

ERDVINIŲ SKENAVIMO DUOMENŲ TAIKYMAS VIETOVĖS
TRIMAČIAMS MODELIAMS GENERUOTI

Aušra Kalantaitė, Raimundas Putrimas, Dominykas Šlikas

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

Įteikta 2010 05 10; priimta 2010 09 24

Santrauka. Analizuojami vietovės trimačių modelių sudarymo remiantis erdviniais skenavimo duomenimis technologijos ypatumai. Taikomi du duomenų šaltiniai – LIDAR metodu sukaupti Žemės paviršiaus lazerinio skenavimo duomenys ir ortofotografiniai žemėlapiai. Ištirtas LIDAR duomenų tikslumas ir gaunamų taškų aibės netolygumas. Nustatytos priežastys, turinčios įtakos LIDAR duomenų kokybei, bei pasiūlyta skenavimo technologijos tobulinimo būdai. Pateiktas algoritmas grubioms klaidoms LIDAR duomenyse rasti ir šalinti.

Eksperimentiniam tyrimui taikyta vieno Lietuvos teritorijos 1:10 000 mastelio ortofotografinio žemėlapijo lapo apimties duomenys. LIDAR duomenys gauti ir ortofotografiniai žemėlapiai pagaminti 2009 metais.

Reikšminiai žodžiai: LIDAR, ortofotografiniai žemėlapiai, lazerinis skenavimas, trimatis vietovės modelis.

1. Įvadas

Vis populiariesnis tampa lazerinio skenavimo metodu surinktų duomenų taikymas Žemės paviršiui modeliuoti. Pagrindinis LIDAR (*Light Detection and Ranging*) sistemų taikymo motyvas yra LIDAR geba per trumpą laiką surinkti didelius informacijos apie Žemės paviršiaus taškų padėtis masyvus (Schickler, Thorpe 2001; Žalnierukas, Čypas 2006; Stankevičius, Kalantaitė 2009). Pirminiai LIDAR sistemos surinkti duomenys – tai ne tik informacija apie Žemės paviršiaus geodezinius aukščius (Stankevičius, Kalantaitė 2009), bet ir kitus gamtinius bei žmogaus sukurtus Žemės paviršiaus objektus (pvz., augaliją, pastatus ir kt.).

Analizuojant vietovės trimačių modelių sudarymo taikant erdvinis skenavimo duomenis technologijas buvo naudojami tik duomenys apie Žemės paviršiaus taškus.

Pastebėtos šios problemos: nekokybiškai išrūšiuoti pagal tipus taškai; Žemės paviršiaus taškų viename kvadratiname metre yra mažiau, nei nustatyta techniniuose reikalavimuose; yra taškų, kurių aukščiai neatitinka vietovėje vyraujančio aukščio, t. y. pasitaiko grubių klaidų.

Analizuojant algoritmus, parengtus užsienio mokslininkų, pastebėta, kad dauguma mokslininkų yra sukūrę taškų masyvų, išsidėsčiusių plokštumoje, o ne erdvėje, grubių klaidų eliminavimo būdą. Viena iš daugelio kompiuterinių programų grubioms klaidoms eliminuoti iš taškų masyvų yra RANSAC, kurią sukūrė Kanados mokslininkai R. C. Bolles ir M. A. Fischler (Bolles, Fischler 1981).

Pagrindinė problema – taškų, esančių ant Žemės paviršiaus, aukščių ir vyraujančių vietovės aukščių neatitikimas. Atlikus analizę pastebėta, kad aukščių skirtumai siekia iki keliasdešimties metrų. Straipsnyje pateikiama grafinė grubių klaidų analizės medžiaga.

2007 m. sukaupia Lietuvos apskričių centrų lazerinio skenavimo duomenys (Detalaus... 2007). Techniniuose reikalavimuose numatyta, kad viename kvadratiname metre turi būti 4 fiksuoti taškai, vidutinis atstumas tarp taškų – 0,50 m. Aukščio matavimo tikslumas turi būti ne prastesnis nei 15 cm, o planimetrinis tikslumas – 30 cm. LIDAR lazerio spindulys nuotolį iki kietojo paviršiaus išmatuoja 1–3 cm tikslumu. Vietovės skenavimo lazeriu tikslumą lemia skenerio savybės, skrydžio aukštis, skenavimo kampas, lazerio spindulių dažnis ir sklaida, atspindinčiojo paviršiaus savybės ir kai kurie kiti faktoriai (Žalnierukas *et al.* 2009).

