



LIDAR ŽEMĖS PAVIRŠIAUS TAŠKŲ MASYVO SUPAPRASTINIMO ALGORITMŲ PARAMETRŲ PARINKIMAS

Žilvinas Stankevičius¹, Aušra Kalantaitė²

¹Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva
El. paštas zilvinas.stankevicius@vilnius.lt

²Nacionalinė Žemės tarnyba, Žemės ūkio ministerija,
Gedimino pr. 19, LT-01103 Vilnius, Lietuva
El. paštas AusraK@zum.lt

Įteikta 2009 01 12; priimta 2009 03 21

Santrauka. Straipsnyje pristatomas LIDAR taškų filtravimo eksperimentas. Filtravimo tikslas – panaikinti perteklinius spaudinių planams sudaryti ir projektuoti taškus. Siekiama sumažinti LIDAR duomenų apimtį išlaisvinant filtruotais duomenimis paremtų sprendimų tikslumą ir patikimumą. Tyrimų rezultatas – parinkti tinkami filtrų parametrai.

Tyrimų eigoje buvo taikomos taškų glodinimo, retinimo, būdingųjų taškų išsaugojimo funkcijos. Taip pat tirtas kombinuotasis filtrų taikymo būdas. Skirtingų parametrų dydžių taikymo rezultatai įvertinti tūrių palyginimo metodu. Leistinasis tūrių skirtumas po filtravimo funkcijos pritaikymo nustatytas remiantis praktikoje taikomos Žemės darbų tūrių skaičiavimo metodikos tikslumu.

Reikšminiai žodžiai: LIDAR, skaitmeninis paviršiaus modelis, filtravimas.

1. Įvadas

Skaitmeniniam vietovės paviršiaus modeliui (*Digital Terrain Model, DTM*) sudaryti vis plačiau taikoma skenavimo iš orlaivių lazerinė sistema (*Light Detection and Ranging, LIDAR*). Pagrindinis LIDAR sistemų taikymo motyvas yra LIDAR geba per trumpą laiką surinkti didelius aukščio (apdorojus dažniausiai nustatomas absoliutusis aukštis) informacijos masyvus (Schickler, Thorpe 2001; Žalnierukas, Čypas 2006). Pagal Nacionalinę kartografavimo programą 2007 m. liepą suformuoti pagrindinių Lietuvos miestų lazerinio skenavimo duomenys.

Pirminiai LIDAR sistemos surinkti duomenys – tai ne tik informacija apie Žemės paviršiaus aukščius. Nors daugelis LIDAR sistemų gali priimti vėliausiai grįžusio atspindžio reikšmę, šie gauti taškai yra ne tik Žemės paviršiaus matavimų, bet ir tankios augalijos dangos, automobilių, pastatų ir kitų žmogaus sukurtų objektų matavimų duomenys. Daugelyje taikymo atvejų, pvz., siekiant nubraižyti horizontales, projektuojant kelius, tūrių skaičiavimams, krantų erozijai stebėti – reikia tik Žemės paviršiaus modelio (*Digital Surface Model, DSM*).

LIDAR skenavimo Žemės paviršiaus duomenys kai kuriems uždaviniams spręsti yra pertekliniai. LIDAR taškų tankiui esant 2 tšk./m², be papildomo filtravimo neįmanoma sukurti spaudinės kartografinės medžiagos. Siekiant, kad Nacionalinės kartografavimo programos in-

vesticijos būtų panaudotos efektyviai, t. y. sukurti LIDAR duomenys būtų tinkami naudoti kaip pirminiai atliekant geodezinius vietovės tyrinėjimus ir kaip pagrindas projektuojant, perteklinius LIDAR duomenis reikia filtruoti.

2. Ankstesnių tyrimų apžvalga

LIDAR sistema greitai gaunamas taškų su nustatytu aukščiu masyvas. Taškų masyvo rankinis filtravimas, t. y. taškų skaidymas į gautus lazerio spinduliui atsispindėjus nuo Žemės ir nuo vietovės objektų (toliau tekste klasifikavimas), glodinimas ir retinimas, reljefo lūžio briaunų nustatymas tampa neįmanomi. Pastaruosius 10 metų daug tyrinėtojų kuria automatinius filtravimo metodus. Kai kurių filtrų mechanizmai yra publikuoti ir žinomi, kai kurių – nežinomi dėl autorių suvaržymų ribojant informaciją. Analizuojant paskelbtąsias užsienio šalių tyrinėtojų publikacijas akivaizdu, kad didesnė dalis tyrinėjimų skirta filtravimo algoritmams sukurti LIDAR matavimų taškams klasifikuoti (Elmqvist 2001; Sohn, Dowman 2002; Roggero 2001; Axelsson 2001; Vosselman 2000; Sitholea, Vosselman 2005).

