



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Mangirdas Povilavičius

**SKIRTINGŲ PAVIRŠIŲ OBJEKTŲ KARTOGRAFAVIMO ANTŽEMINIO
LAZERINIO SKENAVIMO METODU ANALIZĖ
ANALYSIS OF GROUND BASED LASER SCANNING METHOD FOR
VARIOUS SURFACE OBJECT MAPPING**

Baigiamasis magistro darbas

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Vladislovas Česlovas Aksamitauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Mangirdas Povilavičius

**SKIRTINGŲ PAVIRŠIŲ OBJEKTŲ KARTOGRAFAVIMO ANTŽEMINIO
LAZERINIO SKENAVIMO METODU ANALIZĖ**

**ANALYSIS OF GROUND BASED LASER SCANNING METHOD FOR
VARIOUS SURFACE OBJECT MAPPING**

Baigiamasis magistro darbas

Geodezijos ir kartografijos studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Kadastro informacinių sistemų specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. prof. Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2014

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Mangirdas Povilavičius, 20073355

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Geodezija ir kartografija, KISmf-12

(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽINGUMO DEKLARACIJA**

2014 m. gegužės 29 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Skirtingų paviršių objektų kartografavimo antžeminio lazerinio skenavimo metodu analizė“ patvirtintas 2012 m. lapkričio 14 d. dekanų potvarkiu Nr. 352ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas prof. dr. Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Mangirdas Povilavičius
(vardas ir pavardė)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
GEODEZIJOS IR KADASTRO KATEDRA

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Geodezijos ir kadastro studijų programa, valstybinis kodas 621H14003

Kadastro informacinių sistemų specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei) Mangirdui Povilavičiui

Baigiamojo darbo tema: **Skirtingų paviršių objektų kartografavimo antžeminio lazerinio skenavimo metodu analizė.**

patvirtinta 2012 m. lapkričio 14 d. dekanų potvarkiu Nr. 352 ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2014 m. d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Antžeminio lazerinio skenavimo apžvalga;
3D skenerių veikimo principas bei klasifikavimas;
Skenavimo duomenų kokybę įtakojančių veiksnių apžvalga;
Skirtingų medinių paviršių įtakos skenavimo rezultatams tyrimas;
Skirtingų spalvų paviršių įtakos skenavimo rezultatams tyrimas;
Skaidrių paviršių įtakos skenavimo rezultatams tyrimas;

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: lekt. Regina Žukienė

Vadovas
(Parašas)

prof. dr. Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas

Užduotį gavau

.....
(Parašas)

Mangirdas Povilavičius
(Vardas, pavardė)

.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Geodezijos ir kadastro katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 1
Data 2014-06-04

Geodezijos ir kartografijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Skirtingų paviršių objektų kartografavimo antžeminio lazerinio skenavimo metodu analizė**

Autorius **Mangirdas Povilavičius**

Vadovas prof. dr. **Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas**

Kalba

☐

lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Baigiamojo darbo tikslas - ištirti skirtingų skenuojamų paviršių savybių įtaką antžeminio lazerinio skenavimo duomenų kokybei. Darbe apžvelgti 3D skenerių tipai, veikimo principas, panaudojimo galimybės. Aprašomi veiksniai, darantys įtaką antžeminiu lazeriniu skeneriu gautų duomenų kokybei. Buvo atlikti tyrimai su skaidriais, mediniais ir skirtingų spalvų paviršiais. Atlikta gautų rezultatų analizė, rezultatai pateikti grafiškai

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, antžeminis lazerinis skenavimas, skenavimo duomenų kokybę įtakojoantys veiksniai, skirtingų paviršių savybių įtakos skenavimo rezultatams analizė, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 54 p. teksto be priedų, 46 iliustr., 18 lent., 31 literatūros šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: Antžeminis lazerinis skenavimas, 3D, taškų debesis, Leica ScanStation C10, intensyvumas.

Vilnius Gediminas Technical University
Enviromental Engineering faculty
Geodesy and Cadastre department

ISBN ISSN
Copies No. 1
Date 2014-06-04

Geodesy and Mapping study programme master thesis.

Title: **Analysis of ground based laser scanning method for various surface object mapping**

Author Mangirdas Povilavičius Academic supervisor prof. dr. **Eimuntas Kazimieras Paršeliūnas**

Thesis language

☐

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

The objective of thesis is to analyze the influence of various materials surfaces of a terrestrial laser scanning data quality. Types of 3D scanners, operation principle, usability of these devices is reviewed. The paper describes factors that influence quality of terrestrial laser scanning data. Transparent, wooden and different color surfaces were investigated. The results were analyzed and presented graphically.

Structure: introduction, 3 parts, conclusions and suggestions, references.

Thesis consist of: 54 p. Text without extras, 46 pictures, 18 tables, 31 bibliographical entries.

Keywords: Terrestrial laser scanning, 3D, point cloud, Leica ScanStation C10, intensity.

Paveikslų sąrašas

- 1 pav. Antžeminio lazerinio skenavimo tipai bei panaudojimo sritys
- 2 pav. Bangos sklidimo laiko technologijos principinė schema (Palojärvi 2011)
- 3 pav. Fazinis matavimo principas (Cosarca *et al.* 2006)
- 4 pav. *Riegl LMS-Z210i (Riegl...2011)*
- 5 pav. *Optech ILRIS 3D (Optech...2011)*
- 6 pav. *Trimble (Mensi) GS200 (Trimble...2011)*
- 7 pav. *Minolta VIVID 910 (Konica...2011)*
- 8 pav. *IQSun IQSun 880 (IQSun...2011)*
- 9 pav. *Callidus CP 3200 (Callidus...2011)*
- 10 pav. *Leica HDS 4500 (Leica...2011)*
- 11 pav. *Zoller + Fröhlich IMAGER 5003 (Zoller...2011)*
- 12 pav. *Leica skeneris ScanStation C10*
- 13 pav. Taškas 3D erdvėje aprašytas poline ($\varphi; \theta; \rho$) ir stačiakampe ($x; y; z$) koordinatų sistema
- 14 pav. Lazerinio skenavimo principas (Boehler *et al.* 2003)
- 15 pav. Dviejų skirtingų paviršių skenavimo rezultatas
- 16 pav. Skirtingų objekto paviršių poveikis lazerio spinduliui (Bucksch *et al.* 2004)
- 17 pav. Intensyvumo reikšmių standartinių nuokrypių pasiskirstymas (Pfeifer *et al.* 2005)
- 18 pav. Stiklai, padengti nešvarumais (Ramamoorthi *et al.* 2007)
- 19 pav. Lazerio spindulio reakcija į skirtingomis dalelėmis padengtus stiklus (Ramamoorthi *et al.* 2007).
- 20 pav. Stiklo paviršius padengtas pirštų antspaudais
- 21 pav. Stiklo paviršius padengtas muilo dalelėmis
- 22 pav. Stiklo paviršius padengtas smėlio dalelėmis
- 23 pav. Švarus stiklas
- 24 pav. Skirtingų medienų lygiu paviršiumi pavyzdžiai
- 25 pav. Skirtingų medienų nelygiu paviršiumi pavyzdžiai
- 26 pav. Nuskenuoto beržinio lygaus paviršiaus duomenų failo fragmentas
- 27 pav. Skiriamoji geba 1m/1mm
- 28 pav. Skiriamoji geba 4m/1mm
- 29 pav. Skiriamoji geba 8m/1mm
- 30 pav. Intensyvumo verčių žemėlapiu parametrų nustatymas
- 31 pav. Medinių paviršių atspindžio intensyvumo reikšmės
- 32 pav. Medinių paviršių atspindžio intensyvumo pokyčiai

- 33 pav. Pritvirtintas geltonas lapas
- 34 pav. Nuskenuoto geltono lapo paviršiaus duomenų failo fragmentas
- 35 pav. Skirtingų spalvų paviršių atspindžio intensyvumas
- 36 pav. Stiklinės plokštelės.
- 37 pav. Rudo atspalvio stiklai: SB10-10mm, SB6-6mm, SB4-4mm storio.
- 38 pav. Skenuojamas objekto paviršius uždengtas stiklu
- 39 pav. Antrojo tyrimo skenavimo metodas
- 40 pav. Liuksmetras *Testo 545*
- 41 pav. Šviesos pralaidumo ir intensyvumo reikšmių priklausomybė
- 42 pav. Atstumų iki skenuojamo paviršiaus reikšmės
- 43 pav. Vaizdas žvelgiant iš skenerio projekcijos (vaizdas iš priekio)
- 44 pav. Vaizdas iš šono
- 45 pav. Lentelėje nr.: 18 aprašyti klaidingi taškai
- 46 pav. Nuskenuoto taikinio taškų debesis

Lentelių sąrašas

- 1 lentelė. Lazerinių skenerių klasifikavimas
- 2 lentelė. Skenerių techniniai duomenys
- 3 lentelė. *Leica* skenerio *ScanStation C10* charakteristika.
- 4 lentelė. 1m/1mm skiriamoji geba
- 5 lentelė. 4m/1mm skiriamoji geba
- 6 lentelė. 8m/1mm skiriamoji geba
- 7 lentelė. 16m/1mm skiriamoji geba
- 8 lentelė. 1m/1mm skiriamoji geba
- 9 lentelė. 4m/1mm skiriamoji geba
- 10 lentelė. 8m/1mm skiriamoji geba
- 11 lentelė. 16m/1mm skiriamoji geba
- 12 lentelė. Stiklo šviesos pralaidumo procentas
- 13 lentelė. 1m/1mm skiriamoji geba
- 14 lentelė. 4m/1mm skiriamoji geba
- 15 lentelė. 8m/1mm skiriamoji geba
- 16 lentelė. 8m/1mm skiriamoji geba
- 17 lentelė. Skenavimo pro stiklo lakštą rezultatai
- 18 lentelė. Skenavimų rezultatai, kurių metu buvo gautieji „triukšmai“.

TURINYS

IVADAS.....	10
1.ANTŽEMINIS LAZERINIS SKENAVIMAS	11
1.1 Antžeminio lazerinio skenavimo samprata.....	11
1.2 Antžeminiais lazeriniais skeneriais gautų duomenų pritaikymas.....	11
1.3 Antžeminių lazerinių skenerių klasifikacija	12
1.3.1 Pasyvieji skeneriai.....	13
1.3.2 Aktyvieji skeneriai.....	13
1.4 Skeneris Leica ScanStation C10	19
1.5 3D skenerių veikimo principas	20
2.SKENAVIMO DUOMENŲ KOKYBĘ ĮTAKOJANTYS VEIKSNIAI.....	21
2.1 Instrumentinės klaidos.....	22
2.2 Metodologinės klaidos	23
2.3 Aplinkos sąlygų įtaka	23
2.4 Klaidos atsirandančios dėl objekto paviršiaus ypatybių	23
2.4.1 Kampo efektas.....	24
2.4.2 Paviršiaus savybių įtaka.....	24
3.SKIRTINGŲ PAVIRŠIŲ SAVYBIŲ ĮTAKOS SKENAVIMO REZULTATAMS	
ANALIZĖ	29
3.1 Medinių paviršių įtakos analizė	29
3.2 Skirtingų spalvų paviršių įtakos analizė.....	34
3.3 Skaidrių paviršių įtakos analizė	38
IŠVADOS	50
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	52
PRIEDAI	55

IVADAS

Spartus technologijų tobulėjimas neaplenkė ir geodezijos srities. Pastaraisiais metais į rinką veržiasi moderniausias bei greičiausias antžeminio kartografavimo būdas – antžeminis trimatis lazerinis skenavimas. Tai vienas greičiausių būdų gauti itin detalią bei tikslią informaciją apie kartografuojamą vietovę ar statinį.

Lazeriniai antžeminiai skeneriai yra vis daugiau ir daugiau naudojami įvairiose srityse. Dėl aukšto gaunamų duomenų tikslumo, galimybės dirbti įvairiose aplinkose, esant įvairioms oro sąlygoms, jie tampa vis plačiau pritaikomi. Ypač pramonės srityse, kur reikalingi labai tikslūs duomenys, matavimai skeneriu tapo neatsiejama matavimų dalis. Lietuvoje kol kas antžeminis trimatis skenavimas nėra labai populiarus, dėl nuskaitymo kaštų bei galimybės panaudoti tokio formato duomenis. Informacija, gauta nuskaitytą 3D skeneriu, gali būti panaudota architektų, geodezininkų, archeologų, projektuotojų bei kitų inžinierių.

Skenavime, kaip ir kito tipo matavimuose, labai svarbus duomenų tikslumas. Atliekantiems lazerinį skenavimą yra svarbu žinoti lazerinio skenerio reakciją į tam tikrus objektų paviršių ypatumus ir kaip tai gali paveikti gautų duomenų kokybę.

Tyrimo tikslas – ištirti skirtingų skenuojamų paviršių savybių įtaką antžeminio lazerinio skenavimo duomenų kokybei.

Tyrimo objektas. Darbe tiriama medinių, šviesai pralaidžių ir skirtingų spalvų objektų paviršių įtaka.

Tikslui pasiekti keliami šie uždaviniai:

- Atlikti tiriamuosius skirtingų paviršių objektų skenavimus;
- Atlikti gautų duomenų analizę;
- Įvertinti nuskenuotų duomenų kokybę pagal gautus debesies taškų parametrus.
- **Mokslinis naujumas.** Tiriamieji skenavimai atlikti su aukštos tikslumo klasės bei ilgo nuotolio vienu naujausiu Leica skeneriu ScanStation C10.
- **Darbo aktualumas.** Šiuo metu antžeminiai lazeriniai skeneriai dažnai naudojami vietovės kartografavimui miestuose, kur būna įvairių paviršių objektų: stiklinių, mūrinių, skirtingų spalvų statinių ir t.t. Todėl darbe pasirinkta tirti būtent tokių paviršių įtaką.
- **Darbo aprobacija.** Mokslinėje konferencijoje, vykusioje 2013 m., pristatytas pranešimas tema „Skirtingų paviršių skenavimo antžeminiu lazeriniu skeneriu galimybių tyrimas“.

1. ANTŽEMINIS LAZERINIS SKENAVIMAS

1.1 Antžeminio lazerinio skenavimo samprata

Antžeminis skenavimas – tai technologija, kuri, taikydama antžeminį lazerinį skenavimą, analizuoja ir renka erdvinis duomenis apie realaus pasaulio objektus, aplinką, t.y jų formą ir išvaizdą (pvz., spalvą). Surinkti duomenys gali būti naudojami kuriant skaitmeninius trimačius modelius.

Daug skirtingų technologijų gali būti naudojamos norint sukurti 3D modelį. Kiekviena technologija turi savo apribojimus, privalumus bei trūkumus. Pagrindiniai sunkumai, su kuriais susiduria technologijos skenavimo metu yra šie: ovali, kampuota paviršiaus forma, blizgūs, veidrodinio atspindinčio ar skaidrūs objektų paviršiai, dėl kurių gali būti netiksliai atsispindėtas lazerio spindulys ir gauti netikslūs duomenys.

Surinkti 3D duomenys yra naudingi įvairioms reikmėms. Nuskaitymo technologijos yra naudojamos labai plačiai: pramogų industrijoje, pvz.: filmų ir vaizdo žaidimų gamybai, pramoniniame dizaine: pvz., kuriant prekių modelius, medicinoje protezams, prietaisų modelių kūrimui, prototipų gamybai, kokybės kontrolės tikrinime, istorinių kultūros vertybių planų sudarymui bei kitose srityse (Vosselman *et al.* 2010).

1.2 Antžeminiais lazeriniais skeneriais gautų duomenų pritaikymas

Antžeminiu lazeriniu skeneriu gautas realaus pasaulio objekto modelis yra sudarytas ne iš matematinių funkcijų ar kreivių visumos. Jis yra aprašomas taškų aibe. Tokia taškų aibė vadinama taškų debesimi. Gautas taškų debesis gali būti panaudotas vizualizacijai architektūroje, statybos sferoje, tačiau tiesiogiai matavimams jį panaudoti yra sunku. Norint atlikti tam tikrus skaičiavimus (ilgio, aukščio, tūrio) reikia trimatį modelį aprašyti geometriniais objektais (kreivėmis, tiesėmis, trikampiais, splainais ir t.t.).

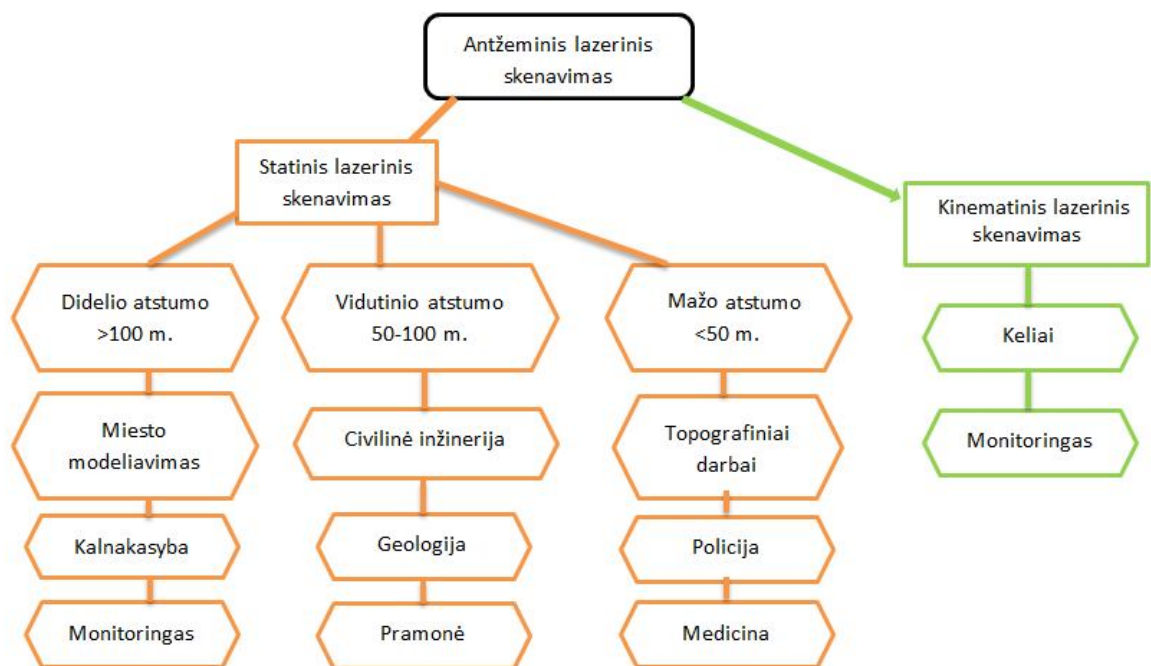
Vis labiau ir labiau tobulėjant trimačio nuskaitymo technologijoms, gautų duomenų panaudojimo galimybės taip pat plečiasi. Dėl galimybės nuskenuoti didelius objektus, taip pat objektus esančius toli, 3D skeneriai naudojami architektūrinių statinių skaitmenizavimui. Viena iš tokiu būdu gautų duomenų panaudojimo sričių yra istorinių statinių rekonstrukcija, kuomet jie yra sugadinti, trūksta tam tikrų detalių, nebėra išlikę šio statinio brėžinių, arba esami brėžiniai nebeatitinka realybės, nes buvo atlikta įvairių pertvarkymų, kurie nebuvo užfiksuoti dokumentuose. Turint skaitmeninį trimatį statinio modelį, atsiranda galimybė panaudoti vizualizacijos ir deformacijos mechanizmus ar atkurti trūkstamas detales, taip pat iš 3D modelio sudaryti įvairius statinio 2D brėžinius: pjūvius, planus ir t.t. (Bahadir 2008)

Dar viena sritis, kurioje yra pritaikomas trimatis skenavimas, yra medicina. Čia yra kuriami tikslūs protezai pagal nuskaitytas individualaus žmogaus kūno dalis, pvz.: pagal žmogaus pėdos modelį būtų galima kurti kiekvienam žmogui individualiai pritaiktą avalynę, kuri būtų patogi ir komfortiška.

