

DANGAUS KŪNŲ LEMIAMO POTVYNIŲ POTENCIALO
ZONINIŲ BANGŲ ANALIZĖPetras Petroškevičius¹, Darius Popovas²

Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva
El. paštas: ¹petras.petroskevicius@vgtu.lt; ²gkk@vgtu.lt

Įteikta 2010 09 02; priimta 2010 09 29

Santrauka. Nagrinėjamas dangaus kūnų poveikis Žemės sunkio laukui. Poveikis aprašomas potvynio potencialu, išreiškiant sferinių funkcijų eilute. Išskiriamos ilgo periodo zoninės bangos, priklausančios nuo vietos platumos ir dangaus kūno deklinacijos. Išnagrinėtos zoninių bangų nuolatinės deformacijos, priklausančios tik nuo platumos. Įvertintas Mėnulio ir Saulės poveikis Žemės sunkio lauko elementams, išskiriant poveikį Lietuvos teritorijoje. Tyrimų rezultatai gali būti panaudoti dangaus kūnų poveikiui įvertinti atliekant tiksluosius geodezinius ir gravimetrinius matavimus.

Reikšminiai žodžiai: dangaus kūnų poveikis, potvynio potencialas, zoninės bangos.

1. Įvadas

Geodeziniai matavimai atliekami Žemės sunkio lauke, kuris yra nevienalytis ir kintamas. Visa tai svarbu įvertinti atliekant tiksluosius geodezinius matavimus (Mäkinen *et al.* 2006; Ihde *et al.* 2006; Torge 1989; Burša, Kostelecky 1999; Hatanaka *et al.* 2001) Viena iš pagrindinių priežasčių, dėl kurios keičiasi ne tik sunkio laukas, bet ir Žemės forma, yra dangaus kūnų poveikis (Burša, Kostelecky 1999; Petroškevičius 2004). Didžiausias yra Žemei artimiausių dangaus kūnų – Mėnulio ir Saulės poveikis.

Didėjant geodezinių matavimų tikslumui (Jensch 2006; Mathews *et al.* 1997), atsirandant naujų geodezinių prietaisų ir matavimo metodų (Hirt 2003; Skeivalas, Krikštaponis 2001; Zakarevičius, Puzienė 2010), svarbu siekti dangaus kūnų poveikio įvertinimo tikslumo. Šie klausimai aktualūs ne tik atliekant geodezinius matavimus ir tyrimus, bet ir geodinaminius, geofizinius tyrimus (Zakarevičius *et al.* 2008).

Nustatant dangaus kūnų poveikį geodeziniam matavimams, svarbu Žemės tamprumo įvertinimas, kuris siejamas su potvynio bangų dažniu. Mažiau patikimai įvertinamas potvynio potencialo zoninių bangų poveikis (Agnew 2007). Tai lemia skirtingas Žemės sunkio lauko ekvipotencialinių paviršių ir Žemės paviršiaus interpretacijas (Mäkinen *et al.* 2006; McCarthy, Petit 2004), todėl aktualu išsamesnis zoninių bangų tyrimas.

Straipsnyje pateikiami potvynio potencialo zoninių bangų tyrimo rezultatai.

2. Potvynio potencialo bangos

Absoliučiai tvirtos Žemės potvynio potencialą galima išreikšti formule (Petroškevičius, Popovas 2010):

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

čia G – gravitacijos konstanta; m – dangaus kūno masė; R – Žemės paviršiaus taško geocentrinis atstumas; r – geocentrinis nuotolis iki dangaus kūno; Φ – punkto geocentrinė platumą; δ – dangaus kūno deklinacija; t – dangaus kūno valandinis kampas vietos dienovidinio atžvilgiu; $P_n(\sin \Phi)$ ir $P_n(\sin \delta)$ – Ležandro daugianariai; $P_n^k(\sin \Phi)$ ir $P_n^k(\sin \delta)$ – prijungtinės Ležandro funkcijos:

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

$$P_n^0(x) = P_n(x). \quad (3)$$

Išnagrinėsime pirmųjų trijų potencialo narių, kurie turi didesnę poveikį Žemės sunkio laukui, įtaką (Petroškevičius, Popovas 2008; Torge 1989).