Apžvelgus naudojamų LIDAR taškų tarpusavio padėties įvertinimo algoritmus išryškėjo trys požiūriai: a) duomenų interpoliavimas į GRID (skaidymas taisyklingu tinkleliu), pasitaikantis juos naudojant reljefo lūžio linijoms nustatyti (Brügelmann 2000), klasifikuojant

taškus (Wack, Wimmer 2002); b) trianguliacijos tinklo taikymas taškams klasifikuoti (Sohn, Dowman 2002; Axelsson 2001), retinti (Kersting, J., Kersting, A. 2005); c) grafų išraiškos ir geometrinės kaimynystės taikymas taškams klasifikuoti (Vosselman 2000), retinti (Axelsson 2001), natūraliai kaimynystės sistemos tarp taškų sukurti (Filin, Pfeifer 2005). Pirmam ir antram požiūriui būdinga dviejų dimensijų (2D) koncepcija, ji adaptuota 3 dimensijų (3D) duomenims.

Tyrimai, kuriuos atliekant taikoma GRID technologija, nenagrinėti, nes interpoluoti pradiniai duomenys, taip prarandamas taškų altimetrinis tikslumas.

E. Paska ir J. A. Ray (2007) pateikė *LIDAR* masyvo retinimo taikant geometrinę kaimynystę rezultatus. Autoriai pritaikė komercinės programinės įrangos *TerraScan* būdingųjų taškų išsaugojimo funkciją ir, neprarasdami aukščių tikslumo, sumažino *LIDAR* taškų rinkinį 58 %. Taikydami kitą funkciją su 0,8 m horizontaliojo ir 0,03 m vertikaliojo atstumo parametrais, prarasdami Žemės paviršiaus altimetrinį tikslumą, sumažino *LIDAR* taškų rinkinį 78 %.

J. Kersting ir A. Kersting (2005) panaudojo originalų *TIN* sandaros taškų retinimo algoritmą. Supaprastinto paviršiaus altimetrinis tikslumas įvertintas taikant aukščių skirtumą nuo pradinio paviršiaus. Autorių teigimu, pradinis *LIDAR* taškų tikslumas išsaugomas palikus 43–63 % taškų.

3. Taškų masyvo supaprastinimo problemos formulavimas

Išanalizavus publikacijas akivaizdu, kad praktiniams tikslams *LIDAR* taškų masyvas yra retinamas. Šiam tikslui kuriami originalūs filtravimo algoritmai, dažnai – moksliniams tyrimams. Keletas jų, praktinio naudojimo, yra įdiegti komercinėje programinėje įrangoje (pvz., *TerraScan*). Publikuojamuose straipsniuose nagrinėjami moksliniai ir komerciniai *LIDAR* taškų retinimo algoritmai, tačiau parinktų algoritmų parametrų įtaka sukurtu paviršiaus altimetriniam tikslumui išsamiai nenagrinėta.

Tyrimų tikslas – nustatyti praktiniam naudojimui adaptuotų filtravimo algoritmų parametrus retinimo ir aukščių klaidų korektūrai (glodinimui). Eksperimentui parinkti P. Axelsson (2001) algoritmai įdiegti komercinėje programinėje įrangoje *TerraScan*. Siekiama nustatyti parametrų ribines reikšmes, kad juos pritaikius minėtiems filtrams, *LIDAR* duomenys liktų tinkami inžineriniams uždaviniams spręsti.

Atliekant tyrimus reikia atsižvelgti į *LIDAR* sistema išmatuotų taškų altimetrinį tikslumą. Lazerinių matavimų tikslumą lemia 3 pagrindiniai klaidų šaltiniai (Löffler 2003):

GPS (*Global Position System*) – padėtis (<0,05 m, *PDOP* 2.5);

INS (*Inertial Navigation System*) – kampo matavimas (0,17–0,35 mrad);

lazeris – atstumo matavimas (0,02 m).

