



POTVYNO POTENCIALO ĮTAKOS SUNKIO LAUKO
EKVIPOTENCIALINIAM PAVIRŠIUI VERTINIMAS

Petras Petroškevičius¹, Darius Popovas²

Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹petras.petrokevicius@ap.vgtu.lt; ²darius.popovas@vgtu.lt

Įteikta 2010 05 18; priimta 2010 06 29

Santrauka. Analizuojamas dangaus kūnų poveikis Žemės sunkio lauko ekvipotencialiniam paviršiui. Šį poveikį būtina įvertinti atliekant precizinius geodezinius, gravimetrinius ir astronominius matavimus, Žemės formos bei jos gravitacijos lauko tyrimus. Didžiausias poveikis sunkio laukui artimiausių Žemei dangaus kūnų – Mėnulio ir Saulės. Taikant potvynio potencialą, gautos patikslintos formulės dangaus kūnų poveikiui apskaičiuoti. Įvertinta Mėnulio ir Saulės poveikis ekvipotencialiniam paviršiui. Pateikti poveikio visai Žemei ir Lietuvos teritorijai vertinimo rezultatai.

Reikšminiai žodžiai: dangaus kūnų poveikis, potvynio potencialas, ekvipotencialinis paviršius.

1. Įvadas

Atliekant tiksluosius geodezinius, gravimetrinius bei geodezinius astronominius matavimus (Ihde *et al.* 2006; Mäkinen *et al.* 2006; Agnew 2007; Hirth *et al.* 2010; Sirvydienė *et al.* 2009; Skeivalas 2008) svarbu įvertinti dangaus kūnų poveikį, dėl kurio, kintant Žemės sunkio laukui, keičiasi ir matavimų rezultatai. Šie klausimai svarbūs ir atliekant geodinaminius tyrimus (Zakarevičius *et al.* 2008, 2008a, 2009). Atsižvelgiant į nūdienos minėtų matavimų tikslumą, reikia įvertinti artimesnių dangaus kūnų – Mėnulio ir Saulės poveikį (Torge 1989; Burša, Kostelecky 1999). Norint tiksliai įvertinti šių dangaus kūnų poveikį bei spręsti aktualius matavimų rezultatų redukavimo klausimus, svarbu įvertinti ir detalai ištirti dangaus kūnų įtakos pobūdį. Dangaus kūno poveikį apibrėžia potvynio potencialas, todėl aktualu nuodugniai ištirti jo įtaką sunkio lauko ekvipotencialiniams paviršiams. Ekvipotencialiniai paviršiai svarbu atliekant geodezinius matavimus. Vienas iš šių paviršių – geoidas reikšmingas Žemės formos teorijoje bei geodezijoje taikomose aukščių sistemose. Darbo tikslas – įvertinti dangaus kūnų sukuriama potvynio potencialo įtaką sunkio lauko ekvipotencialiniam paviršiui.

2. Ekvipotencialinio paviršiaus deformacija

Dangaus kūno poveikis absoliučiai tvirtai Žemei dažnai aprašomas potvynio potencialo V_T sferinių funkcijų eilute (Petroškevičius 2004):

$$V_T = \frac{Gm}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n(\cos z), \tag{1}$$

čia G – gravitacijos konstanta; m – dangaus kūno masė; R – Žemės paviršiaus taško geocentrinis atstumas; r – geocentrinis atstumas iki dangaus kūno; z – dangaus kūno geocentrinis zenitinis nuotolis; $P_n(\cos z)$ – Legendro daugianariai atkarpoje $[-1; 1]$ (Корн Г., Корн Т. 1970):

$$P_n(x) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{dx^n} [(x^2 - 1)^n], \quad P_0(x) = 1, \tag{2}$$

$$(n + 1)P_{n+1}(x) - (2n + 1)xP_n(x) + nP_{n-1}(x) = 0. \tag{3}$$

Dėl dangaus kūno poveikio keičiantis Žemės sunkio potencialui vyksta sunkio lauko ekvipotencialinio paviršiaus deformacija. Ekvipotencialinio paviršiaus poslinkis vertikalės kryptimi išreiškiamas formule

$$\zeta^T = \frac{1}{g} V_T, \tag{4}$$

čia g – sunkis. Įrašę potvynio potencialo reikšmę gauname:

$$\zeta^T = \frac{Gm}{gr} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n(\cos z) = \sum_{n=2}^{\infty} \zeta_n^T, \tag{5}$$