Straipsnyje analizuojamas Vilniaus vieno nomenklatūrinio lapo duomenų masyvas.

2. Grubių klaidų analizė

Prieš pradėdant analizuoti gretimų taškų aukščių skirtumus reikia įvertinti vietovės, kurioje atliktas lazerinis skenavimas, reljefo ypatumus (staigūs nuolydžiai, skardžiai ir pan.). Įvertinus reljefo ypatumus nustatomas kritinis aukščių skirtumas, pagal kurį bus randami ir eliminuojami taškai.

Analizuojant Žemės paviršiaus skenavimo duomenis, nustatyta, kad tarp jų yra taškų, kurių aukščiai neatitinka

vyraujančių aplinkinėje vietovėje. Tokiems taškams aptikti ir eliminuoti siūlomas algoritmas. Algoritmas pagrįstas lazerinio skenavimo ypatumais, įvertinant dažniausiai pasitaikančias grubias klaidas ir palyginant gretimų taškų aukščių skirtumus, tiriant, ar jie neviršija kritinio aukščių skirtumo. Kritiniai taškai randami po vieną, po du ir t. t.

Grubių klaidų filtravimo programa:

Kritinių taškų grupės ar vieno kritinio taško paieška ir eliminavimas iš LIDAR duomenų taškų masyvo.

Įteitis. kr – kritinis aukščių skirtumas, t – greta esančių kritinių taškų skaičius, taškų masyvas $A(X_i Y_i H_i)$, čia X , Y – taškų stačiakampės koordinatės, H – taškų normaliniai aukščiai;

Išėitis. Taškų masyvas $B(X_i Y_i H_i)$ – išlikę taškai, taškų masyvas $C(X_i Y_i H_i)$ – eliminuoti kritiniai taškai;

1 žingsnis. $kr \rightarrow$ [kritinis aukščių skirtumas], $t \rightarrow$ [kritinis taškų skaičius];

2 žingsnis. $i = 1$;

3 žingsnis. Write $B(X_i Y_i H_i)$;

4 žingsnis. Pagal kintamąjį j nuo 1 iki t žingsniu 1 ciklas;

5 žingsnis. $h_j = (\text{abs}(H_i - H_{i+j}))$;

6 žingsnis. $h_{t+j} = (\text{abs}(H_{i+j} - H_{i+t+1}))$;

7 žingsnis. Ciklo pabaiga;

8 žingsnis. $h_{2t+1} = (\text{abs}(H_i - H_{i+t+1}))$;

9 žingsnis. Jei $h_j > kr$, pagal kintamąjį j nuo 1 iki $2*t$ ir $h_{2t+1} < kr$, tada perėjimas į 11 žingsnį;

10 žingsnis. Write $B(X_{i+1} Y_{i+1} H_{i+1})$ perėjimas į 16 žingsnį;

11 žingsnis. Write $B(X_{i+t+1} Y_{i+t+1} H_{i+t+1})$;

12 žingsnis. Write $C(X_{i+j} Y_{i+j} H_{i+j})$;

13 žingsnis. $i = i + t + 1$;

14 žingsnis. Jei $i > n - 1$, tada perėjimas į 19 žingsnį;

15 žingsnis. Perėjimas į 4 žingsnį;

16 žingsnis. $i = i + 1$;

17 žingsnis. Jei $i > n - 1$, tada perėjimas į 19 žingsnį;

18 žingsnis. Perėjimas į 4 žingsnį;

19 žingsnis. Pabaiga.

Lietuvos teritorijoje nėra stačių kalnų bei skardžių, todėl analizuojant Lietuvos teritorijos turimus duomenis laikyta, kad kritinis aukščių skirtumas ± 5 metrai.

Pvz., ieškant kritinių taškų grupės iš 5 taškų, reikia analizuoti dar prieš ir po esančius taškus. Tokiu atveju analizuojami 7 taškai, t. y. skaičiuojame 11 aukščių skirtumų. Pirmą tašką įrašome į „B“ taškų masyvą (laikome, kad pirmojo taško duomenyse nėra grubių klaidų). Tada, jei tarp pirmojo ir antrojo ir tarp pirmojo ir trečiojo, ir tarp pirmojo ir ketvirtojo, ir tarp pirmojo ir penktojo, ir tarp pirmojo ir šeštojo, ir tarp antrojo ir septintojo, ir tarp trečiojo ir septintojo, ir tarp ketvirtojo ir septintojo, ir tarp penktojo ir septintojo bei tarp šeštojo ir septintojo taškų aukščių skirtumai yra didesni už kritinį aukščių skirtumą (5 metrai), o tarp pirmojo ir septintojo neviršija kritinio aukščių skirtumo (5 metrų), – antrasis, trečiasis, ketvirtasis, penktasis ir šeštasis taškai yra eliminuojami, įrašomi į „C“ masyvą, o nuo septintojo taško ciklas atliekamas iš naujo. Jei ne, tada antrasis iš septynių taškų įrašomas į „B“ masyvą ir nuo jo ciklas atliekamas iš naujo ir t. t.