Kai $n = 2$, gauname:

$$V_{T2} = \frac{GmR^2}{4r^3} \left[(3\sin^2 \delta - 1)(3\sin^2 \Phi - 1) + \sin 2\delta \sin 2\Phi \cos t + \cos^2 \delta \cos^2 \Phi \cos 2t \right]. \quad (4)$$

Kai $n = 3$:

$$V_{T3} = \frac{GmR^3}{4r^4} \left[(5\sin^3 \delta - 3\sin \delta) \times (5\sin^3 \Phi - 3\sin \Phi) + \frac{3}{2} \cos \delta (5\sin^2 \delta - 1) \cos \Phi (5\sin^2 \Phi - 1) \cos t + 15 \cos^2 \delta \sin \delta \cos^2 \Phi \sin \Phi \cos 2t + \frac{5}{2} \cos^3 \delta \cos^3 \Phi \cos 3t \right]. \quad (5)$$

Kai $n = 4$:

$$V_{T4} = \frac{GmR^4}{r^5} \left[\frac{1}{64} (35\sin^4 \delta - 30\sin^2 \delta + 3) \times (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3) + \frac{5}{8} \cos \delta (7\sin^3 \delta - 3\sin \delta) \times \cos \Phi (7\sin^3 \Phi - 3\sin \Phi) \cos t + \frac{5}{16} \cos^2 \delta (7\sin^2 \delta - 1) \cos^2 \Phi (7\sin^2 \Phi - 1) \cos 2t + \frac{35}{8} \cos^3 \delta \sin \delta \cos^3 \Phi \sin \Phi \cos 3t + \frac{35}{64} \cos^4 \delta \cos^4 \Phi \cos 4t \right]. \quad (6)$$

(4–6) lygybių 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.

3. Zoninių bangų poveikis

Išnagrinėsime pasirinktos potvynio potencialo dalies zoninių bangų poveikį. Jas galime išreikšti formule:

$$V_{Tz} = \frac{GmR^2}{4r^3} 3\sin^2 \delta (3\sin^2 \Phi - 1) -$$

$$\frac{GmR^2}{4r^3} (3\sin^2 \Phi - 1) + \frac{GmR^3}{4r^4} (5\sin^3 \delta - 3\sin \delta)(5\sin^3 \Phi - 3\sin \Phi) + \frac{GmR^4}{64r^5} (35\sin^4 \delta - 30\sin^2 \delta) \times (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3) + \frac{3GmR^4}{64r^5} (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3). \quad (7)$$

Potvynio potenciale galima išskirti nuolatinę zoninių bangų dalį, priklausančią tik nuo platumos:

$$V_{Tz\Phi} = -\frac{GmR^2}{4r^3} (3\sin^2 \Phi - 1) + \frac{3GmR^4}{64r^5} (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3). \quad (8)$$

Nuolatinę zoninių bangų poveikį sunkiui galima nustatyti pagal formulę

$$\delta g_{z\Phi}^T = \frac{GmR}{2r^3} (3\sin^2 \Phi - 1) - \frac{3GmR^3}{16r^5} (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3). \quad (9)$$

Analogiškai galima rašyti formulę, išreiškiančią nuolatinę nuo platumos priklausančią ekvipotencialinio paviršiaus deformaciją:

$$\zeta_{z\Phi}^T = -\frac{GmR^2}{4gr^3} (3\sin^2 \Phi - 1) + \frac{3GmR^4}{64gr^5} (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3). \quad (10)$$

Kita zoninių bangų dalis priklauso ne tik nuo platumos, bet ir nuo dangaus kūno deklinacijos. Jos poveikiui įvertinti rasime vidutines integralines δ funkcijų reikšmes. Tam tikslui taikysime deklinacijos ryšio su dangaus kūno ilguma orbitoje λ bei orbitos posvyriu ϵ formulę: $\sin \delta = \sin \epsilon \sin \lambda$.