čia

$$\zeta_n^T = \frac{Gm}{gr} \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n(\cos z).$$

Atsižvelgdami į dangaus kūnų poveikio kitiems sunkio lauko elementams vertinimą (Petroškevičius, Popovas 2008), ekvipotencialinio paviršiaus deformacijai

nustatyti apsiribosime trimis potvynio potencialo eilutės nariais:

$$\begin{aligned} \zeta^T &= \frac{GmR^2}{gr^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 z - \frac{1}{2} \right) + \\ &\frac{GmR^3}{gr^4} \left(\frac{5}{2} \cos^3 z - \frac{3}{2} \cos z \right) + \\ &\frac{GmR^4}{gr^5} \left(\frac{35}{8} \cos^4 z - \frac{30}{8} \cos^2 z + \frac{3}{8} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

3. Pagrindinės ekvipotencialinio paviršiaus bangos

Norint nuodugnai ištirti pavienių potvynio potencialo narių poveikį, tikslinga horizontinę koordinačių sistemą pakeisti pusiaujine. Galima remtis sferinių funkcijų sumos teorema (Burša, Kostelecky 1999; Корн Г., Корн Т. 1970):

$$\begin{aligned} P_n(\cos z) &= P_n(\sin \Phi) P_n(\sin \delta) + \\ &2 \sum_{k=1}^n \frac{(n-k)!}{(n+k)!} P_n^k(\sin \Phi) P_n^k(\sin \delta) \cos kt, \end{aligned} \quad (7)$$

čia Φ – punkto geocentrinė platumą; δ – dangaus kūno deklinacija; t – dangaus kūno valandinis kampas vietos dienovidinio atžvilgiu; $P_n^k(\sin \Phi)$, $P_n^k(\sin \delta)$ – prijungtinės Ležandro funkcijos (Корн Г., Корн Т. 1970):

$$\begin{aligned} P_n^k(x) &= (1-x^2)^{\frac{k}{2}} \frac{d^k P_n(x)}{dx^k} = \\ &\frac{(1-x^2)^{\frac{k}{2}}}{2^n n!} \frac{d^{n+k}}{dx^{n+k}} \left[(x^2-1)^n \right], \end{aligned} \quad (8)$$

$$P_n^0(x) = P_n(x). \quad (9)$$

Pirmieji Ležandro daugianariai ir prijungtinės Ležandro funkcijos, kai $x = \sin \Phi$, išreiškiami formulėmis (Бронштейн, Семендяев *et al.* 1981):

$$P_1(x) = x = \sin \Phi,$$

$$\begin{aligned} P_3(x) &= \frac{1}{2}(5x^3 - 3x) = \frac{1}{2}(5 \sin^3 \Phi - 3 \sin \Phi) = \\ &\frac{1}{4}(1 - 3 \cos 2\Phi), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_4(x) &= \frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3) = \\ &\frac{1}{8}(35 \sin^4 \Phi - 30 \sin^2 \Phi + 3) = \\ &\frac{1}{64}(35 \cos 4\Phi - 20 \cos 2\Phi + 9), \end{aligned} \quad (10)$$

(Корн Г., Корн Т. 1970; Бронштейн; Семендяев *et al.* 1981):

$$\begin{aligned} P_1^1(x) &= \sqrt{1-x^2} = \cos \Phi, \\ P_2^1(x) &= 3x\sqrt{1-x^2} = 3 \sin \Phi \cos \Phi = \frac{3}{2} \sin 2\Phi, \\ P_2^2(x) &= 3(1-x^2) = 3 \cos^2 \Phi = \frac{3}{2}(1 + \cos 2\Phi), \\ P_3^1(x) &= \frac{3}{2}(5x^2 - 1)\sqrt{1-x^2} = \\ &\frac{3}{2}(5 \sin^2 \Phi - 1) \cos \Phi = \frac{3}{8}(\cos \Phi - 5 \cos 3\Phi), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3^2(x) &= 15x(1-x^2) = 15 \sin \Phi \cos^2 \Phi = \\ &\frac{15}{4} \sin \Phi (\sin \Phi + \sin 3\Phi), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3^3(x) &= 15(1-x^2)\sqrt{1-x^2} = 15 \cos^3 \Phi = \\ &\frac{15}{4}(3 \cos \Phi + \cos 3\Phi), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_4^1(x) &= \frac{5}{2}\sqrt{1-x^2}(7x^3 - 3x) = \\ &\frac{5}{2} \cos \Phi (7 \sin^3 \Phi - 3 \sin \Phi) = \\ &\frac{5}{16}(2 \sin 2\Phi - 7 \sin 4\Phi), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_4^2(x) &= \frac{15}{2}(1-x^2)(7x^2 - 1) = \\ &\frac{15}{2} \cos^2 \Phi (7 \sin^2 \Phi - 1) = \end{aligned}$$

