

UDK 528.73

ŽEMĖS PAVIRŠIAUS SKENAVIMO LAZERIU IŠ ORLAIVIO TECHNOLOGIJOS ANALIZĖ

¹Albinas Žalnierukas, ²Kęstutis Čypas

Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva,
el. paštas: ¹gi@ap.vtu.lt, ²kestutis.cypas@ap.vtu.lt

[teikta 2006 02 05, priimta 2006 09 21]

Santrauka. Naujas vietovės skenavimo lazeriu iš orlaivio metodas *LIDAR* (*Light Detection and Ranging*) suteikia dideles žemės paviršiaus, ypač reljefo, taip pat pastatų ir kitų objektų modeliavimo ir tyrimo galimybes. Straipsnyje pateikiamos šio metodo technologinės ypatybės, taikymo Lietuvoje galimybės ir efektyvumas. Apibūdinama aparatūra, analizuojamos paklaidų priežastys ir rezultatų tikslumas. Nustatyta, kad horizontalusis tikslumas esti apie ± 50 cm, o aukščių – ± 10 – 30 cm, skenuojant atvirą vietovę maždaug iš 1000 m aukščio. Lyginama su aerofotonuotraukos būdu. Teigiama, kad reljefo nuotrauka, atliekant lazerinį skenavimą, ypač miškingoje ar pastatais užstatytoje vietovėje, yra tiksli ir labai efektyvi. Topografijos poreikiams skenavimą lazeriu rekomenduojama atlikti kartu su integruota skaitmenine kamera ir sudaryti ortofotografinius žemėlapius. Nurodoma, kad Lietuvoje lazerinį skenavimą iš orlaivio galima efektyviai taikyti stambiųjų mastelių žemėlapių, ypač miškingų plotų, reljefo nuotraukai atnaujinti, taip pat miškotvarkoje bei pastatų ir miestų 3D modeliams pagal GIS poreikius sukurti.

Reikšminiai žodžiai: topografija, skenavimas lazeriu, žemės paviršiaus modeliavimas, 3D GIS.

1. Įvadas

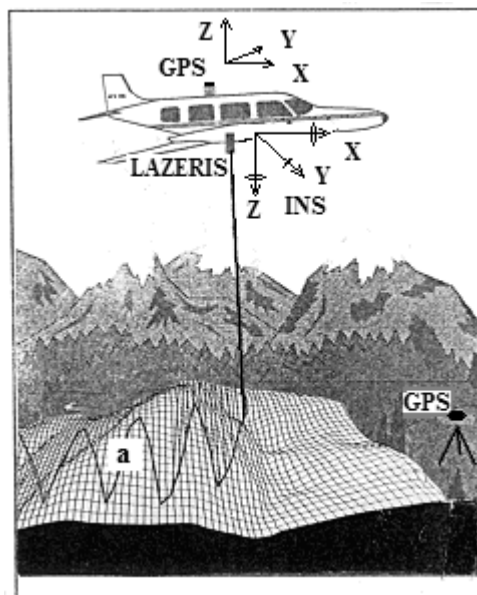
Naujai sukurtas ir pastaruoju metu geografinė informacijai apie erdvinį žemės paviršių kaupti pradėtas taikyti efektyvus vietovės skenavimo (zondavimo) lazeriu iš orlaivio metodas *LIDAR* (*Light Detection and Ranging*) [1, 2]. Gaunama nereguliari labai tanki taškinė trijų dimensijų žemės paviršiaus objektų išdėstymą modeliuojanti geometrinė ir radiometrinė informacija. Šis metodas teikia naujų žemės paviršiaus, ypač reljefo, taip pat pastatų, miškų ir kitų objektų modeliavimo ir tyrimo galimybių. Šį metodą norima taikyti ir Lietuvoje.

LIDAR yra naujų geoinformatikos ir skaitmeninės fotogrametrijos metodų bei technologijų sudėtinė dalis. Specialioje mokslinėje literatūroje yra, nors ir nedaug, o lietuviškoje visai nėra, žinių apie žemės paviršiaus skenavimą lazeriu iš oro. Straipsnyje pateikiama vietovės skenavimo lazeriu iš oro principas, skenerių tipai, nagrinėjamos vietovės sąlygos, analizuojama praktinio taikymo technologija ir rezultato tikslumas. Lyginama su aerofotonuotraukos būdu. Šio darbo tikslas – išnagrinėti *LIDAR* technologijos ypatumus, nustatyti gaunamą tikslumą bei metodo efektyvumą ir taikymo Lietuvoje tikslingumą.

