



## INŽINERINIS METODAS TAŠKO NUOSĖDŽIUI SKAIČIUOTI NUO GRETUTINĖS APSKRITIMINĖS TOLYGIAI IŠSKIRSTYTOS APKROVOS

Jonas Amšiejus<sup>1</sup>, Arnoldas Norkus<sup>2</sup>, Kęstutis Kelevišius<sup>3</sup>, Darius Macijauskas<sup>4</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva*

*El. paštas: <sup>1</sup>ajonas@vgtu.lt; <sup>2</sup>arnoldas.norkus@vgtu.lt; <sup>3</sup>k.kestas@yahoo.com;*

*<sup>4</sup>darius.macijauskas@gmail.com*

*Įteikta 2009 10 26; priimta 2009 11 30*

**Santrauka.** Tiesiškai deformuojamo puserdvio, apkrauto apskritimine tolygiai išskirstyta apkrova, vertikalieji poslinkiai apskaičiuojami integruojant Bussinesko sprendinio vertikaliojo poslinkio išraišką apkrautame plote. Šis integralas apskaičiuojamas sumavimo metodu. Darbe pateiktas tiesiškai deformuojamo pagrindo, apkrauto apskritimine tolygiai išskirstyta apkrova, nuosėdžių skaičiavimo metodas yra gana tikslus. Šiuo metodu galima įvertinti puserdvio paviršiaus nuosėdį ne tik nuo apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos, bet ir nuo kitų, greta esančių apskritiminių tolygiai išskirstytų apkrovų. Inžineriniam metodui realizuoti taikytas sumavimo principas, pakeičiantis tiesioginį integravimą reikiamu tikslumu. Tuo tikslu sukurtas sumavimo algoritmas, jį realizuojanti kompiuterinė programa. Inžinerinis poslinkio skaičiavimo metodas realizuotas laipsnine lygtimi ir jam taikyti patogiai naudoti nomogramų forma. Taikant sukurtą inžinerinį metodą atliktas nuosėdžių apskaičiavimo skaitinis modeliavimas. Atlikus skaitinio eksperimento rezultatų analizę, identifiukuoti nuosėdžių kitimo dėsningumai. Pasiūlyta analizinė išraiška nuosėdžiams skaičiuoti. Nuosėdžių, apskaičiuotų inžineriniu metodu, santykinė paklaida neviršija 2 %, kai apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos centro taško atstumo iki taško, kurio skaičiuojamas nuosėdis, santykis su apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos spinduliu kinta nuo 1,5 iki 7.

**Reikšminiai žodžiai:** apskritiminė išskirstytoji apkrova, Bussinesque sprendiniai, sumavimo algoritmas, inžinerinis metodas taško nuosėdžiui skaičiuoti

### 1. Įvadas

Naudojant tiesiškai deformuojamo puserdvio, apkrauto koncentruota jėga, statmena puserdvį ribojančiai plokštumai (J. Boussinesque, 1885 m.) sprendinį, galima suskačiuoti apskritojo pamato nuosėdį arba šalia esančio kito pamato įtaką nagrinėjamo pamato nuosėdžiui (Флорин *et al.* 1959; Foster, Ahlvin 1954; Castelli, Motta 2003; Brown *et al.* 2006; Randolph 2003). Projektuojant pastatų pamatų pagrindus, reikia įvertinti pamatų absoliutinius ir santykinus nuosėdžius tarp pamatų, kad pastato konstrukcijose dėl įrąžų persiskirstymo neatsirastų didesnės už projektines įrąžas. Minėti atvejai yra labai pavojingi, kai pastatai yra jautrūs nevienodiems pamatų nuosėdžiams, pristatant prie esamo pastato naują pastatą arba kai reikia patikrinti pamato įtaką kitiems, netoliese

esantiems pamatams (pvz., pastato deformacinė siūlė ar pan.) (Azizi 2000; Pouos 1999; Trickey 2005).

Pagrindo deformacijoms skaičiuoti taikoma daug metodų. Toliau pateikiami klasikiniai pagrindo (nuosėdžių skaičiavimo) būdai (H. G. Poulos ir E. H. Davis, 1980 m.), tiesinio deformavimosi metodas. Jį taikant įgilinto pamato pagindas skaičiuojamas kaip izotropinė medžiaga. Skaičiuojant Poulos ir Davis metodu, pagrindas ir polis nagrinėjami kaip tiesiškai deformuojami kūnai. Šio skaičiavimo metodo trūkumas tas, kad gamtoje yra netiesiškai deformuojami gruntai, todėl šio metodo tikslumas nėra labai didelis.

