

MIESTŲ SKENAVIMO LIDAR METODU
TIKSLUMO ANALIZĖAlbinas Žalnierukas¹, Birutė Ruzgienė², Aušra Kalantaitė³, Rimanta Valaitienė⁴^{1,2} Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva, el. paštas Birute.Ruzgiene@ap.vgtu.lt³ Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos,

Gedimino pr. 19, LT-01103 Vilnius, Lietuva, el. paštas ausrak@zum.lt

⁴ UAB Aerogeodezijos institutas, Pramonės pr. 13, LT-51327 Kaunas, Lietuva,
el. paštas rimanta@agi.lt

Įteikta 2009 02 23, priimta 2009 03 21

Santrauka. Pažangaus vietovės skenavimo lazeriu metodo realus tikslumas ir pritaikymo galimybės miestuose dar nepakankamai ištirta. Pateikiama Lietuvoje pirmą kartą darytų dešimties didžiųjų miestų – apskričių centrų skenavimo lazeriu iš orlaivio (*LIDAR*) išsami tikslumo analizė. Apibūdinama aparatura, technologinės ypatybės, taip pat aerofotonuotrauka. Nurodoma, kad erdviniam miestų modeliams sudaryti taikyta pažangi jungtinė technologija: lazerinis skenavimas iš oro *GPS-IMU* sistema ir skaitmeninė 1:6000 mastelio aerofotonuotrauka. Naudotas skeneris *ALTM 3100*, skrydžio aukštis – 800 m. Vietovės skenavimo lazeriu tikslumas vertintas remiantis kontrolinių geodezinių taškų ir referencinių plotų (laukų) matavimų (UAB Aerogeodezijos institutas, UAB *InfoERA*) bei užsienio autorių *LIDAR* tikslumo tyrimų duomenimis. Gautieji lazerio impulsų taškų aukščių standartinių nuokrypių nuo geodezinių reikšmių įverčiai yra 0,05–0,11 m. Didžiausias absoliutusis planimetrinis poslinkis – 0,25 m, t. y. 1/3200 skrydžio aukščio. Daroma išvada, kad pagal tikslumo parametrus lazerinio skenavimo duomenys, sujungti su ortofotografiniu pagrindu, tinka miestų teritorijos paviršiaus, reljefo, pastatų ir kitų antžeminių objektų erdviniam 3D modeliams sukurti pagal stambiojo mastelio topografijos ir *GIS* poreikius.

Reikšminiai žodžiai: topografija, skenavimas lazeriu, *LIDAR*, Žemės paviršiaus modeliavimas.

1. Įvadas

Naujas vietovės skenavimo (zondavimo) lazeriu iš orlaivio metodas žinomas *LIDAR* santrumpa (*Light Detection and Ranging*). Skenuojant lazeriu gaunama netolygi labai tanki taškinė trijų dimensijų Žemės paviršiaus objektus modeliuojanti geometrinė ir radiometrinė informacija („taškų debesis“) (Медведев 2006).

2007 m. pavasarį Nacionalinės žemės tarnybos prie Žemės ūkio ministerijos užsakymu pirmą kartą Lietuvoje buvo padaryta 10 didžiausių miestų – apskričių centrų: Vilniaus, Kauno, Marijampolės, Alytaus, Klaipėdos, Tauragės, Telšių, Šiaulių, Panevėžio ir Utenos – iš viso 2475 km² – *LIDAR* nuotrauka.

Tuo pačiu metu taip pat padaryta stambiojo mastelio miestų teritorijų skaitmeninė aerofotonuotrauka bei pagaminti ortofotografiniai žemėlapiai. Darbų tikslas – miestų erdviųjų 3D modelių sukūrimas taikant pažangią hibridinę lazerinio skenavimo ir skaitmeninės aerofotonuotraukos technologiją.