2. Vietovės paviršiaus skenavimas lazeriu

Lazerinis skeneris įtaisomas lėktuve arba sraigtasparnyje. Skrendant optinis elektroninis blokas generuoja lazerio impulsus ir aukštu matuojamuoju dažniu (*Pulse frequency*), iki 100 000 impulsų per sekundę, aktyviais jutikliais matuoja atstumus iki žemės

paviršiaus, medžių lajos, pastatų stogų ir kitų objektų. Impulso trukmė – 7–15 ns. Vyraujantys virpesiai dažnai esti artimieji infraraudonieji, bangos ilgis – $700 \text{ nm} \leq \lambda \leq 2000 \text{ nm}$. Modernių lazerinių sistemų skenavimo dažnis – 58–83 Hz (1 pav.).



1 pav. Skenavimo lazeriu principas: a – lazerio taškų paskirstymo žemės paviršiuje pėdsakas kreipiant spindulį veidrodžiu

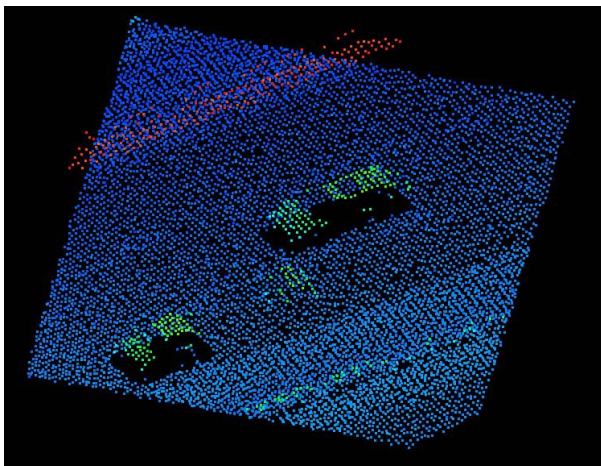
Fig 1. Principle of airborne laserscanning: a – the footprint of laserpoints distribution on ground by using turned mirror method

Nuo žemės paviršiaus atspindėtieji impulsai registruojami fotodiodiniu registratoriumi. Pagal impulsų išsiuntimo ir jų atspindžių registravimo laiko skirtumą nustatomas vertikalus arba nuožulnus (skrydžio kryptimi) nuotolis iki žemės paviršiaus objekto (taikinio) taškų. Esti skenerių, kurie atstumą iki žemės matuoja pagal šviesos srauto virpesių fazių skirtumus.

Iš pradžių lazeriu buvo skenuojama tik išilgai lėktuvo skrydžio (profilinis skenavimas). Neseniai sukurta skenavimo skersai skrydžio krypties metodika. Skenuojamas tam tikro pločio ištisinis ruožas, kurio plotis – apie 0,5–0,9 skrydžio aukščio. Kiekvieno ruožo kraštas dengia kito ruožo kraštą.

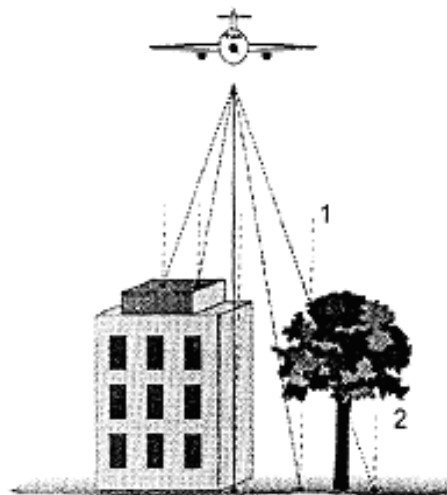
Skenavimo lazeriu sistema nustato erdvinės polines koordinatas (kampinis rastras), jų pradžia fiksuoja GPS aparaturą. Kintančiam polinių koordinačių sistemos orientavimui erdvėje XYZ ašių atžvilgiu įrengta inercinė navigacinė sistema (INS) (1 pav.) [3]. Lazerinis skeneris, GPS ir INS veikia sinchroniškai, prieš skrydžio misiją nustatomi jų ekscentricitetai. Reikia bent vienos GPS referencinės stoties su žinomomis krašto koordinatėmis ir žinomu geoido aukščiu virš elipsoido (unduliacija). GPS ir INS teikia 3 tradicinius linijinius ir 3 kampinius aeronuotraukos absoliutinio orientavimo elementus.