Statybos pramonėje trimatis skenavimas gali būti panaudojamas kokybės bei kiekybės nustatymui. Pavyzdžiui: trimačiu skenavimu atlikta pastato ar kito statinio kontrolinė nuotrauka. Taip pat galima sudaryti pastato ne tik išorinį, bet ir vidaus trimatį modelį, taip suteikiant galimybę virtualiam turui po to statinio vidų.

Automobilių bei kitose pramonės šakose, trimačių modelių sudarymas leidžia virtualų modelio surinkimą iš atskirų dalių, prototipų kūrimą.

Pateiktoje schemoje (1 pav.) pavaizduotas antžeminių lazerinių skenerių vienas iš skirstymo būdų bei panaudojimo sritys:



1 pav. Antžeminio lazerinio skenavimo tipai bei panaudojimo sritys

1.3 Antžeminių lazerinių skenerių klasifikacija

Antžeminiai lazeriniai skeneriai priklauso bekontakčių skenerių tipui. Jie kirstomi į:

- Pasyviusius,
- Aktyviusius.

1.3.1 Pasyvieji skeneriai

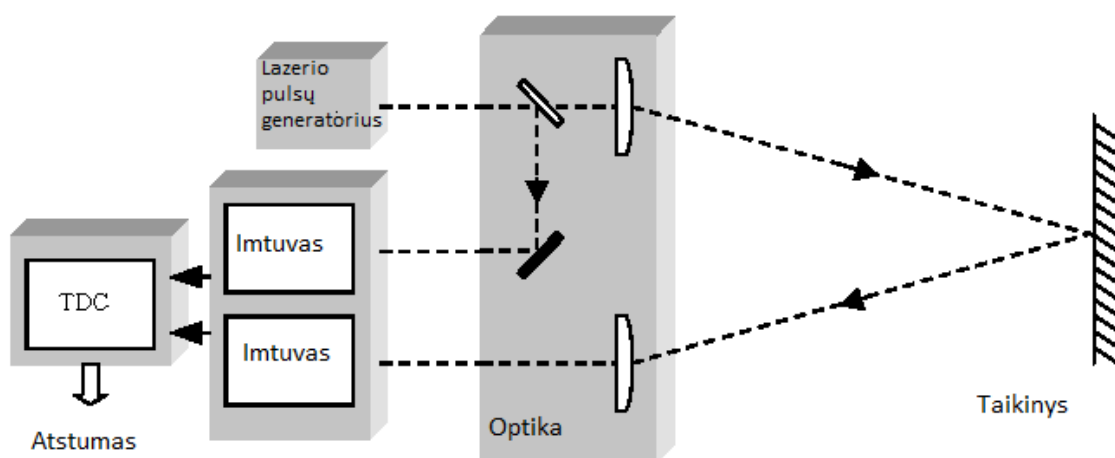
Pasyvieji skeneriai nespinduliuoja jokių bangų patys, vietoj to, jie fiksuoja atsispindėjusios šviesos spinduliavimą. Dauguma tokio tipo skenerių fiksuoja matomos šviesos spindulius. Taip pat skenavimo procese gali būtų naudojama ir kitokio tipo spinduliuotė – infraraudonieji spinduliai.

1.3.2 Aktyvieji skeneriai

Aktyvieji bekontakčiai skeneriai klasifikuojami pagal techninės specifikacijos rodiklius arba pagal atstumo nustatymo metodą: trianguliacija, fazinis, pulsinis. (Mechelke et al. 2007)

Aktyviųjų bekontakčių skenerių veikimas yra pagrįstas radijo bangų spinduliavimu į tiriamąjį objektą ir atspindžiu nuo jo aptikimu. Galimi spinduliavimo šaltinių variantai: šviesa, ultragarsas ar rentgeno spinduliai. Labiausiai paplitę skeneriai, naudojantys lazerio šviesą. Tokių prietaisų pagrindinis komponentas yra lazerio šviesos atspindžio detektorius. Jis matuoja per kiek laiko šviesa nukeliauja iki tiriamojo objekto ir atsispindėjusi grįžta atgal.

Šiuo metu populiariausia matavimo sistema lazeriniam skeneriui yra paremta šviesos bangos sklidimo laiko principu. Šis metodas leidžia atlikti matavimus iki kelių šimtų metrų.



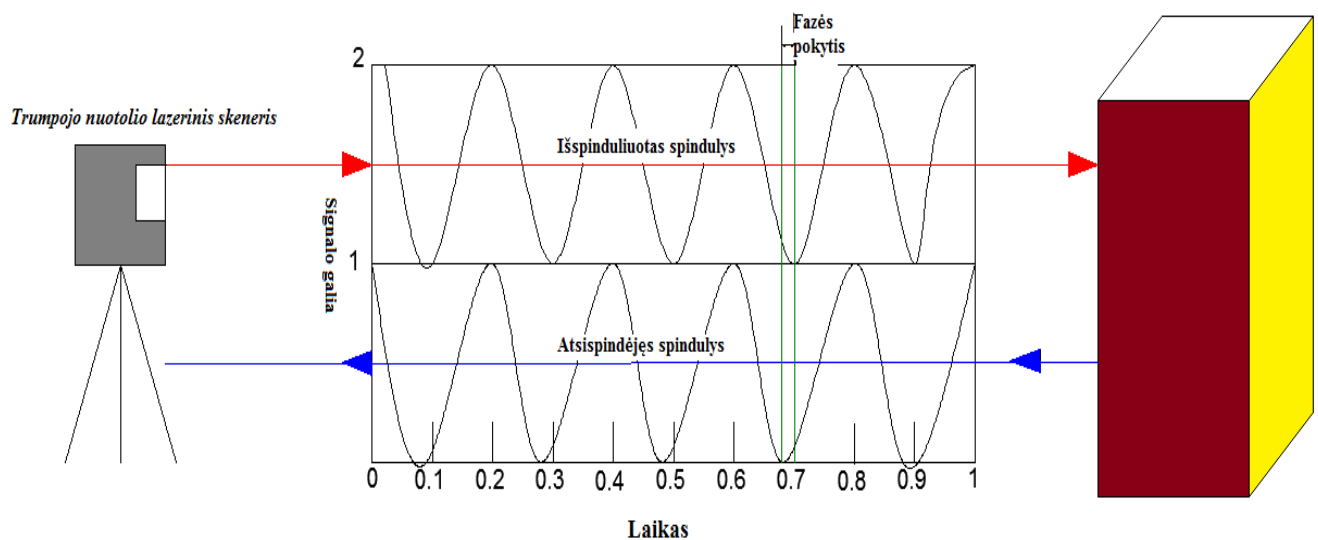
2 pav. Bangos sklidimo laiko technologijos principinė schema (Palojärvi 2005)

Skenerio lazerio spindulių pluoštas fiksuoja pirmą sutiktą objektą savo kelyje. Kadangi trimatis skeneris vienu metu matuoja atstumą iki vieno paviršiaus taško, todėl visas paviršius peržiūrimas nuosekliai. Tokio tipo įrenginiai tinka nuskenuoti objektus, esančius gana dideliu atstumu nuo prietaiso. Todėl jie gali būti pritaikyti nuskenuoti aukštus statinius, didelius gamtos objektus. Tačiau veikdamas dideliais atstumais prietaisas praranda tikslumą. Gali būti sunkiau atpažinti nuskaitymo objekto kampai, nes šiose srityse padidėja šviesos išsividėjimas. Šio tipo skenerių veikimo principas yra paremtas bangos sklidimo laiko principu. Lazerio tolimatis

fiksuoja atstumą iki paviršiaus, skaičiuodamas šviesos pulso kelionės pirmyn ir atgal laiką. Lazeris pulsuoja šviesos spindulius ir fiksuoja laiko trukmę, kada atspindėjusi šviesa yra užfiksuojama. Kadangi šviesos greitis c yra žinomas, kelionės laikas pirmyn ir atgal nusako šviesos nueitą atstumą, kuris yra dvigubas tarp skenerio ir objekto. Jei t yra laikas pirmyn ir atgal, tada atstumas yra lygus $(c \cdot t)/2$. 3D skenerio lazerio šviesos sklidimo laiko tikslumas priklauso nuo to, kaip tiksliai mes galime išmatuoti t laiką. Apytiksliai 3,3 pikosekundės yra laikas, kurį užtrunka šviesa nukeliauti 1 milimetrą. Lazerio tolimatis užfiksuoja tik atstumą. Bangos sklidimo laiko principo 3D lazeriniai skeneriai gali matuoti objektą, fiksuodami 10 tūkst. – 100 tūkst. taškų per sekundę (Vosselman *et al.* 2010).

Nėra nei vieno universalaus lazerinio skenerio, visiems galimiems pritaikymams. Keletas skenerių yra tinkami vidaus naudojimui ir vidutinio diapazono (matavimams iki 100 m atstumu), kiti skeneriai yra tinkamesni lauko darbams su didelio diapazono (atstumams virš 100 m) ir yra skeneriai, skirti mažo diapazono matavimams (matavimams iki kelių metrų atstumu) su dideliu tikslumu. Skeneris yra pasirenkamas, priklausomai nuo pritaikymo srities.

Kitas veikimo principas yra fazinis matavimas. Šis principas taikomas technikoje, skirtoje atlikti nuskaitymą vidutiniams atstumams (iki 100 m). Objektas gali būti nuskaitytas su kelių milimetrų paklaida.



3 pav. Fazinis matavimo principas (Cosarca *et al.* 2006)

Norint pasiekti išsamumą bei didelį tikslumą, yra taikomi mažo diapazono skeneriai, skirti atlikti nuskaitymui iki kelių metrų atstumu. Tokie lazeriniai skeneriai dažniausiai naudojami pramonėje, tiriamojoje inžinerijoje. Naudojamas atstumo matavimo principas – optinė trianguliacija. Su šia technologija įmanoma pasiekti kelių mikrometrų tikslumą.

Klasifikuojant skenerius pagal technines charakteristikas, gali būti atsižvelgiama į:

- Skenavimo greitį,
- Matavimo atstumą,
- Matymo lauką (kamerės matymo laukas, profiliavimas, vizualizavimas),
- Skenavimo raišką (taškų skaičius matymo lauke),
- Matavimo sistemos tikslumo diapazoną, sistemos deformacijas,
- Suderinamumą su kitais prietaisais, montuojamais ant lazerinio skenerio (pvz. kamera, GPS imtuvas).

1 lentelėje trumpai apžvelgti galimi lazerinių skenerių klasifikavimo būdai, remiantis matavimo principu. Pateikiamas klasifikavimas, atsižvelgiant į matavimo atstumą ir matavimo tikslumą.

1 lentelė. Lazerinių skenerių klasifikavimas

Matavimo technologija	Matavimo atstumas, m	Matavimo tikslumas, mm	Gamintojai
Bangos sklidimo laiko principas	< 100	< 10	<i>Callidus, Leica, Mensi, Optech, Riegl</i>
	< 1000	< 20	<i>Optech, Riegl, Mensi</i>
Fazinis matavimo metodas	< 100	< 10	<i>iQSun, Leica, VisImage, Zoller+Fröhlich</i>
Optinė trianguliacija	< 5	< 1	<i>Mensi, Minolta</i>

Tiksliam, didelio diapazono ir greitam 3D aplinkos tyrimui ir jos vizualizavimui, pramonės srityje naudojamos matavimų sistemos, pagrįstos aktyviu matavimo principu. Pagrindiniai gamintojai, kuriantys tokio tipo sistemas: *Riegl, Optech, Trimble (Mensi), Minolta, iQSun, Callidus, Leica (Cyra), Zoller + Fröhlich*. Šios sistemos skiriasi pagal fizinius matavimo principus.

Šių firmų skeneriai:

a) *Riegl LMS-Z210i*



4 pav. *Riegl LMS-Z210i* (Riegl...2014)

b) *Optech ILRIS 3D*



5 pav. *Optech ILRIS 3D* (Optech...2014)

c) *Trimble (Mensi) GS200*



6 pav. *Trimble (Mensi) GS200* (Trimble...2014)



d) *Minolta VIVID 910*

7 pav. *Minolta VIVID 910* (Konica...2014)

e) *IQSun IQSun 880*



8 pav. *IQSun IQSun 880 (IQSun...2014)*

f) *Callidus CP 3200*



9 pav. *Callidus CP 3200 (Callidus...2014)*

g) *Leica HDS 4500*



10 pav. *Leica HDS 4500 (Leica...2014)*

h) *Zoller + Fröhlich IMAGER 5003*



11 pav. *Zoller + Fröhlich IMAGER 5003* (Zoller...2014)

Riegl ir *Optech* sistemos yra pulsinės, pasiekiančios iki 1 cm tikslumą. *Riegl* sistemos matymo horizontalusis laukas yra 360 laipsnių ir 80 laipsnių vertikalusis matymo laukas. *Optech* sistemos matymo laukas 60 x 60 laipsnių. Šių sistemų privalumas slypi plačiame matavimo diapazone, kuris siekia virš 100 metrų, tačiau trūkumas yra tas, kad gana ilgai užtrunka išmatuoti visą lauko vaizdą. *Riegl* sistemoje yra integruota spalvota kamera, todėl kaip galutinis matavimo ciklo rezultatas gaunamas spalvotas taškų debesis. Viso matymo lauko matavimas tinkamu taškų tankumu užima santykinai ilgai. Šios sistemos, atliekant nuskaitymo darbus lauke, yra naudojamos visame pasaulyje. Nuskaitymui iš lėktuvo ypač pažengusi yra *Optech* sistema.

Trimble (GS100, GS200) ir *Leica (HDS3000, HDS2500)* sistemos taip pat paremtos impulsų metodu ir yra tinkamos atstumui maždaug iki 70 m nuskaityti. Šios sistemos matymo laukas – 360 x 60 laipsnių, HDS3000 – 360 x 270 (dviejuose atskiruose languose). HDS sistemos Leicos yra naudojamos visame pasaulyje gana sėkmingai visose matavimų srityse, daugiausiai statybos ir GIS srityse.

2 lentelė. Skenerių techniniai duomenys

Gamintojas	Sistemos modelis	3	4	Dažnis	Matavimo atstumas	Sistemos savybės
LEICA	HDS 3000	P	P	1000 Hz	>100m	A: 6 mm/ 50 m
MENSI	GS 200	H	P	5000 Hz	700 m	R: 3 mm/ 100 m
OPTECH	ILRIS-3D	C	P	2000 Hz	800 m	A: 3 mm < 100 m 1-3 cm > 100 m
RIEGL	LMS Z 360	H	P	8000 Hz	800 m	R: 5 mm
Z + F	IMAGER 5003	P	A	500 kHz	52 m	L: 5 mm

Paiškinimai:

3 stulpelis: P – panoraminiai skeneriai, C- skeneriai-kameros, H – hibridiniai skeneriai;

4 stulpelis: P - Impulsinis matavimas, A- fazinis matavimas,

7 stulpelis: A - tikslumas, R- raiška, L – linijinis tikslumas.

Antžeminiai bekontakčiai skeneriai taip pat gali būti klasifikuojami pagal matavimų geometrinių savybių kokybę.

Gamintojai suteikia detalią techninę informaciją apie jų sistemas. Tačiau rasti informacijos apie matavimų kokybės duomenis, pvz.: gautų trimačių koordinačių tikslumo ir t. t., nėra lengva. Nustatant matavimų geometrinę kokybę, tyrimai yra atliekami nepriklausomų universitetų bei kitų institucijų.

Matavimų kokybės vertinimas negali būti atliktas žiūrint tik į vieną matavimo aspektą, pvz.: taškus - kaip mes darome su tacheometrais. Čia reikia susitelkti į gautus elementus - sferas, cilindrus ir t.t. (Fröhlich and Mettenleiter 2004).

1.4 Skeneris *Leica ScanStation C10*

Magistrinio darbo tyrimams atlikti buvo naudojamas *Leica* firmos skeneris *ScanStation C10*. Tai bekontakčio lazerinis skeneris, veikiantis bangos sklidimo laiko matavimo principu.



12 pav. *Leica* skeneris *ScanStation C10*

Tai aukštos kokybės skeneris, gebantis matuoti iki 300 m. atstumu. Pagrindinės šio įrenginio savybės pateiktos lentelėje:

3 lentelė. Leica skenerio *ScanStation* charakteristika.