Įvertindami, kad dangaus kūno ilguma keičiasi nuo 0 iki 2π , gausime tokias funkcijų nuo δ vidutines integralines reikšmes:

$$f(\delta)_{2v} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} 3\sin^2 \delta \cdot d\lambda = \frac{3}{2} \sin^2 \epsilon, \quad (11)$$

$$f(\delta)_{3v} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (5\sin^3 \delta - 3\sin \delta) d\lambda = 0, \quad (12)$$

$$f(\delta)_{4v} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (35\sin^4 \delta - 30\sin^2 \delta) d\lambda =$$

$$\frac{105}{8} \sin^4 \epsilon - 15 \sin \epsilon. \quad (13)$$

Taikant gautas vidutines reikšmes, potvynio potencialo zoninė dalis, priklausanti nuo deklinacijos, gali būti išreikšta šia formule:

$$V_{Tz\delta} = \frac{3GmR^2}{8r^3} \sin^2 \varepsilon (3\sin^2 \Phi - 1) + \frac{15GmR^4}{64r^5} \left(\frac{7}{8} \sin^4 \varepsilon - \sin \varepsilon \right) \times (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3). \quad (14)$$

Atitinkamas poveikis sunkiui ir ekvipotencialiniam paviršiui gali būti išreikštas formulėmis:

$$\delta g_{z\delta}^T = \frac{3GmR}{4r^3} \sin^2 \varepsilon (1 - 3\sin^2 \Phi) + \frac{15GmR^3}{16r^5} \left(\sin \varepsilon - \frac{7}{8} \sin^4 \varepsilon \right) \times (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3), \quad (15)$$

$$\zeta_{z\delta}^T = \frac{3GmR^2}{8gr^3} \sin^2 \varepsilon (3\sin^2 \Phi - 1) + \frac{15GmR^4}{64gr^5} \left(\frac{7}{8} \sin^4 \varepsilon - \sin \varepsilon \right) \times (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3). \quad (16)$$

Taikant gautas vidutines reikšmes, potvynio potencialo zoninė dalis gali būti išreikšta šiomis formulėmis:

$$V_{Tzv} = \frac{3GmR^2}{8r^3} \sin^2 \varepsilon (3\sin^2 \Phi - 1) - \frac{GmR^2}{4r^3} (3\sin^2 \Phi - 1) + \frac{15GmR^4}{64r^5} \left(\frac{7}{8} \sin^4 \varepsilon - \sin \varepsilon \right) \times (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3) + \frac{3GmR^4}{64r^5} (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3), \quad (17)$$

$$V_{Tzv} = \frac{GmR^2}{4r^3} \left(\frac{3}{2} \sin^2 \varepsilon - 1 \right) (3\sin^2 \Phi - 1) + \frac{3GmR^4}{64r^5} \left(\frac{35}{8} \sin^4 \varepsilon - 5\sin \varepsilon + 1 \right) \times (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3). \quad (18)$$

Poveikis sunkiui ir ekvipotencialiniam paviršiui gali būti išreikštas:

$$\delta g_{zv}^T = \frac{GmR}{2r^3} \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 \varepsilon \right) (3\sin^2 \Phi - 1) -$$

$$\frac{3GmR^3}{16r^5} \left(\frac{35}{8} \sin^4 \varepsilon - 5\sin \varepsilon + 1 \right) \times (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3), \quad (19)$$

$$\zeta_{zv}^T = \frac{GmR^2}{4gr^3} \left(\frac{3}{2} \sin^2 \varepsilon - 1 \right) (3\sin^2 \Phi - 1) + \frac{3GmR^4}{64gr^5} \left(\frac{35}{8} \sin^4 \varepsilon - 5\sin \varepsilon + 1 \right) \times (35\sin^4 \Phi - 30\sin^2 \Phi + 3). \quad (20)$$

4. Realios Žemės deformacijos

Realios Žemės potencialo papildomi pakitimai atsiranda dėl potvynių lemiamos Žemės deformacijos ir paviršiaus poslinkio geocentrinio spindulio kryptimi. Šie pakitimai išreiškiami Lovė skaičiais (Varga 1989), todėl galime rašyti:

$$\delta g_{zv} = \delta_n \delta g_{zv}^T, \quad \delta_n = 1 + \frac{2}{n} h_n - \frac{(n+1)}{n} k_n, \quad (21)$$

čia k_n ir h_n – Lovė skaičiai, priklausantys nuo Žemės tamprumo.