Pagrindinė *z* reikšmės klaidų dalis yra *GPS* ir lazerio klaidos. Altimetrinis taškų tikslumas gaunamas apie 0,15 m, kai skrydžio aukštis 800 m (Löffler 2003). Kiti tyrinėtojai pateikia artimas altimetrinio tikslumo reikšmes: 0,1–0,3 m, kai skrydžio aukštis 1000 m (Žalnierukas, Čypas 2006), 0,16 m, kai skrydžio aukštis 1100 m (Peng, Shih 2006). Šis tikslumas siejamas su lazerio spindulio dėmės centru paviršiuje.

Antrasis filtravimo parametrų ribinėms reikšmėms įtakos turintis faktorius yra minimalus taškų tankis. Šią

reikšmę apibrėžia Geodezijos ir kartografijos techninis reglamentas „Statybiniai inžineriniai geodeziniai tyrimai“ (GKTR 2.08.01:2000): stambiojo mastelio topografinių planų kiekviename kvadratiname decimetre turi būti įrašyta ne mažiau kaip penki būdingieji reljefo aukščio taškai ir ne rečiau kaip kas 20 m.

Trečiasis atraminis dydis yra žemės darbų tūrio, apskaičiuoto pagal filtruotus taškus, paklaida. Skaičiuojamo žemės darbų tūrio tikslumas priklauso nuo aukščio taškų išsidėstymo, tankio ir tikslumo. Būtina įvertinti, kad praktikoje tūriams skaičiuoti taikomas plotų niveliavimas skaidant teritoriją taisyklingu tinklu.

4. Eksperimentas filtrų parametrų įtakai nustatyti

Moksliniai tyrimai orientuojami į *LIDAR* Žemės paviršiaus taškų analizę, t. y. tariama, kad pirminiai *LIDAR* duomenys išskaidyti į Žemės paviršiaus ir objektų taškus, laikant, kad *LIDAR* sistema išmatuotų Žemės paviršiaus taškų altimetrinis tikslumas yra artimas 0,20 m. *LIDAR* skenavimo taškų (toliau tekste – taškai) masyvui apdoroti taikomos filtravimo funkcijos sumažina pagal šiuos duomenis kuriamo paviršiaus altimetrinį tikslumą. Tyrimų tikslas – nustatyti optimalius P. Axelsson pasiūlyto filtro parametrus glodinant Žemės paviršių ir retinant perteklinį *LIDAR* skenavimo taškų masyvą. Eksperimentuojant lyginami pagal skirtingais parametrais filtruotų taškų masyvus sukurti Žemės paviršiai su Žemės paviršiumi, sukurtu pagal nefiltruotus *LIDAR* skenavimo taškus (etaloninis paviršius). Pagrindiniu vertinimo kriterijumi laikomas žemės tūrio skirtumas.

Eksperimentui parinkta Vilniaus teritorija šalia Baltojo tilto (1 pav.). Teritorijos reljefas apibūdinamas kaip tolydus. Teritorijoje yra neaukštas ir nestatus šlaitas, kelias su asfalto danga ir apvadais, šaligatviai. Vidutinis kelio apvadų aukštis – 0,10–0,22 m. Teritorijoje – 515 000 *LIDAR* skenuojant išmatuoti Žemės taškai, taškų aukščiai 86,34–103,43 m. Vidutinis taškų tankis – 2,3 tšk./m², mikronelygumai – <0,05 m.



1 pav. Eksperimentinė teritorija

Fig. 1. Testing area

4.1. Paviršiaus glodinimo funkcijos parametru taikymo tyrimas

Glodinimo funkcijos parametrai yra du: maksimalus nagrinėjamo taško aukščio reikšmės nukrypimas nuo grupės taškų aukščių vidurkio į viršų – parametras + ir maksimalus nukrypimas į apačią – parametras -. Kiekvienam taškui randami 6–12 kaimyniniai taškai (esant vidutiniam taškų tankiui 2,3 tšk./m² grupių matmenys – ~1,7×1,7 – 2,4×2,4 m). Kaimyniniams taškams pritaikoma plokštuma ir skaičiuojamas nagrinėjamo taško aukščio skirtumas nuo pritaikytos plokštumos. Jeigu apskaičiuotas skirtumas neviršija nustatytų glodinimo parametru + ir –, taško aukštis pataisomas skirtumo dydžiu. Tokiu būdu tiriami visi taškai, randamos jų aukščių pataisos. Kitu etapu tiriamas gautas paviršius, t. y. taškai plotuose, kur paviršius tapo lygesnis, paliekami pakoreguoti, o taškams plotuose, kur yra didesni aukštėjimai, grąžinamos iki glodinimo funkcijos taikymo buvusios reikšmės. Glodinimo funkcijos nerekomenduojama taikyti, kai yra paviršiaus lūžio objektų su nedideliu paaukštėjimu, tokių kaip kelio dangai su apvadais.

