai, glaukonitas – 2%. Fizinių savybių rodikliai: tankis $\gamma = 1,74 \text{ Mg/m}^3$, drėgnis $w = 11\%$, poringumo koeficientas

$e=0,711$. Smėlis bandytas kontroliuojant deformacijas: kirpimo greitis 0,05 mm/min. Bandymo metu išmatuota kirpimo plokštumoje veikianti normalinė jėgos komponentė.

3. Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo pagrindiniai principai

Grunto stiprumo rodiklius rekomenduojama nustatyti pagal grunto kirpimo ar triašio slėgio bandymo duomenis. Jie apskaičiuojami kaip tiesinių lygčių (1, 2) parametrai. Tiriant ribotą bandinių skaičių tiesės lygties koeficientai $\text{tg } \varphi$ ir c yra atsitiktiniai dydžiai. Dažniausiai jie yra pasiskirstę pagal normalinį dėsnį [4, 8]. Matematinės statistikos metodais galima apskaičiuoti grunto stiprumo rodiklių vidutines reikšmes, dispersijas ir koreliacinį tarpusavio momentą. Pagal pasikliautinąją tikimybę galima apskaičiuoti tiesės lygties (1) koeficientų pasikliautinuosius intervalus, kuriuose bus tikrosios šių koeficientų reikšmės:

$$\text{tg}\bar{\varphi} - \gamma \cdot s_{\text{tg}\varphi} \leq \text{tg}\varphi \leq \text{tg}\bar{\varphi} + \gamma \cdot s_{\text{tg}\varphi}, \quad (3)$$

$$\bar{c} - \gamma \cdot s_c \leq c \leq \bar{c} + \gamma \cdot s_c, \quad (4)$$

γ – koeficientas, parenkamas pagal bandymų skaičių ir laisvės laipsnių skaičių $k=n-2$.

Grunto kerpamojo stiprumo pasikliautinąjo intervalo ribos apibrėžia juosta, kurioje su pasirinkta pasikliautinąja tikimybe yra tikrosios tiesinės priklausomybės $\tau_u = \sigma \cdot \text{tg } \varphi + c$ reikšmės. Jos aprašomos nelygybėmis:

$$\bar{\tau}_i(\sigma_i) - \gamma \cdot s_{\tau_i(\sigma_i)} \leq \tau_i(\sigma_i) \leq \bar{\tau}_i(\sigma_i) + \gamma \cdot s_{\tau_i(\sigma_i)}, \quad (5)$$

čia $\bar{\tau}_i(\sigma_i)$ – grunto kerpamojo stiprumo vidutinė reikšmė, veikiant normaliniam įtempimui σ_i ; $s_{\tau_i(\sigma_i)}$ – vidutinio kvadratinio nuokrypio įvertis.

Grunto kerpamasis stiprumas priklauso nuo dviejų atsitiktinių dydžių: vidinės trinties kampo tangento ir sankabumo. Jo dispersija bendruoju atveju apskaičiuojama taip:

$$s^2_{\tau_i(\sigma_i)} = \left(\frac{\partial(\tau_i(\text{tg}\varphi, c))}{\partial(\text{tg}\varphi)} \cdot s_{\text{tg}\varphi} \right)^2 + \left(\frac{\partial(\tau_i(\text{tg}\varphi, c))}{\partial(c)} \cdot s_c \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\partial(\tau_i(\text{tg}\varphi, c))}{\partial(\text{tg}\varphi)} \cdot \frac{\partial(\tau_i(\text{tg}\varphi, c))}{\partial(c)} \cdot \text{cov}(\text{tg}\varphi, c) \right), \quad (6)$$

tiesinės priklausomybės atveju:

$$\frac{\partial(\tau_i(\text{tg}\varphi, c))}{\partial(\text{tg}\varphi)} = \sigma_i, \quad (7)$$

$$\frac{\partial(\tau_i(\text{tg}\varphi, c))}{\partial(c)} = 1. \quad (8)$$

Grunto kerpamojo stiprumo dispersijos įvertis apskaičiuojamas taip:

$$s^2_{\tau_i(\sigma_i)} = s_c^2 + \sigma_i^2 \cdot s_{\text{tg}\varphi}^2 - 2 \cdot \sigma_i \cdot \text{cov}(\text{tg}\varphi, c). \quad (9)$$

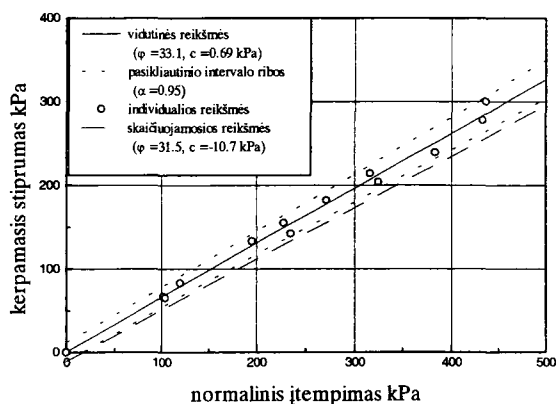
Kaip matyti iš (9), grunto kerpamojo stiprumo dispersija priklauso nuo tiesinės priklausomybės koeficientų dispersijų, jų tarpusavio koreliacinio momento ir normalinių įtempimų.