Lazerio spindulys kraipomas veidrodiniu įtaisu (*Optech-System*) arba taikoma sistema su lanku išdėstyta lazerio diodų eilute (*laser-array*) – linijinis skenavimas (pvz., *Dornier-System*). Skenuojant sukuriama žemės ar kito paviršiaus trijų dimensijų lazerio taškų visumos modelis („taškų debesis“) (2 pav.) [4]. Taškų tankis labai didelis – iki keleto, keliolikos ar kelių dešimčių taškų viename kvadratiname paviršiaus metre. Sukaupiama šimtai disko erdvės gigabaitų informacijos.



2 pav. Lazerio „taškų debesis“: automobiliai plente [4]
Fig 2. Cloud of laserpoints: cars on the highway

Lazerio spindulį atspindi ne tik žemės paviršius, bet ir medžių laja, krūmai, pastatai bei kiti paviršiai (3 pav., [4]). Nustatyta, kad vidutinė lazerio spinduliu skvarba iki žemės spygliuotų medžių miške esti apie 35 %, o lapuočių miške vasarą apie 25 %, žiemą – iki 70 %, atitinkamai pagal medžių tankumą. Dalis impulso energijos atspindima, o kita dalis sklinda toliau spindulio kryptimi.



3 pav. Skenavimas lazeriu: 1 – pirmasis ir 2 – paskutinis atspindžiai

Fig 3. Laserscanning: 1 – first pulse; 2 – last pulse

Registruojami pirmojo ir paskutiniojo, o dažnai ir tarpinių (pvz., nuo medžių lapijos) atspindžių impulsai. Atspindžiai perteikia taškinį tam tikro aukščio paviršiaus modelio atvaizdą. Gamtinių aplinkybių skenuojant žemės paviršių lazeriu įtaka nedidelė. Galima matuoti bet kuriuo paros bei metų laiku, taip pat apniukusią dieną skrendant žemiau debesų. Trukdo migla bei rūkas (priklauso ir nuo lazerio šviesos šaltinio). Lazeris gerai skenuoja paviršius be tekstūros (šviesus betonas, smėlis, jūros pakrančių ruožai, kartais vanduo). Pavieniai lazerio spinduliai per medžių tarpus miške pasiekia žemės paviršių ir taip galima rasti taško trimates koordinatas.

Lazerinis skeneris taip pat fiksuoja nuo objektų spindulingumo priklausančią lazerio impulsų atspindžių optinio skaisčio, dažnai ir spalvinį (raudonos, žalios, mėlynos), intensyvumą (multispektrinis skeneris). Taip kaupiama detali geometrinė (metrinė) ir radiometrinė (semantinė) informacija apie skenuojamąjį modelį. Vaizdus galima ortofotografiškai transformuoti ir jungti į mozaikas. Tik skiriamoji geba yra mažesnė negu stambiojo mastelio aerofotonuotraukų. Lazerio spindulio sklaidos pėdsako žemės paviršiuje (*spot*) skersmuo skrendant 1000 m aukštyje esti apie 0,15–0,30 m. Įprastieji skrydžių aukščiai – 500–2000 m. Lazerio skeneriai įrengiami ir dirbtiniuose Žemės palydovuose.

3. Lazerio skenerių tipai

Dažniausiai naudojami *puslaidininkiniai impulsiniai pavienių atspindžių skeneriai (Discrete return system)*. Šio tipo skeneriai sukuria skenuoto paviršiaus atvaizdų erdvinį „taškų debesį“. Paminėtini šio tipo skeneriai: *Optech-System (ALTM-1233; -1020; -3100)* – bendri Kanados „Optech“ ir Vokietijos „TopScan“ kompanijų gaminiai; „Dornier-System“ („TopoSys“, Vokietija); *ALS-50 (Leica)*; *ALS40 („LH Systems“, JAV)* ir kt.