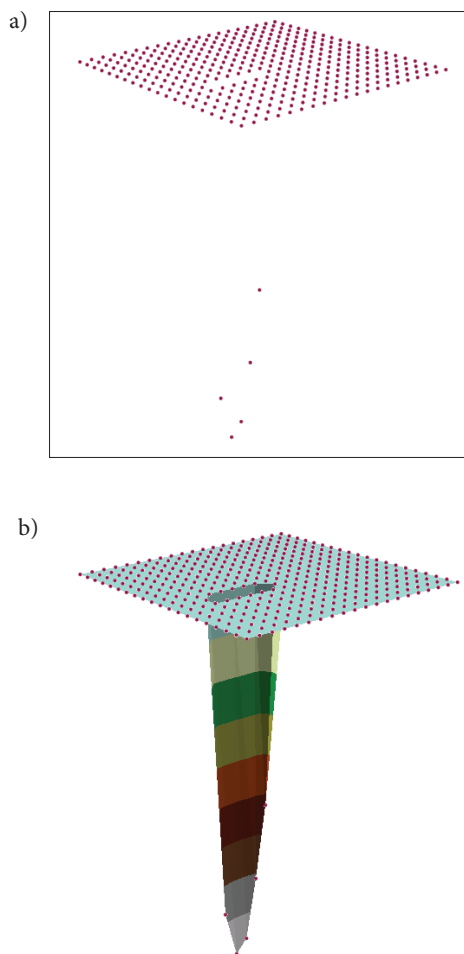
Taškų masyvas su grubiomis klaidomis (1 pav.) (A masyvas):

```
587141.000,6050128.000,100.000
587142.000,6050128.000,100.000
587143.000,6050128.000,100.000
587144.000,6050128.000,100.000
587145.000,6050128.000,100.000
587146.000,6050128.000,100.000
587147.000,6050128.000,100.000
587148.000,6050128.000,100.000
587149.000,6050128.000,100.000
587150.000,6050128.000,100.000
587131.000,6050129.000,100.000
587132.000,6050129.000,100.000
587133.000,6050129.000,100.000
587134.000,6050129.000,100.000
587135.000,6050129.000, 75.000
587136.000,6050129.000, 71.000
587137.000,6050129.000, 72.000
587138.000,6050129.000, 77.000
587139.000,6050129.000, 83.000
587140.000,6050129.000,100.000
587141.000,6050129.000,100.000
587142.000,6050129.000,100.000
587143.000,6050129.000,100.000
587144.000,6050129.000,100.000
587145.000,6050129.000,100.000
587146.000,6050129.000,100.000
587147.000,6050129.000,100.000
587148.000,6050129.000,100.000
587149.000,6050129.000,100.000
587150.000,6050129.000,100.000
587131.000,6050130.000,100.000
587132.000,6050130.000,100.000
587133.000,6050130.000,100.000
```

Rezultatai:

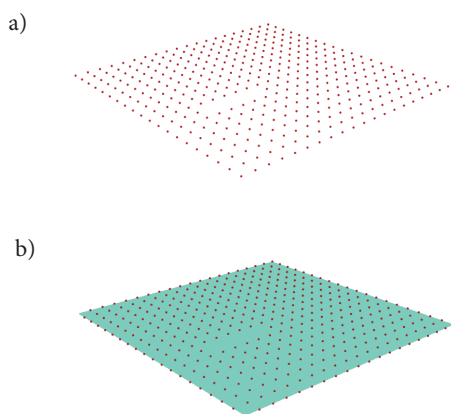
Taškų masyvas be grubių klaidų (2 pav.) (B masyvas):

```
587141.000,6050128.000,100.000
587142.000,6050128.000,100.000
587143.000,6050128.000,100.000
587144.000,6050128.000,100.000
587145.000,6050128.000,100.000
587146.000,6050128.000,100.000
587147.000,6050128.000,100.000
587148.000,6050128.000,100.000
587149.000,6050128.000,100.000
587150.000,6050128.000,100.000
587131.000,6050129.000,100.000
587132.000,6050129.000,100.000
587133.000,6050129.000,100.000
587134.000,6050129.000,100.000
587140.000,6050129.000,100.000
587141.000,6050129.000,100.000
587142.000,6050129.000,100.000
587143.000,6050129.000,100.000
587144.000,6050129.000,100.000
587145.000,6050129.000,100.000
587146.000,6050129.000,100.000
587147.000,6050129.000,100.000
587148.000,6050129.000,100.000
587149.000,6050129.000,100.000
587150.000,6050129.000,100.000
587131.000,6050130.000,100.000
587132.000,6050130.000,100.000
587133.000,6050130.000,100.000
```