$$\frac{15}{16}(3 - 4 \cos 2\Phi - 7 \cos 4\Phi),$$

$$P_4^3(x) = 105(1-x^2)^{\frac{3}{2}} x = 105 \cos^3 \Phi \sin \Phi =$$

$$\frac{105}{8}(2 \sin 2\Phi + \sin 4\Phi),$$

$$P_4^4(x) = 105(1-x^2)^2 = 105 \cos^4 \Phi =$$

$$\frac{105}{8}(3 + 4 \cos 2\Phi + \cos 4\Phi). \quad (11)$$

Tuomet absoliučiai tvirtos Žemės potvynio potencialą galima išreikšti formule:

$$\begin{aligned} V_T &= \frac{Gm}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{R}{r} \right)^n \left[P_n(\sin \Phi) P_n(\sin \delta) + \right. \\ &\left. 2 \sum_{k=1}^n \frac{(n-k)!}{(n+k)!} P_n^k(\sin \Phi) P_n^k(\sin \delta) \cos kt \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Remdamiesi potencialo eilute (9), kai $n=2$, galime parašyti ekvipotencialinio paviršiaus deformacijos formulę:

$$\begin{aligned} \zeta_2^T &= \frac{GmR^2}{gr^3} P_2(\cos z) = \\ & \frac{GmR^2}{gr^3} \left[P_2(\sin \delta) P_2(\sin \Phi) + \right. \\ & \left. \frac{1}{12} P_2^2(\sin \delta) P_2^2(\sin \Phi) \cos 2t \right] = \\ & \frac{3}{4} \frac{GmR^2}{gr^3} \left[3 \left(\sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \left(\sin^2 \Phi - \frac{1}{3} \right) + \right. \\ & \left. \sin 2\delta \sin 2\Phi \cos t + \right. \\ & \left. \cos^2 \delta \cos^2 \Phi \cos 2t \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Analogiškai, kai $n=3$, gauname:

$$\begin{aligned} \zeta_3^T &= \frac{GmR^3}{gr^4} P_3(\cos z) = \frac{GmR^3}{gr^4} \left[P_3(\sin \delta) P_3(\sin \Phi) + \right. \\ & \left. \frac{1}{6} P_3^1(\sin \delta) P_3^1(\sin \Phi) \cos t + \right. \\ & \left. \frac{1}{60} P_3^2(\sin \delta) P_3^2(\sin \Phi) \cos 2t + \right. \\ & \left. \frac{1}{360} P_3^3(\sin \delta) P_3^3(\sin \Phi) \cos 3t \right] = \\ & \frac{GmR^3}{4gr^4} \left[(5\sin^3 \delta - 3\sin \delta)(5\sin^3 \Phi - 3\sin \Phi) + \right. \\ & \left. \frac{3}{2} \cos \delta (5\sin^2 \delta - 1) \cos \Phi (5\sin^2 \Phi - 1) \cos t + \right. \\ & \left. 15 \cos^2 \delta \sin \delta \cos^2 \Phi \sin \Phi \cos 2t + \right. \\ & \left. \frac{5}{2} \cos^3 \delta \cos^3 \Phi \cos 3t \right]. \end{aligned} \quad (14)$$