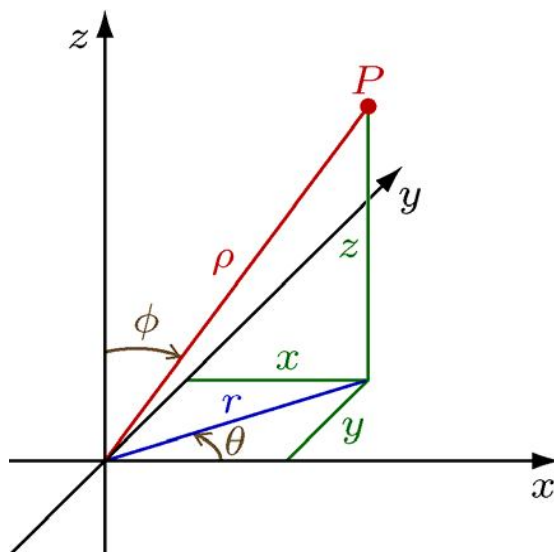
Sistemos parametrai	
Atskiuro matavimo tikslumas:	
Pozicija	6 mm
Atstumas	4 mm
Kampas (horizontalus/vertikalus)	12" / 12"
Lazerinio skenavimo galimybės:	
Atstumas	iki 300 m (minimalus atstumas 0.1 m)
Skenavimo dažnis	iki 50000 taškų/s
Matymo laukas	360°x270°

Šaltinis: (www.leica-geosystems.com/hds)

1.5 3D skenerių veikimo principas

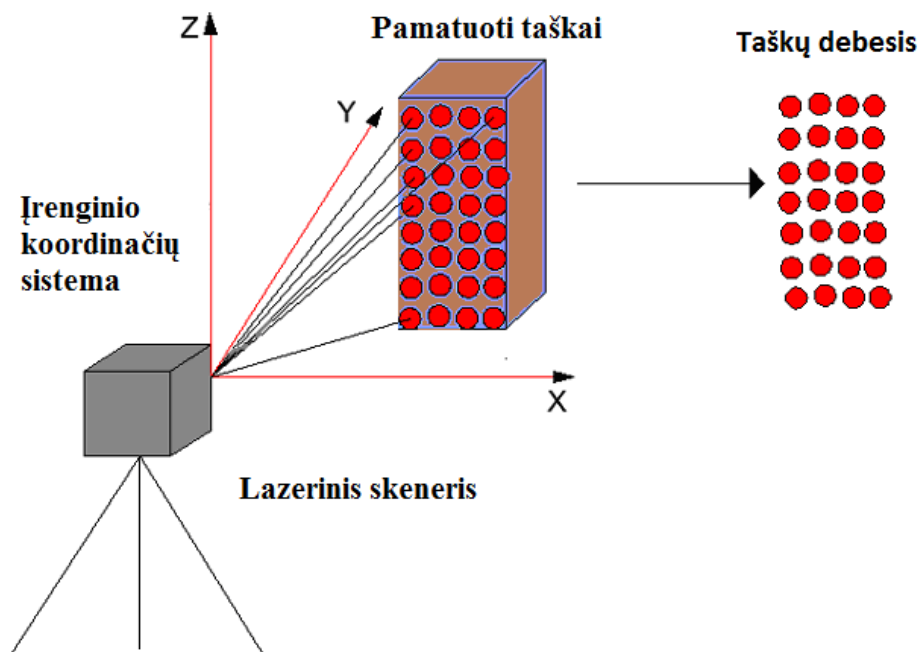
Pagrindinis 3D skenerio tikslas yra sukurti objekto geometrinio modelio taškų debesį. Po to šie taškai gali būti panaudoti objekto paviršiaus sukūrimui. Jeigu kiekviename nuskaitytame taške yra užfiksuota spalvos informacija, tokiu atveju paviršių galima sukurti spalvotą. (Ulrich 2001). 3D skenerių kaip ir fotoaparatus technologija yra labai panaši. Kaip ir fotoaparatai, skeneriai turi kūgio formos matymo lauką. Fotoaparatai savo matymo lauke fiksuoja ir saugo informaciją apie objektų spalvas, o trimačiai skeneriai savo matymo lauke fiksuoja atstumo informaciją iki nuskaityto paviršiaus. Tokio trimačio skaitytuvo sukurtame atvaizde kiekvienas taškas aprašo atstumą iki jį atitinkančio taško paviršiuje.

Jeigu sferinė koordinatė sistema yra apibrėžta pagal skenerio būvimo vietą, t.y, jei pradžios taškas yra 0 ir vektorius išeina iš to taško: $\phi=0$ ir $\theta=0$, tuomet kiekvienas nuskaityto paviršiaus taškas yra susietas su koordinatė sistema. Kartu su atstumu, kuris atitinka r komponentą, šios sferinės koordinatės visiškai apibūdina trijų dimensijų padėtį kiekvieno paviršiaus taško vietinėje koordinatė sistemoje, susietoje su skeneriu.



13 pav. Taškas 3D erdvėje aprašytas polinė ($\phi; \theta; \rho$) ir stačiakampė ($x; y; z$) koordinatė sistema

Daugumoje situacijų skenavimas iš vienos vietos neduos viso objekto modelio. Dauguminis nuskaitymas, kartais net dešimčių kartų, iš daug skirtingų pozicijų dažniausiai yra būtinas gauti informacijai apie visas tiriamo objekto plokštumas. Šie nuskaitymai turi būti susieti su bendra atskaitos sistema. Šis procesas vadinamas vizavimu arba registravimu. Duomenys, gauti nuskaitymą paviršių iš visų reikalingų pusių, yra sujungiami (registruojami) ir yra sukuriamas visas realaus pasaulio objekto modelis (Curless 2009) ,(Altuntas *et al.* 2006)



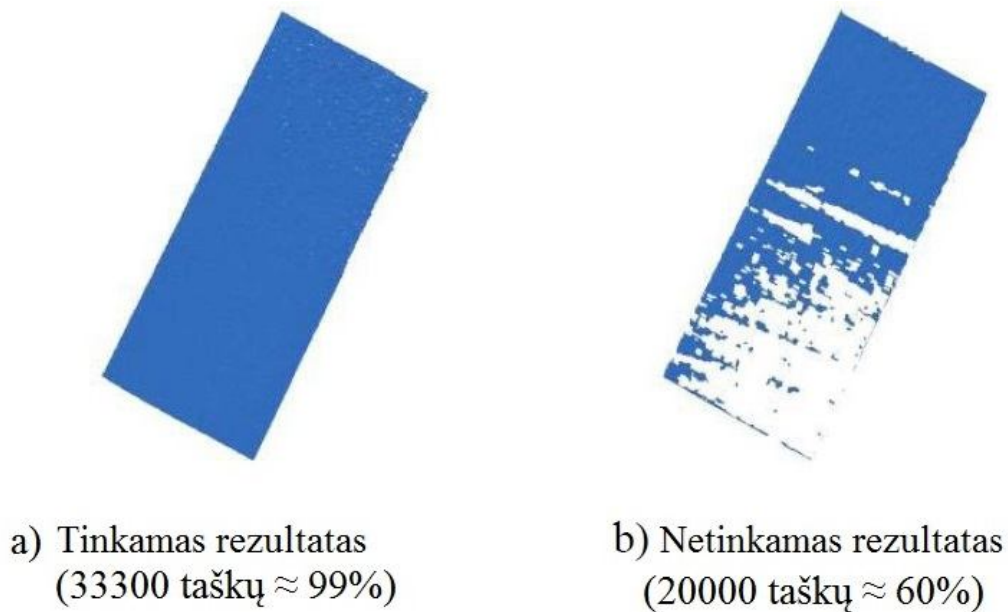
14 pav. Lazerinio skenavimo principas (Boehler *et al.* 2003)

Nuskenavus objekto paviršių gaunamas trimatis taškų modelis, vadinamas taškų debesiu.

2. SKENAVIMO DUOMENŲ KOKYBĘ ĮTAKOJANTYS VEIKSNIAI

Antžeminis lazerinis skenavimas – tai duomenų surinkimo technika, pasižyminti ne tik greitu matavimu, bet ir dideliu duomenų tikslumu. Gauti duomenys yra išreiškiami vadinamuoju taškų debesiu, kuris sudarytas iš taškų. Taškų tikslumas yra paveiktas įvairiausių paklaidų, todėl matavimų tikslumas negali būti užtikrintas su tokiu pat tikslumo lygiu kaip matavimų, atliktų su tradiciniais geodezinių tyrimų instrumentais. Prietaiso tikslumas, pateiktas skenerio specifikacijoje, negali būti vertinamas vienareikšmiškai. Skenuojant objektus, sąlygos būna netobulos, dėl to ir gautieji rezultatai gaunami su didesnėmis ar mažesnėmis paklaidomis. Todėl yra atliekami įvairūs bandymai, bandoma ištirti ir nustatyti, kokios paklaidos atsiranda skenavimo metu esant tam tikroms sąlygoms (Cuartero *et al.* 2010).

Paveiksle (15 pav.) iliustruojamas vienas iš pavyzdžių, kaip gautus duomenis, gali veikti paviršiaus savybės, šiuo atveju - grublėtumas. Paveikslo, "a)" dalyje matomas nuskenuotas lygaus paviršiaus objektas, ir pateiktas gautas rezultatas – tinkamai nuskenuota 99 % objekto, taškų kiekis taškų debesyje - ~33 tūkst. Paveikslo "b)" dalyje pateiktas nuskenuoto to paties objekto, tik su grublėtu paviršiumi, vaizdas. Kaip matome, paviršiaus nelygumas daro nemažą įtaką rezultatams. Tinkamai atvaizduota tik ~60 % paviršiaus. Taškų debesį sudaro tik apie 20 tūkst. taškų (Zaimovic-Uzunovic *et al.* 2010).



15 pav. Dviejų skirting paviršių skenavimo rezultatas

Atlikus daugelį bandymų nustatyta nemažai veiksnių, lemiančių skenavimo metu gautų duomenų kokybę. Klaidų šaltiniai gali būti suskirstyti į keturias pagrindines grupes:

- **Instrumentinės klaidos;**
- **Metodologinės klaidos;**
- **Klaidos, atsirandančios dėl aplinkos sąlygų;**
- **Klaidos, atsirandančios dėl skenuojamo objekto paviršiaus savybių.**

2.1 Instrumentinės klaidos

- Instrumentinės klaidos gali būti sugrupuotos į sisteminės arba atsitiktinės klaidas. Atsitiktinės klaidos daugiausia veikia atstumo ir kampo matavimo tikslumą. Tai dažniausiai apibrėžiama kaip maži, nekontroliuojami nuokrypiai gautoje matavimo reikšmėje. Šiuos nuokrypius vadiname instrumentų tikslumu. Sisteminės paklaidos gali atsirasti dėl pretaiso tam tikrų trūkumų ar blogai parinktų apskaičiavimo modelių, naudojamų tyrime.

- Lazerio taško plotis – tai viena iš svarbiausių skenerio ypatybių, kuri stipriai veikia tiek taškų debesies skenavimo raišką, tiek padėtį. Daugiausia lazerio taško divergencija veikia kampo matavimus. (Cosarca *et al.* 2006)

2.2 Metodologinės klaidos

Metodologinių klaidų atsiradimas bei panaikinimas labai priklauso nuo tyrėjo patirties. Kad išvengtų metodologinių klaidų, kiekvienas tyrėjas prieš atlikdamas darbą turi gerai įvertinti atliekamo tyrimo situaciją, parinkti tinkamą matavimų įrangą, parinkti tinkamiausias sąlygas atlikti veiksmus. Pavyzdžiui, vienas iš tyrėjo pasirenkamų parametrų prieš matavimus yra skiriamoji geba:

Skiriamoji geba - tai techninė charakteristika, nusakanti, kiek pikselių (taškų) yra vertikalia ir horizontalia kryptimi. Kitu atveju tai gali nusakyti taško dydį. Pagal norimą rezultatą (kokio detalumo paviršiaus reikia) skiriamoji geba parenkama prieš atliekant skenavimą bei apskaičiuojamas tikėtinas taškų skaičius rezultate. Parinkus per mažą rezoliuciją gaunamas rezultatas, netenkinantis norimos skenuojamo objekto kokybės (Kersten *et al.* 2005)

2.3 Aplinkos sąlygų įtaka

Geodeziniai darbai, atliekami skenuojant antžeminiu lazeriniu skeneriu, vyksta beveik visiškai nekontroliuojamomis aplinkos sąlygomis. Dėl to yra nemažai šaltinių, darančių įtaką rezultatų kokybei. Dauguma skenerių dirba tik nustatytame temperatūrų diapazone. Net jeigu darbai atliekami prie diapazone esančios temperatūros, šis veiksnys vis tiek gali veikti skenavimo rezultatus. Ypač tai gali pasireikšti skenuojant didesniais atstumais. Pavyzdžiui, dėl šilumos spinduliavimo nuo objektų paviršiaus. Skenuojant trumpais atstumais, tokie veiksniai, kaip šviesa, temperatūra ar slėgis, didelės įtakos rezultatams neturės, tačiau tokie rodikliai, kaip dulkės ar garai, gali veikti rezultatus panašiai, kaip aprašyta „kampo efekto“ principu. (Sanz-Cortiella *et al.* 2005)

Temperatūra, slėgio pokyčiai, drėgmė, šiluma, vėjas, gravitacija, atmosferos refrakcija, atspindžiai ir daug kitų sąlygų gali daryti neigiamą įtaką rezultatams. Klaidos, atsirandančios dėl tokių priežasčių, kartais vadinamos „išorinėmis klaidomis“. Dauguma tokių klaidų sistemiškai pataisomos matavimų procesų metu. (Lichti *et al.* 2002)

2.4 Klaidos, atsirandančios dėl objekto paviršiaus ypatybių

Kadangi skenavimo esmė yra lazerio spindulio atspindėjimas nuo objekto paviršiaus, todėl būtina įvertinti paviršiaus įtaką skenavimo rezultatams. Egzistuoja daugybė paviršiaus

veiksnių, kurie vienaip ar kitaip veikia gaunamų rezultatų kokybę. Dažniausiai išskiriamos šios objektų savybės, veikiančios matavimų duomenis:

- **Kampo efektas,**
- **Paviršiaus ypatybės:**
 - Atspindys,
 - Spalva,
 - Medžiaga,
 - Skaidrumas,
 - Apšviestumas,
 - Drėgnumas,
 - Intensyvumas ,
 - Kitos.

2.4.1 Kampo efektas:

Lazerio taškas, net ir esant aukštai rezoliucijai, ant skenuojamo paviršiaus turi atitinkamą dydį. Ten, kur lazerio taškas kerta objekto briauną, tik dalis taško yra atspindima nuo artimiausio objekto. Kita dalis taško jau atsispindi nuo gretimo paviršiaus, visiškai nuo kito objekto esančio netoliese, arba visiškai nebeatspindi (kuomet nėra kito objekto skenavimo diapazone). Todėl skenuojant visada būna dalis „blogų“ taškų. Jie gali sudaryti nuo kelių milimetrų iki keliasdešimt centimetrų plotą, priklausomai nuo skenuojamo objekto dydžio. Tai yra viena iš didžiausių problemų, pasireiškiančių nuskenuotuose modeliuose, kadangi tai sudaro keblumų formuojant tikslų trimatės figūros modelį (Soudarissanane *et al.* 2009)

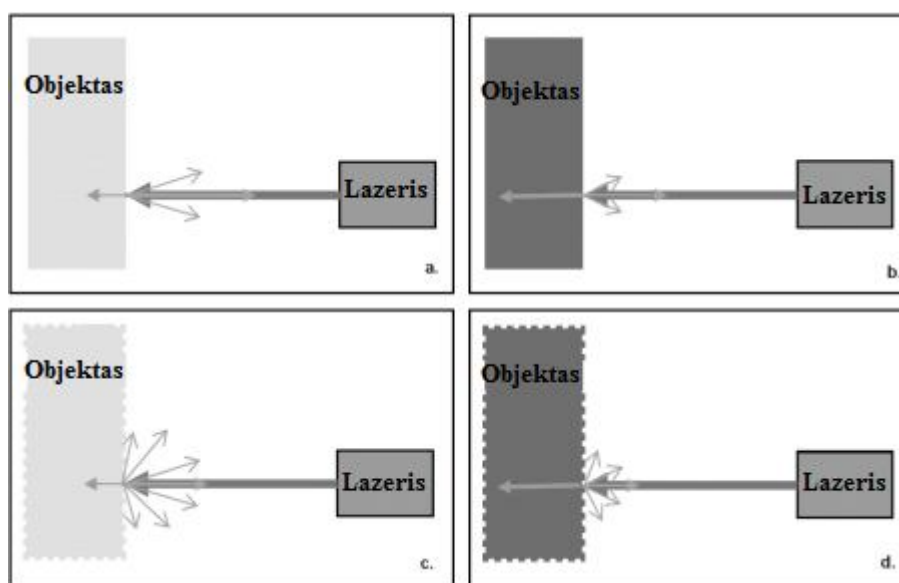
2.4.2 Paviršiaus savybių įtaka

Lazeriniai skeneriai turi pasikliauti signalu, atsispindėjusiu nuo objekto paviršiaus. Bet kuriuo atveju (be kitų faktų, tokių kaip atstumas, atmosferos sąlygos, nuolydžio kampas) grįžtančio signalo stiprumą įtakoja paviršiaus „gebėjimas“ atspindėti signalą.

Dėl spalvinių savybių įtakos: balta spalva lemia stiprų atspindėjimą, juoda – prastesnį. Blizgius paviršius dažnai nėra lengva nuskenuoti. Yra ištirta, jog skirtingų atspindėjimo savybių turintys paviršiai sudaro skirtingas sisteminės paklaidas. Skenuojant kai kuriuos paviršius, gautos paklaidos gali kelis kartus viršyti standartinius nuokrypius. Šią objektų savybę galima išspręsti skenuojant objektus (jeigu tai yra įmanoma) įvelkant į tyrimais įrodytą geriausio atspalvio paviršių. (Clark *et al.* 2004).