Nuotraukas darė ir ortofotografinius žemėlapius pagamino Prancūzijos *FIT Conseil – Géométries Ex-*

perts firma. Antžeminius matavimus vykdė Lietuvos UAB *InfoERA*, o produkcijos kokybės kontrolę atliko UAB Aerogeodezijos institutas. Straipsnio autoriai įvertino tokios lazerinės nuotraukos realų tikslumą, siedami su panaudojimo galimybėmis. Apskritai miestų teritorijų skenavimo *LIDAR* realusis tikslumas dar nepakankamai ištirtas. *LIDAR* technologijos ypatumai aprašyti A. Žalnieruko ir K. Čypo (2006).

Straipsnyje, remiantis kontrolinių geodezinių matavimų ir užsienio autorių tyrinėjimų duomenimis, vertinamas bei analizuojamas Lietuvos miestų *LIDAR* nuotraukų, ypač taškų aukščių, faktinis tikslumas. Darbo tikslas – *LIDAR* metodo tikslumo įvertinimas ir taikymo miestų stambiojo mastelio erdviniam modeliams kurti galimybių tyrimas.

2. LIDAR tikslumo apžvalginis vertinimas

Kai kurie autoriai pateikia *LIDAR* realiomis, dažniausiai ne miesto, sąlygomis gautus empirinio tikslumo duomenis.

Išsamią lazerio impulso atspindžio taškų aukščių nustatymo, vietovę skenuojant skeneriu *ALTM 1225*, tikslumo analizę, remdamasi kontrolinių geodezinių

matavimų duomenimis, atliko JAV *Airborne 1 Corporation* (LIDAR accuracy 2008). Apibendrintieji duomenys 1 lentelėje. Atspindinčiųjų paviršių morfologija neapibūdinama.

Darbe (Ahokas et al. 2008) aprašomi Suomijoje 2005–2007 m. padarytų LIDAR testinių nuotraukų tikslumo tyrimai. Nuotraukos padarytos skeneriais *Optech ALTM 3100* ir *Leica ALS50-II*. Tikslumas vertintas pagal geodezinius kontrolinius taškus, koordinuotus GPS metodu ir elektroniniu tacheometru, kurio horizontalusis tikslumas – 2 cm, o vertikalusis – 4 cm.

2005 metų eksperimentas. Skeneris *ALTM 3100*, skrydžio aukštis – 500 m, skenavimo kampas – 15° , dažnis – 100 kHz, planimetrinis tikslumas – ± 9 cm, aukščių – <10 cm. Iš 2000 m aukščio gautas planimetrinis tikslumas – ± 36 cm, o vertikalusis – <15 cm. Mažiausias tikslumas yra miško ir vietovės su didesniais šlaitų nuolydžiais.

2006 metų eksperimentas. Skeneriai *ALTM 3100* ir *ALS50-II*, skrydžio aukštis – 1900 ir 2200 m, impulsų dažnis – 50 kHz, taškų tankis – 0,5–0,7 tšk./m². Kontrolinių taškų paieškos „debesyje“ spindulys $R < 50$ cm. Kai kurie šio eksperimento rezultatai pateikiami 2 ir 3 lentelėse (Ahokas et al. 2008).

Paminėtini kitų autorių būdingi LIDAR tikslumo duomenys. Pavyzdžiui, K. Kraus (Kraus 2003) pateikia Vienos miško LIDAR nuotraukos (skrydžio aukštis – 1000 m) vertikalųjį tikslumą – $\pm 0,50$ m. Hamburgo gatvių modelių, sukurtų LIDAR metodu, aukščių tikslumas – ± 10 –15 cm, o planimetrinės paklaidos – $<0,50$ m (Ettrich, Sieh 2006).