Grunto kerpamojo stiprumo pasikliautinąjo intervalo apatinis režis netiesiškai priklauso nuo normalinių įtempimų. Projektavimo normose pateikti pagrindo stiprumo, pastovumo skaičiavimo algoritmai sudaryti remiantis Kulono ir Moro stiprumo teorija, kurioje grunto kerpamasis stiprumas tiesiškai priklauso nuo normalinių įtempimų (1, 2). Grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų reikšmių pasirinkta tikimybė bus užtikrinta tik tuo atveju, jei grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės bus parinktos taip, kad pagal jas apskaičiuotos kerpamojo stiprumo reikšmės sutaptų su pasikliautinąjo intervalo apatine riba. Bet grunto kerpamojo stiprumo pasikliautinąjo intervalo apatinio režio priklausomybė nuo normalinio įtempimo yra netiesinė, o grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės pagal Kulono ir Moro stiprumo teoriją tiesiškai priklauso nuo normalinio įtempimo. Dėl šios priežasties negalima nustatyti vienodo dydžio grunto stiprumo rodiklių reikšmių, pagal kurias apskaičiuotos grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės sutaptų su pasikliautinąjo intervalo apatine riba visu normalinių įtempimų intervalu. Aproximuojant grunto kerpamojo stiprumo pasikliautinąjo intervalo netiesinį apatinį režį tiesine funkcija, reikia panaudoti papildomas sąlygas. Toliau nagrinėjami norminiuose dokumentuose pateikti grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių apskaičiavimo algoritmai ir kokiomis prielaidomis remtasi juos sudarant.

4. Norminiuose dokumentuose pateiktų grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo algoritmų analizė

Pastatų ir statinių pagrindų projektavimo normose [9] pateiktame algoritme grunto stiprumo kiekvieno rodiklio skaičiuojamoji reikšmė nustatoma taip, kad tikimybė rasti blogesnei stiprumo rodiklio reikšmei neviršytų

5%. Normose jos lygios: $\text{tg}\varphi_d = \text{tg}\bar{\varphi} - \gamma \cdot S_{\text{tg}\varphi}$, $c_d = \bar{c} - \gamma \cdot S_c$. Jose 5% tikimybe yra apribojama ne grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų reikšmių tikimybe, o jo rodiklių $\text{tg}\varphi$ ir c . Tada grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamoji reikšmė bus lygi $\tau_{u,d} = \sigma \cdot \text{tg}\varphi_d + c_d$. Kaip matyti iš lygčių (9), kerpamojo stiprumo dispersija (kai $\text{tg}\varphi$ ir c yra atsitiktiniai dydžiai) ir jo pasikliautinųjų intervalų ribos (5) netiesiškai priklauso nuo normalinių įtempimų. Taigi tikimybe rasti blogesnei kerpamojo stiprumo reikšmei, negu apskaičiuota pagal skaičiuojamąsias kerpamojo stiprumo rodiklių reikšmes, bus lygi 5% tik tuo atveju, kai normalinis įtempimas bus lygus nuliui (1 pav.). Esant kitokioms normalinių įtempimų reikšmėms, tikimybe rasti blogesnei kerpamojo stiprumo reikšmei negu skaičiuojamoji bus mažesnė.

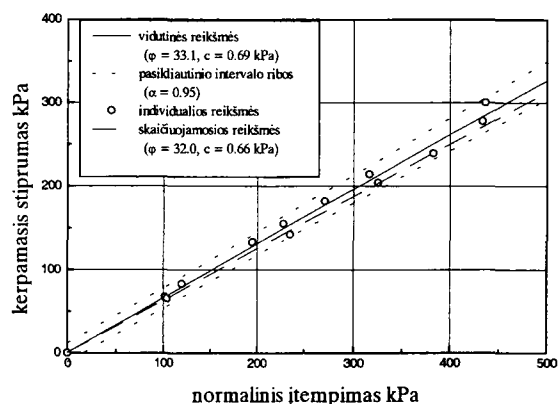


1 pav. Grunto kerpamojo stiprumo grafikas. Skaičiuojamosios reikšmės apskaičiuotos pagal СНиП 2.02.01-83