1 pav. Taškų masyvas su grubiomis klaidomis: a – taškų masyvo grafinė išraiška; b – sukurto paviršiaus grafinė išraiška

Fig. 1. The points cloud with gross errors: a – graphical representation of the points cloud; b – graphical representation of the created surface



2 pav. Taškų masyvas be grubių klaidų: a – taškų masyvo grafinė išraiška; b – sukurto paviršiaus grafinė išraiška

Fig. 2. The points cloud without gross errors: a – graphical representation of the points cloud; b – graphical representation of the created surface

Grubių klaidų taškų masyvas
(C masyvas):

587135.000,6050129.000, 75.000
587136.000,6050129.000, 71.000
587137.000,6050129.000, 72.000
587138.000,6050129.000, 77.000
587139.000,6050129.000, 83.000

Grubių klaidų taškų masyve įrašoma informacija apie eliminuotus kritinius taškus.

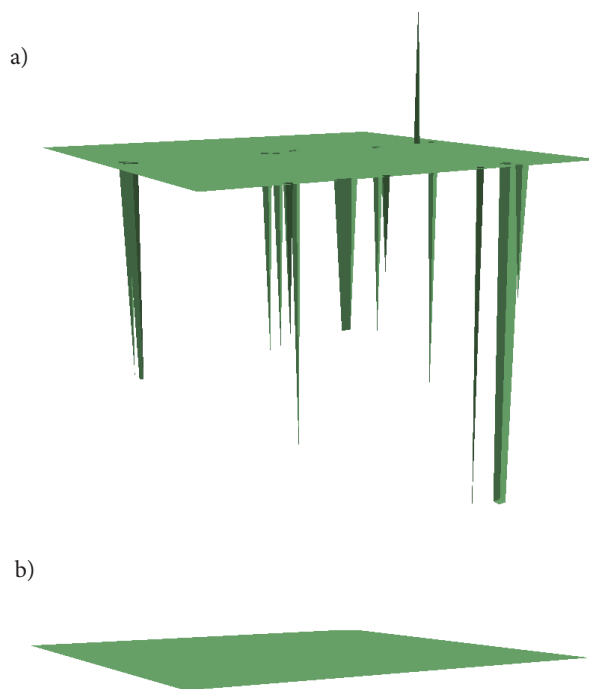
3. Algoritmo testavimas

Algoritmui testuoti buvo parengti trys pradinių duomenų taškų masyvai, kuriuose taškų tankumas atitinka lazerinio skenavimo duomenų reikalavimus (4 taškai 1 m²). Pirmasis taškų masyvas buvo sudarytas horizontaliame paviršiuje (3 pav.) (pasirinkti taškai, kurių aukščiai vienodi), antrasis taškų masyvas buvo sudarytas pasvirioje plokštumoje (4 pav.), o trečiasis – dviejų nuolydžių plokštumose (5 pav.).

Taškams vizualizuoti naudota *ArcGIS* programinė įranga.

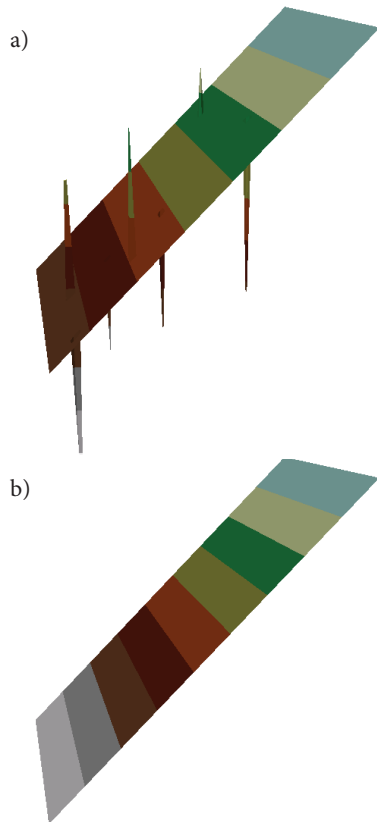
Algoritmas taikytas realiesiems Vilniaus m. M1:2000 žemėlapiu vieno lapo *LIDAR* duomenims. 6 pav. pateikta grafinė išraiška.