Kitas nuosėdžių skaičiavimo būdas yra grafinis (pagal Meyer *et al.* 1975; Frank, Zhao, 1982). Šiuo metodu gali būti nagrinėjama netiesinė pagrindo elgsena ir skirtingos grunto sąlygos. Trūkumai: šis metodas yra

kompleksinis, be to, sudėtinga parinkti tinkamus polio šoninės trinties su pagrindu pasiskirstymo ties polio šonu grafikus, nuosėdžiai turi būti nustatomi labai atidžiai.

Nuosėdžius galima skaičiuoti ir skaitmeninėmis technologijomis, tokiomis kaip baigtiniai elementai arba baigtiniai skirtumai. Nedaug keičiant pagrindo charakteristikas, labai keičiasi skaičiavimo rezultatai (Trickey 2005; Fleming 1992; Reul, Randolph 2003).

Dažnai literatūroje aptinkami labai apytiksliai nuosėdžių už apkrovos veikimo ribų skaičiavimo metodai (Guntaraine 1999; Mayne, Pouls 1999).

Šio straipsnio tikslas yra:

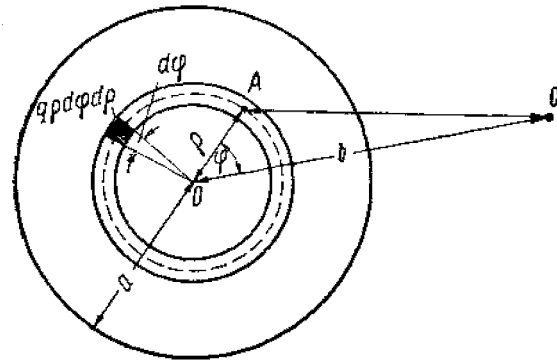
- Sudaryti klasikinio tiesiškai deformuojamo puserdvio, apkrauto koncentruota jėga, pagrindo skaičiavimo metodo algoritmą, kuriuo galima suskaičiuoti apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos veikiamos plokštumos bet kurio taško nuosėdį.
- Išnagrinėti formulės integralo dalies kitimą atliekant skaitinį eksperimentą.
- Formulės integralo dalies kitimui pritaikyti tinkamiausią lygtį.
- Nustatyti inžinerinio skaičiavimo metodo paklaidas.

## 2. Skaičiavimo metodas

Šiame straipsnyje nagrinėjamas Businessko pateiktas klasikinis tiesiškai deformuojamo puserdvio sprendinys, kuriuo galima suskaičiuoti apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos veikiamos plokštumos bet kurio taško nuosėdį. Skaičiuojant apskritų pamatų (pvz., giliųjų arba sekliųjų pamatų) nuosėdžius (Mandolini *et al.* 2005) (1 pav.), naudojamas klasikinis integralas be pirminės funkcijos (1). Skaičiuojant giliuosius pamatus reikia įvertinti tai, kad pamato pado skersmuo bus didesnis negu jo projektinis dėl ties pamato šonu atsiradusios šoninės trinties (Hanna, Nguyen 2002; O'Neil 2002; England 2002; Alawneh, Malkawi 2000; Prakoso, Kulhawy 2001; Zhang, Small 2000).

$$\omega = \frac{1-\nu^2}{\pi E} q \int_0^a \int_0^{2\pi} \frac{\rho d\rho d\varphi}{(\rho^2 + b^2 - 2\rho b \cos \varphi)^{3/2}}, \quad (1)$$

čia:  $\nu$  – pagrindo skersinių deformacijų koeficientas;  $E$  – pagrindo deformacijų modulis, kN/m<sup>2</sup>;  $q$  – apskritiminė tolygiai išskirstyta apkrova, kN/m<sup>2</sup>;  $b$  – atstumas nuo apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos centro O iki nagrinėjamo taško C, m.



1 pav. Apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos nuosėdžių skaičiuojamoji schema

Fig. 1. Design scheme for settlement determining due circular loading of constant intensity

Norint naudotis nurodyta formule, reikia nemažai žinių skaičiuojant integralus arba atlikti daug skaičiavimų, jeigu skaičiuojama skaitiniu metodu, taip pat laiko bei patirties, siekiant išvengti klaidų.