3. Lietuvos miestų erdvinio modelio kūrimo technologijos bruožai

LIDAR nuotrauka. Lietuvos miestų teritorijos skenuotos *Geokosmos* (Maskva) skeneriu *Optech ALTM 3100* iš lėktuvo *Antonov-2*. Antžeminiams matavimams naudoti *Z-Max GPS* imtuvai (FIT Conseil 2007). Techniniai šio skenerio duomenys pateikti A. Žalnieruko ir K. Čypo straipsnyje (2006). Šio tipo lazeriai kraipomojo veidrodžio principu sukuria skenuojamo Žemės paviršiaus atspindžių erdvinį „taškų debesį“. Padėtis nustatoma inercine navigacine sistema (*Position and Orientation System*) *Trimble 750 GPS – Applanix POS/AV IMU (Inertial Measurement Unit)*. *ALTM 3100* operuoja infraraudonaisiais, artimais matomam optiniam

spekto diapazonui, lazerio spinduliais (1,047 μ m), todėl dar gaunamas nespalvotasis fotografinis vietovės atvaizdas be šešėlių. Beje, šio ilgio elektromagnetinių virpesių bangas absorbuoja vandens paviršius ir atspindi labai mažai signalų. Taip ir įvyko skenuojant Lietuvos miestus. LIDAR duomenų kaupimo specifikacijos pateiktos 4 lentelėje (FIT Conseil 2007).

2 lentelė. Impulsų atspindžių taškų aukščių tikslumas

Table 2. Accuracy of pulse reflection's heights points

Atspindėjimo paviršius	Tikslumo įverčiai, m		Kontrolinių taškų skaičius
	Sisteminis faktorius	σ_z įverčiai	
Asfaltas	-0,07	0,08	24
Žvyras	-0,02	0,05	9
Įvairi atvira vietovė	0,06	0,07	23
Laukas	0,11	0,05	13
Uoliena	-0,01	0,08	28
Miškas	0,03	0,12	38

Pastaba. Panašūs LIDAR vertikaliojo tikslumo rezultatai gauti ir skenuojant *Leica ALS50-II* iš 2200 m aukščio.

3 lentelė. Planimetrinio tikslumo rezultatai

Table 3. Results of planimetric accuracy

Tikslumo rodikliai	<i>Optech ALTM 3100</i>	<i>Leica ALS50-II</i>
Poslinkių vidurkis	0,58	0,55
Mažiausias poslinkis	0,09	0,22
Didžiausias poslinkis	1,26	1,38
Planimetrinių poslinkių įverčiai σ_{XY}	0,35	0,34

Kiti skrydžių duomenys: greitis – 205 km/h; atstumas tarp juostų ašių – 300 m; šoninė sutaptis – 30 %; lazerio taškų tankis – 3–4 tšk./m²; vidutinis atstumas tarp taškų 0,5 m. Skenerio erdvinį padėčių fiksavimo (trajektorijų) tikslumui buvo keliamas reikalavimas: X, Y, Z kryptimis standartiniai nuokrypiai turi būti mažesni negu 5 cm.

Projektinis LIDAR matavimų tikslumas: taškų aukščių – ± 15 cm; planimetrinis – ± 30 cm.

1 lentelė. Airborne 1 Corporation LIDAR vertikaliojo tikslumo tyrimo rezultatai

Table 1. Results of Airborne 1 Corporation investigation of LIDAR vertical accuracy

Projektai	Skrydžių aukščiai, m	Kontrolinių taškų skaičius	LIDAR taškų aukščių nuokrypiai, m			
			min	max	vidurkiai	σ_z įverčiai
1	750	400	-0,18	0,12	-0,02	0,05
2	900	4 500	-0,42	0,36	0,01	0,12
3	600	90	-0,12	0,07	0	0,03
4	900	90	-0,26	0,16	0	0,09
5	900	150	-0,12	0,11	-0,01	0,05

Pastaba. σ_z – standartiniai aukščių nuokrypių įverčiai.