Keičiant glodinimo funkcijos parametrus gauti paviršiai palyginti su etaloniniu paviršiumi (1 lentelė). Didinant parametru + didėja tūris, kurį reikia pripildyti, nes esant didelei parametro + reikšmei funkcija koreguoja taškus, labiau nutolusius nuo plokštumos, pritaikytos kaimyniniams taškams (koreguojama Z reikšmė). Sumažinus parametro + reikšmę, mažėja tūris, kurį reikia pripildyti.

1 lentelė. Glodinimo funkcijos parametru įtaka žemės darbų tūriams

Table 1. Smoother function influence to capacity of digging

Taškų glodinimo parametrai, m	Nukasti, m ³	Užpilti, m ³
+0,05 / -0,10	140,91	137,43
+0,07 / -0,11	143,79	163,63
+0,05 / -0,09	140,61	137,33
+0,06 / -0,09	141,93	152,41
+0,07 / -0,10	143,18	163,63

Eksperimentui parinktoje teritorijoje vertinant pagrindinį filtravimo įtakos parametru, t. y. glodinto paviršiaus ir etaloninio paviršiaus tūrio skirtumą, geriausiai tinkantys glodinimo parametrai +0,05 m/-0,09 m (2 pav.). Taikant šiuos parametrus, 22 500 m² teritorijoje žemės darbų tūrio klaida būtų apie 150 m³. Matyti, kad jau esant glodinimo parametru +/-0,05 m išlyginami mikronelygumai. Esant glodinimo parametrams +/-0,10 m ir +/-0,15 m paviršius tampa glotnus, kelio apvadai – neryškūs.

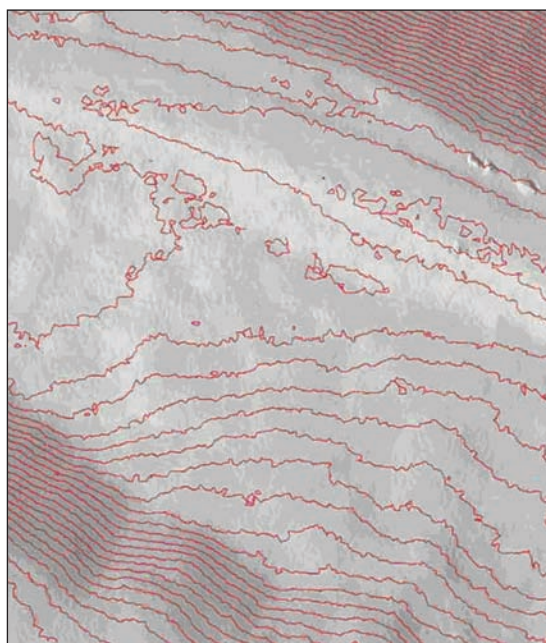
Panaudojus etaloninį (3 pav.) ir paviršius, sukurtus taikant glodinimo parametrus +/-0,05 m; +/-0,10 m (4 pav.) ir +/-0,15 m, bei pagal juos nubraižytas 0,25 m laipto horizontales, horizontalės įvertintos vizualiai. Netaikytos horizontalių glodinimo, linijų posūkio taškų retinimo, apvalinimo funkcijos.

Matyti, kad horizontalės, sukurtos naudojant etaloninį paviršių, turi daug nelygumų. Naudojant nedideles glodinimo funkcijos parametru reikšmes – apie 0,10 m, glodinimo įtaka konstruojant paviršių minimali. Išlaikoma informacija apie dangų apvadus ir didesnius aukščių reikšmių skirtumus turinčius vietovės objektus, bet išlyginami mikronelygumai.