Naudojant Businessko pasiūlyto tiesiškai deformuojamo puserdvio sprendinį, kai pagrindą veikia apskritiminė tolygiai išskirstyta apkrova, taikomos tokios prielaidos:

1. Tiesiškai deformuojamo puserdvio, kuris veikiama apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos, nuosėdis skaičiuojamas esant vienodam deformacijų moduliui. Kai yra sluoksniuoti pagrindai po apskritimine tolygiai išskirstyta apkrova ir nagrinėjamas taškas, reikėtų įvertinti po jais deformacijų modulių ir skersinių pagrindo deformacijų koeficientų nevienodumą (Verveckaitė *et al.* 2007).
2. Apskritiminė tolygiai išskirstyta apkrova yra vienodai pasiskirsčiusi.
3. Apskritiminė tolygiai išskirstyta apkrova yra tik vertikali.
4. Naudojant erdvinės Businessko nuosėdžių skaičiavimo lygties apskritiminei tolygiai išskirstytai apkrovai (1) sprendinį, sudaromas pamato nuosėdžio nuo greta esančio pamato įtakos skaičiavimo inžinerinis metodas. Atliekant skaitinį eksperimentą inžineriniam metodui sukurti, nuosėdžiai buvo skaičiuojami sumavimo būdu. 2 pav. pateikiama integralo (1) be pradinės funkcijos skaičiavimo sumavimo metodu loginė schema.

## 3. Skaitinis eksperimentas

Atliekant skaitinį eksperimentą naudoti šie duomenys: pagrindo deformacijų modulis  $E = 30$  Mpa. Pagrindo deformacijų modulis skaičiuojant nekin-

ta, nes jis yra kaip konstanta (išskeltas prieš integralą); pagrindo skersinių deformacijų koeficientas  $\nu = 0,28$ . Skaičiuojant buvo nagrinėjami apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos skritulio spinduliai  $a = 0,1$  m; 0,2 m; 0,3 m; 0,4 m; 0,5 m; 0,6 m. Skaičiuoti buvo panaudoti projektuojant dažniausia naudojami skaičiuojamieji polių skersmenys ( $2 \times a$ ): 0,2 m; 0,4 m; 0,6 m; 0,8 m; 1,0 m; 1,2 m. Kintant apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos spinduliams  $a$ , kito atstumai  $b$  tarp tolygiai išskirstytos apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos centro taško ir taško, kurio buvo skaičiuojamas nuosėdis:  $b = 1,5a$ ;  $2,0a$ ;  $2,5a$ ;  $3,0a$ ;  $3,5a$ ;  $4,0a$ ;  $4,5a$ ;  $5,0a$ ;  $5,5a$ ;  $6,0a$ ;  $6,5a$ ;  $7,0a$ . Skaičiuoti buvo pasirinkti atstumai  $b$  tarp 0 ir C taškų (1 pav.), nes esant atstumui  $b = 1,5a$ , taškas yra šalia išskirstytos apkrovos ir jo nuosėdis už apkrovos yra didžiausias; kai  $b = 7a$ , tai taško nuosėdis beveik nedaro įtakos apkrovai. Kintant atstumams  $b$  tarp tolygiai išskirstytos apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos centro taško ir taško, kurio buvo skaičiuojamas nuosėdis, buvo keičiamos skritulio formos tolygiai išskirstytos apkrovos nuo  $q_{\min} = 50$  kN/m<sup>2</sup> iki  $q_{\max} = 3000$  kN/m<sup>2</sup>. Išskirstytos apkrovos didėjimo žingsnis – 50 kN/m<sup>2</sup>. Skaičiuojant integralą sumavimo metodu, buvo nagrinėjami tolygiai išskirstytos apkrovos skritulio ploto elementai, kurie buvo gauti tokiu būdu: skritulys buvo padalytas į 100 vienodo pločio žiedų, žiedai padalinti į 100 lygių dalių. 2 pav. pateikiama sumavimo metodo skaičiavimų loginė schema, kuria remiantis buvo užprogramuoti sumavimo metodo skaičiavimai, naudojant Paskalio programavimo kalbą Borland Delphi programiniu paketu.