Visos atspindėtosios bangos lazerio skeneriai (Full waveform laser scanner) – tai naujo tipo lazeriai. Registruojama ne pavieniai lazerio atspindžiai, o visa

neriboto skaičiaus lazerio impulsų atspindėtos (pvz., nuo žemės paviršiaus, medžių šakų, kitų objektų) koherentinės (tolydžiosios) bangos forma, sudaranti analoginę liniją, gaubiančią objektą [2] (Wagner, Ducic). Tokie yra skeneriai *Riegl LMS-Q56* (Vokietija) ir *ALTM-3100* (modifikacija). Galima tiksliau analizuoti atspindžių taikinius bei paviršių struktūras (1 lentelė).

1 lentelė. Kai kurių lazerio skenerių techniniai duomenys
Table 1. Some laser scanners technical specifications

Techniniai duomenys	<i>Optech ALTM- 3100</i>	<i>Dornier-System</i>
Nešančiųjų virpesių bangos ilgis	1064 nm	1540 nm
Matavimo impulsų dažnis	100–33 kHz (atitinkamai pagal skrydžio aukštį)	80 kHz
Aukštis	80–3500 m	iki 1000 m
Skenavimas	dinaminis impulsinis	Statinis su stiklo pluošto diodais (array)
Skenavimo dažnis	iki 70 Hz (keičiamas)	320 Hz (kai skrydžio greitis 70 m/s, tai atstumas tarp eilučių 22 cm)
Skenavimo riuožas	iki $\pm 25^\circ$ (keičiamas)	$\pm 10^\circ$ su 255 matavimo taškais – pikseliais (atstumas tarp taškų 1,4 m)
Registravimas	4 atspindžiai (įskaitant pirmąjį ir paskutinįjį); atspindžių intensyvumas	Pirmasis ir paskutinis atspindžiai ir jų intensyvumas
Spindulio pėdsakas (sklaida)	0,3 mrad arba 0,8 mrad (30 cm ir 80 cm žemėje, kai aukštis 1000 m)	

Lazeriniai skeneriai su integruota skaitmenine kamera (*ALTM-2050*) arba su videokamera (*ALTM-1225*). Pagal skaitmeninės kameros informaciją sudaromas planimetrinis vietovės modelis (pvz., ortofotografinis žemėlapis), o skenavimo lazeriu rezultatai naudojami aukščių modeliui sukurti.

4. Technologijos ypatumai

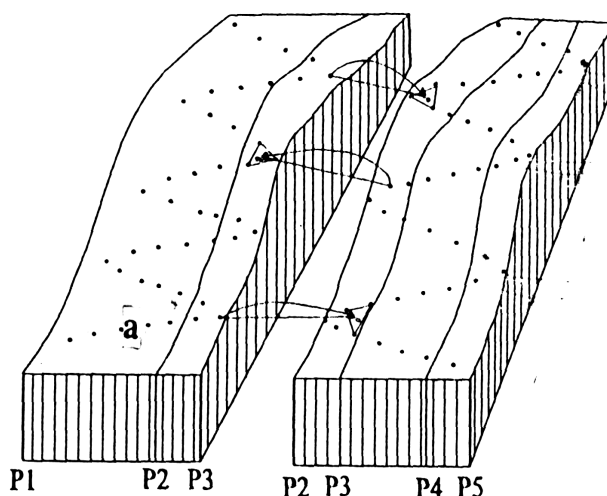
Daug informacijos apdorojama realiojo laiko režimu.

LIDAR, GPS ir INS duomenų sinchronizavimas. Polinės lazerinių taškų koordinatės perskaičiuojamos į WGS 84 sistemą ir pagal žinomus parametrus bei geoido aukštį virš elipsoido transformuojamos į krašto koordinatinių sistemą (Lietuvoje LKS 94).