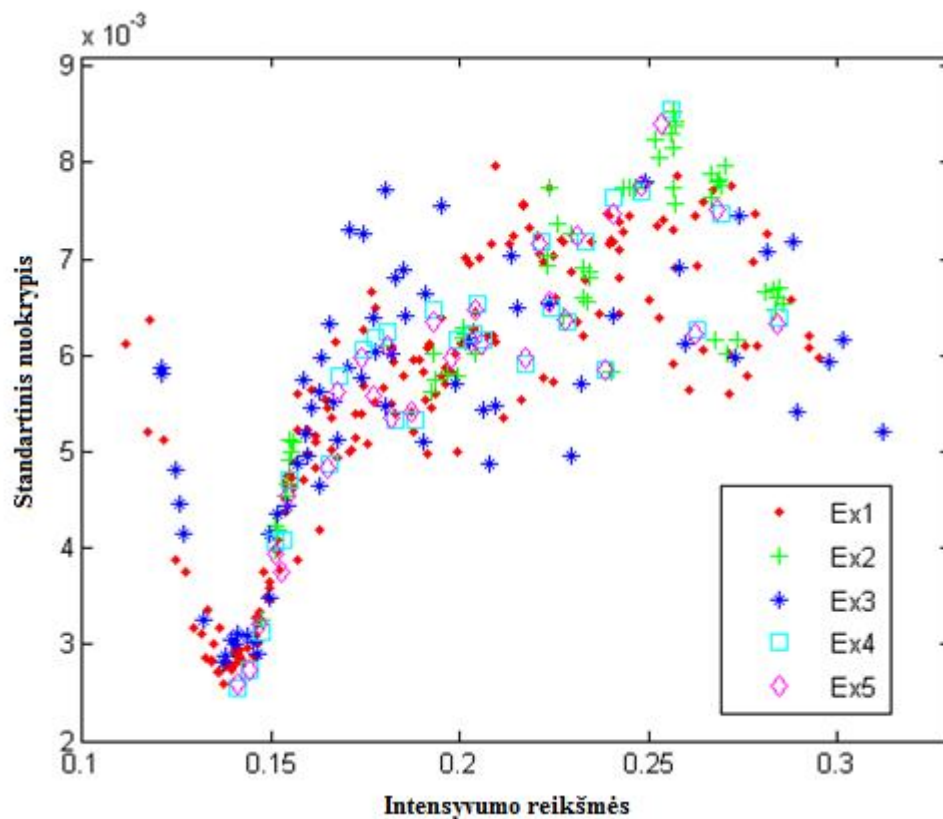
Paviršiaus drėgnumo įtaka skenavimo rezultatas taip pat yra ištirta. Lyginant taškų debesis sauso ir drėno paviršiaus – drėno paviršiaus atspindžio intensyvumo reikšmės yra sumažėjusios (Voegtle *et al.* 2004).

Intensyvumas tai išspinduliuotos ir atspindėjusios energijos kiekio santykis. (parodo sugrįžusios energijos stiprumą). Skenuojant šviesius paviršius, paviršiaus intensyvumo reikšmės gaunamos didesnės. Tai įtakoja spalvų spektrinės savybės. Šviesesnė spalva geriau atspindi šviesą nei tamsesnė spalva. Intensyvumo reikšmės įtakoja nuskenuoto paviršiaus duomenų geometrines savybes. (Bucksch *et al.* 2004) (Cang G. 2013)



16 pav. Skirtingų objekto paviršių poveikis lazerio spinduliui (Bucksch *et al.* 2004)

Taško intensyvumas, užfiksuotas skenerio imtuve priklauso nuo paviršiaus absorbcijos ir sklaidos, nes lazerio energija yra arba absorbuojama paviršiaus arba išskaidoma įvairiomis kryptimis. (Bucksch *et al.* 2004)



17 pav. Intensyvumo reikšmių standartinių nuokrypių pasiskirstymas (Pfeifer *et al.* 2005)

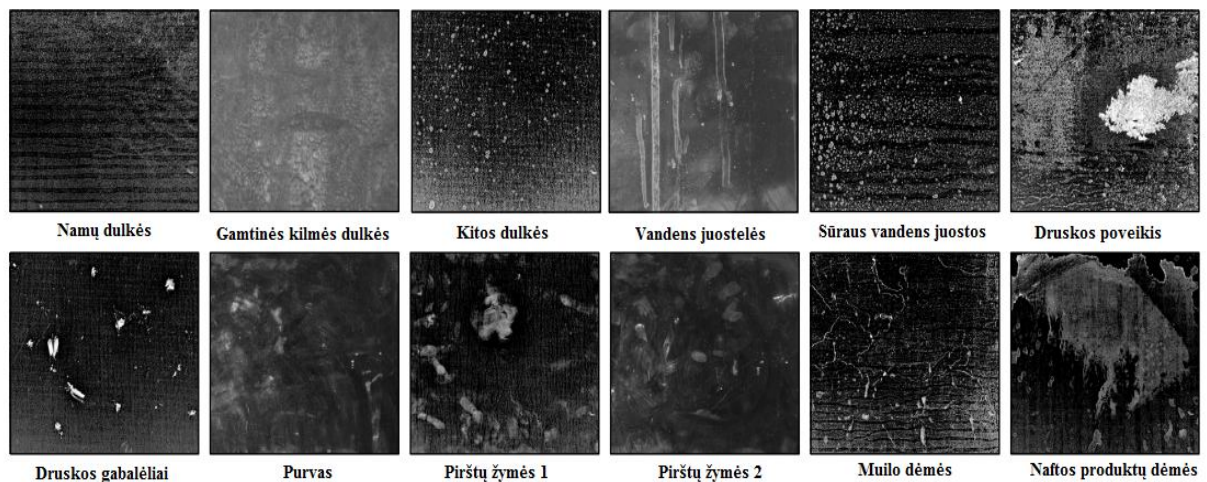
Atlikus bandymus pastebėta, kad intensyvumo reikšmių standartinio nuokrypio S_I reikšmės pirmiausiai priklauso nuo pačių intensyvumo reikšmių I . Grafike pateiktos eksperimento metu gautos intensyvumo reikšmės intervale $[0.112; 0.312]$. Standartinis nuokrypis šių intensyvumo reikšmių yra intervale $[0.0026; 0.0086]$. Intensyvumo reikšmės turi mažiausią standartinį nuokrypį ties $I=0.14$ ($S_I=0.0026$). Ties mažesnėmis ir didesnėmis intensyvumo reikšmėmis standartinis nuokrypis kyla. Atlikus bandymą su didesnio intensyvumo paviršiais, gautas intensyvumo reikšmių intervalas $[0.541; 0.725]$. Standartinis nuokrypis intervale $[0.021; 0.089]$. Tai yra dešimt kartų didesnis nuokrypis negu pirmajame tyrime. Intensyvumo reikšmės šio paviršiaus taip pat didesnės už pirmuoju bandymu atliktas daugiau kaip tris kartus. Šio bandymo rezultatai parodo, jog žemesnio intensyvumo paviršiai gali būti išmatuoti daug tiksliau. (Pfeifer *et al.* 2005)

Dauguma antžeminio lazerinio skenavimo sričių vienaip ar kitaip susijusios su skaidriais, stikliniais paviršiais: skenuojant paveldosauginius objektus (stikliniai langai bažnyčiose, muziejuose), miestų modeliavimuose (skenuojami ištisi statinių masyvai, kur nemažą dalį gali sudaryti statiniai iš metalo ir stiklo konstrukcijų) ir k.t. Tačiau paviršiaus skaidrumas – tai viena iš mažiausiai ištirtų paviršiaus savybių, stipriai lemiančių skenuotų duomenų kokybę. Stiklas yra labai ypatingas paviršius skenavimui, dėl savo aukšto išorinio

atspindžio, vidinių mikrodalelių, kurios labai skirtingai reaguoja į bandymą nuskenuoti lazeriu, lyginant su kitais paviršiais. Dėl to reakcija į lazerinių skenerių spindulį yra labai sunkiai nuspėjama (Salemi *et al.* 2008).

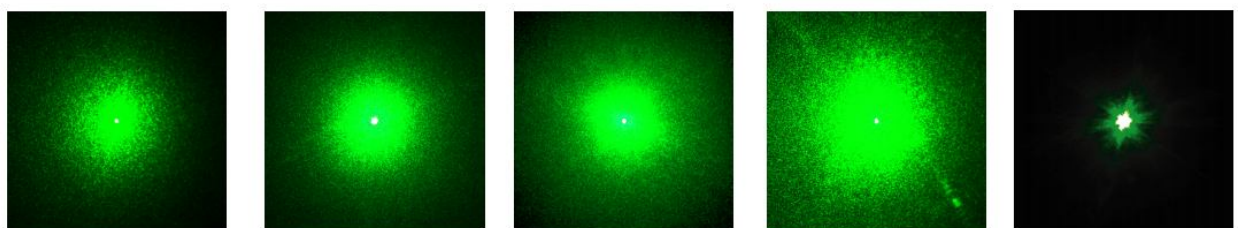
Lazerio reakcija į stiklą gali priklausyti ne tik dėl stiklo vidinių ypatybių bet ir dėl išorinių veiksnių, tokių kaip dulkės, lietaus lašai, stiklo lietimo žymės. Atlikti bandymai rodo, jog vienaip ar kitaip išoriniai veiksniai lemia stiklinio paviršiaus skenavimo duomenų tikslumą. (Ramamoorthi *et al.* 2007)

18 paveiksle pateikiami pavyzdžiai, kokie išoriniai veiksliai gali paveikti lazerio spindulį skenuojant pro stiklą.



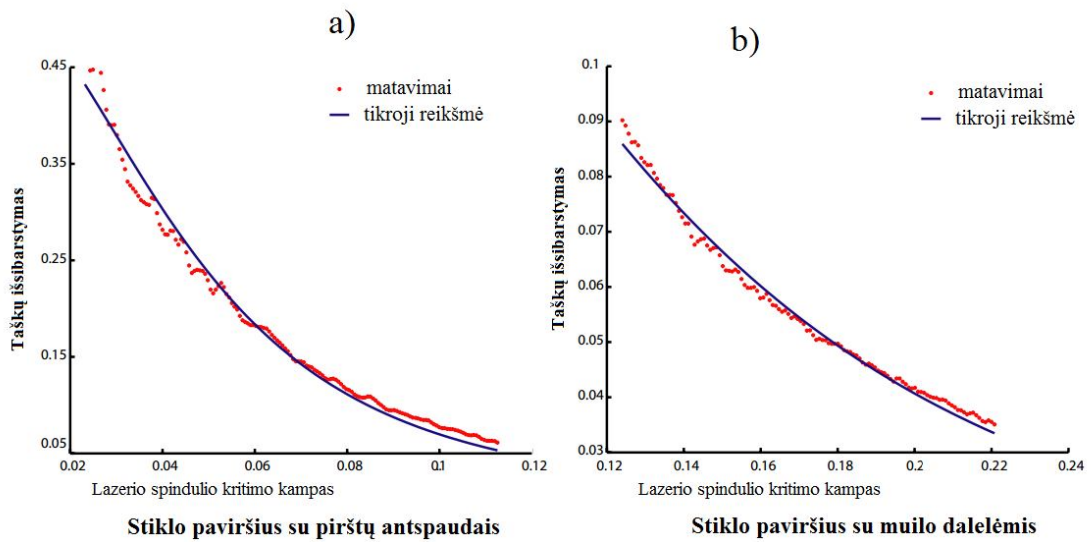
18 pav. Stiklai, padengti nešvarumais (Ramamoorthi *et al.* 2007)

Skirtingi stiklo nešvarumai skirtingai veikia lazerio spindulį. Paveiksle (19 pav.) pavaizduota normalus lazerio sklaidimo pro stiklą vaizdas (iš dešinės pirmas pavyzdys) bei nešvaraus stiklo paveikto lazerio spindulio vaizdas

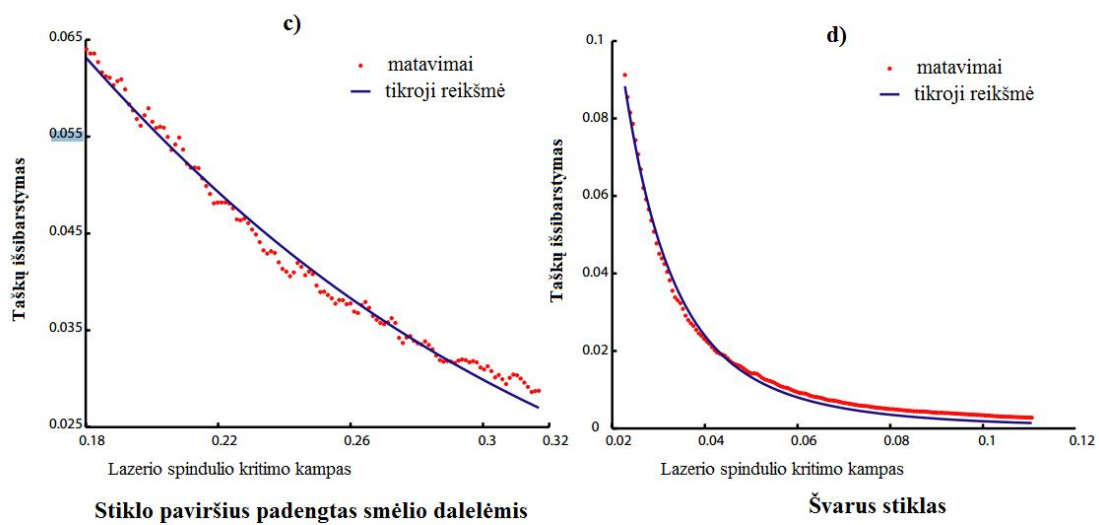


19 pav. Lazerio spindulio reakcija į skirtingomis dalelėmis padengtus stiklus (Ramamoorthi *et al.* 2007).

Diagramose „a)“, „b)“, „c)“, „d)“ pateikti taškų, gautų nuskenavimus skirtingus stiklų pavyzdžius, išsibarstymas, lyginant su tikrąją reikšme. Visose diagramose nuskenuotų taškų reikšmė skiriasi nuo tikrosios. Tačiau, kaip matome iš diagramos „d)“, skenuojant stiklą, nepadengtą kitomis pašalinėmis dalelėmis, nuskenuotų taškų išsibarstymas yra minimaliausias.



20 pav. Stiklo paviršius padengtas pirštų antspaudais 21 pav. Stiklo paviršius padengtas muilo dalelėmis



22 pav. Stiklo paviršius padengtas smėlio dalelėmis

23 pav. Švarus stiklas

Šiuo aspektu magistrinio darbo tyrime atlikau tyrimus su stiklu. Stiklas buvo tiriamas tiek kaip kliūtis lazerio spinduliui pasiekti skenuojamą objektą, tiek kaip tarpinis paviršius.

3. SKIRTINGŲ PAVIRŠIŲ SAVYBIŲ ĮTAKOS SKENAVIMO REZULTATAMS ANALIZĖ

Magistrinio darbo tyrimo objektas – skirtingų paviršių savybių įtaka antžeminio lazerinio skenavimo rezultatų kokybei

Tyrimui naudoti mediniai, skirtingų spalvų bei šviesai pralaidūs paviršiai (stiklo lakštai). Skenavimas atliktas naudojant antžeminį lazerinį 3D skenerį *Leica Scanstation C10*.

Kadangi magistrinio darbo tikslas ištirti skirtingų paviršių savybių įtaką skenavimo rezultatams, nebuvo analizuojama temperatūros, kampo, apšviestumo įtaka. Bandymai atlikti auditorijoje, todėl tokie veiksniai kaip temperatūra, slėgis bei kitų atmosferos sąlygų kitimai buvo minimalūs.

Atlikta 102 tyrimųjų skenavimo bandymų.

3.1 Medinių paviršių įtakos analizė

Tyrimas nr.: 1

Pirmas bandymas atliktas su skirtingos medienos paviršiais. Tirti 4 skirtingų medienų pavyzdžiai (nuotraukoje iš kairės: liepa, beržas, juodalksnis, ąžuolas). Pavyzdžio viena pusė yra lygi, kita grublėta (24 pav.)

Lygi:



24 pav. Skirtingų medienų lygiu paviršiumi pavyzdžiai

Grublėta:



25 pav. Skirtingų medienų nelygiu paviršiumi pavyzdžiai

Buvo skenuojama keičiant atstumą bei skiriamąją gebą.

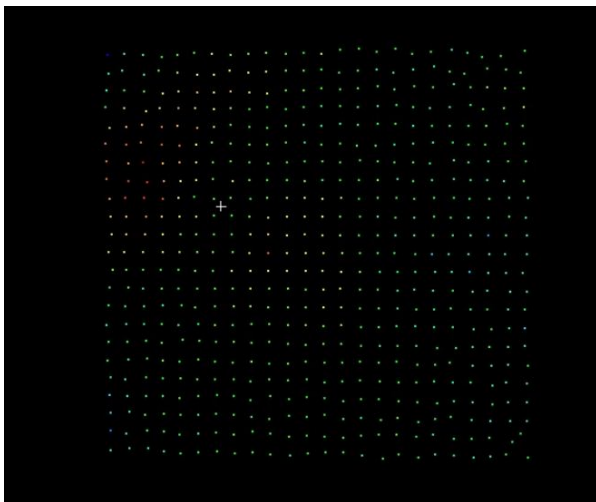
26 paveiksle pateiktas nuskenuoto paviršiaus duomenų failo fragmentas.

Užfiksuota: iš kairės - x,y,z koordinatės ir intensyvumo reikšmė.