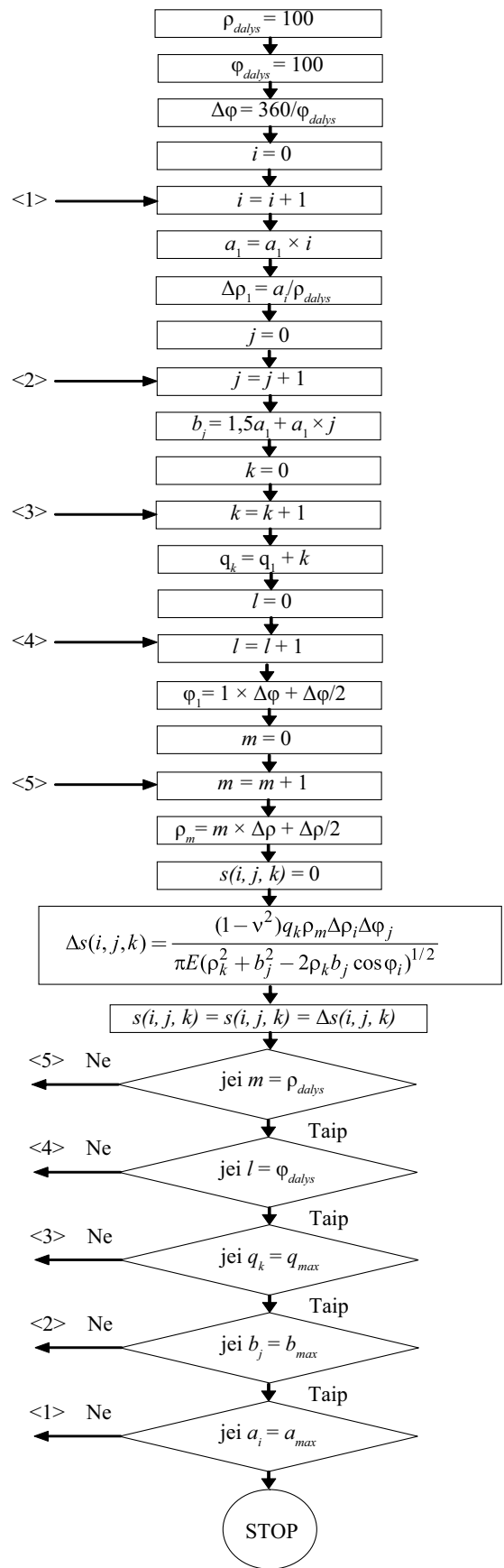
Skaičiavimo rezultatai yra taško, esančio toje pačioje plokštumoje kaip ir apskritiminė tolygiai išskirstyta apkrova ir nutolusio nuo apkrovos centro atstumu  $b$ , nuosėdis, esant pateiktiems skaičiavimo duomenims  $a$ ,  $b$  ir  $q$ .

**4. Skaičiavimo rezultatų analizė**

Toliau nagrinėjamas (1) formulės integralo kitimas. Iš skaičiavimo rezultatų sudaryta  $\zeta_{\text{int}}$  dydžių priklausomybių lentelė (1 lentelė), kai  $\zeta_{\text{int}}$  išraiška (2):

$$\zeta_{\text{int}} = \frac{s(i, j)}{\frac{(1-\nu^2)q}{\pi E}} = \int_0^a \int_0^{2\pi} \frac{\rho d\rho d\varphi}{(\rho^2 + b^2 - 2\rho b \cos \varphi)^{3/2}} \quad (2)$$

čia:  $\zeta_{\text{int}}$  – (1) formulės integralo dydis;  $s(i, j)$  – taško, nutolusio nuo tolygiai apskritiminės tolygiai išskirsty-



2 pav. Businessko integralo be pradinės funkcijos skaičiavimo sumavimo metodu loginė schema

Fig. 2. The logical scheme of the summing method for calculating Bussinesque integral without the primary function

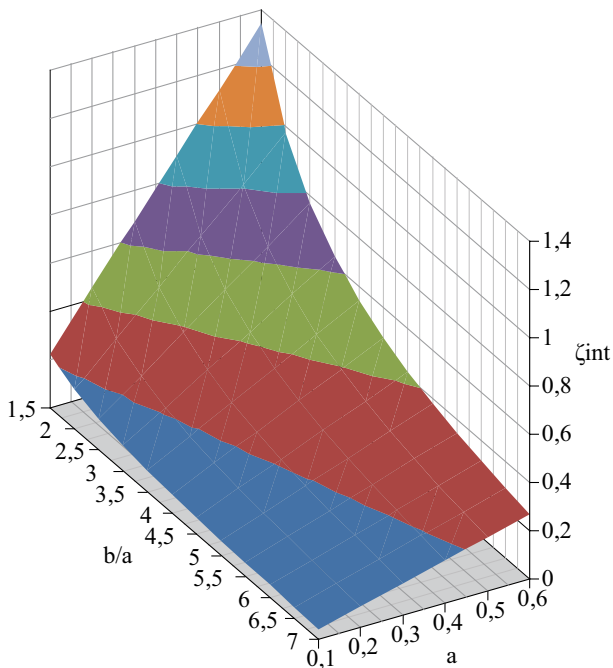
tos apkrovos centro, kai skritulio spindulys  $a$  atstumu  $b$  nuosėdis.