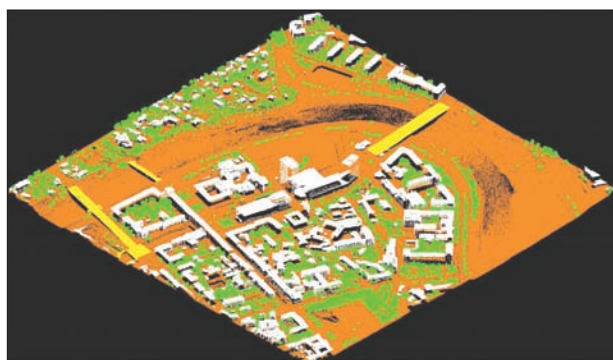
4 lentelė. Duomenų kaupimo skeneriu *ALTM 3100* techninės specifikacijos

Table 4. Technical specifications of data acquisition by scanner *ALTM 3100*

Techniniai parametrai	<i>Optech ALTM 3100</i>
Nešančiųjų lazerio virpesių bangos ilgis	1047 nm
Lazerio impulsų dažnis	100 kHz
Skrydžio aukštis	800 m
Skenavimas	dinaminis impulsinis
Skenavimo dažnis	50 Hz
Skenavimo kampas	30° (±15°)
Skenuojamos juostos plotis	430 m
Registravimas	4 atspindžiai, atspindžių intensyvumas
Spindulio sklaida (pėdsakas)	0,3 arba 0,8 mrad (30 cm arba 80 cm ant žemės, kai aukštis 1000 m)
Atstumo matavimo skyra	1 cm
Intensyvumas bei spektro skyra	8 bitai
Aukščių matavimo tikslumas, σ_z	geriau negu 15 cm iš 1200 m aukščio; geriau negu 35 cm iš 3000 aukščio
Planimetrinis tikslumas	geriau negu 1/2000 skrydžio aukščio

Pirminiai skenavimo lazeriu duomenys filtruoti, redaguoti ir suskaidyti į skaitmeninius vietovės paviršiaus SPM (angl. *Digital Surface Model – DSM*) modelius (1 pav.). Pagal morfologinius požymius SPM klasifikuoti į skaitmeninius pastatų, augalijos, tiltų ir žemės reljefo – SRM (angl. *Digital Elevation Model – DEM*) modelius (sluoksnius). Visi duomenys pateikti tekstiniu (*ASCII*) formatu, LKS 94 koordinatų sistemoje.

Skaitmeninė aerofotonuotrauka. Padaryta atskirai nuo *LIDAR* skrydžių aerofotokamera *UltraCamD*, židinio nuotolis $c_k = 101,4$ mm. Kadro dydis – 7500×11500 pikselių, jutiklis (sensorius) – *CCD* matrica (*Charge Coupled Device*). Gamintojas *Vexcel Imaging*.



1 pav. Vilniaus centrinės dalies SPM fragmentas
Fig. 1. *DSM* fragment of city Vilnius central part

Aerofotografavimo aukštis – 600 m, mastelis – 1:6000. Firma *FIT Conseil* pagal *LIDAR* reljefo modelius pagamino apskričių centrų, išskyrus Tauragę, ortofotografinius 1:2000 mastelio žemėlapius. Alytaus pagaminti tik 46 žemėlapių lapai iš 121. Sujungus lazerinio skenavimo ir ortofotografinius duomenis gauti detalūs šių miestų ortogonalinės projekcijos erdviniai modeliai.

4. *LIDAR* nuotraukos tikslumo tyrimas

LIDAR lazerio spindulys nuotolį iki kietojo paviršiaus išmatuoja 1–3 cm tikslumu, tačiau vietovės skenavimo lazeriu tikslumą lemia skenerio savybės, skrydžio aukštis, skenavimo kampas, matavimo lazerio spindulių dažnis ir sklaida, *GPS-IMU* tikslumas, atspindinčiojo paviršiaus savybės ir kai kurie kiti faktoriai.

Lėktuvo padėties nustatymo kinematine *GPS* vidutinė kvadratinė paklaida dėl dreifavimo esti apie ± 5–10 cm (paklaida didėja ilgėjant skrydžio ruožui), o *IMU* ± 0,005–0,01 gon, tai esant 1000 m aukščiu žemės paviršiuje lemia apie 10–15 cm poslinkį, ir jis didėja didinant skrydžio aukštį.