Atitinkamai dėl realios Žemės ekvipotencialinio paviršiaus deformacijos gauname:

$$\zeta_{zv} = \gamma_n \zeta_{zv}^T, \quad \gamma_n = 1 + k_n - h_n. \quad (22)$$

5. Zoninių bangų įtakos sunkiui ir ekvipotencialiniam paviršiui įvertinimas

Pagal parašytus algoritmus įvertinsime Mėnulio ir Saulės zoninių bangų poveikį realios Žemės sunkiui ir ekvipotencialiniam paviršiui. Taikysime šias Lovė skaičių reikšmes:

$$h_2 = 0,6053, \quad h_3 = 0,2890, \quad h_4 = 0,1758, \\ k_2 = 0,2993, \quad k_3 = 0,0925, \quad k_4 = 0,0417$$

(Varga 1989).

Mėnulio, Saulės ir Žemės parametrų reikšmės, taikytos atliekant tyrimus:

$$Gm_M = 4902,799 \text{ 00 m}^3\text{s}^{-2}, \quad r_M = 356 \text{ 400 km}, \\ Gm_S = 132 \text{ 712 440 018 m}^3\text{s}^{-2}, \quad r_S = 147 \text{ 098 074 km}, \\ R = 6363,893 \text{ 00 km}, \quad g = 981 \text{ 507 mGal}, \\ \varepsilon_S = 23^\circ 26'; \quad \varepsilon_M = 23^\circ 26' \pm 5^\circ 09'.$$

Nuolatinės zoninių bangų dalies poveikis sunkiui priklausomai nuo platumos, taikant maksimalų atstumą iki dangaus kūno, gautas pagal (9, 21) formules ir parodytas 1 paveiksle.

Atlikus tyrimus akivaizdu, kad pagal (9, 21) formules nustatyta nuolatinė sunkio kaita dėl Mėnulio

poveikio yra nuo 53,62 μGal poliuose iki $-26,82 \mu\text{Gal}$ pusiaujuje, dėl Saulės – nuo 27,76 μGal poliuose iki $-13,88 \mu\text{Gal}$ pusiaujuje. Visuminis abiejų dangaus kūnų poveikis sukelia nuolatinę tik nuo platumos priklausanti sunkio kaitą nuo 81,38 μGal poliuose iki $-40,70 \mu\text{Gal}$ pusiaujuje. Nuo pietinės Lietuvos dalies iki šiaurinės nuolatinė sunkio kaita dėl abiejų dangaus kūnų poveikio – nuo 38,99 μGal iki 44,09 μGal . Atkreiptinas dėmesys, kad (9) formulės antrojo nario ($n = 4$) kitimo diapazonas nuo ašigalių iki pusiaujo yra 0,024 μGal dėl Mėnulio poveikio; dėl Saulės poveikio deformacijos neviršija $5 \times 10^{-8} \mu\text{Gal}$. (9) formulės antrojo nario ($n = 4$) kitimo dėl Mėnulio poveikio pobūdis parodytas 2 paveiksle.

Norint išskirti pastoviąją deformacijos dalį ekvipotencialiniam paviršiui galima taikyti (10, 22) formules. Ekvipotencialinio paviršiaus nuolatinė deformacija parodyta 3 paveiksle.

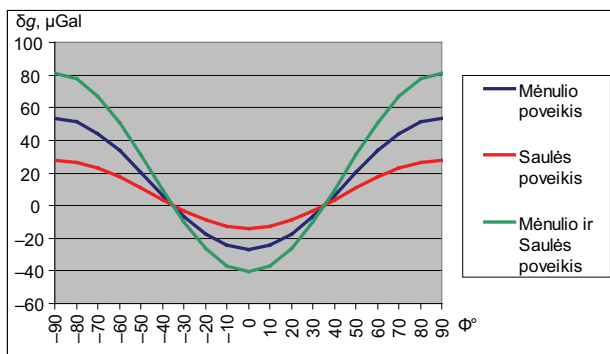
Tyrimai rodo, kad dėl nuolatinės deformacijos poveikio Žemės sunkio lauko ekvipotencialinio paviršiaus paplokštumas padidėja. Poliuose ekvipotencialinis paviršius pažemėja 0,1583 m, pusiaujuje pakyla 0,0792 m.