Fig 1. Shear test results. Design values calculated according to СНиП 2.02.01-83

Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės hidrotechninių statinių pagrindų normose [10] pateiktame algoritme apskaičiuojamos tam tikru normalinių įtempimų diapazonu. Pagal grunto kerpamojo stiprumo vidutinės ir jo pasikliautiną apatinės ribos normalinių įtempimų intervalo galiniuose taškuose reikšmes apskaičiuojamas grunto patikimumo koeficientas γ_g . Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės gaunamos padalijus jų normines reikšmes iš šio koeficiento. Šiuo atveju grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosioms reikšmėms apskaičiuoti naudojamas tik vienas grunto patikimumo koeficientas. Kadangi jis apskaičiuojamas pagal grunto kerpamojo stiprumo reikšmes esant vidutiniams

normaliniams įtempimams, tai tikimybe, kad kerpamojo stiprumo skaičiuojamoji reikšmė esant šiam įtempimui bus lygi kerpamojo stiprumo pasikliautiną apatinę ribai. Kai mažesni normaliniai įtempimai, kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės yra didesnės negu pasikliautiną apatinę ribą. Tikimybe, kad kerpamojo stiprumo reikšmė bus mažesnė už skaičiuojamąją, mažėjant normaliniams įtempimams didės (2 pav.). Kai normaliniai įtempimai didesni už vidutinę pasirinkto intervalo reikšmę, jiems didėjant tikimybe, kad grunto kerpamojo stiprumo reikšmė bus mažesnė už skaičiuojamąją reikšmę, mažės.

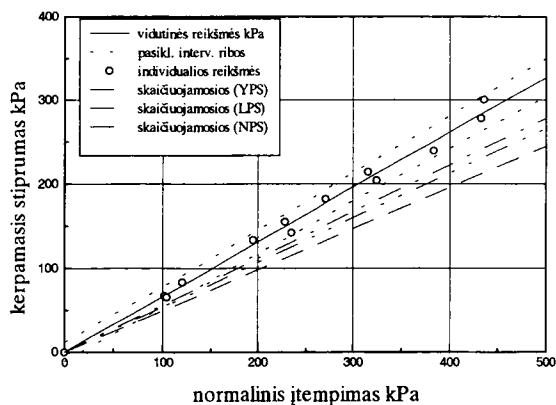


2 pav. Grunto kerpamojo stiprumo grafikas. Skaičiuojamosios reikšmės apskaičiuotos pagal СНиП 2.02.02-85

Fig 2. Shear test results. Design values calculated according to СНиП 2.02.02-85

Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės, nustatytos šiose normose rekomenduojamais metodais, priklauso nuo normalinių įtempimų intervalo. Grunto patikimumo koeficientas gaunamas daug didesnis, jei jis nustatomas mažų normalinių įtempimų diapazonu, negu tuo atveju, kai jis nustatomas didelių normalinių įtempimų diapazonu.

Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės DIN 4017 [11] pagal pateiktą metodiką apskaičiuojamos vidinės trinties kampo tangento ir sankabumo normines reikšmes padalijus iš skirtingo dydžio grunto patikimumo koeficientų. Šie koeficientai priklauso nuo projektavimo sąlygų (3 pav.). Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės nepriklauso nuo kerpamojo stiprumo reikšmių nustatymo tikslumo.

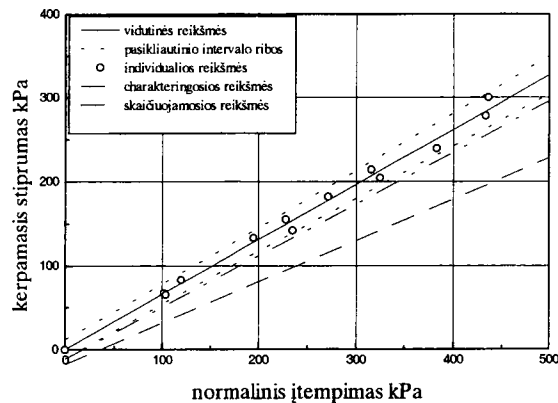


3 pav. Grunto kerpamojo stiprumo grafikas. Skaičiuojamosios reikšmės apskaičiuotos pagal DIN 4017

Fig 3. Shear test results. Design values calculated according to DIN 4017

Europos normavimo techninis komitetas (CEN/TC250) parengė Euronormų geotechninio projektavimo dalį [12] ir išleido kaip Europos Priešnormę. Joje grunto rodiklių skaičiuojamosios (projektavimo) reikšmės gaunamos būdingąsias reikšmes padalijus iš pagrindo patikimumo koeficientų (jie pateikiami šiose normose). Grunto savybių rodiklių būdingosios reikšmės turi būti rūpestingai parenkamos, nes jos turi įtakos vertinant galimybę ribiniams būviams susidaryti. Parenkant būdingąsias grunto savybių rodiklių reikšmes normos rekomenduoja taikyti statistinius metodus. Jos turi būti parenkamos taip, kad apskaičiuota tikimybė rasti blogesnei reikšmei, galinčiai sukelti ribinį būvį, neviršytų 5%.

Parenkant grunto stiprumo rodiklių būdingąsias reikšmes neaišku, kokio įvykio tikimybė rasti blogesnei reikšmei, galinčiai sukelti ribinį būvį, turi neviršyti 5% (4 pav.). Reikalaujama, kad grunto stiprumo rodiklių būdingąsias reikšmes pagal kirpimo bandymų duomenis reikia parinkti tokias, kad nepalankių grunto stiprumo rodiklių reikšmių tikimybė neviršytų 5%, būdingosios reikšmės bus lygios stiprumo rodiklių skaičiuojamosioms reikšmėms, apskaičiuotoms pagal pastatų ir statinių pagrindų projektavimo normose pateiktą metodiką. Kitu atveju grunto stiprumo rodiklių būdingosios reikšmės turi būti parinktos tokios, kad apskaičiuota tikimybė rasti blogesnei grunto kerpamojo stiprumo reikšmei neviršytų 5%. Tuo atveju būdingosios reikšmės priklausys nuo normalinio plokštumos kirpimo įtempimo dydžio ir sutaps su pasikliautinojo intervalo apatiniu rėžiu.