Horizontalusis tikslumas daugiausia siejamas su skrydžio aukščiu ir esti apie 1/2000–1/3000 šio aukščio. Kai aukštis 800 m, tikėtina iki 0,40 m paklaida.

Analizuojant Lietuvos miestų *LIDAR* nuotraukas aktualiausia yra vietovės taškų aukščių *Z* nustatymo tikslumas.

Aukščiai gana tikslūs. Standartinius taškų aukščių nuokrypių įverčius galima apskaičiuoti pagal empirinę formulę (Kraus, et al. 2005):

$$\sigma_z (\text{cm}) = \pm \left(\frac{6}{\sqrt{n}} + 50 \text{tg} \alpha \right), \quad (1)$$

čia n – tinkamų taškų tankis (skaičius 1 m² plote); α – Žemės paviršiaus nuolydis laipsniais; 6 ir 50 – empirinių parametrų reikšmės.

Būdingiausi Lietuvos miestų atvejai:

1 atvejis (vietovė atvira): atstumas tarp skenavimo taškų – 0,5 m, taškų tankis – 4 tšk./m², $\alpha = 10$ ° (6°), tada $\sigma_z = \pm 8$ cm.

2 atvejis (miškas): vidutinis atstumas tarp lazerio taškų Žemės paviršiuje – 1 m (skvarba – 50 %), atitinkamai $n = 1$ tšk./m². Kai $\alpha = 10$ %, tada $\sigma_z = \pm 11$ cm.

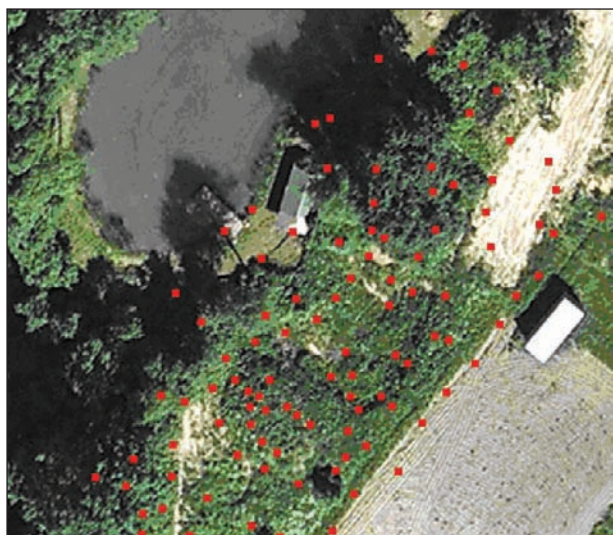
Pagal Aerogeodezijos instituto kontrolinių geodezinių matavimų duomenis autoriai įvertino 4 miestų 696 pavienių skenuojant lazeriu nustatytų Žemės taškų aukščių tikslumą. Į *LIDAR* erdvinį ortofotografinį modelį buvo įrašomi geodeziniu būdu koordinuoti taškai (paženklinti paveiksluose) ir randamas artimiausio lazerinio taško aukščio nuokrypis nuo geodezinio taško altitudės (ΔZ) (2 ir 3 paveikslai). Atitinkamų lazerinių taškų paieškos nuotolis – iki 0,3–0,5 m. Aukščių nuokrypių paskirstymas pateiktas 5 lentelėje. Iš šios lentelės duomenų matyti, kad nuokrypių serijose žymus sisteminis faktorius. Siekiant sumažinti sistemingąsias paklaidas, *LIDAR* įranga (*GPS*, *IMU* ir skeneris) kalibruojama.