Dydžių  $\zeta_{int}$  kitimas pateiktas grafiškai 3 pav.

1 lentelė.  $\zeta_{int}$  dydžiai, kai  $a = 0,1-0,3$  ir  $b/a = 1,5-7$

Table 1.  $\zeta_{int}$  variables, case  $a = 0,1-0,3$  and  $b/a = 1,5-7$

a b/a	0,1	0,2	0,3
1,5	0,223638853	0,447277707	0,67091656
2	0,162519233	0,325038466	0,487557699
2,5	0,128341577	0,256683154	0,385024731
3	0,106238482	0,212476964	0,318715446
3,5	0,09070495	0,1814099	0,272114851
4	0,079168244	0,158336488	0,237504732
4,5	0,070252285	0,14050457	0,210756855
5	0,063150809	0,126301618	0,189452427
5,5	0,057358864	0,114717728	0,172076593
6	0,052543595	0,10508719	0,157630785
6,5	0,048476467	0,096952934	0,145429401
7	0,044995264	0,089990529	0,134985793
1,5	0,894555414	1,118194267	1,34183312
2	0,650076932	0,812596165	0,975115398
2,5	0,513366308	0,641707885	0,770049462
3	0,424953927	0,531192409	0,637430891
3,5	0,362819801	0,453524751	0,544229701
4	0,316672976	0,39584122	0,475009464
4,5	0,281009141	0,351261426	0,421513711
5	0,252603236	0,315754045	0,378904854
5,5	0,229435457	0,286794321	0,344153185
6	0,21017438	0,262717975	0,31526157
6,5	0,193905868	0,242382335	0,290858802
7	0,179981057	0,224976322	0,269971586



3 pav. Dydžių  $\zeta_{int}$  kitimas  
Fig. 3. Variation of  $\zeta_{int}$

Kai  $b/a$  santykis yra pastovus, dydžio  $\zeta_{int}$  kiti-  
mą (4 pav.) galima tiksliausiai suskaičiuoti naudojant  
laipsninę kreivę (žr. 2 lentelę).

Dydžio  $\zeta_{int}$  nustatymo laipsninės lygties formulę  
galima užrašyti taip:

$$\zeta_{int} = \zeta_{int,pagr} \left(\frac{b}{a}\right)^{-1,034} \tag{3}$$

Galutinės dydžio  $\zeta_{int,pagr}$  išraiškos (4) dispersija nuo  
suskaiciuotų reikšmių  $R^2 = 1,000$ :

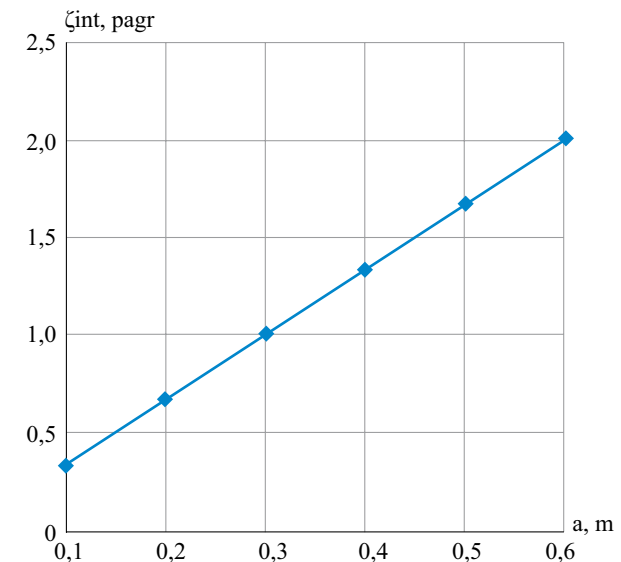
$$\zeta_{int,pagr} = 3,3379a. \tag{4}$$

2 lentelė. Gautos  $\zeta_{int}$  dydžio nustatymo laipsninės formulės, kai  
 $a = 0,1-0,6$  m ir  $b/a = 1,5-7$