Sistemos (GPS, INS bei skenerio) kalibravimas. Laikoma, kad lėktuvo kinematinė GPS pozicionavimo paklaida dėl dreifavimo esti apie ± 10 cm (paklaida didėja ilgėjant skrydžio ruožui), o INS – $\pm 0,01$ gon, tai, esant 1000 m aukščiui, žemės paviršiuje sudarytų apie ± 16 cm.

Siekiant eliminuoti sistemingas paklaidas, sistema kalibruojama sujungiant pavienių skenavimo ruožų modelius ir naudojant skersines skrydžių sekcijas, taip pat atraminius elementus. Bendras blokas formuojamas ir išlyginamas kartu su sinchronizavimo procedūromis. Atraminiai kalibravimo elementai taisyklingos geometrinės formos dideli antžeminiai ryškių ribų objektai (ilgi pramoniniai pastatai, angarai ir pan.). Šių objektų padėtis tiksliai nustatoma geodeziniais metodais (dažniausiai GPS). Atliekamas šių objektų *LIDAR* skenavimas ir pagal atvaizdų poslinkius apskaičiuojamos sistemos kampinio orientavimo pataisos. Skenerio jutiklius reikia kalibruoti laboratorijoje.

Jungiamieji elementai. Skenuojant lazeriu būdinga tai, kad tarp gretimų ruožų modelių („taškų debesų“) nėra identiškų taškų. Vieno ruožo lazerio taško aukštį atitinkantis gretimų ruožo modelio jungiamasis taškas randamas automatiškai interpoliuojant nusistatytojo paviršiaus, pvz., 3D trikampio, plote (4 pav.) [1]. Erdviniam (X, Y, Z) modelių jungimui parenkami apibrėžtų ribų paviršiai (plokštumos) – dažnai nuožulnios stogų plokštumos su mažiausiai 4 fiksuotais taškais. Trys tokios plokštumos atstoja vieną erdvinį jungiamąjį tašką. Ruožų modeliai sujungiami fotogrametrijoje žinomu derinimo metodu (MATCHING) [2] (Kager). Išoriniai tinklo atraminiai elementai – tai krašto koordinatinių sistemoje orientuoti pavieniai maži vietovės paviršiaus 3D modeliai arba trys taškais susietos plokštumos (trys laisvės laipsniai – vienas atraminis taškas).



4 pav. Lazeriu skenuotų modelių aukščių jungimas: a – lazerio taškai [1]

Fig 4. Lidar-stips of high tying: a – laserpoints

Informacijos filtravimas ir klasifikavimas. Nereikalingo tankio, aukštesnių dažnių, taip pat dėl matavimų triukšmų įtakos lazerio impulsų taškai filtruojami ir klasifikuojami. Kai žemės paviršius lygus ir atviras, eliminuojama didesnė dalis registruotų taškų.

Klasifikuojant atskiriami medžių viršūnių, pastatų, žemės paviršiaus ir kitų taikinių atspindėti lazerio impulsų taškai, ir taip suformuojami objektų modeliai.

Formuojant žemės paviršiaus modelį, automatinio būdu eliminuojami visi ne žemės paviršiaus taškai.

Objektų modelių vizualizavimas ir redagavimas. Monitoriaus ekrane vizualizuoto „taškų debesies“ ortogonaliojoje projekcijoje atliekami reikiami matavimai. Nereguliari aukščių informacija interpoliuojama trikampių tinkleliais (*Delaunay* trianguliacija), reljefo atvaizdas gludinamas, matuojami ir redaguojami pastatų, miškų, pavienių medžių, kelių, upių, elektros tiekimo linijų 3D modeliai, kuriamas vektorinis vaizdas.

5. Tikslumo analizė

LIDAR lazerio spindulys nuotolį iki kieto paviršiaus išmatuoja 1–3 cm tikslumu. Tačiau vietovės skenavimo lazeriu tikslumą lemia skenerio savybės, skrydžio aukštis ir skenuojamojo ruožo plotis, skenerio pozicionavimo GPS ir orientavimo INS paklaidos, lazerio spindulių dažnis ir sklaida, atmosferos sąlygos ir ypač – atspindinčiojo paviršiaus savybės bei kiti veiksniai.