Pagal atspindinčiųjų paviršių tipą, atsižvelgiant į *LIDAR* tikslumo informacijos pateikimo kituose šaltiniuose



2 pav. Marijampolėje tikrintų LIDAR aukščio taškų fragmentas: a – ortofotografinis modelis; b – lazerio taškų „debesis“

Fig. 2. Fragment of LIDAR height points checked at city Marijampolė: a – orthophotographic model; b – points “cloud”



3 pav. LIDAR taškai lauke su krūmais ir medžiais (Kaunas)

Fig. 3. LIDAR points on field with bushes and trees (Kaunas)

6 lentelė. LIDAR taškų aukščių tikslumo tyrimo rezultatai pagal AGI geodezinių matavimų duomenis

Table 6. Results of LIDAR point's heights accuracy investigation according AGI control measurements

Atspindintis paviršius	Kontrolinių taškų skaičius	LIDAR taškų aukščių nuokrypių vertinimas, m			
		min	max	vidurkių moduliais	σ_z įverčiai
Kaunas					
Asfaltas	74	-0,05	0,14	0,06	0,05
Nelygus laukas	113	-0,08	0,17	0,10	0,04
Laukas su medžiais	119	-0,11	0,30	0,08	0,07
Panevėžys					
Asfaltas	193	-0,23	0,20	0,05	0,06
Laukas	41	-0,08	0,22	0,04	0,05
Marijampolė					
Asfaltas	18	-	0,08	0,04	0,03
Utena					
Asfaltas	63	-0,06	0,12	0,04	0,04
Žvyruotas kelias	75	-0,13	0,13	0,06	0,04

5 lentelė. Aukščių nuokrypių paskirstymas

Table 5. Distribution of heights deviations

Miestai	nulis	Nuokrypių ΔZ skaičius intervalais, m					
		0,01–0,10		0,11–0,20		0,21–0,30	
		+	-	+	-	+	-
Kaunas	6	155	38	102	3	2	-
Panevėžys	25	59	126	6	14	-	4
Marijampolė	-	18	-	-	-	-	-
Utena	2	106	15	14	1	-	-

struktūrą (FIT Conseil 2007; LIDAR Accuracy 2008 ir kt.), apskaičiuoti svarbiausieji LIDAR taškų aukščių tikslumo įverčiai (6 lentelė): vidutiniai absoliutiniai aukščių nuokrypiai (moduliai) bei standartinių nuokrypių įverčiai σ_z (angl. Standard deviation) apskaičiuoti pagal formulę (2), sumažinant sistemingųjų paklaidų įtaką įverčiams (Žalnierukas, Kumetaitienė 1999).

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{n} (\sum \Delta^2 Z - n \bar{\Delta}^2 Z)}, \quad (2)$$

čia $\Delta Z = Z_{laz} - Z_{geod}$; $\bar{\Delta} Z$ – nuokrypių aritmetinis vidurkis; n – kontrolinių taškų skaičius.

AGI tam tikrą dalį Geodezinės LIDAR kontrolės taškų koordinavo GPS metodu, remdamasis valstybinio GPS tinklo antrosios ir trečiosios klasių punktais bei LitPOS tinklo punktu „Vilnius“. Naudota dvidažnis prietaisas Wild GPS-System 200 ir du prietaisai Wild GPS-System 300. GPS matavimai atlikti greituoju statiniu (Rapid Static) metodu, matavimų trukmė ne trumpesnė kaip 20 min.

Iš GPS metodu nustatytų atraminių taškų poliniu būdu elektroniniu tacheometru TC305 buvo išmatuotos visų kitų kontrolinių taškų koordinatės X, Y ir aukščiai Z.

7 lentelė. Kai kurie lazerinių impulsų taškų padėties tikslumo UAB *InfoERA* tyrimų rezultatai

Table 7. Some results of JSC *InfoERA* investigations of laser pulse point's position accuracy