Table 2. Developed formulae for  $\zeta_{int}$  evaluation, case  $a =$   
 $0,1-0,6$  m and  $b/a = 1,5-7$

a	$\zeta_{int}$	$R^2$	$\zeta_{int,pagr}$
0,1	$0,33379(b/a)^{-1,034}$	0,9997	0,33379
0,2	$0,66759(b/a)^{-1,034}$	0,9997	0,66759
0,3	$1,0014(b/a)^{-1,034}$	0,9997	1,0014
0,4	$1,3352(b/a)^{-1,034}$	0,9997	1,3352
0,5	$1,669(b/a)^{-1,034}$	0,9997	1,669
0,6	$2,0028(b/a)^{-1,034}$	0,9997	2,0028

čia:  $R^2$  – dydžio  $\zeta_{int}$  dispersija nuo suskaiciuotų reikšmių;  
 $\zeta_{int,pagr}$  – laipsninės lygties pagrindo dydis (žr. (4)).



4 pav. Dydžio  $\zeta_{int,pagr}$  kitimas, esant skirtingiems tolygiai  
apskritiminės tolygiai išskirtos apkrovos spinduliams  
Fig. 4.  $\zeta_{int,pagr}$  versus the radius of circular load

**5. Skaičiavimo rezultatų analizės išvada**

Galutinė nuosėdžių skaičiavimo nuo apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos integralo be pradinės funkcijos (1) išraiška gali būti tokia (5):

$$\omega = \frac{1-v^2}{\pi E} q \int_0^a \int_0^{2\pi} \frac{\rho d\rho d\varphi}{(\rho^2 + b^2 - 2\rho b \cos\varphi)^{3/2}} = \frac{1-v^2}{\pi E} q(3,3379a) \left(\frac{b}{a}\right)^{-1,034} \quad (5)$$

Galima sudaryti dažniausia pasitaikantiems skaičiavimo atvejams nomogramas (5 pav.), kad galima būtų greitai įvertinti nuosėdį taško, kuris nutolęs nuo apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos centro atstumu nuo 0 m iki ∞ m. Apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos ir taško nuosėdžių skaičiavimo sumavimo būdu ir inžineriniu būdu santykinės paklaidos yra

vienodos visiems apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos skritulio skersmenims.

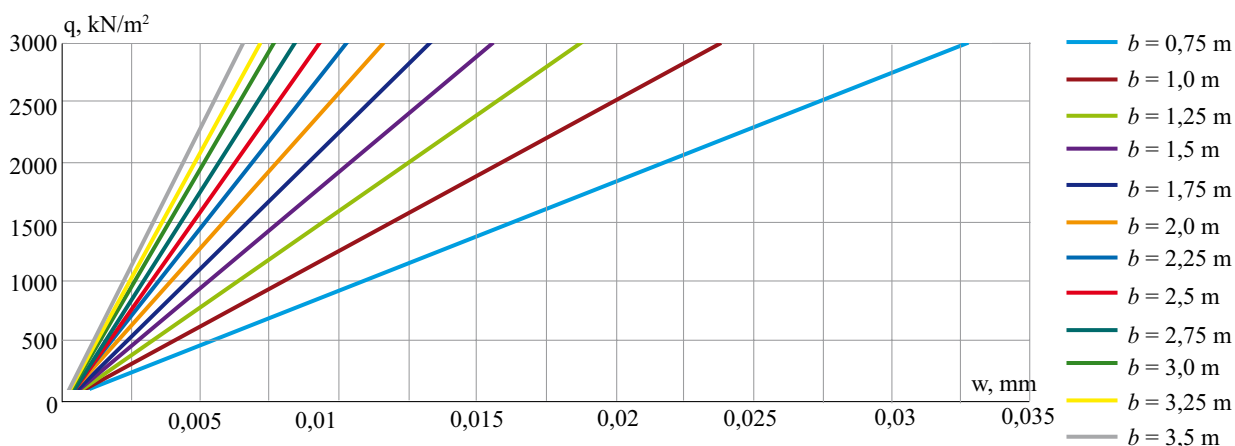
**6. Išvados**

1. Straipsnyje pateikta patogi skaičiuoti Businesko integralo be pradinės funkcijos skaičiavimo loginė schema, paremta sumavimo principu.

2. Išnagrinėtas formulės integralo dalies kitimas. Laipsninės lygties naudojimas jo aproksimacijai užtikrina reikiamą tikslumą.