Grubių klaidų įtaka akivaizdi, kai realiųjų duomenų taškų masyvas su grubiomis klaidomis susiejamas su ortofotografiniu žemėlapiu. Po grubių klaidų analizės eliminavus kritinius taškus gaunamas tikslus vietovės skaitmeninis modelis (7 pav.).



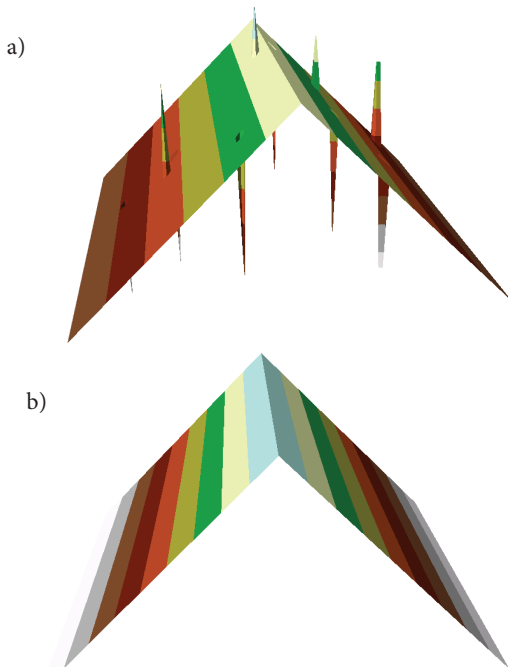
3 pav. Taškų masyvo horizontalioje plokštumoje grafinė išraiška: a – su grubiomis klaidomis; b – po grubių klaidų analizės ir eliminavimo

Fig. 3. Graphical representation of the points cloud of the horizontal plane: a – with gross errors; b – after analysis and elimination of gross errors



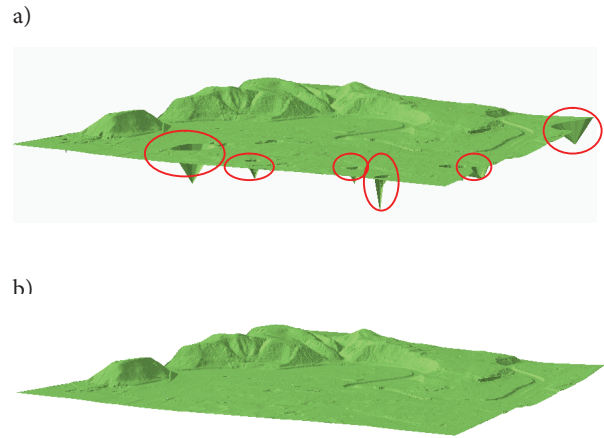
4 pav. Taškų masyvo pasviriojoje plokštumoje grafinė išraiška: a – su grubiomis klaidomis; b – po grubių klaidų analizės ir eliminavimo

Fig. 4. Graphical representation of the points cloud of the inclined plane: a – with gross errors; b – after analysis and elimination of gross errors



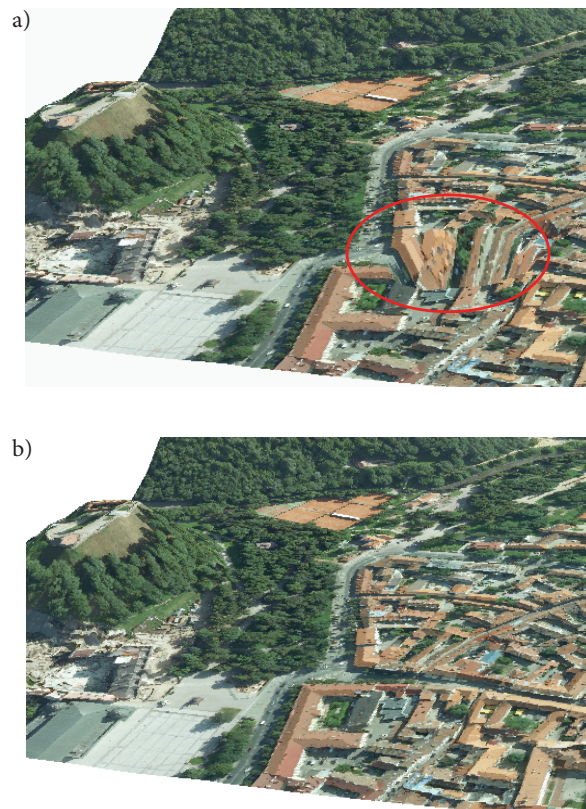
5 pav. Taškų masyvo dviejų nuolydžių plokštumoje grafinė išraiška: a – su grubiomis klaidomis; b – po grubių klaidų analizės ir eliminavimo