Tikslumo rodikliai	Kaunas	Panevėžys	Marijampolė	Utena	Vilnius
Referencinių plotų skaičius	3	2	2	2	5
1. Aukščių tikslumas					
LIDAR taškų aukščių nuokrypių intervalai, m	-0,07-(+0,06)	-0,06-(+0,02)	0,00-(+0,07)	-0,08-(+0,10)	-0,10-(+0,09)
Aukščių standartinių nuokrypių įverčiai σ_z pagal referencinius plotus, m	0,04; 0,04; 0,03	0,05; 0,06	0,06; 0,06	0,08; 0,06	0,09; 0,07; 0,08; 0,08; 0,05
2. Planimetrinis tikslumas					
Taškų poslinkių reikšmių intervalai, m	0,10–0,25	0,08–0,16	0,12–0,23	0,11–0,22,	0,10–0,22
Poslinkių vidurkiai pagal referencinius plotus, m	0,16; 0,18; 0,18	0,14; 0,12	0,16; 0,18	0,18; 0,18	0,14; 0,17; 0,16; 0,17; 0,12

Apskaičiuotosios GPS taškų elipsoidinių aukščių atžvilgiu valstybinio GPS tinklo punktų vidutinės kvadratinės paklaidos pavienių miestų yra ne didesnės nei ± 30 mm. Perskaičiavimo į normalinių aukščių sistemą tikslumas – 3 cm. Laikoma, kad didžiausios miestų taškų nustatytų koordinatų X , Y vidutinės kvadratinės paklaidos GPS tinklo punktų atžvilgiu yra 12 mm.

UAB *InfoERA* atliko visų 10 miestų LIDAR nuotraukos taškų aukščių Z ir planimetrinio XY tikslumo kontrolę. Aukščiai tikrinti pagal 24 kontrolinių (referencinių) plotų – geodeziškai išmatuotų asfaltuotų aikštelių LIDAR matavimų duomenis, o horizontalusis tikslumas patikrintas matuojant žemų modulių transformatorinių kraštines. Penkių miestų LIDAR tikslumo rezultatai pagal pavienius plotus pateikiami 7 lentelėje (*FIT Conseil* 2007). Kitų miestų šie įverčiai panašūs.

Skenerio padėties fiksavimo kinematinė GPS *Trimble 750* realiojo tikslumo įverčiai σ pagal X , Y ašis visų miestų yra nuo 1,5 iki 3,5 cm, o Z kryptimi – 3,0–3,5 cm (vienas – Kauno atvejis, kai σ dydis yra 6,0 cm) (*FIT Conseil* 2007). Rezultatai atitinka projektinius reikalavimus (žr. 3 sk.).

5. Išvados

1. Remiantis geodezinių matavimų duomenimis, atlikta Lietuvos miestų LIDAR duomenų, ypač taškų aukščių, tikslumo analizė. Skenuojant iš 800 m aukščio, lazerio impulsų taškų aukščių tikslumo įverčiai σ_z yra $\pm 0,05$ – $0,07$ m (6 lentelė). Didžiausios absoliučiosios planimetrinės paklaidos yra 0,25 m (1/3200 skrydžio aukščio). Gautieji tikslumo duomenys gerai dera su literatūros šaltiniuose (Ahokas 2008; LIDAR Accuracy 2008) pateikiamais specialiu tyrimų duomenimis. Formulė (1) tinka aprioriniam tikslumui vertinti.
2. Lazerinio skenavimo tikslumas priklauso ir nuo atspindinčiojo paviršiaus tipo. Didžiausias tikslumas pasiekiamas, kai lazerio spindulį atspindi asfaltas, betonas ir pan., blogiausias tikslumas – kai žemę dengia augalija, ypač medžių lajos, krūmai. Vandens paviršius absorbuoja elektromagnetinių

virpesių bangas, ypač kai nešančiųjų bangų ilgis artimas $1,5 \mu\text{m}$.

3. Konstatuotas žymus sisteminis efektas. Kai kuriais atvejais Kaune, sprendžiant iš nuokrypių aritmetinių vidurkių reikšmių, teigiamos sisteminės lazerio taškų aukščių paklaidos esti apie 0,06–0,10 m (duobėtas laukas, reti medžiai ir krūmai).
4. Skenerio *ALTM 3100* techninės galimybės atitinka Lietuvos miestų skenavimo tikslumo poreikius. Gautieji duomenys pagal tikslumo parametrus tinka miestų Žemės paviršiaus reljefo, pastatų ir kitų antžeminių objektų 3D modeliams sukurti pagal stambiojo mastelio topografijos ir GIS poreikius.