2 pav. Paviršius, sukurtas taikant glodinimo parametrus +/-0,05 m/0,09 m

Fig. 2. Surface, constructed by applying smoothing parameters +/-0,05 m /0,09 m



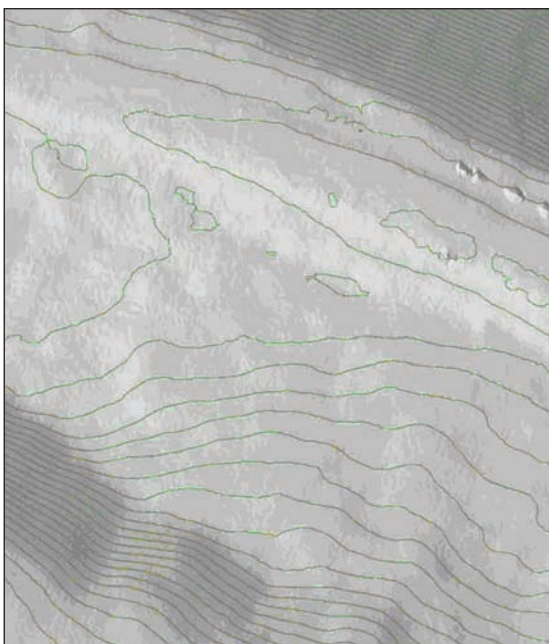
3 pav. Etaloninės horizontalės

Fig. 3. Reference contour

Paviršius tampa tinkamas tiksliam ir vizualiam paviršiaus modeliui, horizontalėms kurti. LIDAR taškų kiekiui glodinimas įtakos neturi, nes nekeičia taškų kiekio.

4.2. Taškų retinimo funkcijos parametru taikymo tyrimas

Taškai retinami paviršių nusakančiam taškų kiekiui mažinti. Pasirenkama parametrai – maksimalus atstumas *Distance* ir maksimalus taško aukščio pokytis



4 pav. Horizontalės, sukurtos taikant glodinimo parametraž +/-0,10 m

Fig. 4. Contour lines constructed by applying smoothing parameter +/-0,10 m

Dz bei parametras, pagal kurį bus paliktas taškas išreintame paviršiuje – *Keep*. Taikant funkciją paviršiaus taškai suskirstomi į grupes pagal pasirinktą maksimalų horizontalųjį atstumą. Remiantis nustatytu maksimaliu galimu aukštėjimu (maksimaliu vertikaliuoju atstumu) kiekvienoje grupėje, paliekamas vienas taškas. Kuris taškas paliekamas grupėje, priklauso nuo pasirinkto *Keep* parametro. *Keep* parametro reikšmės: palikti aukščiausią (*Highest point*) tašką kiekvienoje grupėje, žemiausią (*Lowest point*) tašką, grupės viduryje esantį tašką (*Central point*) arba išvesti grupės taškų vidurkį (*Create average*).

Ekspertimentu patikrinta, kokios įtakos Žemės paviršiaus tūriams turi parametro *Keep* reikšmės. Taikyti kiti taškų retinimo parametrai: *Distance* – 2,0 m, *Dz* – 0,10 m. Visais atvejais taškų kiekis taikant retinimo funkciją buvo 11,7 % pradinio taškų kiekio (2 lentelė). Tiksliausiai etaloninį Žemės paviršių atitinka retinimas paliekant grupės viduryje esantį tašką (*Central point*) arba išvedant grupės taškų vidurkį (*Create average*).

Ekspertimentu patikrinta, kokios įtakos Žemės paviršiaus tūriams turi parenkami parametrai *Distance* ir *Dz* dydžiai (3 lentelė). Taikyti taškų retinimo parametrai: horizontaliojo atstumo – 0,5; 1,0; 5,0 m ir vertikaliojo – 0,05; 0,10 m.

Taikant taškų retinimo funkciją, taškai skirstomi į grupes pagal horizontaliuosius ir vertikaliuosius atstumus. Norint išlaikyti informaciją apie apvadus reikia taikyti nedidelį aukščio skirtumą. Tada apvado viršaus ir apačios taškai pateks į skirtingas grupes. Norint išsaugoti taškus, esančius arti apvado, reikia parinkti nedidelį horizontaliojo atstumo parametraž. Kai taškų tankis 2,3 tšk./m², pasirinkus atstumo parametraž 1 m lieka apie 30 % etaloninio paviršiaus taškų skaičiaus,

2 lentelė. Etaloninio paviršiaus ir paviršių pritaikius retinimo funkciją su skirtingais *Keep* parametrais tūrių skirtumai

Table 2. The comparison of the reference surface against the constructed surfaces by application the different *Keep* function parameters

<i>Keep</i> parametras	Nukasti, m ³	Užpilti, m ³
Aukščiausias taškas	134,31	361,31
Žemiausias taškas	364,86	149,04
Centrinis taškas	188,32	207,66
Vidutinis sukurtas taškas	177,75	199,67

3 lentelė. Etaloninio paviršiaus ir paviršių pritaikius retinimo funkciją su skirtingais parametrais tūrių skirtumai

Table 3. The comparison of reference surface against the constructed surfaces by application the thinning surface function