Fig. 5. Graphical representation of the points cloud of the two planes: a – with gross errors; b – after analysis and elimination of gross errors



6 pav. Realųjų duomenų taškų masyvo grafinė išraiška: a – su grubiomis klaidomis; b – po grubių klaidų analizės ir eliminavimo

Fig. 6. Graphical representation of the real data points: a – with gross errors; b – after analysis and elimination of gross errors



7 pav. Realųjų duomenų taškų masyvo ir ortofotografinio žemėlapiu grafinė išraiška: a – su grubiomis klaidomis; b – po grubių klaidų analizės ir eliminavimo

Fig. 7. Example of the points cloud and orthophoto map graphical representation: a – with gross errors; b – after analysis and elimination of the gross errors

4. Išvados

Analizuojant lazerinio skenavimo duomenų masyvus nustatyta, kad juose pasitaiko gamybos procese neeliminuočių grubių klaidų.

Sukurtas algoritmas grubioms lazerinio skenavimo duomenų klaidoms aptikti ir eliminuoti. Algoritmas efektyvus automatizuotai redaguoti LIDAR duomenis.

Algoritmui testuoti sukurta bandomoji kompiuterinė programa ir išanalizuota eksperimentinės teritorijos LIDAR duomenų rinkiniai.

Literatūra

- Bolles, R. C.; Fischler, M. A. 1981. A RANSAC-based approach to model fitting and its application to finding cylinders in range data, *JCAI*: 637–643.
- Detalaus erdvinio modelio sudarymas*. LIDAR skrydžių ir duomenų kaupimo kokybės kontrolės ataskaita. 2007. FIT Conseil, UAB InfoERA. 19 p.
- Lietuvos Respublikos teritorijos detalaus erdvinio modelio sudarymo kontrolės ataskaita*. 2008. UAB Aerogeodezijos institutas. 58 p.
- Schickler, W.; Thorpe, A. 2001. Surface estimation based on LIDAR, in *Proceedings of the ASPRS Annual Conference*. St. Louis, Missouri, April, 11.
- Stankevičius, Ž.; Kalantaitė, A. 2009. LIDAR Žemės paviršiaus taškų masyvo supaprastinimo algoritimų parametrų parinkimas, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 35(2): 44–49. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.44-49
- Žalnierukas, A.; Čypas, K. 2006. Žemės skenavimo lazeriu iš orlaivio technologijos analizė, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 32(4): 101–105.
- Žalnierukas, A.; Ruzgienė, B.; Kalantaitė, A.; Valaitienė, R. 2009. Miestų skenavimo LIDAR metodu tikslumo analizė, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 35(2): 55–60. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.55-59

Aušra KALANTAITĖ. Head of GIS and cartography division at National Land service under the Ministry of Agriculture, Vilnius (Ph. + 370 5 239 8446), doctoral student of Vilnius Gediminas Technical University (Ph +370 5 274 4703), e-mail: gkk@vgtu.lt.

A graduated of Vilnius Gediminas Technical University (master of Geodesy and Cartography, 1997). Participation in projects: Land Parcel Identification System creation in Lithuania (2002–2003), Land Parcel Identification System and Block Database update in Lithuania (2004–2006).

Research interests: digital mapping and GIS.

Raimundas PUTRIMAS. Associate Professor, Doctor. 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: RaiPut@ap.vgtu.lt.

Author of more than 30 scientific papers. Participated in many intern conferences.

Research interests: calibration of geodetic instruments, adjustment of geodetic networks.

Dominykas ŠLIKAS. Doctoral student. 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: gkk@vgtu.lt.

MSc at VGTU (2007).

Research interests: calibration of geodetic instruments, engineering geodesy.