Lietuvos pietinėje dalyje ekvipotencialinis paviršius pažemėja 0,0759 m, o šiaurinėje šalies dalyje pažemėja 0,0858 m. (10) formulės antrojo nario ($n = 4$) kitimo diapazonas nuo ašigalio iki pusiaujo yra 0,04 mm dėl Mėnulio poveikio. Saulės poveikis nežymus ir neviršija 5×10^{-8} mm.

Dangaus kūnų poveikis sunkiui, išreikštas zoninėmis bangomis, įvertinant vidutines dangaus kūnų deklinacijų reikšmes, kai atstumas iki dangaus kūno didžiausias ir kai mažiausias (19, 21), parodytas 4 paveiksle.

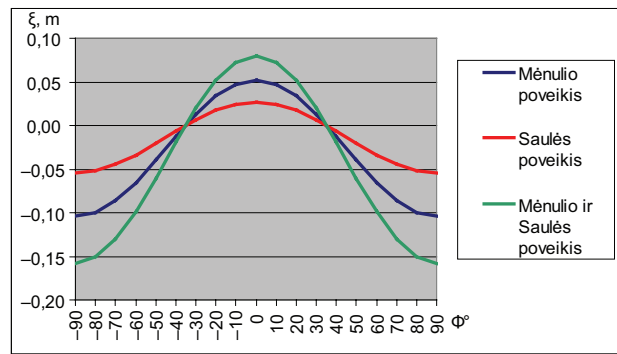
Rezultatai rodo, kad zoninių bangų lemiamas sunkio pokytis dėl dangaus kūnų įtakos yra nuo 62,08 μGal poliuose iki $-10,57 \mu\text{Gal}$ pusiaujuje, kai geocentrisis atstumas iki dangaus kūnų didžiausias. Sunkio pokytis dėl dangaus kūnų poveikio, kai geocentrisis atstumas iki Mėnulio ir Saulės mažiausias, – nuo 84,24 μGal poliuose iki $-42,08 \mu\text{Gal}$ pusiaujuje. Geocentrinio atstumo iki dangaus kūnų pokyčiai lemia sunkio pokyčius zoninėje potencialo dalyje, jų diapazonas 29,85 μGal dėl Mėnulio poveikio ir 3,35 μGal – dėl Saulės.

Ekvipotencialinio paviršiaus deformacija dėl zoninių bangų poveikio, kai atstumas iki dangaus kūno didžiausias ir kai mažiausias (20, 22), parodyta 5 paveiksle.



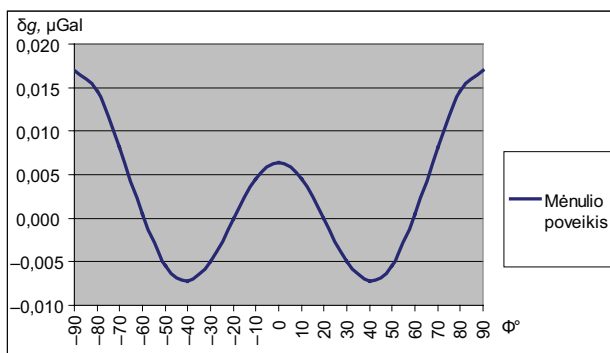
1 pav. Nuolatinė realios Žemės sunkio kaita dėl Mėnulio ir Saulės poveikio ($n = 2, n = 4$)

Fig. 1. Permanent change in gravity for elastic Earth due to effect of the Moon and Sun ($n = 2, n = 4$)



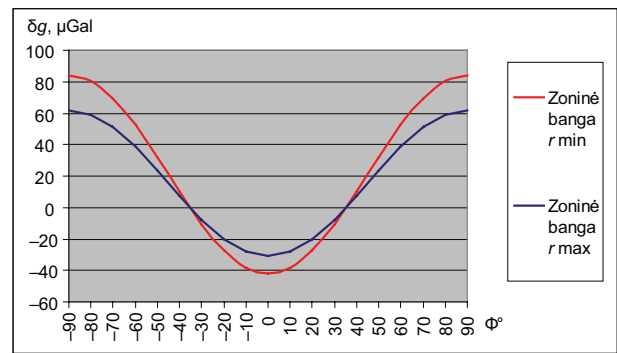
3 pav. Nuolatinė realios Žemės ekvipotencialinio paviršiaus deformacija dėl Mėnulio ir Saulės poveikio ($n = 2, n = 4$)