Taškų retinimo (<i>thin/central</i>) parametrai	Nukasti, m ³	Užpilti, m ³	Taškų kiekis po retinimo
0,5 / 0,05	84,54	78,66	63,4 %
0,5 / 0,10	89,46	88,85	58,6 %
1,0 / 0,05	135,87	132,7	28,6 %
1,0 / 0,10	141,76	151,55	22,9 %
5,0 / 0,05	273,07	240,14	7,0 %
5,0 / 0,10	281,93	323,15	4,3 %

o parametraž 0,5 m – mažiau nei 50 %. Taškų retinimo funkcija tinka paviršių nusakančių taškų skaičiui mažinti natūralaus reljefo teritorijų, kur nėra šiek tiek aukštėjančių objektų: apvadų, neaukštų atraminių sienų.

4.3. Būdingųjų taškų išsaugojimo funkcijos parametraž taikymo tyrimas

Tiriama būdingųjų taškų išsaugojimo funkcija (*Model Keypoints*). Parametrai *above model/below model* nustato maksimalų leidžiamąjį taško nuokrypį nuo kuriamo laikinojo paviršiaus modelio. Tai kartotinis procesas. Paviršius sudalijamas nurodyto dydžio kvadratais. Aukščiausieji ir žemiausieji taškai kiekviename iš jų naudojami laikinam trikampių tinklo paviršiui sukurti. Kiti taškai lyginami su sukurtojo paviršiaus taškais. Labiausiai nuo paviršiaus nutolę (aukštyr ar žemyn) taškai, jei tas nuokrypis yra didesnis už nurodytą parametraž reikšmę, įtraukiami į laikinąjį paviršių. Procesas kartojamas iš naujo, paviršių papildžius, tol, kol lieka paviršiaus taškai, kurių atstumas nuo laikinojo paviršiaus yra mažesnis už nurodytus nuokrypius *above/below*. Laikinąjį paviršių sudarantys taškai perklasifikuojami kaip būdingieji modelio taškai – *Model keypoints*. Parametras *Use point every* – didžiausias atstumas tarp būdingųjų taškų. Pasirenkami parametrai: didžiausias atstumas tarp taškų *Use point every*, maksimalus nuokrypis į viršų nuo tiriamojo paviršiaus *Tolerance above* ir maksimalus nuokrypis į apačią nuo tiriamo paviršiaus *Tolerance below*.

Norint išsaugoti tokius objektus kaip apvada, vertikaliojo nuokrypio parametraž reikia parinkti tokius, kad jie neviršytų vidutinio apvado aukščio. Matyti, kad esant

parametrus *Tolerance above* 0,10 m ir *Tolerance below* 0,10 m, dalis informacijos apie apvadus prarandama. Kai parametrai *Tolerance above* yra 0,15 m, o *Tolerance below* – 0,15 m, apvadų briaunos apdorotame paviršiuje panaikinamos. Būdingųjų taškų išskyrimo parametrus *Tolerance above* ir *Tolerance below* reikia rinktis tarp 0,05–0,06 m. Jei *above/below* parametrai parenkami nedideli, t. y. 0,05–0,10 m, paviršiaus kokybei atstumo tarp taškų parametro (*Use point every*) dydis įtakos neturi, nes taškai pakankamai tankiai išsidėstys dėl nedidelio maksimalaus aukščio nuokrypio.

Etaloninis paviršius ir paviršiai, sukurti taikant skirtingas būdingųjų taškų išsaugojimo funkcijos parametrų reikšmes (*above/below* parametrai 0,10/0,10 m; įvairūs maksimalūs atstumai tarp taškų), buvo palyginti tarpusavyje (4 lentelė). Didinant maksimalaus atstumo tarp taškų parametą *Use point every*, jau esant dydžiui 5,0 m taškų kiekis, likęs apdorojus, ir paviršiaus tūris beveik nesikeičia.

4 lentelė. Etaloninio paviršiaus ir paviršių, sukurtų taikant būdingųjų taškų išsaugojimo funkciją, tūrių skirtumai

Table 4. The comparison of the reference surface against constructed surfaces by application the different KeyPoints function parameters

<i>Use point every</i> parametras	Nukasti, m ³	Užpilti, m ³	Taškų kiekis po retinimo
2,0 m	112,79	108,98	36,9 %
5,0 m	168,33	157,37	17,5 %
15,0 m	171,06	157,87	17,3 %
50,0 m	175,55	155,72	17,2 %

4.4. Keleto filtravimo funkcijų taikymo kartu tyrimas

Retinant etaloninio paviršiaus taškus būdingųjų taškų išsaugojimo metodu, jei aukščio maksimalaus nuokrypio parametrai bus artimi paviršiaus mikronelygumų dydžiui, dalis mikronelygumų taškų bus klasifikuoti kaip būdingieji paviršiaus taškai. Siekiant to išvengti, reikia derinti kelis taškų apdoravimo metodus, t. y. pirma pašalinti mikronelygumus glodinimo metodu, o tada išskirti būdinguosius paviršiaus taškus.