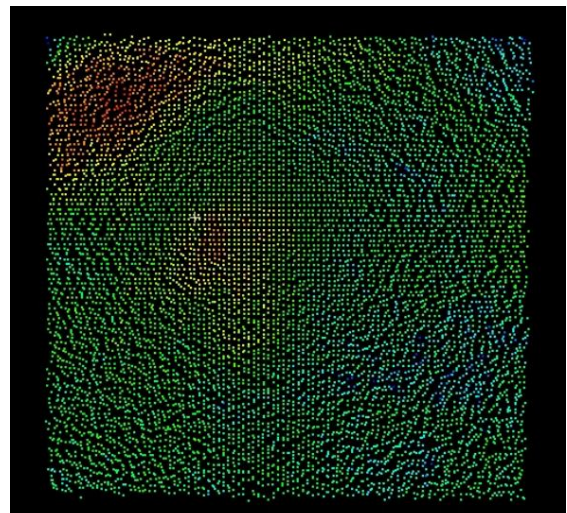
Berzas-lygus.txt - Notepad				
File	Edit	Format	View	Help
0.714	-2.155	-0.215	-1023	
0.715	-2.156	-0.213	-974	
0.715	-2.156	-0.21	-1002	
0.715	-2.156	-0.208	-1006	
0.715	-2.157	-0.205	-1072	
0.714	-2.154	-0.203	-1087	
0.714	-2.155	-0.2	-1064	
0.714	-2.154	-0.198	-1046	
0.715	-2.156	-0.196	-1083	
0.715	-2.157	-0.193	-1075	
0.716	-2.159	-0.191	-1152	
0.715	-2.157	-0.189	-1167	
0.716	-2.159	-0.186	-1175	
0.716	-2.159	-0.184	-1206	
0.716	-2.158	-0.181	-1223	
0.715	-2.156	-0.179	-1252	
0.715	-2.156	-0.176	-1244	
0.715	-2.156	-0.174	-1236	
0.716	-2.159	-0.172	-1159	
0.715	-2.156	-0.169	-1110	
0.716	-2.157	-0.167	-1031	
0.716	-2.159	-0.165	-1028	
0.716	-2.158	-0.162	-924	
0.712	-2.157	-0.215	-1055	
0.712	-2.155	-0.212	-1049	
0.713	-2.158	-0.21	-1047	
0.712	-2.156	-0.208	-1047	
0.712	-2.155	-0.205	-1039	
0.713	-2.158	-0.203	-1065	
0.713	-2.157	-0.201	-1082	
0.712	-2.156	-0.198	-1064	
0.712	-2.156	-0.196	-1085	
0.713	-2.158	-0.193	-1121	
0.713	-2.157	-0.191	-1121	
0.712	-2.155	-0.188	-1196	
0.713	-2.157	-0.186	-1209	
0.713	-2.158	-0.184	-1211	

26 pav. Nuskenuoto beržinio lygaus paviršiaus duomenų failo fragmentas

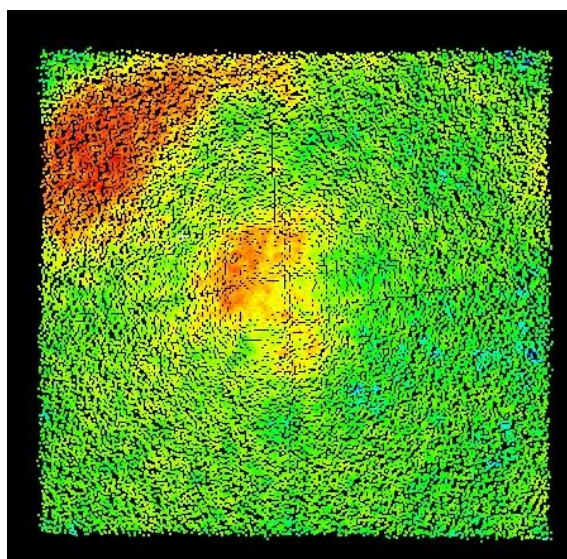
Paveiksluose nr.: 27, 28, 29 pateiktas nuskenuotų iš ~2m. atstumo paviršių atvaizdavimas taškų masyvu (taškų debesimi“), pagal intensyvumo reikšmių spektrą.



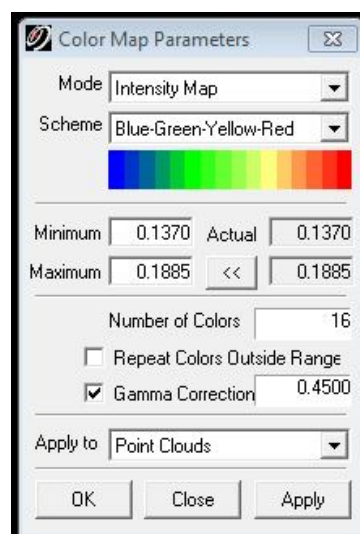
27 pav. Skiriamoji geba 1m/1mm



28 pav. Skiriamoji geba 4m/1mm



29 pav. Skiriamoji geba 8m/1mm



30 pav. Intensyvumo verčių atvaizdavimo žemėlapiu parametrų nustatymas

Atlikti 32 bandymai. Gauti duomenys pateikti 4-7 lentelėse. Lentelėse nr.: 4-6 pateikti rezultatai, skenuojant iš ~2 m. atstumo keičiant lazerio spindulio taško skiriamąją gebą. Lentelėje nr.: 7 pateikti rezultatai, gauti skenuojant iš ~8 m. atstumo.

4 lentelė. 1m/1mm skiriamoji geba

Nr.	Paviršius	Lazerio taško skiriamoji geba	Intensyvumas	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	Beržas/lygus	1m/1mm.	-1108	552	552
2.	Beržas/grublėtas	1m/1mm.	-1278	552	552
3.	Liepa/lygus	1m/1mm.	-832	552	552
4.	Liepa/grublėtas	1m/1mm.	-1017	552	552
5.	Juodalksnis/lygus	1m/1mm.	-1132	552	552
6.	Juodalksnis/grublėtas	1m/1mm.	-1236	552	552
7.	Ažuolas/lygus	1m/1mm.	-1074	552	552
8.	Ažuolas/grublėtas	1m/1mm.	-1134	552	552

5 lentelė. 4m/1mm skiriamoji geba

Nr.:	Paviršius	Lazerio taško skiriamoji geba	Intensyvumas	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	Beržas/lygus	4m/1mm.	-1124	8832	8832
2.	Beržas/grublėtas	4m/1mm.	-1294	8832	8832
3.	Liepa/lygus	4m/1mm.	-872	8832	8832
4.	Liepa/grublėtas	4m/1mm.	-1043	8832	8832
5.	Juodalksnis/lygus	4m/1mm.	-1149	8832	8832
6.	Juodalksnis/grublėtas	4m/1mm.	-1217	8832	8832
7.	Ažuolas/lygus	4m/1mm.	-1123	8832	8832
8.	Ažuolas/grublėtas	4m/1mm.	-1153	8832	8832

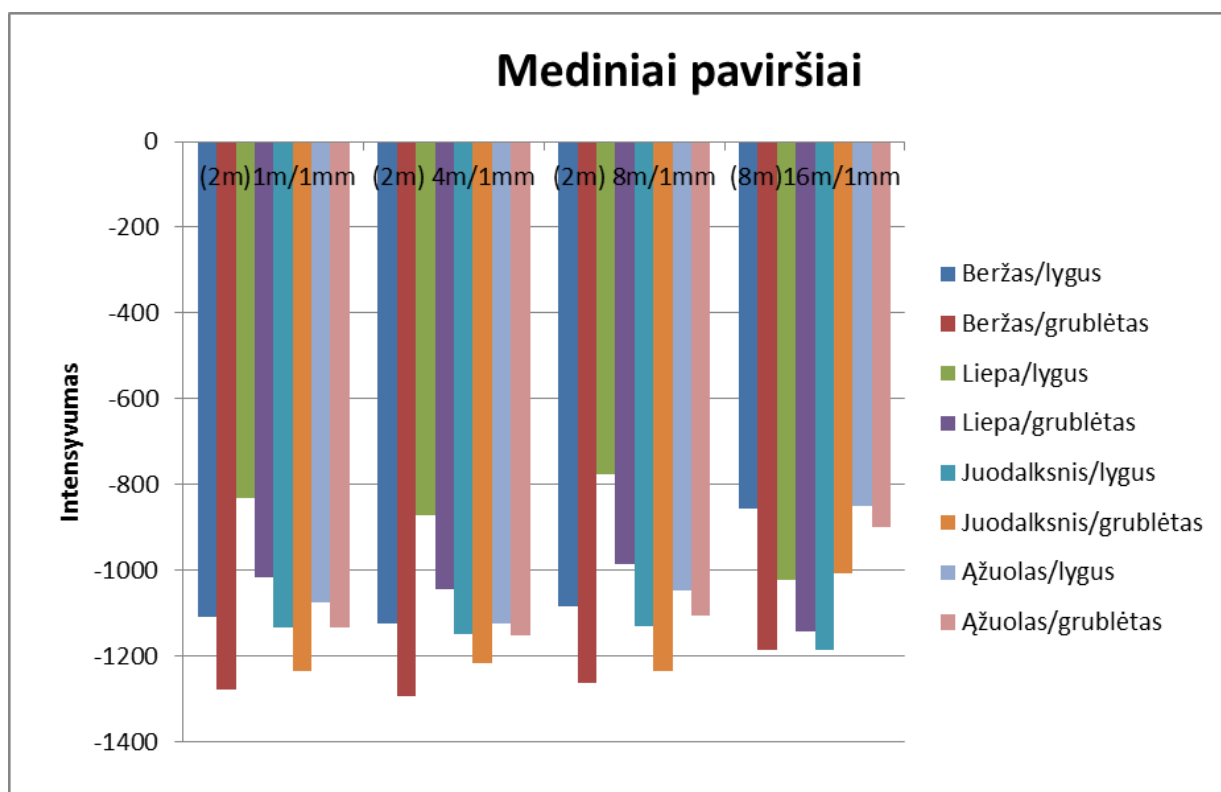
6 lentelė. 8m/1mm skiriamoji geba

Nr.:	Paviršius	Lazerio taško skiriamoji geba	Intensyvumas	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	Beržas/lygus	8m/1mm.	-1085	35705	35705
2.	Beržas/grublėtas	8m/1mm.	-1263	35705	35705
3.	Liepa/lygus	8m/1mm.	-776	35705	35705
4.	Liepa/grublėtas	8m/1mm.	-984	35705	35705
5.	Juodalksnis/lygus	8m/1mm.	-1131	35705	35705
6.	Juodalksnis/grublėtas	8m/1mm.	-1236	35705	35705
7.	Ažuolas/lygus	8m/1mm.	-1047	35705	35705
8.	Ažuolas/grublėtas	8m/1mm.	-1106	35705	35705

7 lentelė. 16m/1mm skiriamoji geba

Nr.:	Paviršius	Lazerio taško skiriamoji geba	Intensyvumas	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	Beržas/lygus	16m/1mm.	-855	10810	10810
2.	Beržas/grublėtas	16m/1mm.	-1187	10810	10810
3.	Liepa/lygus	16m/1mm.	-1023	10810	10810
4.	Liepa/grublėtas	16m/1mm.	-1141	10810	10810
5.	Juodalksnis/lygus	16m/1mm.	-1006	10810	10810
6.	Juodalksnis/grublėtas	16m/1mm.	-1187	10810	10810
7.	Ažuolas/lygus	16m/1mm.	-850	10810	10810
8.	Ažuolas/grublėtas	16m/1mm.	-898	10810	10810

Gautų rezultatų grafikas:



31 pav. Medinių paviršių atspindžio intensyvumo reikšmės

Pirmajame tyrime buvo skenuoti mediniai paviršiai. Buvo parinkti keturių skirtingų medienų rūšių paviršiai po du pavyzdžius: lygų ir grublėtą.

Lentelėse pateikti rezultatai. Buvo fiksuojamas atstumas iki objekto ir paviršiaus atspindžio intensyvumas. Intensyvumo reikšmė suteikta kiekvienam paviršiaus taškui. Lentelėje pateiktas taškų atspindžio intensyvumo vidurkis.

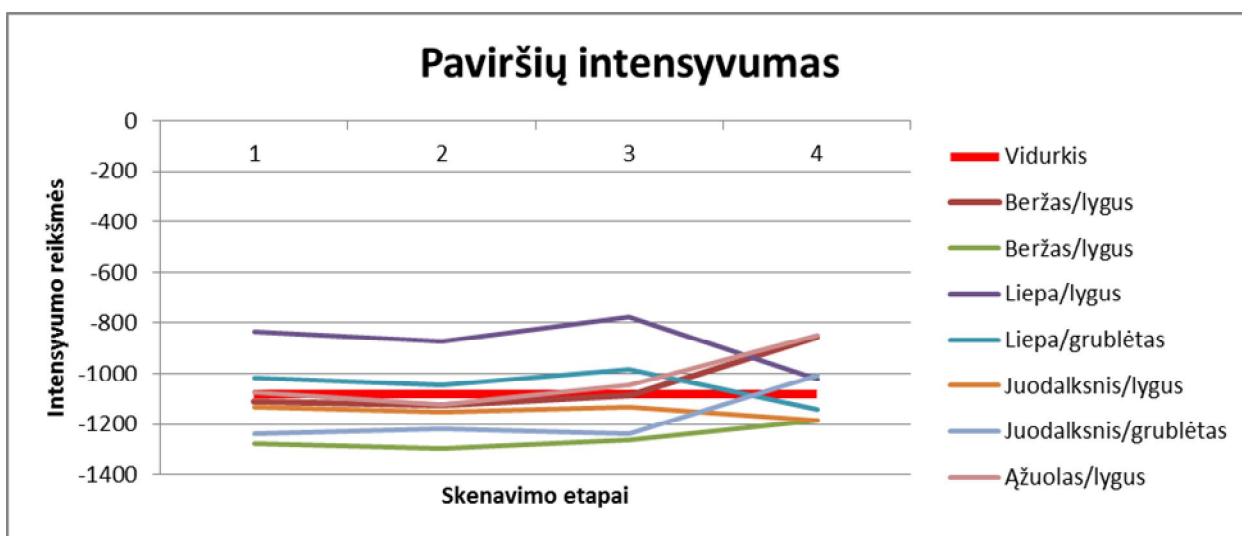
Atstumas nuo pritaiso iki skenuojamo objekto paviršiaus paskaičiuotas pagal taškų koordinates.

Atstumas nuo skenerio iki taško apskaičiuotas remiantis formule :

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Atstumas iki medinių paviršių nebuvo pateiktas rezultatų lentelėse, kadangi paviršiai nebuvo preciziškai vienodi, dėl to netikslinga vertinti skirtingų medienų paviršių įtakos atstumo tikslumo nustatymui.

Gauti rezultatai parodė, jog paviršiaus nelygumas nedaro įtakos nuskenuojamam taškų skaičiui. Skeneryje nustačius skenavimo langą, bei parinkus lazerio taško skiriamąją gebą, prietaise yra parodomas tikėtinas/maksimalus nuskenuotų taškų skaičius. Nuskenavus gavome lygiai tokį patį skaičių taškų. Visi lazerio išspinduliuoti taškai buvo užfiksuoti nuo skenuojamo paviršiaus. Skenuojant kiekvienam taškui suteikiama intensyvumo reikšmė. Tyrimai parodė, jog paviršiaus nelygumai įtakoja intensyvumo reikšmes. Lygių paviršių atspindžio intensyvumo reikšmės gautos didesnės už grublėtų paviršių reikšmes. Grafike nr. 32 pateikiami paviršių atspindžio intensyvumo pokyčiai 4 etapuose (pirmuosiuose trijuose skenavimo etapuose buvo keista skiriamoji geba, o ketvirtame etape buvo pakeistas skenavimo atstumas). Gautųjų rezultatų intensyvumo reikšmių vidurkis grafike atvaizduotas storesne raudona linija.



32 pav. Medinių paviršių atspindžio intensyvumo pokyčiai

Iš grafiko galima matyti, jog keičiant rezoliuciją intensyvumo reikšmės kito nežymiai, didesni svyravimai matomi pakeitis skenavimo atstumą.

Paviršiaus atspindžio intensyvumo svyravimai prie trijų skirtingų rezoliucijų (atstumas iki skenuojamo paviršiaus ~2 m.):

- Beržo medienos lygiu paviršiumi - 3,5 %,
- Beržo medienos grublėtu paviršiumi – 2,4 %
- Liepos medienos lygiu paviršiumi – 11 %
- Liepos medienos grublėtu paviršiumi – 5,6 %

- Juodalksnio medienos lygiu paviršiumi – 1,6 %
- Juodalksnio medienos grublėtu paviršiumi – 1,5 %
- Ažuolo medienos lygiu paviršiumi – 6,7 %
- Ažuolo medienos grublėtu paviršiumi – 4,1 %

Skenuojant iš didesnio atstumo (~8m.) intensyvumo reikšmės kito ženkliau. (Pateikiami rezultatai lyginant intensyvumo reikšmių vidurkį skenuojant iš ~2m. atstumo)

- Beržo medienos lygiu paviršiumi - 22,7 %,
- Beržo medienos grublėtu paviršiumi – 7,1 %
- Liepos medienos lygiu paviršiumi – 14,9 %
- Liepos medienos grublėtu paviršiumi – 8,0 %
- Juodalksnio medienos lygiu paviršiumi – 11,5 %
- Juodalksnio medienos grublėtu paviršiumi – 3,5 %
- Ažuolo medienos lygiu paviršiumi – 21,4 %
- Ažuolo medienos grublėtu paviršiumi – 20,6 %

Tačiau taškų skaičius taip pat nepakito kaip ir atliekant matavimus iš keturiskart trumpesnio atstumo.

Nustatyta, kad paviršiaus atspindžio intensyvumo reikšmėms įtakos turi paviršiaus nelygumai, atstumas ir skiriamoji geba.

Remiantis teorijoje aprašytais intensyvumo įtakos geometriniam skenuotų duomenų tikslumui tyrimais, galima teigti, jog paviršiaus grublėtumas daro įtaką nuskenuotų paviršiaus taškų geometrinio tikslumo nustatymui.

3.2 Skirtingų spalvų paviršių įtakos analizė

Antras bandymas atliktas su skirtingų spalvų vienodais paviršiais. Šiam tyrimui atlikti pasirinkti spalvoti lapai. Lapai buvo tvirtinami prie lentos ir nekeičiant lentos vietos, atliekami skenavimai su skirtingų spalvų lapais. Bandymas atliktas su 5 skirtingomis spalvomis (balta, raudona, geltona, šviesiai ruda, juoda).

33 paveiksle pavaizduotas lapo tvirtinimo pavyzdys.