Fig. 3. Permanent equipotential surface deformation for elastic Earth ($n = 2, n = 4$)



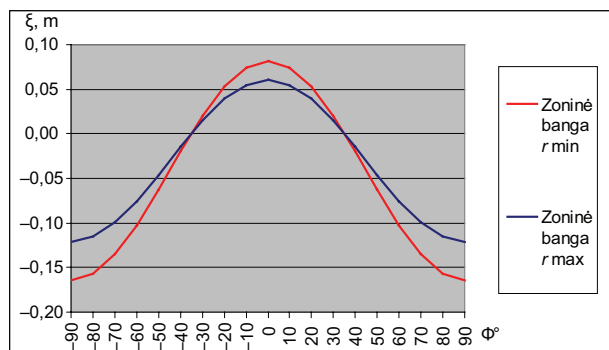
2 pav. Nuolatinė realios Žemės sunkio kaita dėl Mėnulio poveikio ($n = 4$)

Fig. 2. Permanent change in gravity for elastic Earth due to effect of the Moon ($n = 4$)



4 pav. Zoninių bangų sukeliamas realios Žemės sunkio pokytis ($n = 2, n = 4$)

Fig. 4. Gravity change induced by zonal function for elastic Earth ($n = 2, n = 4$)



5 pav. Zoninių bangų sukeliama realios Žemės ekvipotencialinio paviršiaus deformacija ($n = 2$, $n = 4$)

Fig. 5. Equipotential surface deformation induced by zonal function for elastic Earth ($n = 2$, $n = 4$)

Atlikę skaičiavimus gauname, kad poliuose ekvipotencialinis paviršius pažemėja 0,1208 m, pusiaujuje pakyla 0,0604 m, kai geocentrinis atstumas iki dangaus kūnų yra didžiausias. Ekvipotencialinis paviršius dėl dangaus kūnų poveikio, kai geocentrinis atstumas iki Mėnulio ir Saulės yra mažiausias, poliuose pažemėja 0,1640 m, pusiaujuje pakyla 0,0745 m. Geocentrinio atstumo iki dangaus kūnų pokyčiai lemia ekvipotencialinio paviršiaus deformacijas, kurių kitimo diapazonas 0,0581 m dėl Mėnulio poveikio ir 0,0065 m – dėl Saulės.

6. Išvados

1. Išnagrinėtos dangaus kūno lemiamo potvynio potencialo trijų pirmųjų narių zoninės bangos, priklausiančios nuo punkto platumos ir dangaus kūno deklinacijos. Nustatytas zoninių bangų poveikis sunkiui ir sunkio lauko ekvipotencialiniam paviršiui. Išskirta nuolatinė zoninių bangų dalis, priklausanti tik nuo punkto platumos. Nustatytas zoninių bangų ilgo periodo dalies vidutinis integralinis poveikis.
2. Atsižvelgiant į Žemės tamprumą įvertintas nuolatinis Mėnulio ir Saulės zoninių bangų poveikis, keičiantis platumai nuo 0° iki 90° . Visuminis nuolatinis dangaus kūnų poveikis sunkiui – nuo $81,38 \mu\text{Gal}$ poliuose iki $-40,70 \mu\text{Gal}$ pusiaujuje. Nuo pietinės Lietuvos dalies iki šiaurinės sunkis kinta nuo $38,99 \mu\text{Gal}$ iki $44,09 \mu\text{Gal}$. Poliuose ekvipotencialinis paviršius pažemėja 0,1583 m, o pusiaujuje pakyla 0,0792 m. Lietuvos pietinėje dalyje ekvipotencialinis paviršius pažemėja 0,0759 m, o šiaurinėje šalies dalyje – 0,0858 m.
3. Potvynio potencialo trečiojo nario ($n = 4$) nuolatinės zoninės bangos poveikis sunkiui neviršija $0,024 \mu\text{Gal}$ ir ekvipotencialinio paviršiaus deformacijai $-0,0002$ m.
4. Įvertintas potvynio potencialo zoninių bangų poveikis pasirenkant ilgo periodo dalies vidutinę reikšmę. Dėl šio poveikio sunkis kinta nuo $84,24 \mu\text{Gal}$ poliuose iki $-42,08 \mu\text{Gal}$ pusiaujuje, o ekvipotencialinis paviršius deformuojasi nuo $-0,1640$ m iki $0,0745$ m.