4 pav. Grunto kerpamojo stiprumo grafikas. Kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės apskaičiuotos pagal Euronormas 7

Fig 4. Shear test results. Design values calculated according to Eurocode 7

Lyginant abu grunto stiprumo rodiklių būdingųjų reikšmių apskaičiavimo metodus jų sudėtingumo atžvilgiu, paprasčiau yra jas nustatyti tuo atveju, kai tikimybė rasti blogesnei stiprumo rodiklio reikšmei turi neviršyti 5%. Šiuo atveju būdingosios reikšmės nepriklauso nuo normalinių įtempimų dydžio. Taikant tokiu būdu nustatytas grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes pagrindus skaičiuojant nereikia atsižvelgti į normalinių įtempimų dydį. Priešingu atveju, kai grunto stiprumo būdingosios reikšmės parenkamos tokios, kad tikimybė gauti blogesnes kerpamojo stiprumo reikšmes neviršytų 5%, stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės gaunamos didesnės, negu anksčiau minėtu metodu. Sudėtingesnė yra šių reikšmių apskaičiavimo ir jų praktinio taikymo metodika, bet taikant jas projektuojant pagrindus gaunami ekonomiškiesni sprendimai.

5. Įvairiais metodais nustatytų grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių analizė

Grunto kerpamojo stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės, apskaičiuotos norminiuose dokumentuose pateiktais metodais, gaunamos skirtingos, nors jų paskirtis yra ta, kad, naudodami jas pagrindų skaičiavimams, ribinių būvių metodu galėtume suprojektuoti normas atitinkančius patikimus pamatų pagrindus.

Sunku palyginti įvairiais metodais apskaičiuotas grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes, nes grunto kerpamasis stiprumas apibūdinamas dviem rodikliais. Lengviau palyginti grunto kerpamojo stiprumo skai-

čiuojamąsias reikšmes, apskaičiuotas naudojant stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes.

Skaičiavimai rodo, kad grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės sudaro 48–96% jo vidutinių reikšmių didumo. Šis skirtumas priklauso nuo skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo metodikos ir normalinių plokštumos kirpimo įtempimų dydžio (žr. lentelę).

Grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų ir vidutinių reikšmių santykiai

Ratio of soil shear strength design values to average values

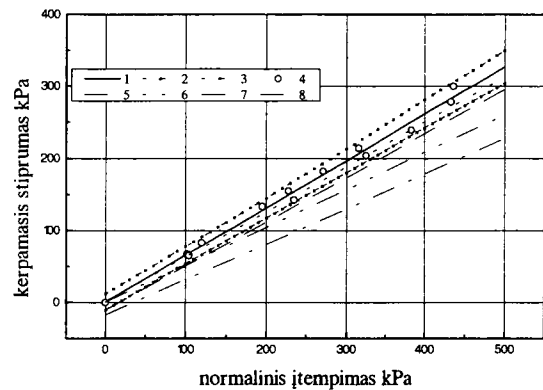
Skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo metodika	$\tau_{u,d} / \bar{\tau}_u$ santykis %, kai normalinis įtempimas σ [kPa]			
	100	250	400	500
СНП 2.02.01-83	79,8	87,0	89,7	90,5
СНП 2.02.02-85	95,8	95,8	95,8	95,8
Euronormos 7	48,4	64,4	68,4	69,7
DIN 4017	77,3	79,8	79,9	79,9

Kai grunto rodiklių skaičiuojamosios reikšmės apskaičiuotos pagal hidrotechninių statinių pagrindų projektavimo normose pateiktą metodiką 0–500 kPa normalinių įtempimų intervalu, tai grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės gaunamos didžiausios. Grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės, apskaičiuotos pagal grunto stiprumo rodiklius, nustatytus siauram normalinių įtempimų intervalui ir esant mažoms šių įtempimų reikšmėms (0–50 kPa), yra mažesnės, negu apskaičiuotos pagal kitais metodais nustatytas grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes. Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės priklauso ne tik nuo kerpamojo stiprumo reikšmių sklaidos, bet ir nuo normalinių įtempimų intervalo, kuriam jos nustatytos ir kuriam apskaičiuoti grunto stiprumo rodikliai.

Mažiausios grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės gautos, kai jos apskaičiuotos pagal stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes, gautas apdorojus bandymų duomenis pagal Euronormose 7 pateiktą metodiką. Nustatant grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes laikoma, kad jų būdingosios reikšmės apskaičiuotos taip, kad tikimybė rasti grunto stiprumo rodiklių blogesnėms reikšmėms nei skaičiuojamosios neviršys 5%.