Kai $n=4$:

$$\begin{aligned} \zeta_4^T &= \frac{GmR^4}{gr^5} P_4(\cos z) = \\ & \frac{GmR^4}{gr^5} \left[P_4(\sin \delta) P_4(\sin \Phi) + \right. \\ & \left. \frac{1}{10} P_4^1(\sin \delta) P_4^1(\sin \Phi) \cos t + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left. \frac{1}{180} P_4^2(\sin \delta) P_4^2(\sin \Phi) \cos 2t + \right. \\ & \left. \frac{1}{2520} P_4^3(\sin \delta) P_4^3(\sin \Phi) \cos 3t + \right. \\ & \left. \frac{1}{20160} P_4^4(\sin \delta) P_4^4(\sin \Phi) \cos 4t \right] = \\ & \frac{GmR^4}{gr^5} \left[\frac{1}{64} (35\sin^4 \delta - 30\sin^2 \delta + 3) \times \right. \\ & (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3) + \\ & \frac{5}{8} \cos \delta (7\sin^3 \delta - 3\sin \delta) \times \\ & \cos \Phi (7\sin^3 \Phi - 3\sin \Phi) \cos t + \\ & \frac{5}{16} \cos^2 \delta (7\sin^2 \delta - 1) \cos^2 \Phi (7\sin^2 \Phi - 1) \cos 2t + \\ & \frac{35}{8} \cos^3 \delta \sin \delta \cos^3 \Phi \sin \Phi \cos 3t + \\ & \left. \frac{35}{64} \cos^4 \delta \cos^4 \Phi \cos 4t \right]. \end{aligned} \quad (15)$$

Galima pastebėti, kad parašytų lygybių (13–15) pirmieji nariai nepriklauso nuo dangaus kūno valandinio kampo ir yra ilgo periodo bangos, priklausančios nuo vietos platumos ir dangaus kūno deklinacijos. Tai zoninės bangos. Kitų n bangų periodas keičiasi nuo paros iki paros n dalies. Tai teseralinės ir sektorinės bangos.

Antroje zoninėje bangoje galima išskirti nuolatines ekvipotencialinio paviršiaus deformacijas, priklausančias tik nuo platumos. Tam tikslui galima parašyti:

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \sin \lambda,$$

čia ε – kampas tarp dangaus pusiaujo ir dangaus kūno orbitos plokštumų; λ – dangaus kūno ilguma. Tuomet, keičiantis dangaus kūno ilgumai nuo 0 iki 2π , funkcijos $f(\delta) = 3\sin^2 \delta - 1$ vidutinė integralinė reikšmė bus:

$$f(\delta)_v = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (3\sin^2 \varepsilon \sin^2 \lambda - 1) d\lambda = \frac{3}{2} \sin^2 \varepsilon - 1,$$

ir pastoviąją antrosios zoninės bangos dalį galima išreikšti formule

$$\zeta_{2v}^{Tz} = \frac{1}{4} \frac{GmR^2}{gr^3} \left(\frac{3}{2} \sin^2 \varepsilon - 1 \right) (3\sin^2 \Phi - 1). \quad (16)$$

4. Realios Žemės deformacijos

Realios Žemės potencialo papildomi pakitimai atsiranda dėl Žemės deformacijos ir Žemės paviršiaus persislinkimo geocentrinio spindulio kryptimi, kuriuos lemia potvyniai. Šie pakitimai išreiškiami Lové skaičiais (Burša,

Kostelecky 1999), todėl realios Žemės potvynio potencialas nustatomas pagal formulę

$$V = \frac{Gm}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \gamma_n \left(\frac{R}{r}\right)^n P_n(\cos z), \quad (17)$$

čia $\gamma_n = 1 + k_n - h_n$ – Žemės tamprumą įvertinantys koeficientai, k_n ir h_n – Lovė skaičiai.

Atitinkamai dėl sunkio lauko ekvipotencialinio paviršiaus deformacijos deformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu gauname:

$$\zeta^{kh} = \sum_{n=2}^{\infty} \gamma_n \zeta_n^T = \sum_{n=2}^{\infty} \zeta_n^{kh}, \quad (18)$$

čia $\zeta_n^{kh} = \gamma_n \zeta_n^T$.

Ekvipotencialinio paviršiaus deformaciją nedeformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu galima nustatyti pagal formulę

$$\zeta^k = \sum_{n=2}^{\infty} (1 + k_n) \zeta_n^T = \sum_{n=2}^{\infty} \zeta_n^k, \quad (19)$$

čia $\zeta_n^k = (1 + k_n) \zeta_n^T$.