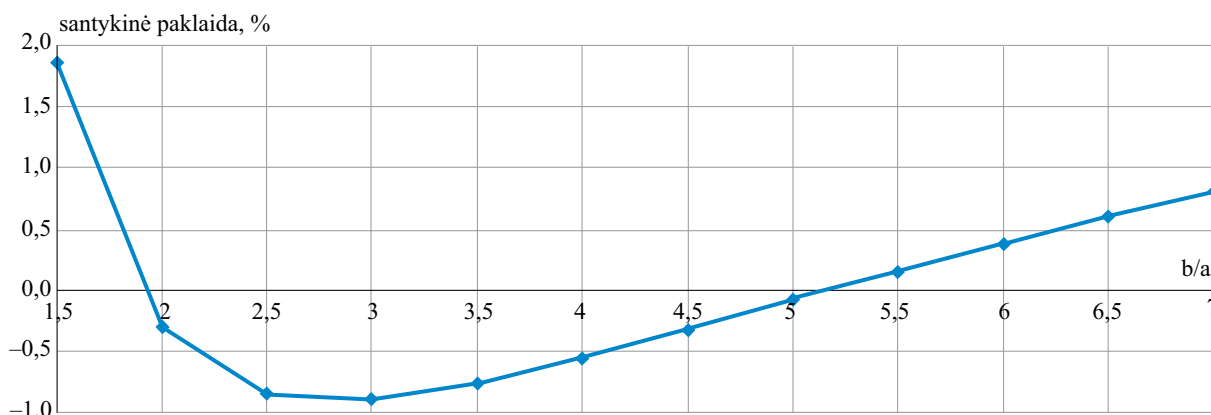
3. Naudojant inžinerinę išraišką, naudotą skaičiavimo nomogramoms sudaryti, galima greitai ir minimaliais skaičiuotinais ištekliais nustatyti greta esančio pamato įtaką nagrinėjamo taško nuosėdžiui.

4. Skaitinis eksperimentas patvirtino inžinerinio metodo pakankamą tikslumą, t. y. santykinė paklaida kito nuo 0,9 iki 1,9 % (6 pav).



5 pav. Apskritiminės tolygiai išskirstytos apkrovos ir taškų nuosėdžių priklausomybių, kai a = 0,4 m, nomograma

Fig. 5. The nomogram of circular load versus point settlement, case a = 0,4 m



6 pav. Taško nuosėdžio skaičiavimo santykinės paklaidos, lyginant sumavimo principą ir inžinerinį metodą, realizuotą nomogramomis, esant apskritiminei tolygiai išskirstytai apkrovai

Fig 6. The relative error of the summation principle versus the engineering method implemented via nomograms for constant circular loading case

## Literatūra

- Alawneh, A. S.; Malkawi, A. I. H. 2000. Estimation of post-driving residual stresses along driven piles in sand, *Geotechnical Testing Journal* 23(3): 313–326. doi:10.1520/GTJ11053J
- Azizi, F. 2000. *UK Applied Analyses in Geotechnics*. University of Plymouth.
- Brown, D.; Dapp, S.; Thompson, R. 2006. *Geotechnical Engineering Circular 8: Continuous Flight Auger piles* (draft final).
- Castelli, F.; Motta, E. 2003. Settlement prevision of piles under vertical load, *Journal of Geotechnical Engineering*, ICE, GE4, 183–191. doi:10.1680/geng.156.4.183.37530
- England, M. 2002. Easy static load tests - expert results, in *9th International Conference on Piling and Deep Foundations*, Nice, 3–5 June, 657–662.
- Fleming, W. G. K. 1992. *Piling Engineering* (2nd ed).
- Foster, C. R.; Ahlvin, R.G. 1954. *Stresses and Deflections by a Uniform Circular Load*.
- Guntaraine, M. 1999. *The Foundation Engineering Handbook*.
- Hanna, A. M.; Nguyen, T. Q. 2002. A Axisymmetric model for ultimate capacity of a single pile in sand, *Soil and Foundation* 42(2): 47–58.
- Mayne, P. W.; Poulos, H. G. 1999. Approximate displacement influence factors for elastic shallow foundations, *ASCE Journal Geot & Geoencl. Eng.* 125: 453–460.
- Mandolini, A.; Russo, G.; Viggiani, M. 2005. Pile foundations: experimental investigations, analysis and design, in *Proc. XVI International Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Osaka 1, 177–213.
- O'Nei, M. W. 2002. Side resistance in piles and drilled shafts, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 27(1): 3–16.
- Poulos, H. G. 1999. Common procedures for foundation settlement analysis – are they adequate. Keynote lecture, in *Proc. 8th Austr. – New Zeland Conf. Geomechanics*, 1–3.
- Prakoso, W. A.; Kulhawy, F. H. 2001. Contribution to piled raft foundation design, *ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division* 127(1): 1–17.
- Randolph, M. F. 2003. Science and empiricism in pile foundation design, *Geotechnique* 53(10): 847–875. doi: 10.1680/geot.2003.53.10.847
- Reul, O.; Randolph, M. F. 2003. Piled Rafts in overconsolidated clay: comparison of in-situ measurements and numerical analyses, *Geotechnique* 53(3): 301–315. doi:10.1680/geot.2003.53.3.301
- Trickey, S. A. 2005. *Three-dimensional Finite Element Modeling of Buried Pipes Including Frost Actions*. MSC thesis, Dept. Of Civil Engineering, Queen's Univ. At Kingston, Canada.
- Verveckaitė, N.; Amšiejus, J.; Stragys, V. 2007. Stress-strain analysis in the soil sample during laboratory testing, *Journal of Civil Engineering and Management* 13(1): 63–70.
- Флорин, В. А. 1959. *Основы механики грунтов. Том I. Общие зависимости и напряженное состояние оснований сооружений* [Florin, V. A. Essentials of ground mechanics. Vol. 1. Common equations and being under loading the strata of the building]. Москва.
- Zhang, H. H.; Small, J. C. 2000. Analysis of capped piled groups subjected to horizontal and vertical loads, *Computers and Geotechnics* 26: 1–21. doi:10.1016/S0266-352X(99)00029-4