Pagal norminiuose dokumentuose СНП 2.02.01-83, СНП 2.02.02-85, DIN 4017, Euronormose 7 pateiktais metodais nustatytas grunto stiprumo rodiklių skaičiuoja-

mąsias reikšmes apskaičiuotos grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės grafiškai pavaizduotos 5 pav.



5 pav. Grunto kerpamojo stiprumo reikšmės: 1 – vidutinės, 2, 3 – pasikliautinųjų intervalų ribos, 4 – individualios, 5, 6, 7, 8 – skaičiuojamosios, nustatytos atitinkamai pagal СНП 2.02.01-83, СНП 2.02.02-85, DIN 4017, Euronormas 7

Fig 5. Shear strength values: 1 – average, 2, 3 – control limits, 4 – test results, 5, 6, 7, 8 – determined according to СНП 2.02.01-83, СНП 2.02.02-85, DIN 4017, Eurocode 7

Apibendrinus kirpimo bandymų duomenų apdoravimo lyginamąja analize rezultatus galima padaryti tokias išvadas:

- norminiuose dokumentuose nėra vienos grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo metodikos; jiems nustatyti taikomi statistiniai ir empiriniai metodai;
- grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės labai skiriasi nuo kerpamojo stiprumo pasikliautinąjo intervalo apatinės ribos, kurioje su pasirinktu pasiklivimo lygmeniu yra tikrosios priklausomybės $\tau_u = \text{tg}\varphi + c$ reikšmės;
- grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės kai kuriais atvejais, esant mažoms normalinių apkrovų reikšmėms, yra didesnės už kerpamojo stiprumo pasikliautinąjo intervalo apatinę ribą, o, esant didesniems normaliniams įtempimams, yra mažesnės. Tai rodo, kad grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų reikšmių tikimybė, esant skirtingiems normaliniams įtempimams, yra nevienoda;
- stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo metodikų įvairovė lemia ta aplinkybę, kad grunto kerpamojo stiprumo pasikliautinąjo intervalo apatinė riba

yra netiesinė normalinių įtempimų atžvilgiu, o sąryšis tarp grunto kerpamojo stiprumo ir normalinių kirpimo plokštumai įtempimų, kuris yra naudojamas skaičiavimams, yra tiesinis;

- norint užtikrinti vienodą grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų reikšmių tikimybę stiprumo rodiklių skaičiuojamosioms reikšmėms nustatyti, reikia taikyti tikimybinis-statistinius metodus. Taip nustatytos grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės priklausys nuo kirpimo plokštumoje veikiančių normalinių įtempimų.

6. Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių, užtikrinančių vienodą kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų reikšmių tikimybę, nustatymas

Grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės, apskaičiuotos pagal [9] ir pagal [11] (5 pav.), esant normaliniam įtempimui 120 kPa, yra vienodos, nors grunto patikimumo koeficientai labai skiriasi. Grunto vidinės trinties kampo tangentui jie yra atitinkamai $\gamma_g=1,065$, $\gamma_g=1,25$, o sankabumui $\gamma_g=-0,06$, $\gamma_g=2,0$. Vienodas grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamąsias reikšmes galima gauti, esant skirtingoms jo stiprumo rodiklių skaičiuojamosioms reikšmėms.

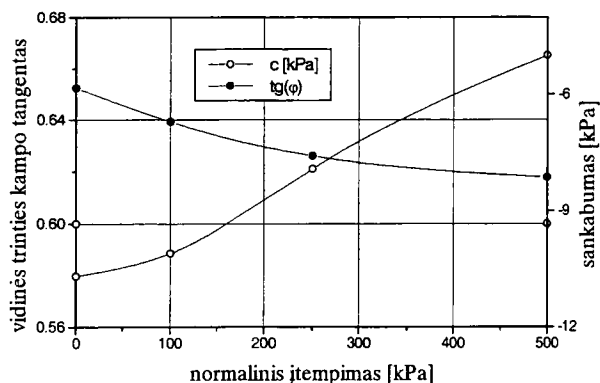
Jei grunto stiprumo rodikliai nagrinėjami kaip atsitiktiniai dydžiai, tai galima rasti tokias jų reikšmes, kurioms esant bus gauta vienodo dydžio grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamoji reikšmė, o stiprumo rodiklių tikimybės tankio funkcija bus maksimali. Šios reikšmės užtikrins grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų reikšmių normomis reglamentuotą tikimybę.

Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės $\text{tg}\varphi^*$, c^* , kurioms esant bus užtikrinta vienoda grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų reikšmių tikimybė, priklausys nuo kirpimo plokštumos normalinio įtempimo. Jas apskaičiuosime:

$$\text{tg}\varphi^* = \text{tg}\bar{\varphi} - \gamma \cdot \sigma \cdot s_{\text{tg}\varphi}^2 / \sqrt{s_c^2 + \sigma^2 \cdot s_{\text{tg}\varphi}^2} \quad (10)$$

$$c^* = \bar{c} - \gamma \cdot s_c^2 / \sqrt{s_c^2 + \sigma^2 \cdot s_{\text{tg}\varphi}^2} \quad (11)$$

Vidutinio stambumo smėlio stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės, užtikrinančios vienodą jo kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų reikšmių tikimybę, esant skirtingoms normalinių įtempimų reikšmėms, pateiktos 6 pav.



6 pav. Skaičiuojamosios grunto vidinės trinties kampo tangento ir sankabumo reikšmės, kurioms esant bus užtikrinta vienoda grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamųjų reikšmių tikimybė

Fig 6. Design values of angle of internal friction and cohesion for the same probability of shear strength

Kai grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės priklauso nuo normalinių įtempimų dydžio, tai jas sudėtingiau panaudoti pagrindams projektuoti, nes šiuo atveju pamatų pagrindams apskaičiuoti reikia taikyti tikimybinis metodus.

Projektuojant pagrindus ribinių būvių metodu pamato plotas A parenkamas taip, kad stiprumo atsarga $Z=R-E$, apskaičiuota naudojant šios sąlygos argumentų skaičiuojamąsias reikšmes, būtų teigiama. Jei projektavimo sąlygos argumentai nagrinėjami kaip atsitiktiniai dydžiai, tai šią sąlygą tenkinančių argumentų (atsitiktinių dydžių) derinių, kurie tenkina projektavimo sąlygos reikalavimus, yra be galo daug, o jų derinio tikimybė bus nevienoda. Tikimybinio konstrukcijų skaičiavimo, taikant pirmosios eilės aproksimacijų metodą [13], tikslas yra apskaičiuoti tokį argumentų X (atsitiktinių dydžių) reikšmių derinį, kuris tenkintų ne tik projektavimo sąlygą, bet ir šio argumentų derinio tikimybė būtų didžiausia.

Apskaičiuosime, kokį pagrindo patikimumą užtikrina grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių naudojimas projektuojant pasvirusia jėga apkrauto pamato pagrindus pagal saugos ribinį būvį, kai pagrindas suyra pagal plokščio slydimo schemą.

Projektavimo sąlygą galime užrašyti:

$$\sigma_d \cdot \text{tg}\varphi_d + c_c - \tau_d \geq 0 \quad (12)$$

Apskaičiuodami, kokį pagrindo patikimumą užtikrina vien tik grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių naudojimas projektuojant pagrindus, laikysime, kad saugos ribinio būvio sąlygos (12) argumentai $\text{tg}\varphi$ ir c

yra atsitiktiniai, tarpusavyje nepriklausomi dydžiai. Kitų šios sąlygos argumentų – apkrovų $\sigma=N/l \cdot b$ ir $\tau=Q/l \cdot b$, geometrinių matmenų b ir l – reikšmės yra žinomos be paklaidų, o pagrindo darbo sąlygų ir pastato patikimumo koeficientai lygūs vienetui.

Pažymėję pagrindo stiprumo atsarga $z = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + c - \tau = g(\operatorname{tg}\varphi, c)$ normomis reglamentuojamą pagrindo stiprumo patikimumo indeksą apskaičiuosime sprendami lygčių sistemą [6]:

$$\operatorname{tg}\varphi_* = \operatorname{tg}\bar{\varphi} + \beta \cdot \frac{\partial g(\operatorname{tg}\varphi_*, c)}{\partial(\operatorname{tg}\varphi)} \cdot \frac{s_{\operatorname{tg}\varphi}^2}{s_z},$$

$$c_* = \bar{c} + \beta \cdot \frac{\partial g(\operatorname{tg}\varphi_*, c_*)}{\partial(c)} \cdot \frac{s_c^2}{s_z},$$

$$s_z^2 = \left(\frac{\partial g(\operatorname{tg}\varphi_*, c_*)}{\partial(\operatorname{tg}\varphi)} \cdot s_{\operatorname{tg}\varphi} \right)^2 + \left(\frac{\partial g(\operatorname{tg}\varphi_*, c_*)}{\partial(c)} \cdot s_c \right)^2, (13)$$