33 pav. Pritvirtintas geltonas lapas

Nuskenuto geltono lapo gautų duomenų fragmentas pateiktas 34 paveiksle:

geltonas.txt - Notepad				
File	Edit	Format	View	Help
0.723	-2.18	-0.217	33	
0.723	-2.182	-0.215	90	
0.723	-2.182	-0.213	192	
0.723	-2.18	-0.21	147	
0.723	-2.182	-0.208	78	
0.724	-2.182	-0.205	12	
0.724	-2.185	-0.203	33	
0.722	-2.179	-0.2	57	
0.724	-2.183	-0.198	-73	
0.723	-2.182	-0.196	237	
0.724	-2.183	-0.193	98	
0.724	-2.184	-0.191	53	
0.723	-2.181	-0.188	221	
0.723	-2.181	-0.186	180	
0.724	-2.182	-0.183	-48	
0.724	-2.182	-0.181	-28	
0.724	-2.182	-0.179	74	
0.724	-2.183	-0.176	106	
0.724	-2.182	-0.174	70	
0.725	-2.185	-0.171	-60	
0.724	-2.182	-0.169	33	
0.725	-2.184	-0.167	49	
0.725	-2.185	-0.164	53	
0.721	-2.183	-0.218	66	
0.721	-2.183	-0.215	188	

34 pav. Nuskenuto geltono lapo paviršiaus duomenų failo fragmentas

Fiksuojama taškų x,y,z koordinatės ir intensyvumo reikšmė

Atlikta 20 bandymų. Kaip ir pirmajame tyrime su skirtingos medienos paviršiais, buvo skenuojama iš dviejų atstumų ~2m. ir ~9 m. Skenuojant iš ~2m. atstumo buvo keičiama lazerio taško skiriamoji geba. Gauti rezultatai pateikti lentelėse nr.: 8, 9, 10, 11

8 lentelė. 1m/1mm skiriamoji geba

Nr.	Paviršiaus pavadinimas	Atstumas	Lazerio taško skiriamoji geba	Intensyvumas	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	Balta	2,3009	1m/1mm.	81	552	552
2.	Raudona	2,3059	1m/1mm.	31	552	552
3.	Geltona	2,3063	1m/1mm.	-258	552	552
4.	Šviesiai ruda	2,3051	1m/1mm.	-570	552	552
5.	Juoda	2,3069	1m/1mm.	-844	552	552

9 lentelė. 4m/1mm skiriamoji geba

Nr.:	Paviršiaus pavadinimas	Atstumas	Lazerio taško skiriamoji geba	Intensyvumas	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	Balta	2,3009	4m/1mm.	66	8832	8832
2.	Raudona	2,3057	4m/1mm.	25	8832	8832
3.	Geltona	2.3066	4m/1mm.	-311	8832	8832
4.	Šviesiai ruda	2,3054	4m/1mm.	-599	8832	8832
5.	Juoda	2.3068	4m/1mm.	-901	8832	8832

10 lentelė. 8m/1mm skiriamoji geba

Nr.	Paviršiaus pavadinimas	Atstumas	Lazerio taško skiriamoji geba	Intensyvumas	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	Balta	2,3010	8m/1mm	66	8832	8832
2.	Raudona	2,3058	8m/1mm	-19	8832	8832
3.	Geltona	2.3066	8m/1mm	-327	8832	8832
4.	Šviesiai ruda	2,3052	8m/1mm	-615	8832	8832
5.	Juoda	2.3069	8m/1mm	-955	8832	8832

11 lentelė. 16m/1mm skiriamoji geba

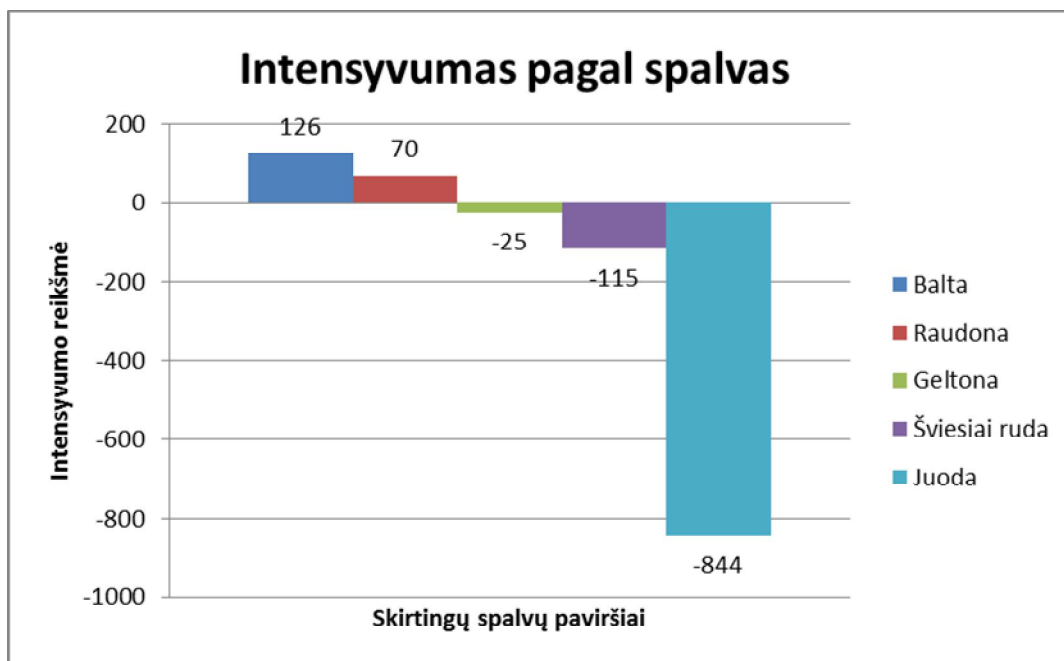
Atstumas : ~ 9 m.

Nr.	Paviršiaus pavadinimas	Atstumas	Lazerio taško skiriamoji geba	Intensyvumas	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	Balta	8,9274	16m/1mm.	126	35705	35705
2.	Raudona	8,9258	16m/1mm.	70	35705	35705
3.	Geltona	8,9242	16m/1mm.	-25	35705	35705
4.	Šviesiai ruda	8,9283	16m/1mm.	-115	35705	35705
5.	Juoda	8,9267	16m/1mm.	-844	35705	35705

Buvo skenuojama penkių skirtingų spalvų lapai, iš dviejų atstumų ~9 m. ir ~2 m.. Taip pat keičiant skiriamąją gebą.

Iš gautų duomenų matyti, kad nuskenuoto paviršiaus taškų skaičiaus spalva nepaveikė. Gautas toks pat taškų kiekis kaip ir prognozuojamas.

Skirtinga spalva lėmė intensyvumo reikšmes. Šviesių spalvų paviršių atspindžio intensyvumas didesnis, negu tamsių. Baltos spalvos intensyvumas 7,2 karto didesnis už juodos spalvos. Pateikiamas atspindžių intensyvumų skenuojant iš ~9 m. atstumo grafikas:



35 pav. Skirtingų spalvų paviršių atspindžio intensyvumas

Buvo fiksuojamas atstumas tarp skenerio ir skenuojamo objekto. Atstumas matuotas milimetro dešimtosios dalies tikslumu. Skirtumas 6,0 mm. Tačiau tokį atstumų skirtumą galėjo įtakoti popieriaus tvirtinimas prie atraminės lentos, dėl to iš šio tyrimo negalima spręsti skirtingų spalvų paviršių poveikio atstumo nustatymo tikslumui.

3.3 Skaidrių paviršių įtakos analizė

Trečiuoju bandymu buvo atliktas skaidrių paviršių įtakos skenavimo rezultatams tyrimas. Tam naudoti 9 skirtingų stiklų plokštelės. 36 paveiksle stiklai išdėlioti pagal šviesos laidumą. Nuo mažiausiai šviesos praleidžiančio viršutinėje eilėje iš kairės pirmo, iki geriausiai šviesą praleidžiančio apatinėje eilėje iš dešinės pusės pirmojo stiklo.



36 pav. Stiklinės plokštelės.

Buvo naudojami skirtingų spalvų, storio, šviesos pralaidumo bei skirtingo skaidrumo stiklai. Tyrimė naudoti trys rudo atspalvio 10 mm, 6 mm, 4 mm. storio stiklai. Du juodo atspalvio (SP10) 10 mm. ir (SP6) 6 mm., vienas bespalvis matinis stiklas (PS6) 6 mm. storio, vienas bespalvis skaidrus (PS4S) 4mm., bei du bespalviai raštuoti 4 mm. storio stiklai (02 ir 05).

37 paveiksle pateikti rudo atspalvio skirtingų storių stiklai.



37 pav. Rudo atspalvio stiklai: SB10-10mm, SB6-6mm, SB4-4mm storio.

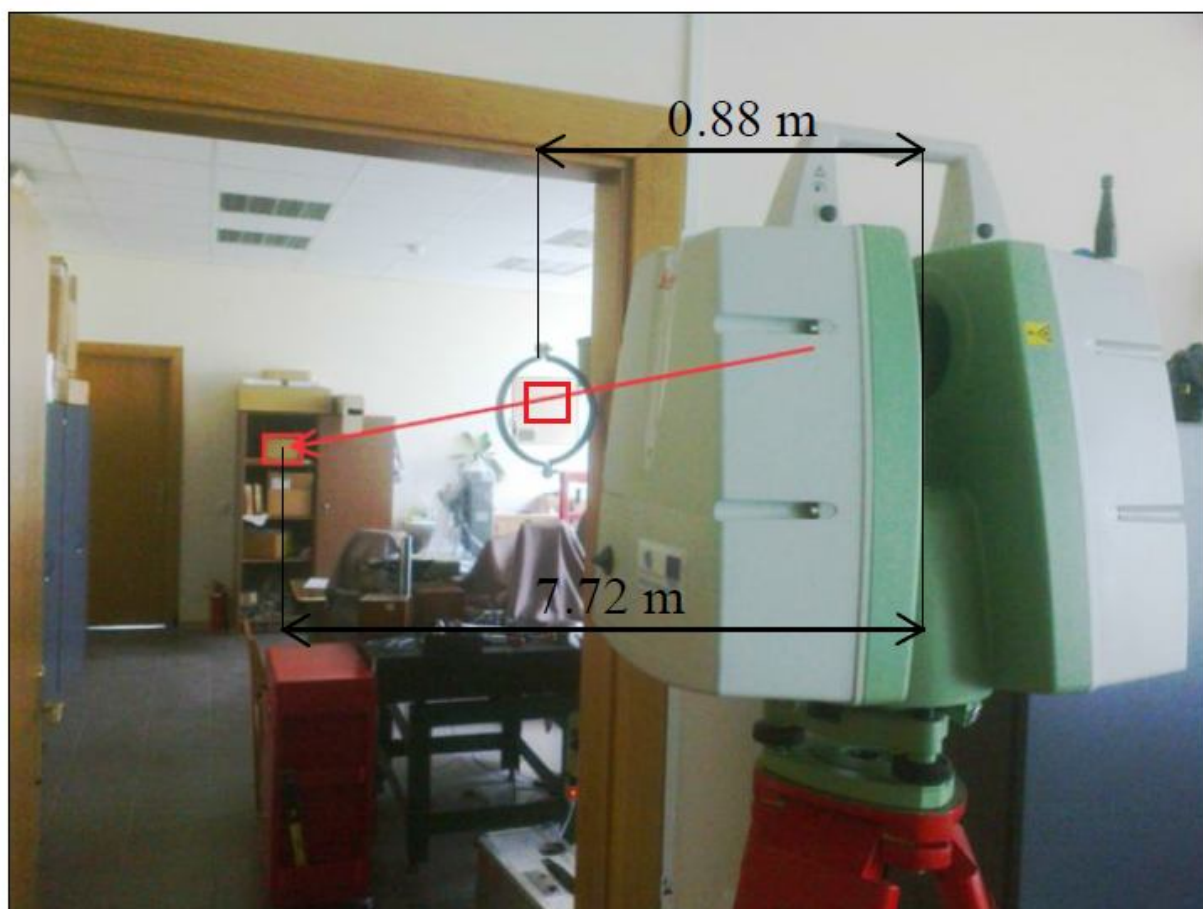
Bandymas su šviesai pralaidžiais paviršiais atliktas dviem būdais (kaip stiklo spektrinės savybės įtakoja rezultatus) :

1. Uždengus stiklu skenuojamo objekto paviršių;



38 pav. skenuojamas objekto paviršius uždengtas stiklu

2. Naudojant stiklą, kaip tarpinį paviršių.



39 pav. Antrojo tyrimo skenavimo metodas

Tyrimas nr.: 1

Pirmam bandymui panaudotas *Leica ScanStation C10* skenerio duomenų registravimui naudojamas taikiny. Stiklas buvo padėtas priglaudžiant prie taikinio (38 pav.). Papildomiems tyrimams stiklai buvo įvertinti pagal šviesos pralaidumą. Tam naudotas liuksmetras *Testo 545*.



40 pav. Liuksmetras *Testo 545*

Buvo matuojamas patalpos apšvietumas bei apšvietumas pro stiklą (uždengus šviesos jutiklį stiklu). Atlikti keturi bandymai ir išvestas gautų rezultatų vidurkis:

Lentelėje nr.: 12 pateiktas kiekvieno stiklo šviesos pralaidumo procentas:

12 lentelė. Stiklo šviesos pralaidumo procentas

Pavadinimas	Procentinė išraiška
SP10	20,3%
SB10	29,4%
SP6	36,6%
SB6	46,5%
SB4	54,5%
PS6	77,5%
05	78,7%
02	80,7%
PS4S	93,5%

Gauti rezultatai rodo, jog šviesos pralaidumui įtakos turi tiek spalva, stiklo storis, tiek stiklo tekstūra. Lyginant rudos spalvos stiklus SB10, SB6 ir SB4, didėjant stiklo storiui, šviesos pralaidumas mažėja. Stiklą, esančią vienodos spalvos, bet skirtingų storių šviesos

pralaidumas skiriasi daugiau nei perpus (nuo 20,3% iki 54,5%). Juodo atspalvio stiklas šviesos praleidžia mažiau, negu tokio pat storio rudos spalvos stiklas. Matinis stiklas (PS6) bei bespalviai raštuoti stiklai (02, 05) šviesą praleidžia gan gerai (visų pralaidumo procentas virš 70)

Atlikti 40 bandymų. Gauti rezultatai pateikti lentelėse 13, 14, 15, 16. Paviršių taškų debesų fragmentai pateikti priede nr.: 1.

Atstumas: ~2m.

13 lentelė. 1m/1mm skiriamoji geba

Nr.	Paviršiaus pavadinimas	Šviesos pralaidumas	Atstumas	Intensyvumas	Lazerio taško skiriamoji geba	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	SP10	20,3%	2,2638	455	1m/1mm.	552	552
2.	SB10	29,4%	2,2641	-315	1m/1mm.	552	552
3.	SP6	36,6%	2,2666	-562	1m/1mm.	552	552
4.	SB6	46,5%	2,2645	277	1m/1mm.	552	552
5.	SB4	54,5%	2,2642	122	1m/1mm.	552	552
6.	PS6	77,5%	2,2642	-59	1m/1mm.	552	552
7.	05	78,7%	2,2643	1144	1m/1mm.	552	552
8.	02	80,7%	2,2642	1013	1m/1mm.	552	552
9.	PS4S	93,5%	2,2644	911	1m/1mm.	552	552
10.	Be stiklo	-	2,2618	1071	1m/1mm.	552	552

14 lentelė. 4m/1mm skiriamoji geba

Nr.	Paviršiaus pavadinimas	Šviesos pralaidumas	Atstumas	Intensyvumas	Lazerio taško skiriamoji geba	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	SP10	20,3%	2,2634	-20	4m/1mm.	8832	8832
2.	SB10	29,4%	2,2634	127	4m/1mm.	8832	8832
3.	SP6	36,6%	2,2629	-387	4m/1mm.	8832	8832
4.	SB6	46,5%	2,2635	806	4m/1mm.	8832	8832
5.	SB4	54,5%	2,2652	-652	4m/1mm.	8832	8832
6.	PS6	77,5%	2,2626	329	4m/1mm.	8832	8832
7.	05	78,7%	2,2631	1036	4m/1mm.	8832	8832
8.	02	80,7%	2,2630	911	4m/1mm.	8832	8832
9.	PS4S	93,5%	2,2635	-92	4m/1mm.	8832	8832
10.	Be stiklo	-	2,2621	997	4m/1mm.	8832	8832

15 lentelė. 8m/1mm skiriamoji geba

Nr.	Paviršiaus pavadinimas	Šviesos pralaidumas	Atstumas	Intensyvumas	Lazerio taško skiriamoji geba	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
-----	------------------------	---------------------	----------	--------------	-------------------------------	--------------------------	-----------------------

1.	SP10	20,3%	2,2664	-227	8m/1mm.	35705	35705
2.	SB10	29,4%	2,2668	-521	8m/1mm.	35705	35705
3.	SP6	36,6%	2,2652	66	8m/1mm.	35705	35705
4.	SB6	46,5%	2,2647	197	8m/1mm.	35705	35705
5.	SB4	54,5%	2,2645	468	8m/1mm.	35705	35705
6.	PS6	77,5%	2,2644	93	8m/1mm.	35705	35705
7.	05	78,7%	2,2639	1176	8m/1mm.	35705	35705
8.	02	80,7%	2,2621	997	8m/1mm.	35705	35705
9.	PS4S	93,5%	2,2642	899	8m/1mm.	35705	35705
10.	Be stiklo	-	2,2619	1012	8m/1mm.	35705	35705

16 lentelė. 8m/1mm skiriamoji geba

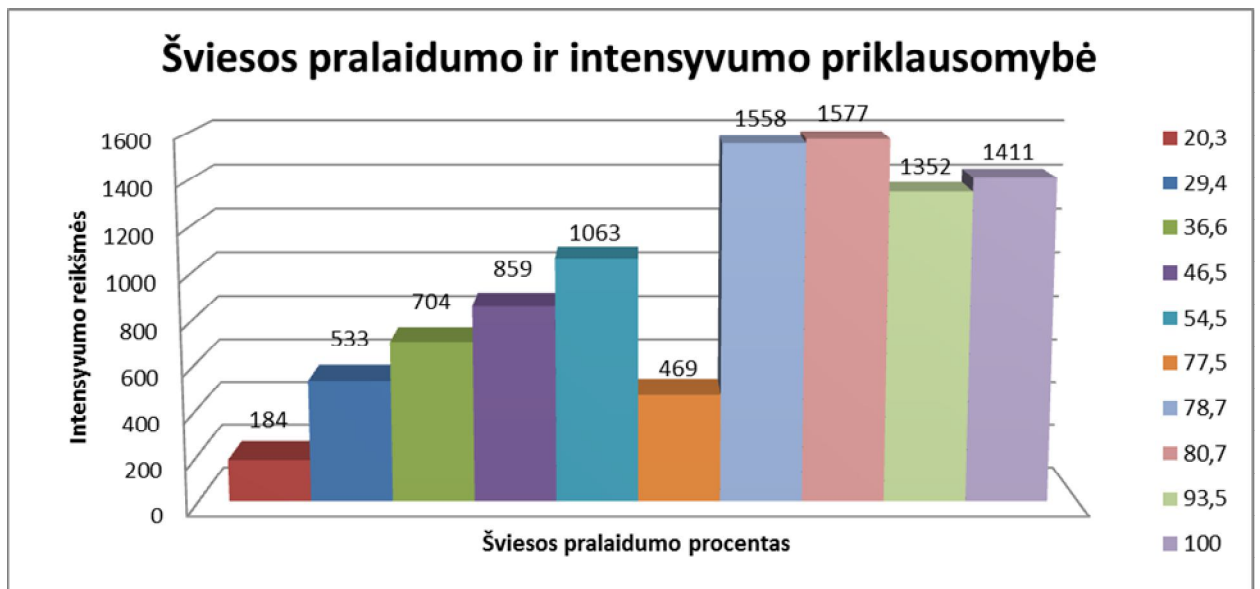
Atstumas: 9 m.