Kiekybinis vertinimas atliktas lyginant etaloninio paviršiaus ir kombinuotuoju metodu sukurtų paviršių tūrius. Išsaugant mažą dalį pradinių LIDAR skenavimo taškų pasiekama, kad žemės darbų tūrių klaida mažesnė negu taikant tik glodinimo funkciją, t. y. lygi maždaug 200 m³ (5 lentelė).

5 lentelė. Etaloninio ir kombinuotuoju metodu sukurtų paviršių tūrių skirtumai

Table 5. The comparison of the reference surface against the constructed surface by application the combinative method

Glodinimo parametrai	Būdingųjų taškų išsaugojimo funkcijos parametrai	Nukasti, m ³	Užpilti, m ³	Taškų kiekis po retinimo	Taškų tankis (tšk./m ²)
	20,0-+/-0,06	199,13	197,34	11,4 %	0,263
+/-0,05	20,0-+/-0,06	237,49	249,24	6,8 %	0,157
+/-0,06	20,0-+/-0,07	266,9	278,05	5,1 %	0,118
	20,0-+/-0,10	324,58	259,8	4,8 %	0,111

5. Išvados

Išvadoms suformuluoti pasiremta praktikoje žemės darbų tūriams nustatyti taikoma metodika. Nustatyta, kad kai tiriama teritorija, galimi du žemės darbų tūrių skaičiavimo atvejai – skaidant teritoriją 5 m ir 10 m tinkleliu. Svaresnis išvadoms pagrįsti pirmasis atvejis, nes praktikoje, skaičiuojant žemės darbų tūrius, taikomas netaisyklingų geometrinių figūrų (daugiausia keturkampių) tinklas. Naudojant stambiojo mastelio topografinę informaciją netaisyklingų geometrinių figūrų kraštinių ilgių yra 5–30 m. Kadangi netaisyklingų geometrinių figūrų tinklas pritaikomas prie esamo reljefo ir prie projektuojamo objekto kontūrų, empiriškai grindžiame, kad juo išreikšti žemės darbų tūriai yra artimesni 5 m taisyklingų kvadratų tinklui.

Tariant, kad praktiniams tikslams skaičiuojant žemės darbų tūrius tiriama teritorija būtų suskaidyta kvadratais, kurių kraštinės lygios 5 m arba 10 m, apskaičiuoti žemės tūrių skirtumai tarp etaloninio paviršiaus ir sukurtų pagal kvadratų viršūnių taškų aukščių reikšmes (5 pav.). Šių taškų aukščių reikšmės skaičiuotos interpoliuojant eksperimentinės teritorijos etaloninį paviršių. Gauti rezultatai rodo, kad žemės darbų tūrio paklaida yra maždaug 350 m³, skaidant 5 metrų, ir 800 m³, skaidant 10 m kvadratais (6 lentelė).

6 lentelė. Žemės darbų tūrio skirtumai

Table 6. Differences of the digging capacity

Atstumas tarp taškų, m	Nukasti, m ³	Užpilti, m ³
5	331,70	371,82
10	722,85	875,61

Remdamiesi anksčiau apibrėžtomis išvadomis, 350 m³ dydį laikome printina žemės darbų tūrio paklaida 22 500 m² teritorijoje. Taigi pagrindžiamos išvados, kad tinka taikyti šiuos parametrų dydžius:

- glodinant – 5,0 m nukrypimo į viršų, 0,05 m nukrypimo į apačią, taip LIDAR taškų masyvas sumažinamas beveik 5 kartus;
- retinant – 5,0 m horizontaliojo atstumo ir 0,10 m vertikaliojo;
- siekiant išsaugoti būdinguosius funkcijos taškus tinka taikyti parametro *Use point every* 5,0 m dydį;
- kombinuojant glodinimo ir būdingųjų taškų išsaugojimo funkcijas tinkamiausi nukrypimo nuo laikinojo paviršiaus parametrai yra atitinkamai 0,06 m/–0,06 m ir 0,10 m/–0,10 m.