$$\sigma_d \cdot \operatorname{tg}\varphi_* + c_* - \tau_d = 0,$$

$$\sigma_d \cdot \operatorname{tg}\varphi_d + c_d - \tau_d = 0.$$

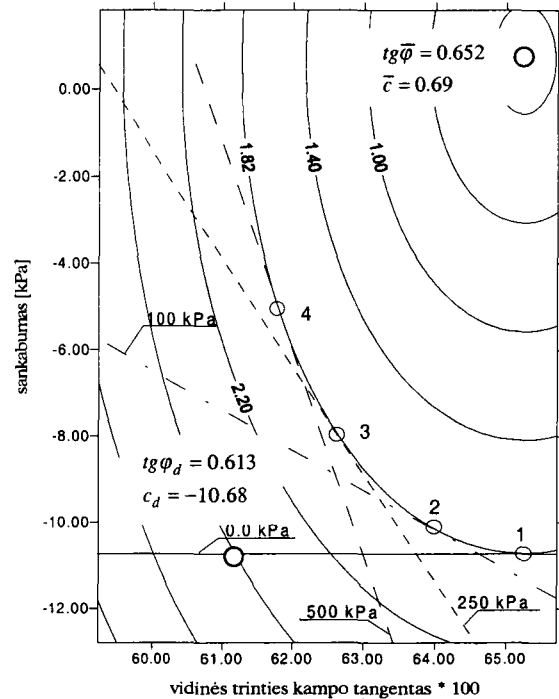
Išsprendę šią lygčių sistemą nustatysime pagrindo stiprumo patikimumo indeksą ir labiausiai tikėtinas grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes, kurios užtikrins, kad pagrindo stiprumas atitiktų normas.

Lygčių sistemoje (13) pakeitę įprastinę projektavimo sąlygą (5) patikimumo indeksą ribojančia sąlyga $\beta = \beta_u$, apskaičiuosime pagrindo stiprumo pasirinktą patikimumą užtikrinančias grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes.

Vidutinio stambumo smėlio stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės, kurios užtikrina pagrindo stiprumo vienodą (mažiausią reglamentuojamą normomis) patikimumą esant skirtingoms normalinių kirpimo plokštumos įtempimų reikšmėms intervalu 0 – 500 kPa (patikimumo indeksas $\beta=1,82$), pateiktos 6 pav.

Kai normaliniai įtempimai yra lygūs nuliui (7 pav.), vidinės trinties kampo tangento skaičiuojamoji reikšmė bus lygi vidutinei jo reikšmei, o sankabumo skaičiuojamoji reikšmė bus lygi šio rodiklio pasikliautinio intervalo apatinės ribos reikšmei. Šiuo atveju pagrindo stiprumo patikimumo indeksas gaunamas mažiausias ($\beta=1,82$). Didėjant normaliniams įtempimams patikimumo indeksas didėja ir, kai normaliniai įtempimai $\sigma=500\text{kPa}$, jis lygus $\beta=2,6$. Pamato pagrindo skaičiavimui naudojant tikimybišius-statistinius metodus (13), galima apskaičiuoti vieno-

do patikimumo pagrindus, kai kirpimo plokštumoje veikia nevienodo dydžio normaliniai įtempimai, ir nustatyti labiausiai tikėtinas grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes (7 pav.), kurias naudojant pagrindo skaičiavimui pagrindas bus vienodai patikimas.



7 pav. Pagrindo stiprumo patikimumo indekso izolinijos. Grunto kerpamojo stiprumo rodikliai: vidutinės reikšmės: $\operatorname{tg}\bar{\varphi} = 0,6524$, $\bar{c} = 0,69$ kPa; vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai: $s_{\operatorname{tg}\varphi} = 0,0219$, $s_c = 6,27$ kPa; skaičiuojamosios reikšmės: $\operatorname{tg}\varphi_d = 0,6127$, $c_d = -10,68$ kPa; 1 – $\sigma = 0,0$ kPa, $\tau = -10,68$ kPa, $\operatorname{tg}\varphi_* = 0,6524$, $c_* = -10,68$ kPa, 2 – $\sigma = 100,0$ kPa, $\tau = 53,9$ kPa, $\operatorname{tg}\varphi_* = 0,6392$, $c_* = -10,14$ kPa, 3 – $\sigma = 250,0$ kPa, $\tau = 148,6$ kPa, $\operatorname{tg}\varphi_* = 0,6261$, $c_* = -7,93$ kPa, 4 – $\sigma = 500,0$ kPa, $\tau = 304,2$ kPa, $\operatorname{tg}\varphi_* = 0,6178$, $c_* = -4,99$ kPa

Fig 7. Isolines of reliability index

7. Išvados

1. Įvairiuose norminiuose dokumentuose nėra vienos grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių nustatymo metodikos. Grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosios reikšmės, nustatytos pagal stiprumo rodiklių skaičiuojamąsias reikšmes, labai skiriasi nuo kerpamojo stiprumo pasikliautinio intervalo apatinės ribos, apskaičiuotos su pasirinktu pasiklivimo lygmeniu.

2. Kadangi grunto stiprumas apibūdinamas dviem rodikliais, tai įprastiniais metodais negalima nustatyti grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamųjų reikšmių, kurios užtikrintų vienodą grunto kerpamojo stiprumo skaičiuo-

jamųjų reikšmių tikimybę veikiant kirpimo plokštumoje skirtingiems normaliniams įtempimams.

3. Taikant tikimybinius-statistinius metodus, galima nustatyti tokias grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamasias reikšmes, kurios užtikrins, kad tikimybė rasti pagal jas apskaičiuotoms grunto kerpamojo stiprumo skaičiuojamosioms reikšmėms, didesnėms už pasikliautinojo intervalo apatinę ribą, esant bet kokiems normaliniams įtempimams, bus lygi normomis reglamentuotai. Grunto stiprumo rodiklių skaičiuojamosios reikšmės priklausys nuo normalinių įtempimų.