Nr.	Paviršiaus pavadinimas	Šviesos pralaidumas	Atstumas	Intensyvumas	Lazerio taško skiriamoji geba	Tikėtinas taškų skaičius	Gautas taškų skaičius
1.	SP10	20,3%	8,9852	184	8m/1mm.	3192	3192
2.	SB10	29,4%	8,9847	533	8m/1mm.	3192	3192
3.	SP6	36,6%	8,9827	704	8m/1mm.	3192	3192
4.	SB6	46,5%	8,9845	859	8m/1mm.	3192	3192
5.	SB4	54,5%	8,9825	1063	8m/1mm.	3192	3192
6.	PS6	77,5%	8,9843	469	8m/1mm.	3192	3192
7.	05	78,7%	8,9839	1558	8m/1mm.	3192	3192
8.	02	80,7%	8,9838	1577	8m/1mm.	3192	3192
9.	PS4S	93,5%	8,9839	1352	8m/1mm.	3192	3192
10.	Be stiklo	-	8,9825	1411	8m/1mm.	3192	3192

Pirmuoju tyrimu buvo skenuojamas paviršius uždengtas stiklu. Buvo fiksuojamas atstumas iki paviršiaus, paviršiaus intensyvumas. Stiklai SP10, SB10, SP6, SB6, SB4 bei PS4S yra skaidrūs, tik skirtingai praleidžia šviesą.

Nustatyta, kad stikliniai paviršiai lemia atspindžio intensyvumą bei atstumo iki skenuojamo objekto nustatymo tikslumą.

Pagal gautus rezultatus galima įvertinti stiklinių plokštelių įtaką taikinio atspindžio intensyvumui. Pastebėtas dvejopas efektas: keičiant skenavimo rezoliuciją nustatytas nesisisteminis intensyvumo pokytis. Tačiau skenuojant iš didesnio atstumo (~9 m.) didėjant stiklo šviesos pralaidumo procentui, skenuojamo paviršiaus intensyvumas didėja. Išskyrus matinį stiklą (PS6) bei raštuotus stiklus (02 ir 05). Stiklo plokštelių šviesos pralaidumo procento ir paveikio atspindžio intensyvumui santykis pateiktas grafiškai.

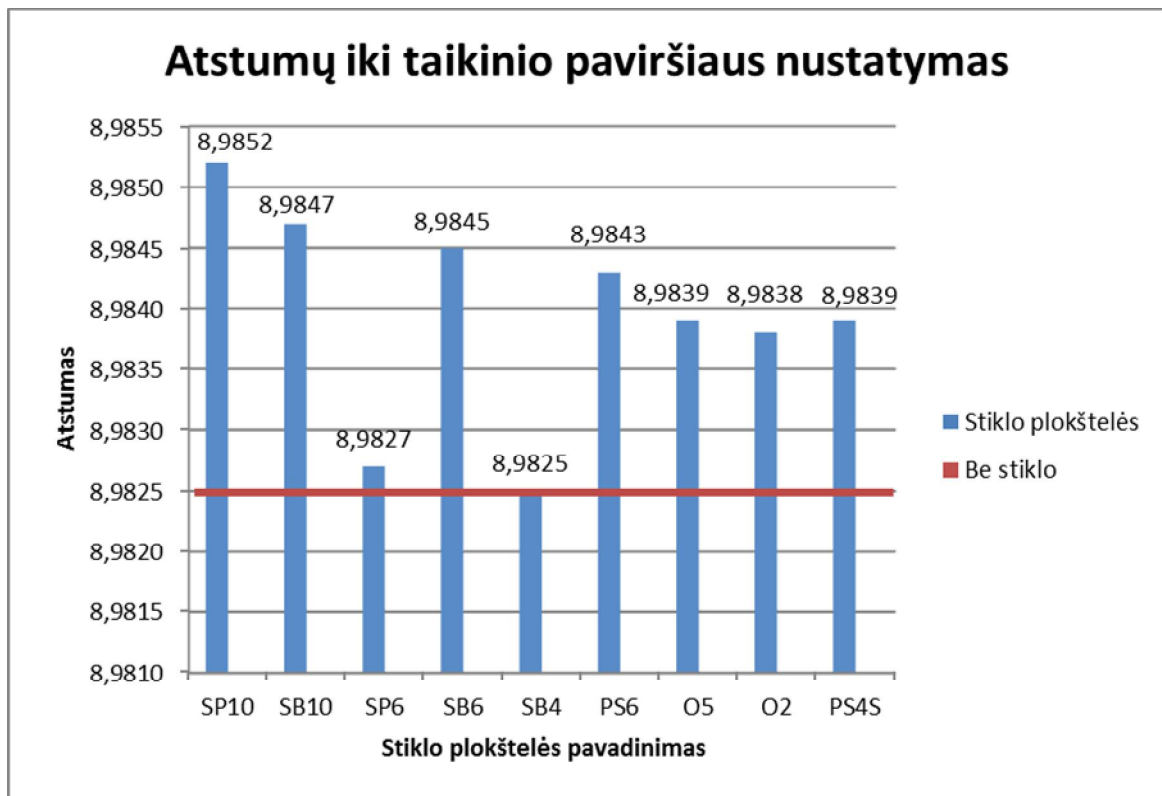


41 pav. Šviesos pralaidumo ir intensyvumo reikšmių priklausomybė

Grafike pastebima tiesioginė priklausomybė – didėjant šviesos pralaidumui, didėja ir paviršiaus atspindžio intensyvumo reikšmė. Tačiau ši priklausomybė pastebima tik skaidrių stiklų pavyzdžiuose. Nors matinio stiklo (PS6) šviesos pralaidumo procentas 77,5, tačiau paviršiaus, uždengto šiuo stiklu atspindžio intensyvumas sumažėjęs net tris kartus, lyginant su panašaus šviesos pralaidumo skaidria stiklo plokšte. Taip pat matomas staigus intensyvumo šuolis ties stiklais 05 (78,7%) ir 02 (80,7%). Nors jų šviesos pralaidumo procentas mažesnis nei paviršiaus uždengto skaidriu stiklu PS4S (93,5%), uždengto šiais stiklais paviršiaus atspindžio intensyvumas didesnis negu PS4S . Šie stiklai veikia kaip paviršiaus atspindžio intensyvumo stiprintuvai, nes intensyvumo reikšmės buvo gautos didesnės, nei skenuojant paviršių, nepadengtą jokia stiklo plokšte. Norit plačiau ištirti šį reiškinį, reikia atlikti papildomus bandymus.

Paviršius, uždengtas stiklu, nuskenuotų taškų skaičiui įtakos neturėjo. Buvo nuskenuoti visi tikėtini taškai.

Gautos atstumų reikšmės įvertintos milimetro dešimtąja dalimi. Atstumų skirtumai ir stiklo storio santykis, pateiktas grafiškai:



42 pav. Atstumų iki skenuojamo paviršiaus reikšmės

Ruda linija rodo gautą atstumo reikšmę, nuskenavus taikinio paviršių. Mėlyna spalva pažymėti stulpeliai rodo atstumo reikšmes, skenuojant paviršių, uždengtą atitinkama stiklo plokšte. Atstumų reikšmės, lyginant su reikšme, gauta skenuojant taikinio, neuždengto stiklo plokšte paviršių, svyruoja [0,0 mm – 2,7 mm]. Nors stiklai buvo skirtingų storių, nustatyta, kad atstumo nustatymo paklaidų dydžiai praktiškai nepriklauso nuo stiklo storio, kadangi paviršių padengus 10 mm storio plokšte (SB10) ir lyginant atstumo reikšmę, gautą paviršių padengus 6 mm storio plokšte (SB6) skirtumas yra tik 0,2 mm. Toks pat skirtumas gautas ir lyginant SP6 – SB4. Tiksliausias rezultatas gautas skenuojant paviršių, uždengtą SB4 stiklo plokšte. Gautas lygiai toks pat atstumas, kaip ir skenuojant taikinio paviršių be jokios stiklo plokštelės.

Buvo analizuojama skirtingų stiklinių paviršių įtaka objekto intensyvumui bei atstumo pokyčiams. Nustatyta, kad stiklinis paviršius įtakoja intensyvumą. Stiklą vertiname, pagal šviesos pralaidumo procentą. Buvo gautas priešingas rezultatas – skenuojant iš 2 m atstumo, intensyvumo reikšmės kito netiesiogine priklausomybe nuo stiklo šviesos pralaidumo procento. O skenuojant iš 9 m. atstumo – ši priklausomybė tapo tiesiogine lyginant skaidrių stiklų duomenis. Matinis stiklas PS6, bei raštuoti stiklai O2 ir O5 skirtingai paveikė intensyvumą. Keičiant rezoliuciją, intensyvumas taip pat kito.

Daroma išvada, kad stikliniai paviršiai turi įtakos skenavimo duomenims, tačiau nustatyti tikslesnę priklausomybę tarp stiklo šviesos pralaidumo, rezoliucijos ir atstumo įtakos intensyvumui, reiktų atlikti papildomus tyrumus.

Tyrimas nr.: 2

Bandymas su skaidriais paviršiais atliktas šviesai pralaidų stiklą įterpus į skenavimo kelią. Tyrimo tikslas – įvertinti stiklinio paviršiaus nuskenavimo galimybę bei galimybę skenuoti pro stiklinį paviršių.

Atlikti 10 bandymų pateikti lentelėje (17 lentelė)

17 lentelė. Skenavimo pro stiklo lakštą rezultatai

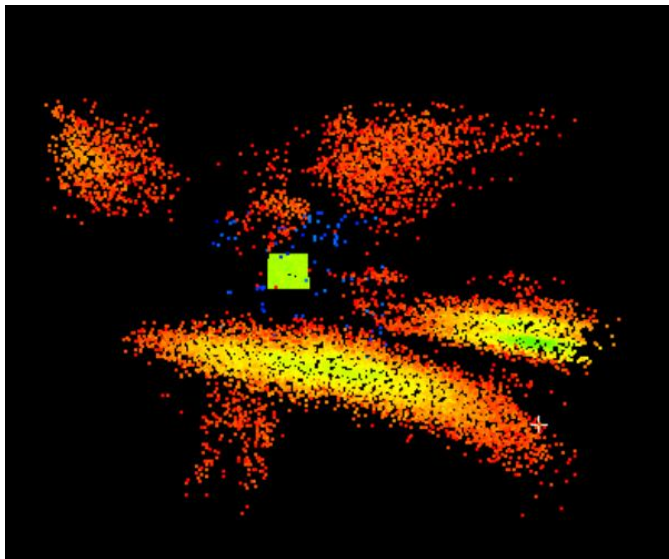
Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pavadinimas	SP10	SB10	SP6	SB6	SB4	PS6	05	02	PS4S	Be stiklo
Šviesos pralaidumas,%	20,3	29,4	36,6	46,5	54,5	77,5	78,7	80,7	93,5	100
Atstumas iki taikinio	7,7259	7,7255	7,7237	7,7236	-	-	-	-	7,7234	7,7202
Atstumas iki stiklo	0,8818	0,8857	0,8821	0,8887	0,8849	0,8851	0,8849	0,8844	0,8834	-
Taikinio taškų kiekis	21001	30821	11901	23692	-	-	-	-	549	30880
Stiklo taškų kiekis	9802	55	18827	7090	30757	30880	30880	30880	30309	-
Klaidingi taškai	77	4	152	98	123	-	-	-	22	-
Tikėtinas taškų kiekis	30880	30880	30880	30880	30880	30880	30880	30880	30880	30880
Gautas taškų kiekis	30880	30880	30880	30880	30880	30880	30880	30880	30880	30880

Atlikus antrą tyrimą gauti rezultatai parodė, jog stiklo šviesos pralaidumo procentas ir antžeminio lazerinio skenerio galimybė skenuoti stiklinius paviršius, ar pro stiklinius paviršius, nėra proporcingi dydžiai. Todėl prieš atliekant skenavimą pagal stiklo šviesos pralaidumą neįmanoma nustatyti ar stiklinis paviršius bus užfiksuotas skenerio lazerio spindulio.

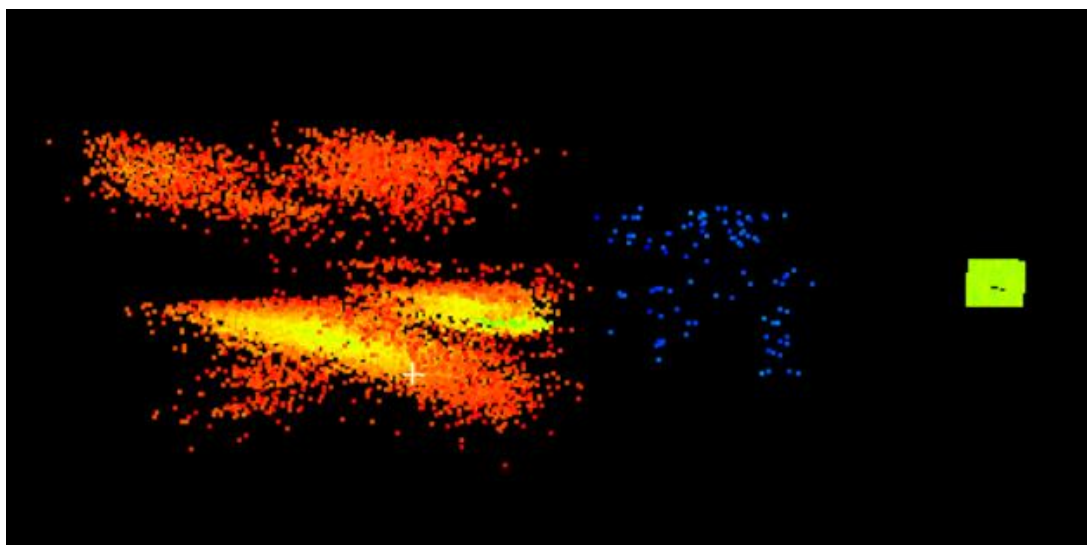
Tai geriausiai įrodo bandymai nr.: 5,6,7,8, kuomet pro šviesai laidžius stiklus nebuvo nuskenuotas objektas. Skenuojant pro matinę stiklo plokštelę PS6, bei pro raštuoto stiklo plokšteles 02 ir 05 lazerio spindulys užfiksavo tik stiklo plokštelės paviršių.

Tiek skenuojant pro skaidrius stiklus, tiek pro raštuotus, buvo užfiksuotas maksimalus išspinduliuotas taškų skaičius. Skenuojant pro stiklo plokšteles, išsiskyrus PS6, 02 ir

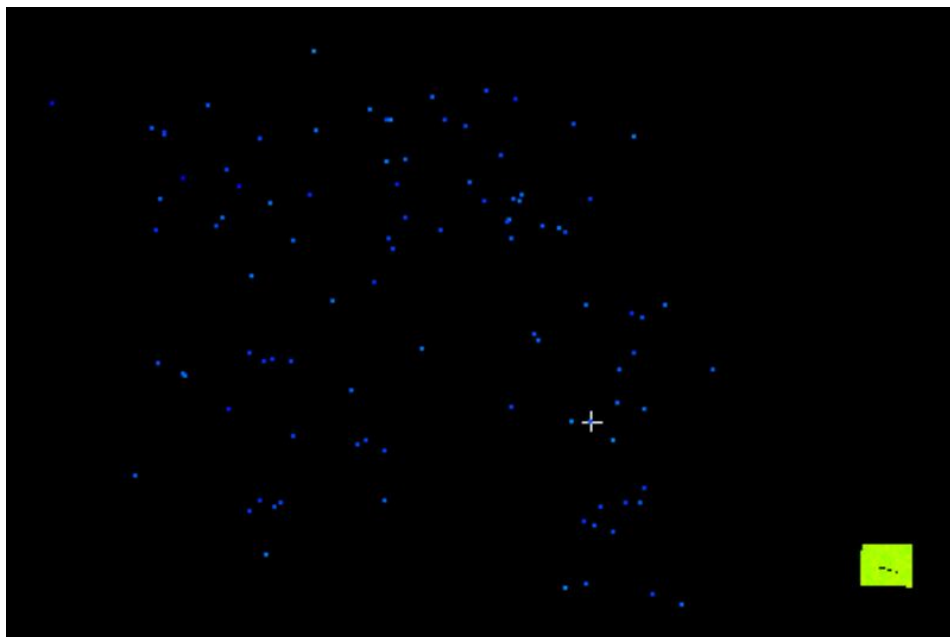
05, buvo gautas nedidelis kiekis klaidingų taškų, vadinamųjų „triukšmų“. Jie buvo išsidėstę vienoje tiesėje kaip stiklo plokštelė bei taikinys ir nutolę ~1m. atstumu nuo skenerio. Paveiksle nr.: 43 pavaizduotas taškų debesis, skenuojant pro stiklo ploštelę SB6. Paveiksluose nr.: 43, 44, 45, 46 taškų spalvos išreikštos pagal intensyvumo reikšmių spektrą.