Dėl dangaus kūno poveikio atsirandančią Žemės paviršiaus deformaciją išreišk formulė

$$\zeta^h = \sum_{n=2}^{\infty} h_n \zeta_n^T = \sum_{n=2}^{\infty} \zeta_n^h, \quad (20)$$

čia $\zeta_n^h = h_n \zeta_n^T$.

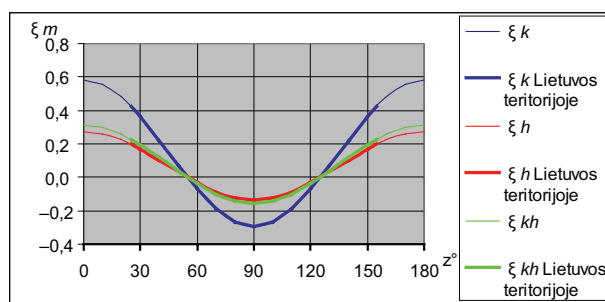
5. Mėnulio ir Saulės įtakos sunkio lauko ekvipotencialiniam paviršiumi įvertinimas

Taikydami pateiktuosius algoritmus įvertinsime Mėnulio ir Saulės įtaką realios Žemės ekvipotencialiniam paviršiumi. Parenkame tokias Lovė skaičių reikšmes: $h_2 = 0,6053$, $h_3 = 0,2890$, $h_4 = 0,17581$, $k_2 = 0,2993$, $k_3 = 0,0925$, $k_4 = 0,0417$ (Burša, Kostelecky 1999).

Tyrimuose taikytos tokios kitų parametrų reikšmės: $Gm_M = 4902,79900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$, $r_M = 356400 \text{ km}$, $Gm_S = 132712440018 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$, $r_S = 147098074 \text{ km}$, $R = 6363,89300 \text{ km}$, $g = 981507 \text{ mGal}$.

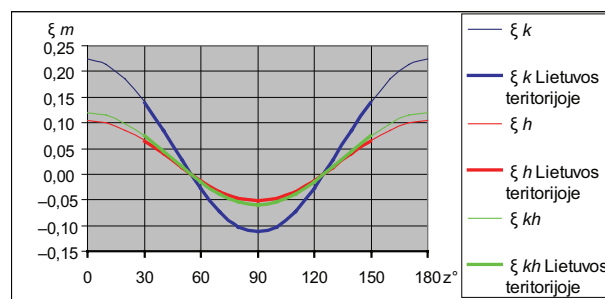
Ekvipotencialinio paviršiaus deformacijos, išreikšiamos formulėmis (6,18–20), priklausomai nuo zenitinio nuotolio reikšmės, kai $n = 2$, parodytos 1 bei 2 paveiksluose (paryškintos linijos grafikuose rodo deformacijas Lietuvos teritorijoje). Palyginti pateikiamos ir Žemės paviršiaus deformacijos.

Ekvipotencialinio paviršiaus deformacijos nedeformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu kitimo dėl Mėnulio poveikio diapazonas – 0,874 8 m, dėl Saulės – 0,336 8 m. Lietuvos teritorijoje šie pakitimai mažesni, atitinkamai 0,714 8 m ir 0,250 2 m. Gi Žemės paviršiaus deformacijos kitimo dėl Mėnulio poveikio diapazonas 0,407 6 m, dėl Saulės – 0,156 9 m. Lietuvoje šie dydžiai atitinkamai 0,333 0 m ir 0,116 6 m. Ekvipotencialinio paviršiaus deformacijų deformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu kitimo diapazonas dėl Mėnulio poveikio yra 0,467 7 m, dėl Saulės – 0,180 1 m. Lietuvoje deformacijų dydžiai gali siekti 0,382 1 dėl Mėnulio poveikio ir 0,133 8 m. – dėl Saulės.