5 pav. Tiriamosios teritorijos skaidymas 10 m tinkleliu

Fig. 5. Division of the tested area into 10 m grid

Literatūra

- Axelsson, P. 2001. Ground estimation of laser data using adaptive TIN-models, in *Proceedings of OEEPE workshop on airborne laserscanning and interferometric SAR for detailed digital elevation models 1–3*. March 2001. Official Publication No. 40. CD-ROM, 185–208. Royal Institute of Technology Department of Geodesy and Photogrammetry 100 Stockholm, Sweden.
- Brügelmann, R. 2000. Automatic breakline detection from airborne laser range data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33(B3): 109–115.
- Elmqvist, M. 2001. *Ground Estimation of Laser Radar Data using Active Shape Models*. Paper presented at the OEEPE workshop on airborne laserscanning and interferometric SAR for detailed digital elevation models 1–3 March 2001, paper 5 (8 pages). Royal Institute of Technology Department of Geodesy and Photogrammetry 100 Stockholm, Sweden.
- Filin, S.; Pfeifer, N. 2005. Neighborhood Systems for Airborne Laser Data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. June
- Kersting, J.; Kersting, A. 2005. P. B. LIDAR Data Points Filtering Using Arcgis' 3d and spatial analyst, in *25th ESRI USER CONFERENCE. Conference Proceedings*. San Diego, California, USA. 11 p.
- Löffler, G. 2003. *Aspects of Raster DEM Data Derived from Laser Measurements*. Workshop: 3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data ISPRS, Commission III, WG 3. TopoSys GmbH, Regensburg, Germany. 5 p.
- Paska, E.; Ray, J. A. 2007. Influence of various parameters on the accuracy of LIDAR generated products for highway design applications, in *ASPRS 2007 annual conference*. Tampa, Florida. 2007. May 7–11.
- Peng Miao-Hsiang and Shih Tian-Yuan. 2006. Error Assessment in Two LIDAR-derived TIN Datasets, in *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 72(8), August: 933–947.
- Roggero, M. 2001. Airborne Laser Scanning: Clustering in raw data, *IAPRS, XXXIV –3/W4*. Annapolis, MD, 22–24 Oct, 2001, 227–232.
- Schickler, W.; Thorpe, A. 2001. Surface estimation based on LIDAR, in *Proceedings of the ASPRS Annual Conference*. St. Louis, Missouri, April. 11 p.
- Sitholea, G.; Vosselman, G. 2005. Filtering of airborne laser scanner data based on segmented point clouds, in *IAPRS, XXXVI, PART 3/W19. ISPRS Commission III*. Netherlands, September 12–14, 2005, 66–71.
- Sohn, G.; Dowman, I. 2002. Terrain Surface Reconstruction by the Use Of Tetrahedron Model With the MDL Criterion, in *IAPRS, XXXIV, PART 3A. ISPRS Commission III, Symposium*. September 9–13, 2002. Graz, Austria, 336–344.
- Vosselman, G. 2000. Slope based filtering of laser altimetry data, in *IAPRS, XXXIII, Part B3*, Amsterdam, The Netherlands, 935–942.
- Wack, R.; Wimmer, A. 2002. Digital Terrain Models from Airborne Laserscanner Data - A Grid based approach, in *Proceedings of the ISPRS Commission III. Symposium*, Graz, 293–296.
- Žalnierukas, A.; Čypas, K. 2006. Žemės skenavimo lazeriu iš orlaivio technologijos analizė, *Geodesy and Cartography [Geodezija ir kartografija]*, 32(4): 101–105.

Žilvinas STANKEVIČIUS. Associate Professor, Doctor.

Vilnius Gediminas Technical University, Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 1, LT-10223 Vilnius, Lithuania, e-mail: zilvinas.stankevicius@vilnius.lt.

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University: engineer of geodesy, 1993; master of science, 1995; doctor, 2000. Author and co-author of 17 publications.

Research interest: processing data of aero scanning, 3D computational geometry and computer graphics, technology to manipulate geographic data base.

Aušra KALANTAITĖ. Master of science. National Land Service under the ministry of agriculture of the Republic of Lithuania, Gedimino pr. 19, LT-01103 Vilnius, Lietuva, e-mail: AusraK@zum.lt

A graduate of Vilnius Gediminas Technical University: engineer of geodesy, 1995; master of science, 1997.

Research interest: GIS, LIDAR technology.