5. Dangaus kūnų geocentrinio atstumo pokyčiai gali turėti įtakos sunkio pokyčiams, jų diapazonas $29,85 \mu\text{Gal}$ dėl Mėnulio poveikio ir $3,35 \mu\text{Gal}$ – dėl Saulės, ekvipotencialinio paviršiaus deformacijų kitimo diapazonas $0,0581$ m dėl Mėnulio poveikio ir $0,0065$ m – dėl Saulės.

6. Darbo rezultatais gali būti remiamasi vertinant potvynio potencialo zoninių bangų poveikį geodeziniam matavimams ir pasirenkant skirtingas ekvipotencialinio paviršiaus ir Žemės paviršiaus interpretacijas.

Literatūra

- Agnew, D. C. 2007. Earth tides, in *Treatise on Geophysics: Geodesy*, ed. T. A. Herring, 163–195.
- Burša, M.; Kostelecky, J. 1999. *Space Geodesy and Space Geodynamics*. Prague. 459 p.
- Hatanaka, Y.; Sengoku, A.; Sato, T., et al. 2001. Detection of tidal loading signals from GPS permanent array of GSI Japan, *Journal of the Geodetic Society of Japan* 47: 187–192.
- Hirt, H. 2003. The Digital zenith kamera TZK2-D-A modern high-precision geodetic instrument for automatic geographic positioning in real-time, *Astronomical Data Analysis Software and Systems XII ASP Conference Series* 295: 156–159.
- 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.
- Jensch, G. 2006. Proceedings of the 15th International symposium on Earth Tides, *Journal of Geodynamics* 41: 1–4. doi:10.1016/j.jog.2005.10.005
- Mathews, P. M.; Dehant, V.; Gipson, J. M. 1997. Tidal station displacements, *Journal of Geophysical Research* 102(20): 469–477.
- Mäkinen, J.; Lilje, M.; Agren, 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.
- McCarthy, D. D.; Petit, G. 2004. *IERS Conventions (2003) IERS Technical Note 32*. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. 86 p.
- Petroškevičius, P. 2004. *Gravitacijos lauko poveikis geodeziniam matavimams*. Vilnius: Technika. 290 p.
- Petroškevičius, P.; Popovas, D. 2008. Dangaus kūnų poveikio sunkio laukui įvertinimas, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 34(1): 19–22. doi:10.3846/1392-1541.2008.34.19-22
- Petroškevičius, P.; Popovas, D. 2010. Potvynio potencialo įtakos sunkio lauko ekvipotencialiniam paviršiui vertinimas, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 36(3): 91–96. doi:10.3846/gc.2010.15
- Skeivalas, J.; Krikštaponis, B. 2001. Normalinių aukščių nustatymo tikslumo analizė, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 27(3): 101–103.
- Torge, W. 1989. *Gravimetry*. Berlin, New York: de Gruyter. 465 p.
- Varga, P. 1989. Love numbers and the inner structure of the Earth, in *The 6th Inter Symposium Geodesy and Physics of the Earth, Proc Part 1. Veröff ZIPE*, 102: 376–396.

Zakarevičius, A.; Puzienė, R. 2010. Išmatuotų aukščių redukavimas įvertinant vertikaliuosius Žemės paviršiaus judesius, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 36(2): 50–56. doi:10.3846/gc.2010.08

Zakarevičius, A.; Paršeliūnas, E.; Šliaupa, S.; Stanionis, A.; Stephenson, R. 2008. 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.

Petras Petroškevičius. Prof., Doctor Habil. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph+370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, e-mail: petras.petroskevicius@vgtu.lt

Author of 1 monograph and more than 120 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. PhD student at the Dept of Geodesy and Cadastre. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph+370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, e-mail: gkk@vgtu.lt

A graduate from Aalborg University (Master of Science, 2001).

Research interests: GNSS; Earth gravity field.