## THE ENGINEERING METHOD FOR DETERMINING THE SETTLEMENT OF POINT DUE ADJACENT CONSTANTLY DISTRIBUTED CIRCULAR LOAD

J. Amšiejus, A. Norkus, K. Kelevišius, D. Macijauskas

**Summary.** The article considers linear half space subjected to the circular load of constant intensity. Point settlement is determined by integrating relation to an infinitesimally small area, as per the Bussinesque solution, for concentrated load. The authors propose to replace an integration technique with a summation technique aiming to reduce computational efforts. The application of the summation techniques developed by the authors and their subsequent employment to develop an engineering method ensures sufficient accuracy for engineering purposes for point settlement evaluation. An attractive feature of the proposed engineering method is its implementation via nomograms ready for fast usage. It is especially convenient for a design process that requires obtaining relatively rapid results for multi-variant geotechnical design situations. A calculation algorithm and computational program have been developed to perform the summation techniques. Thanks to the extensive numerical simulations of settlement evaluations under the developed method, variation in the loading surface radius has also been limited. When applying the engineering method, relative error does not exceed 2% for cases when the ratio of radii from the settlement point being investigated to the centre point of circular loading varies within the interval of 1.5 to 7 times. This degree of accuracy is sufficient for engineering design needs. In practice, this engineering method can be applied in case it is assumed that the circular load of constant intensity is the load that acts on the base at the point of contact between the foundation and the base. The point the settlement of which is calculated is the point of the base or the point at the centre of the foundation. It is recommended to apply the engineering method presented in the article when the distance between adjacent foundations is 10 times less than the diameter of the foundation. When the distance is 10 times more than the diameter, foundations almost do not affect each other. The engineering method is especially useful when differential settlements are being calculated, e.g. the impact of deformation seams on the foundations or the effects of a projected building that will be attached to an existing one. This method can be used for calculating both shallow and deep foundations. When deep founda-

tions are calculated, it is necessary to evaluate the enlargement of the pile base occurring due to friction between the ground and the pile material.

**Keywords:** circular distributed loading, Bussinesque solutions, summation algorithm, engineering method for point settlement evaluation

**Jonas AMŠIEJUS.** Assoc. Prof., Dr at the Department of Geotechnical Engineering, Vilnius Gediminas Technical University. Research interests: mechanical properties of soil, determination of load intensity and deformations in strata.

**Arnoldas NORKUS.** Prof., Dr at the Department of Geotechnical Engineering, Vilnius Gediminas Technical University. Research interests: soil mechanics, simulation of mechanical properties of soil, mechanics of strata and constructions.

**Kęstutis KELEVIŠIUS.** PhD student at the Department of Geotechnical Engineering, Vilnius Gediminas Technical University. Research interests: interaction of strata and foundations.

**Darius MACIJAUSKAS.** M.A. student at the Department of Geotechnical Engineering. Research interests: Simulation of mechanical properties of soil, soil mechanics.