1 pav. Paviršių deformacijos dėl Mėnulio poveikio ($n = 2$)

Fig. 1. Deformations of surfaces due to the Moon effect ($n = 2$)

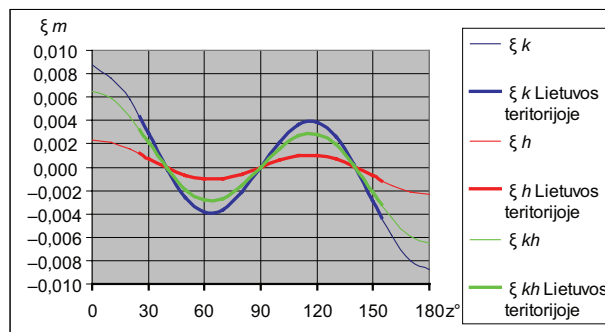


2 pav. Paviršių deformacijos dėl Saulės poveikio ($n = 2$)

Fig. 2. Deformations of surfaces due to the Sun effect ($n = 2$)

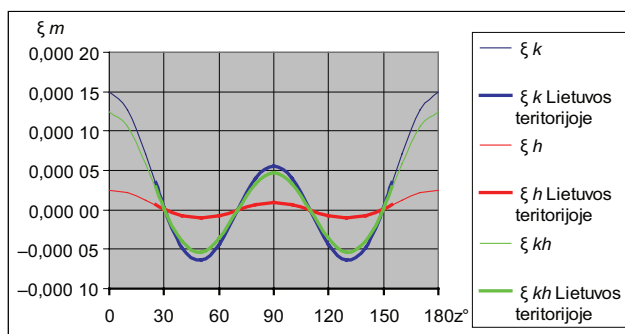
Ekvipotencialinio paviršiaus deformacijos, kuriai įtakos turi formulės (6) narys ($n = 3$) (3 pav.), kitimo nedeformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu dėl Mėnulio poveikio diapazonas yra 17,5 mm, dėl Saulės – 0,02 mm. Žemės paviršiaus deformacijos kitimo dėl Mėnulio poveikio diapazonas yra 4,6 mm, dėl Saulės – 0,004 mm. Ekvipotencialinio paviršiaus deformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu kitimo dėl Mėnulio poveikio diapazonas 12,9 mm, dėl Saulės – 0,01 mm.

Tyrimai rodo, kad dėl paskutiniojo nario ($n = 4$) įtakos ekvipotencialinio paviršiaus deformacijos (4 pav.) nedeformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu kitimo dėl Mėnulio poveikio diapazonas yra 0,21 mm. Žemės paviršiaus deformacijos dėl Mėnulio poveikio kitimo diapazonas – 0,004 mm. Ekvipotencialinio paviršiaus deformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu kitimo dėl Mėnulio poveikio diapazonas – 0,018 mm. Saulės poveikis nežymus, ir visos nagrinėjamos paviršių deformacijos dėl Saulės poveikio neviršija 0,000 02 mm.



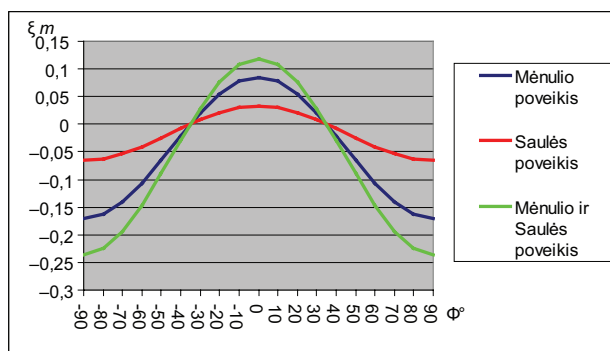
3 pav. Paviršių deformacijos dėl Mėnulio poveikio ($n = 3$)

Fig. 3. Deformations of surfaces due to the Moon effect ($n = 3$)



4 pav. Paviršių deformacijos dėl Mėnulio poveikio ($n = 4$)

Fig. 4. Deformations of surfaces due to the Moon effect ($n = 4$)



5 pav. Pastovi ekvipotencialinio paviršiaus deformacija dėl Mėnulio ir Saulės poveikio ($n = 2$)

Fig. 5. Permanent deformation of equipotential surface due to effect of the Sun and Moon ($n = 2$)

Nagrinėtose paviršių deformacijose išskaičiuota ir pastovioji deformacijų dalis. Norint išskirti pastoviąją deformacijos dalį tikslinga taikyti (16) formulę. Dėl Mėnulio ir Saulės pastovios antrosios zoninės bangos dalies poveikio absoliučiai tvirtai Žemei ekvipotencialinio paviršiaus deformacija pagal platumą parodyta 5 paveiksle. Laikoma, kad $\varepsilon = 23^\circ 27'$.