Literatūra

- Ahokas, E.; Kaartinen, H.; Hyypä, J. 2008. On the quality checking of the airborne laser scanning-based nation wide elevation model in Finland, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII (Part B1), Commission 1, Beijing, China*, 267–270.
- Ettrich, N.; Sieh, W. 2006. Detaillierte städtische Höhenmodelle aus Laserscannerdaten zur Simulation oberflächigen Wasserabflusses, *Z. f. Vermessungswesen*, 2: 53–60. Stuttgart: Verlag K. Witwer.
- FIT Conseil (Géomètres Experts)*, UAB *InfoERA*. 2007. Lietuvos Respublikos detalaus erdvinio modelio sudarymas, iš LIDAR skrydžių ir duomenų kaupimo kokybės kontrolės ataskaita. 13 p.
- Kraus, K. 2003. *Photogrammetrie*. Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. 7te Veröffentlichung. Berlin–New York: Walter de Gruyter Verlag, 516.
- Kraus, K., et al. 2005. Laser Scanning – Data Acquisition and Modeling, in *TU Vienna University Course* 10: 1–90.
- LIDAR Accuracy [cited 12 December 2008]. Available from Internet: <<http://www.airborne1.com/technology/LIDARAccuracy.pdf>>.
- Žalnierukas, A.; Kumetaitenė, A. 1999. Topografinių duomenų bazių, sukurtų stereofotogrametriniu būdu, taškų altitudžių tikslumas, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 25(3): 113–118.

Žalnierukas, A.; Čypas, K. 2006. Žemės paviršiaus skenavimo lazeriu iš orlaivio technologijos analizė, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 32(4): 101–105.

Медведев, Е. М. 2006. Методы лазерной локации и цифровой аэрофотосъемки в современной топографии, *Геодезия и картография* 6: 40–44; 8: 30–35; 9: 40–47; 10: 46–53.

Albinas ŽALNIERUKAS. Associate Professor, Doctor.

A graduate of Moscow of land surveying institute (engineer of geodesy, 1959) Doctor (Moscow Institute of Geodesy, Aerial surveying and Cartography, 1969). Research course (ib, 1986), training course in Norway “Fjellanger Widerøe” AO (1995, 1996). Author and Coauthor of three textbooks and 87 scientific papers (Ph +370 5 2735 385).

Research interests: aerophotogrammetry.

Birutė RUZGIENĖ. Associate Professor, Doctor. Vilnius Gediminas Technical University, Dept of Geodesy and Cadastre. Ph +370 5 2744 703.

A graduate of Vilnius Civil Engineering Institute (engineer of geodesy, 1968). Doctor (Vilnius Gediminas Technical University, 1999). Research training at Moscow Institute of Geodesy, Aerial surveying and Cartography (1986), at Norway AO Fjellanger Widerøe (1995), at Warsaw Institute of Geodesy and Cartography (1998), at Photogrammetry Insti-

tute of Bonn University (2000, 2005). Author of more than 30 scientific papers, two text books.

Research interests: digital photogrammetric mapping, image interpretation.

Aušra KALANTAITĖ. Head of GIS and cartography division at National Land service under the Ministry of Agriculture, Vilnius Ph. + 370 5 2398 446.

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 activities: digital mapping and GIS.

Rimanta VALAITIENĖ. Head of Photogrammetry Group at Institute of Aerial Geodesy, Kaunas, Ph +370 3 7755 224.

A graduate of Vilnius Civil Engineering Institute (engineer of geodesy, 1987).

Participation in projects: Renewal of Basic Cartography- Lithuania (donation of Swiss Confederation 1994-1995), Restitution for City Map 1:500 - 1:1000 (1999-2006), BD Topo Pays M 1:10000 (France, 2002-2005), Land Parcel identification System and Block database update in Lithuania (2005-2006).

Research activities: digital photogrammetry.