Aukščių tikslumas (Z) didelis. Prof. K. Kraus [2] vidutinėms kvadratinėms žemės reljefo modelio, sudaryto pagal lazerio taškus, absoliutinių altitudžių paklaidoms σ_h apskaičiuoti rekomenduoja formulę:

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

čia n – tinkamų taškų tankis, susijęs ir su skrydžio aukščiu (skaičius 1 m² plote); α – žemės paviršiaus nuolydis; 6 ir 50 – empiriniai parametrai.

1 atvejis (vietovė atvira): atstumas tarp skenavimo taškų – 1 m arba 2 m, taškų tankis – atitinkamai 1 ir 0,25 taško 1 m²; kai $\alpha = 10\%$ (6°), $\sigma_h = \pm 11$ cm ir ± 17 cm.

2 atvejis (miškas): vidutinis atstumas tarp lazerio taškų žemės paviršiuje – 4 m (skvarba – 25 %), atitinkamai $n \approx 0,0625$ taško 1 m²; kai $\alpha = 10\%$, $\sigma_h = \pm 29$ cm.

Horizontalusis tikslumas (X, Y) artimai siejamas su skrydžio aukščiu bei paviršių pobūdžiu ir, turimomis žiniomis, esti nuo 1/1000 iki 1/3000 šio aukščio, pvz.: skenuojant iš 1000 m aukščio tikėtinos 0,5 m ir didesnės paklaidos.

Gamintojas pateikia tokias skenerių *ALTM* taškų altitudžių paklaidas [5]: $\sigma_h \leq \pm 15$ cm, kai skrydžio aukštis 1200 m, $\sigma_h \leq \pm 25$ cm ir $\sigma_h \leq \pm 35$ cm skenuojant atitinkamai iš 2000 ir 3000 m aukščių, o planimetrinės paklaidos (1σ) esti 1/3000 skrydžio aukščio (vietovė atvira, paviršius kietas).

Iš kai kurių autorių pateikiamų empirinių duomenų matyti, kad realiomis sąlygomis lazerinio skenavimo tikslumas, ypač planimetrinis, esti mažesnis. Pavyzdžiui, H. G. Maas [6] pateikia tokias empirines vidutines kvadratinės paklaidas (nuokrypius) pagal koordinacių ašis X/Y/Z: 49/41/12 cm, kai skrydžio aukštis 500 m.

K. Kraus [1] pateikia Vienos miško *LIDAR* nuotraukos (skrydžio aukštis 1000 m) vertikalųjį tikslumą $\sigma_h = \pm 0,50$ m. Hamburgo miesto gatvių modelių, sukurtų *LIDAR* metodu, aukščių paklaidos

$\sigma_h = \pm 10$ –15 cm, o planimetrinės paklaidos – iki 0,50 m [7].

Apibendrinus šiuos duomenis galima teigti, kad vietovės paviršiaus modelio, sudaryto atliekant lazerinį skenavimą iš orlaivio, vidutinė kvadratinė aukščių paklaida galima 10–20 cm, o horizontalusis tikslumas – 1/1000–1/2000 skrydžio aukščio. Konstatuojamas akivaizdus sisteminis efektas.

6. Praktinio taikymo galimybės

Topografinių duomenų kaupimas atliekant lazerinį skenavimą iš orlaivio labai efektyvus būdas. Jį taikant galima sukaupti tikslią informaciją apie reljefą net miškingų vietovių. Manoma, kad pagal skenavimo lazeriu iš orlaivio rezultatus galima sudaryti 1:2000 mastelio žemėlapi. Tačiau atviroje teritorijoje pranašumas dažnai teikiamas aerofotogrametriniams metodams [1]. Galimas ir hibridinis variantas, kai kartu naudojami *LIDAR* ir aerofotonuotraukos duomenys.

Skenuojant lazeriu iš oro galima automatizuotai nustatyti topografinių duomenų (ypač pastatų ir statinių) pokyčius ir įvertinti GIS duomenų bazės kokybę [8].

Dėl vandens paviršiaus veidrodinių savybių lazerio atspindžių signalai nutrūksta. Tačiau ir ramus vanduo atspindi 1–2 % viso impulsų skaičiaus (kai nešančiosios bangos ilgis 1,0 μm), tad to užtenka vandens lygio geodezinei altitutei nustatyti. Kai nešančiosios bangos ilgis 1,5 μm, vanduo visiškai absorbuoja elektromagnetinius virpesius. Lazerinis skenavimas gerai tinka upių potvyniams tirti.