Tyrimai rodo, kad dėl antrosios zoninės bangos poveikio Žemės sunkio lauko ekvipotencialinio paviršiaus paplokštumas padidėja. Poliuose ekvipotencialinis paviršius pažemėja 0,2359 m, pusiaujyje pakyla 0,117 97 m. Lietuvos pietinėje dalyje ši deformacija $-0,1110$ m o šiaurėje $-0,1268$ m. Į šias deformacijas reikėtų atsižvelgti atliekant tiksluosius geodezinius ir gravimetrinius matavimus bei Žemės formos ir gravitacijos lauko tyrimus.

6. Išvados

1. Taikant potvynio potencialą sudaryti algoritmai Žemės sunkio lauko ekvipotencialinio paviršiaus deformacijoms nustatyti. Atsižvelgiant į didėjančią geodezinių matavimų tikslumą, nagrinėjamų potvynio potencialo narių skaičius padidintas iki trijų. Horizontinę koordinatų sistemą pakeitus pusiaujine, ekvipotencialinio paviršiaus deformacijos pateikiamos kaip zoninės, teseralinės ir sektorinės bangos, tad yra galimybė atlikti nuodugnius skirtingų bangų tyrimus bei ekvipoten-

cialinio paviršiaus deformacijose išskirti pastovias zoninių bangų dalis, priklausančias tik nuo platumos. Tai atveria naujas galimybes įvertinant pagrindinio ekvipotencialinio paviršiaus – geoido deformacijas, kurios svarbios sprendžiant aukščių bei Žemės formos nustatymo problemas geodezijoje.

2. Pasirinkus Žemės tamprumą įvertinančius Lovė skaičius galima nustatyti ekvipotencialinio paviršiaus deformacijas nedeformuoto ir deformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu. Taigi atsiranda galimybė įvertinti ir Žemės paviršiaus deformacijas.
3. Įvertinta Mėnulio ir Saulės įtaka realios Žemės ekvipotencialiniam paviršiui. Nustatytos galimos paviršiaus deformacijos Lietuvos teritorijoje. Ekvipotencialinis paviršius deformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu dėl Mėnulio poveikio gali kisti nuo $-0,1558$ m iki $0,3184$ m, dėl Saulės poveikio – nuo $-0,0600$ m iki $0,1200$ m. Lietuvos teritorijoje šie pokyčiai dėl Mėnulio poveikio atitinkamai nuo $-0,1558$ m iki $0,2231$ m, dėl Saulės poveikio – nuo $-0,0600$ m iki $0,0737$ m. Ekvipotencialinio paviršiaus deformacija nedeformuoto Žemės paviršiaus atžvilgiu dėl Mėnulio poveikio gali kisti nuo $-0,2916$ m iki $0,5921$ m, dėl Saulės – nuo $-0,1123$ m iki $0,2245$ m. Lietuvoje šie pokyčiai dėl Mėnulio yra atitinkamai nuo $0,2916$ m iki $0,4189$ m, dėl Saulės poveikio – nuo $-0,1123$ m iki $0,1379$ m. Žemės paviršius dėl Mėnulio poveikio gali deformuotis nuo $-0,1358$ m iki $0,2741$ m, dėl Saulės poveikio – nuo $-0,0523$ m iki $0,1046$ m. Lietuvoje šie dydžiai yra nuo $-0,1358$ m iki $0,1960$ m dėl Mėnulio poveikio, ir nuo $-0,0523$ m iki $0,0643$ m dėl Saulės. Įvertintas pavienių potvynio potencialo narių poveikis.
4. Nustatytos ekvipotencialinio paviršiaus deformacijos dėl antrosios zoninės bangos poveikio. Poliuose šis pokytis yra $-0,2359$ m, pusiaujyje $-0,11797$ m. Lietuvos teritorijoje šių deformacijų pokytis yra $0,0159$ m. Į šias deformacijas reikėtų atsižvelgti atliekant tiksluosius geodezinius ir gravimetrinius matavimus
5. Atlikto darbo rezultatai gali būti panaudoti vertinant dangaus kūnų poveikį geodeziniuose matavimuose bei vertinimo metodikai tobulinti.