Literatūra

1. A. Weißenbach, G. Gudehus, B. Schuppener. Vorschläge zur Anwendung des Teilsicherheitskonzepts in der Geotechnik // Zeitschrift für Bodenmechanik, Felsmechanik, Grundbau, Ingenieurgeologie. "Geotechnik" Sonderheft: Deutsche Beiträge zur Europäischen Normung. Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1999, S. 4–31.
2. David Muir Wood. Risks in geotechnical engineering // Design analysis in geotechnical engineering. Implement of Geotechnical Limit State Design according to Eurocode 7. Lyngby, Denmark. 1993, p. 3;1–19.
3. H. P. Nottrodt. Zur Statistik der effektiven Scherparameter // Schriften der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar. Heft 61. Weimar, 1988. 128 S.
4. Trevor L. L. Orr & Eric R. Farrell. Geotechnical Design to Eurocode 7. Springer – Verlag London Limited, 1999. 166 p.
5. Б. Б. Ужполявичюс. Репрезентативный статистический расчёт абсолютного минимума запаса сопротивления конструкции оснований (Формулировка задачи, решение задачи и практическая реализация) // Statybinių konstrukcijų atnaujinimas ir stiprinimas. Vilniaus technikos universiteto mokslo darbai. V.: Technika, 1992, p. 67–92.
6. А. Аликонис, И. Амшеюс, В. Кулешюс. Прибор для испытания грунта на сдвиг // Описание изобретения к авторскому свидетельству № 12983. Патент, Ужгород, 1985. 2 с.
7. А. Аликонис, И. Амшеюс. Способ испытания грунта на сдвиг. Описание изобретения к авторскому свидетельству № 1677578. Патент, Ужгород, 1991. 3 с.
8. J. Amšiejus, J. Šimkus. Moreninių gruntų sankabumo ir vidinės trinties kampo nustatymas pagal eksperimentų duomenis // Lietuvos TSR aukštųjų mokyklų mokslo darbai. Statyba ir architektūra, XIV. Statybinės medžiagos ir konstrukcijos, Nr. 4. V.: Mokslas, 1975, p. 5–17.
9. СНиП 2.02.01-83. Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений // Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1985. 40 с.
10. СНиП 2.02.02-85. Строительные нормы и правила. Основания гидротехнических сооружений // Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1986. 44 с.
11. DIN – Taschenbuch 36. Erd – und Grundbau. Normen (Bauwesen 5) 8. Auflage Stand abgedruckten Normen: Dezember 1990. Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln. 405 S.
12. Eurocode 7. Geotechnical design in European engineering practice. Budapest, 1996. 195 p.
13. ENV 1991-1: CEN. Basis of Design and Action on Structures. Eurocode 1, Part 1, 1994. 85 p.

Įteikta 2000 03 15

ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING SOIL SHEAR STRENGTH DESIGN VALUES

J. Amšiejus

Summary

Designing foundations by soil safety factors is used for obtaining soil strength design values. The methods [10, 11, 12, 13] used for their calculations and minimal values of investigated coefficients are provided in the standards. The design values of soil characteristics computed by different methods do not match. In reality they should ensure the unique reliability of soil shear strength design values.

In the present work, the soil shear strength values are computed by different methods. The experimental data are obtained for sands using direct shear strength apparatus. The comparative analysis of obtained results and methods for predicting the design values of soil strength characteristics is applied. When designing foundations, the relation between soil shear strength and normal stress is treated as linear (1, 2), but the dependency of the lower control limit on normal stress is non-linear (5). Therefore, methods for getting experimental data of soil shear strength give different results. In corresponding standards, different additional conditions are considered for approximation of the investigated non-linear dependency to the linear one. The soil safety factors used for computing design values of tangent of internal friction angle and cohesion depend on these additional conditions. The approximation of non-linear dependency to the linear one does not allow ensuring the unique probability of soil shear strength design values. It is impossible to ensure the desired unique probability for different values of normal stress using traditional methods and constant soil safety factors. In order to obtain the same probability for soil shear strength values lower than the designed value, the probability-statistical methods should be applied.

In this article, the method for determining soil shear strength design values is presented (10, 11). This method ensures the same probability of the soil shear strength design values for any values of normal stress. The probability-statistical methods should be applied for design of foundations when soil strength design values depend on normal stress. In order to apply the investigated methods, the probability of foundation collapse or reliability index β , the mean values of soil strength and their variance should be known. Dimensions of the foundation are obtained from mean value sand variance of soil strength characteristics solving the system of equations (13). The solution of this system is a combination of arguments of foundation design conditions that are investigated as normal random variable. The investigated combination corresponds to the limit state.

Jonas AMŠIEJUS. Senior Assistant. Geotechnical Dept. Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al.11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.

First degree in Civil Engineering (Kaunas Polytechnic Institute, 1966). Staff member of Dept of Geotechnical Engineering, VGTU (1971). Author of 2 inventions. Research interests: analysis of soil deformations and strength.