Miškininkystėje taikant lazerinį skenavimą iš orlaivio daroma miško inventorizacija, nustatomi medžių biometriniai ir taksaciniai rodikliai, suformuojami medžių kupolai, apskaičiuojamas jų tankumas ir aukštis, nustatomos medžių rūšys.

Lazeriniai miško atvaizdai profiliuojami ir sluoksniuojami pagal medžių aukštį ir pagal atspindžius. Žinant bandomuosiuose plotuose antžeminiu būdu nustatytus rodiklius, regresijos būdu su 7–10 % ribine paklaida apskaičiuojamas medžių kamienų storis, miško biomasė ir medienos kiekis bei svoris (fitomasė).

Elektros tiekimo linijų atramos ir laidai atspindi lazerio impulsus, todėl pagal įstrižių spindulių atspindžių taškus galima rekonstruoti atramų ir laidų atvaizdus, apskaičiuoti keleto centimetrų tikslumu laidų įlinkių parabolės, prognozuoti laidų būklę dėl atmosferos sąlygų.

Svarbi *LIDAR* taikymo sritis *pastatų ir miestų modeliavimas*, ypač kuriant trimates geoinformacines sistemas (3D GIS). Sukurti pusiau automatiniai ir automatiniai lazerinių duomenų analizės ir pastatų rekonstravimo metodai. Atkuriamos segmentų geometrinės struktūros, taškai, tiesės (briaunos), paviršiai ir tūriniai pastatų su stogais modeliai rekonstruojami. Įvairiu rakursu sudaromi apibendrintieji ir detalieji miestų modeliai su pavieniais medžiais.

7. Palyginimas su aerofotogrametrijos metodais

Paminėtini tokie svarbesnieji veiksniai:

- Žemės paviršiaus bei kitų objektų (pastatų, medžių ir kt.) taškų erdvinei padėčiai *LIDAR* metodu

fiksuoti užtenka 1 lazerio spindulio atspindžio, o taškui fotogrametriškai koordinuoti reikia mažiausiai dviejų spindulių iš skirtingų aerofotografavimo centrų sankirtos. Todėl taikant *LIDAR* skenavimą galima nesunkiai sukaupti tikslią informaciją apie medžiais, miškais apaugusias bei pastatais užstatytas vietovės reljefą ir kitų objektų aukščius, ypač kur negalima taikyti stereofotogrametrijos metodų.

- Planimetrinė vietovės nuotrauka dažnai kokybiškiau atliekama aerofotogrametriniais metodais [1 ir kt.]. Galimas ir hibridinis variantas.

- Panaudojant firmos „Terra Imaging“ (Olandija) [4] ir literatūros šaltinyje [9] (Vokietija) pateiktus duomenis, 2 lentelėje nurodomos kai kurių Europos valstybių skaitmeninio vietovės reljefo modelio sukūrimo kainos.

2 lentelė. Reljefo skaitmeninio modelio sukūrimo kainos
Table 2. Costs for digital elevation models acquisition

Metodologija	Aukščių tikslumas [σ_h]	Kaina, eurų/1 km ²	
		Literatūros šaltiniai	
		[9]	[4]
Ortofotogrametrija ¹ , skrydis 1:6500	± 10cm	270	
Ortofotogrametrija ¹ , skrydis 1:13000	± 20 cm	80	
<i>LIDAR</i> ¹	± 5–10 cm		200–330
<i>LIDAR</i> ²	± 15 cm	390	
<i>LIDAR</i> ²	± 15–25 cm		125
<i>LIDAR</i>	± 2 m	15	

Pastabos:

¹ Atvira nemiškinga vietovė.

² Miškas, pastatų aukščiai, pakrantės.

- Greitas paviršiaus skaitmeninio modelio sukūrimo procesas, nors skrydžių trukmė ilgesnė nei darant aerofotonuotaukus. Lazerinio skenavimo skrydžius mažiau riboja oro sąlygos. Aerofotografijai reikia labai gerų atmosferos sąlygų (jutikliai pasyvūs).