Literatūra

- Agnew, D. C. 2007. Earth tides, *Treatise on Geophysics* 3(06): 163–195.
- Birvydienė, R.; Obuchovski, R.; Paršeliūnas, E.; Petroškevičius, P.; Šlikas, D.; Viskontas, P. 2009. Lietuvos gravimetrinio tinklo charakteristikos, *Geodesy and Cartography* [Geodezija ir kartografija] 35(4): 131–136. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.131-136
- Burša, M.; Kostelecky, J. 1999. *Space Geodesy and Space Geodynamics*. Prague. 459 p.
- Hirth, C.; Bürki, B.; Guillaume, S., et al. 2010. Digital zenith cameras – state-of-the-art astrogeodetic technology for Australian geodesy, in *FIG congress*. Sydney, Australia 11–16 April.

- Ihde, J.; Baker, T. F.; Bruyninx, C., et al. 2006. Status of the European Combined Geodetic Network (ECGN), *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. Band 38. EUREF publication 15*: 198–204. ISSN 1436-3445.
- Mäkinen, J.; Lilje, M.; Ågren, J., et al. 2006. Regional Adjustment of Precise Levellings around the Baltic, *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. Band 38. EUREF publication 15*: 171–183. ISSN 1436-3445.
- Petroškevičius, P. 2004. *Gravitacijos lauko poveikis geodeziniam matavimams*. Vilnius: Technika. 290 p.
- Petroškevičius, P.; Popovas, D. 2008. Dangaus kūnų poveikio sunkio laukui įvertinimas, *Geodesy and Cartography* [Geodezija ir kartografija] 34(1): 19–22. doi:10.3846/1392-1541.2008.34.19-22
- Skeivalas, J. 2008. *GPS tinklų teorija ir praktika* [Theory and practice of GPS networks]. Vilnius: Technika. 288 p. ISBN 978-9955-28-228-0.
- Torge, W. 1989. *Gravimetry*. Berlin, New York: de Gruyter. 465 p.
- Zakarevičius, A.; Aksamitauskas, V. Č.; Stanionis, A.; Levinskaitė, D. 2009. Erdvinių Žemės plutos judesių apibendrintųjų charakteristikų nustatymas pagal GPS matavimų duomenis, *Geodesy and Cartography* [Geodezija ir kartografija] 35(4): 126–130. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.126-130
- Zakarevičius, A.; Paršeliūnas, E.; Šliaupa, S.; Stanionis, A.; Stephenson, R. 2008a. Horizontal deformations of the Earth's crust in the Baltic region from GPS data, in *The 7th International Conference "Environmental Engineering": Selected papers*, vol. 3. Ed. by D. Čygas, K. D. Froehner. May 22–23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 1503–1507.
- Zakarevičius, A.; Šliaupa, A.; Anikėnienė, A.; Dėnas, Ž.; Šliaupienė, R. 2008. A model of recent vertical movements of the earth's surface in Lithuania: integration of geodetic levelling data and geological parameters, *Geologija* [Geology] 4(64): 254–263. doi:10.2478/v10056-008-0051-0
- Бронштейн, И. Н.; Семендяев, К. А., et al. 1981. *Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов* [Bronshtein, I. N.; Semendiajev, K. A., et al. Mathematical handbook for scientists and engineers]. Москва: Наука. 718 с.
- Корн, Г.; Корн, Т. 1970. *Справочник по математике для научных работников и инженеров* [Korn, G.; Korn, T. Mathematical handbook for scientists and engineers]. Москва: Наука. 720 с.
-
- Petras PETROŠKEVIČIUS**. Prof., Doctor Habil. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: petras.petroskevicius@vgtu.lt
 Author of 1 monograph and more than 100 scientific publications. Participated in many intern conferences.
 Research interests: determination of Earth satellites orbits, research of Earth gravity field by means of satellite geodesy and gravimetric methods, establishment of geodetic and gravimetric networks.
-
- Darius POPOVAS**. MSc, PhD student. Dept of Geodesy and Cadastre. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: darius@geobiuras.lt
 Research interests: GNSS; Earth gravity field.