8. Išvados

1. Skenavimas lazeriu iš orlaivio yra naujas efektyvus žemės paviršiaus bei objektų skaitmeninio atvaizdavimo metodas. Skenavimas lazeriu ypač veiksmingas ten, kur sunku arba negalima taikyti stereofotogrametrijos būdo (užstatyta, medžiais apaugusi teritorija, jūros pakrantė), taip pat kuriant 3D pastatų bei miestų modelius, tiriant miškų, elektros linijų, užsemtų teritorijų, augmenijos ir kitokių objektų būklę.

2. Galimybė greitai ir palyginti nebrangiai padaryti detalią miškingos teritorijos reljefo nuotrauką, formuoti miestų 3D modelius pagal GIS poreikius, atlikti kai kurius kitus specialius tyrimus – tai lazerinio skenavimo metodo pranašumai, palyginti su aerofotonuotaukos būdais. Tačiau planimetrinė vietovės nuotrauka aerofotogrametriniu būdu dažnai yra tikslesnė ir kokybiškesnė. Rekomenduojama tam tikrais atvejais lazerinį skenavimą daryti kartu su vietovės skaitmenine aerofotonuotrauka.

3. Remiantis atlikta analize, galima teigti, kad Lietuvoje lazerinį skenavimą iš orlaivio tikslinga taikyti stambųjų mastelių žemėlapių reljefo nuotraukoms atnaujinti, taip pat miškų inventorizacijai, pastatų ir miestų erdviniams modeliams kurti. Lietuvos teritorijos reljefo nuotrauka, dažniausiai mišku apaugusiose vietose, daug kur yra labai netiksli.

Literatūra

1. Kraus, K. Photogrammetrie. Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanner-aufnahmen. 7te Veröffentlichung. Berlin–New York: Walter de Gruyter Verlag, 2003. 516 S.
2. Kraus, K.; Wagner, W.; Kager, H.; Ducic, V. et al. Laser Scanning – Data Acquisition and Modeling. TU Vienna University Course, October 2005, p. 1–90.
3. Kilian, J.; English, M. Topographische Geländeerfassung mit flächenhaft abtastenden Lasersystemen. *Z. f. Photogrammetrie und Fernerkundung*, No 6. Karlsruhe: Verlag Wichmann, 1994, S. 207–214.
4. Van der Vegt, J. W.; Hoffmann, A. Airborne Laserscanning. Technology and Applications. LIDAR Seminar in Vilnius, March 2005. Terraimaging, p. 1–47.
5. Holter, A. Airborne Laser Scanning. Basic principles – Data acquisition. Processing – Applications. LIDAR Seminar in Vilnius, March 2005. Blom, p. 1–25.
6. Maas, H. G. Planimetric and height accuracy of airborne laserscanner data: User requirements and system performance. In: Photogrammetric Week 2003. Heidelberg: Verlag Wichmann, 2003, S. 117–124.
7. Ettrich, N.; Sieh, W. Detaillierte städtische Höhenmodelle aus Laserscannerdaten zur Simulation oberflächigen Wasserabflusses. *Z. f. Vermessungswesen*, No 2. Stuttgart: Verlag K. Witwer, 2006. S. 53–60.
8. Vosselman, G.; Kessels, P.; Gorte, B. The utilization of airborne laser scanning for mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol 6, Enschede: Elsevier, 2005, p. 177–186.
9. Konecny, G. Geoinformation. Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information System. London and New York: Taylor & Francis, 2003. 248 S.

Albinas ŽALNIERUKAS. Associate Professor, Doctor.

Vilnius Gediminas Technical University, Dept of Geodesy and Cadastre. Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania (Ph +370 5 273 5385, Fax +370 5 274 4705).

A graduate of Moscow land surveying engineering institute (engineer of geodesy, 1959). Doctor (1969). Research course in Moscow (1986), training course in Norway “Fjellanger Widerøe” AO (1995, 1996). Author and coauthor of three text-books and 85 scientific papers.

Research interests: aerophotogrammetry.

Kęstutis ČYPAS. 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).

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) (MSc, 2001). Post graduate studies at Gjøvik University College in 1998. Author of 6 publications.

Research interests: geoinformation systems, 3D modelling.