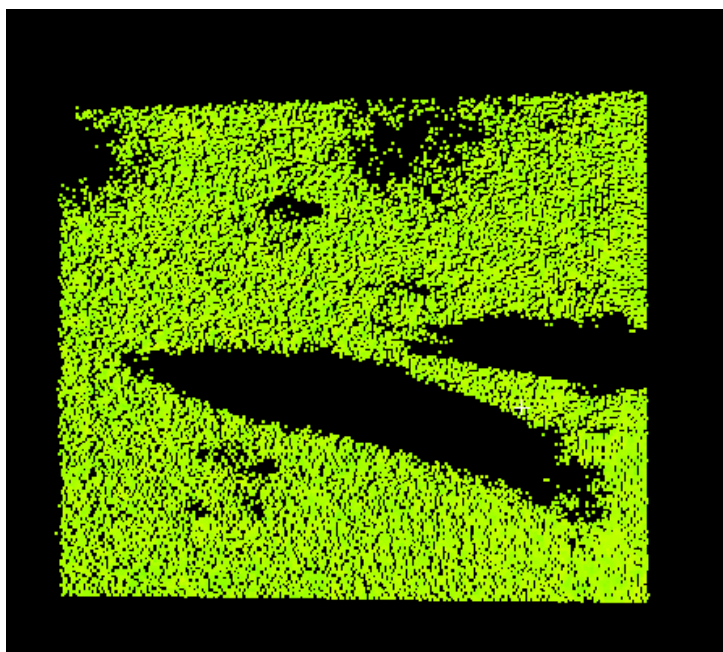
43 pav. Vaizdas žvelgiant iš skenerio projekcijos (vaizdas iš priekio)



44 pav. Vaizdas iš šono



45 pav. Lentelėje nr.:18 aprašyti klaidingi taškai



46 pav. Nuskenuoto taikinio taškų debesis

Kiti skenavimo rezultatai pateikti priede nr.: 2

Lentelėje nr.: 18 pateikiami skenavimų rezultatai, kurių metu buvo gautieji „triukšmai“.

18 lentelė. Skenavimų rezultatai, kurių metu buvo gautieji „triukšmai“.

Stiklo plokštelės pavadinimas	SP10	SB10	SP6	SB6	SB4	PS4S
Klaidingų taškų kiekis	77	4	152	98	123	22
Atstumas nuo skenerio, m	0,9977	0,9998	1,0050	1,0174	1,0860	1,0167

Atliekant taškų debesies tolimesnį modeliavimą, reikia atsižvelgti į klaidingų taškų kiekį, nors jų keikis yra santykinai mažas, tačiau jie iš dalies lemia nuskenuoto paviršiaus geometrinį tikslumą. Kadangi buvo skenuojamos pilnos plokštumos, vengiant briaunų, šie klaidingi taškai negalėjo atsirasti dėl vadinamojo „kampo efekto“. Jie galėjo atsirasti dėl stiklo vidinės sandaros ypatybių poveikio lazerio spinduliui. Reiktų atlikti papildomus išsamesnius tyrimus, kad nustatyti kas lemia tokių taškų atsiradimą bei jų kiekį skenuojant pro stiklinius paviršius.

Gauti rezultatai parodė, jog ne stiklo šviesos pralaidumo rodiklis turi įtakos skenavimui. Kadangi lazerio spindulys atspindėjo nuo neskaidrių stiklo paviršių (PS6, 02, 05). Pro didžiausią šviesos pralaidumo rodiklį turintį stiklą (PS4S) lazerio spindulys taip pat sunkiai prasiskverbė ir tik dalis spindulių atspindėjo nuo skenuojamo objekto.

Remiantis gautais rezultatais nustatyta, jog didžiausią įtaką stiklo pralaidumui (lazerio spindulio atžvilgiu) turi stiklo spalva bei storis. Bandyje naudoti trijų atspalvių stiklai, juodi, rudi iš bespalviai. Laidžiausias lazerio spinduliui buvo rudo atspalvio 10 mm. stiklas.

Mažiau laidus juodo 10 mm. ir mažiausiai laidūs bespalviai 6mm ir 4mm. storio stiklai. Taip pat rezultatus įtakojo ir stiklo storis. Rudi stiklai buvo trijų storių, 10mm (SB10) 6 mm. (SB6), 4 mm. (SB4). Geriausiai lazerio spindulys prasiskverbė pro 10 mm. storio stiklą, o pro 4 mm. storio stiklą lazerio spindulys nebeprasikverbė.

IŠVADOS

1. Atlikus 102 skirtingų paviršių skenavimus keičiant atstumą bei skiriamąją gebą nustatyta, kad skirtingos spalvos, paviršiaus nelygumai, skirtingo storio, šviesos pralaidumo stiklai įtakoja skenuotų duomenų kokybę.
2. Nustatyta, kad paviršiaus nelygumai įtakoja atspindžio intensyvumą. Atlikus tyrimą su 4 skirtingų medienos rūšių lygiais bei grublėtais paviršiais nustatyta, kad paviršiaus nelygumai mažina atspindėjimo intensyvumą. Nelygaus paviršiaus intensyvumo sumažėjimas lyginant su lygiu paviršiumi: beržo medienos paviršius – 13 %, liepos – 18 %, juodalksnio – 8 %, ąžuolo – 4 %
3. Nustatyta, kad skenavimo skiriamoji geba bei atstumas įtakoja intensyvumą. Padidinus atstumą 4 kartus, intensyvumo reikšmių skirtumas tarp lygaus ir nelygaus paviršiaus: beržo medienos – 27 %, liepos – 10 %, juodalksnio – 4 %, ąžuolo – 5 %. Taikant skirtingą skenavimo skiriamąją gebą lygaus ir nelygaus paviršiaus intensyvumo reikšmės kito: beržo medienos lygiu paviršiumi – 3,5 %, beržo medienos grublėtu paviršiumi – 2,4 %, liepos lygiu paviršiumi – 11 %, liepos grublėtu paviršiumi – 5,6 %, juodalksnio lygiu paviršiumi – 1,6 %, juodalksnio grublėtu paviršiumi – 1,5 %, ąžuolo lygiu paviršiumi – 6,7 %, ąžuolo grublėtu paviršiumi – 4,1 %
4. Paviršiaus spalva įtakojo skenuotų duomenų atspindžio intensyvumą. Atlikus penkių skirtingų spalvų tokio pat paviršiaus skenavimus, nustatyta, kad atspindžio intensyvumas nuo šviesių spalvų yra didesnis negu nuo tamsių spalvų. Baltos spalvos popieriaus lapo intensyvumas 7 kartus didesnis už juodos spalvos.
5. Paviršiaus, uždengto stiklu, tyrimas atliktas su 9 skirtingais stiklais. Ištirta stiklo storio, spalvos, šviesos pralaidumo įtaka skenuotų duomenų tikslumui. Nustatyta, kad stikliniai paviršiai lemia atspindžio intensyvumą bei atstumo iki skenuojamo objekto nustatymo tikslumą.
6. Nustatyta, kad atstumo nustatymo paklaidų dydžiai praktiškai nepriklauso nuo stiklo storio. Pvz.: 10mm (SB10) - 4,1 mm; 10mm (SP10) - 3,3 mm; 6 mm (SB6) - 5,2 mm.; 4 mm (PS4S) - 3,2 mm.; 4mm (05; 02) – stiklo plokštelės nepralaidžios lazerio spinduliui.
7. Uždengus skenuojamą objektą skirtingais stiklais, atspindžio intensyvumas kito, tačiau nenustatyta tiesioginė kitimo priklausomybė nei nuo stiklo storio nei nuo spalvos. Keičiant skenavimo rezoliuciją nustatytas nesisteminis intensyvumo pokytis. Padidinus skenavimo atstumą 4 kartus, paviršių, padengtų skaidriu stiklu, intensyvumo pokytis įgijo tiesioginę priklausomybę nuo stiklo šviesos pralaidumo: 20,3% - 184; 29,4% - 533; 36,6% - 704;

46,5% - 859; 54,5% - 1063; 93,5% - 1352; 100% - 1411. Paviršiaus, uždengto matiniu stiklu (PS6) atspindžio intensyvumo reikšmė pakito nepriklausomai nuo šviesos pralaidumo procento: (PS6) 77,5%. Skenuojant iš 9 m. atstumo paviršius, uždengtus raštuotais stiklais (05 – 78,7% - 1558; 02 – 80,7% - 1577) nustatytas priešingas poveikis intensyvumui – paviršiaus atspindžio intensyvumas užfiksuotas didesnis, negu skenuojant objekto paviršių, neuždengtą stiklu.

8. Atlikus objekto skenavimą pro skirtingo storio, spalvos, šviesos laidumo stiklus, nustatyta, kad stiklo plokštelės įtaka lazerio spindulio sklidimui nepriklauso nuo stiklo šviesos pralaidumo. Lazerio spindulio sklidimą įtakojo stiklo storis, spalva, tekstūra. Gautas toks stiklo lakšto poveikis lazerio spindulio sklidimui (taškų skaičius parodo nuskenuoto taikinio paviršiaus taškų skaičių):

- Be stiklo - 30880 tšk. 100%
- SB10 (šviesos laidumas: 29,4%) – 30821 tšk. 99,8%
- SB6 (šviesos laidumas: 46,5%) – 23692 tšk. 76,7%
- SP10 (šviesos laidumas: 20,3%) – 21001 tšk. 68,0%
- SP6 (šviesos laidumas: 36,6%) – 11901 tšk. 38,5%
- PS4S (šviesos laidumas: 93,5%) – 549 tšk. 1,8%
- 02 (šviesos laidumas: 80,7%) – 0 tšk. 0%
- 05 (šviesos laidumas: 78,7%) – 0 tšk. 0%
- PS6 (šviesos laidumas: 77,5%) – 0 tšk. 0%
- SB4 (šviesos laidumas: 54,5%) – 0 tšk. 0%

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Altuntas C., Yildiz F. 2006. „Registration of terrestrial laser scanner point clouds By one image “ Selcuk University, Engineering and Architectural Faculty, Department of Geodesy and Photogrammetry, Konya Turkey
- Bahadır Ergün 2008 „Terrestrial Laser Scanning Data Integration in Surveying Engineering“ Gebze Institute of Technology, Geodesy & Photogrammetry Department Turkey
- Boehler, W., Bordas V., M., Marbs, A., 2003. Investigating Laser Scanner Accuracy. In: Proceedings of XIXth CIPA WG 6, International Symposium, Antalya, Turkey.
- Bucksch A. 2004 “Error Budget Of Terrestrial Laserscanning: Influence Of The Intensity Remission On The Scan Quality” Delft University of Technology, The Netherlands.
- Callidus Cp3200. Prieiga per internetą: <http://www.trimble.org.ua/Trimble-CALLIDUS-CP3200.htm> [Žiūrėta 2014-03-13]
- Cang G., Li M., Yue J. , Ou J. Ling Zhu L. 2013 „Effect of Target Properties on Terrestrial Laser Scanning Intensity Data“ School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing, China
- Clark J., Robson, S., 2004. „Accuracy of measurements made with CYRAX 2500 laser scanner against surfaces of known colour. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. XXXV, Comm. IV, Part B4, pp. 1031-1037.
- Coşarcă c., Jocsa a., Savu a. . 2006 „Analysis of error sources in terrestrial laser scanning“ Technical university of civil engineering, Bucharest.
- Cuartero A, Armesto J, Rodríguez PG, Arias P 2010. „Error analysis of terrestrial laser scanning data by means of spherical statistics and 3D graphs“. Polytechnic School, University of Extremadura, 10071 Cáceres, Spain.
- Curles, B.L. 2009 „New methods for surface reconstruction from range images“, Department of Electrical Engineering of Stanford University.
- IQSun IQSun 880. Prieiga per internetą: <http://www.laserlocation.ru/chapter8.7.htm> [Žiūrėta 2014-03-13]

Fröhlich, C., Mettenleiter, M., 2004. Terrestrial Laser-Scanning - New Perspectives in 3D-Surveying. Proceedings of the ISPRS working group VIII/2 'Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment' Freiburg, Germany 03-06 October 2004.

Konica Minolta Vivid 910 Prieiga per internetą:

<http://winarco.com/konica-minolta-vivid-910-3d-laser-scanners/> . [Žiūrėta 2014-03-13].

Kersten, T.P., Sternberg, H. and Mechelke, K., 2005. Investigations into the accuracy behaviour of the terrestrial laser scanning system Mensi GS100. In: Optical 3-D Measurement Techniques VII, Vienna, Austria, Vol. I.

Leica HDS4500. Prieiga per internetą: <http://www.geotx.com/hds4500.htm>. [Žiūrėta 2014-03-13]

Lichti, D., Harvey, B., 2002. The Effects of Reflecting Surface Material Properties on Time-of-Flight Laser Scanner Measurements. Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa.

Mechelke K., Thomas P. Kersten, Lindstaedt M . 2007. Comparative investigations into the accuracy behaviour of the new generation of terrestrial laser scanning systems, Hebebrandstrasse 1, 22297 Hamburg, Germany

Optech ILRIS 3D. Prieiga per internetą: <http://www.directindustry.com/prod/optech/3d-laser-scanners-25132-208458.html> [Žiūrėta 2014-03-13].

Palojärvi, P. 2005. „Integrated electronic and optoelectronic circuits and devices for pulsed time-of-flight laser rangefinding“, Ph.D. dissertation, University of Oulu.

Pfeiffer N., Dornberger P., Haring A., Fanb H. 2005 „Investigating terrestrial laser scanning Intensity data: quality and functional relations“ Institute of Photogrammetry and Remote , Vienna University of Technology.

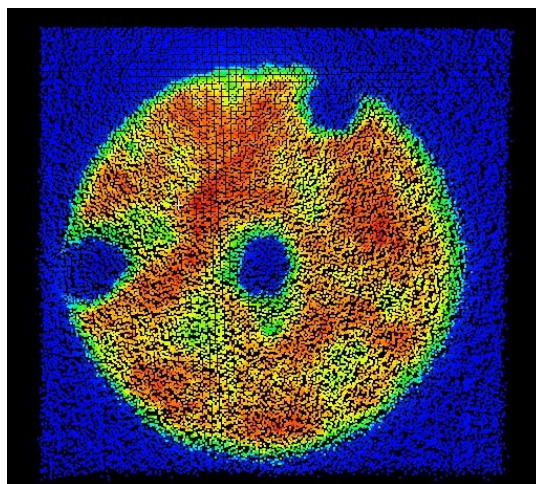
Ramamoorthi J, Jinwei Gu. , Belhumeur P. , Nayar S. 2007 „Dirty Glass: Rendering Contamination on Transparent Surfaces“ Columbia University

Riegl LMS-Z210i. Prieiga per internetą: <http://www.microgeo.it/es/lmsz210.htm> [Žiūrėta 2014-03-13].

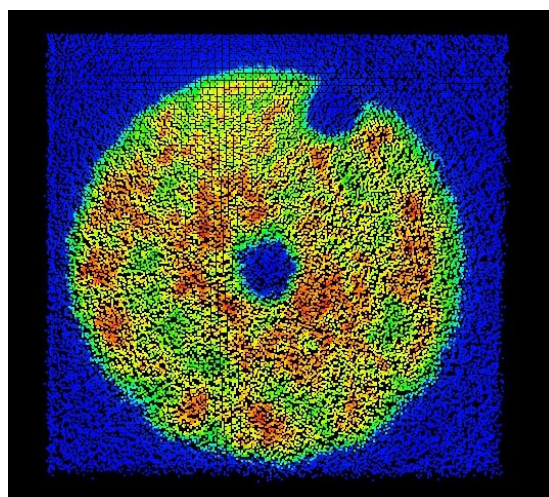
- Salemi G., Achilli V., Boatto G. 2008 „3d virtual modelling of a gothic stained-glass panel“, Laboratory of Surveying and Geomatics (LRG), Department of Architecture, Urban planning and Surveying (DAUR), Engineering Faculty, University of Padova, Italy
- Sanz-Cortiella R., Llorens-Calveras J, Joan R. Jordi Palacin-Roca. 2005 “Characterisation Of The LMS200 Laser Beam Under The Influence Of Blockage Surfaces. Influence On 3D Scanning Of Tree Orchards” Department of Agro-Forestry Engineering, University of Lleida, Avinguda Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Spain;
- Soudarissanane S, Ree J., Bucksch A. Lindenbergh R. 2009 “ Error Budget Of Terrestrial Laser Scanning: Influence Of The Incidence Angle On The Scan Quality”. Delft Institute of Earth Observation and Space Systems(DEOS) Delft University of Technology Kluyverweg 1, 2629 HS Delft, The Netherlands
- Trimble Memsi Gs200. Prieiga per internetą: <http://www.archaeoptics.co.uk/archives/2006/05/16/reconditioned-trimblememsi-gs200-available/> [Žiūrėta 2014-03-13].
- Ulrich, A, Reichart, R. Schwarz and J Reigl (2001) Time-of-flight based 3D imaging sensor with true-color channel for automated texturing. In Optical 3-D Measurement Techniques V. 1-4 October 2001. 2-9.
- Voegtle T, Schwab I. , Landes T. 2004 „Influences Of Different Materials On The Measurements Of A Terrestrial Laser Scanner“ Institute for Photogrammetry and Remote Sensing (IPF), Univ. of Karlsruhe, Germany
- Vosselman G. And Maas H.G. 2010. „Airborne and Terrestrial Laser Scanning“, Whittles Publishing, Scotland, UK.
- Zaimovic-Uzunovic N., Lemes S.2010 „Influences of surface parameters on laser 3d scanning”, University of Zenica, Fakultetska 1, 72000 Zenica, Bosnia and Herzegovina.
- Zoller; Fröhlich imager 5003. Prieiga per internetą: <http://mundogeo.com/blog/2009/07/03/cpe-apresenta-laser-scanner-com-alta-precisao-e-produtividade-para-levantamentos-3d/> [Žiūrėta 2014-03-13].

PRIEDAI

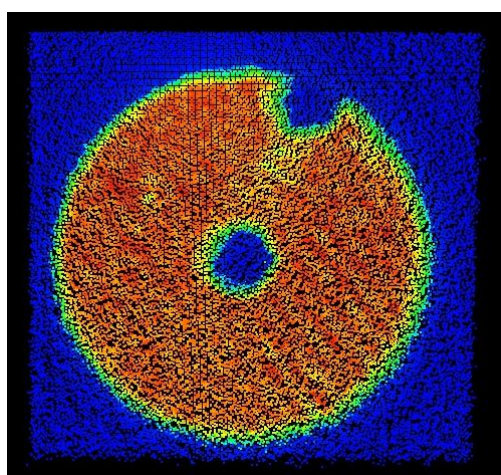
1 priedas



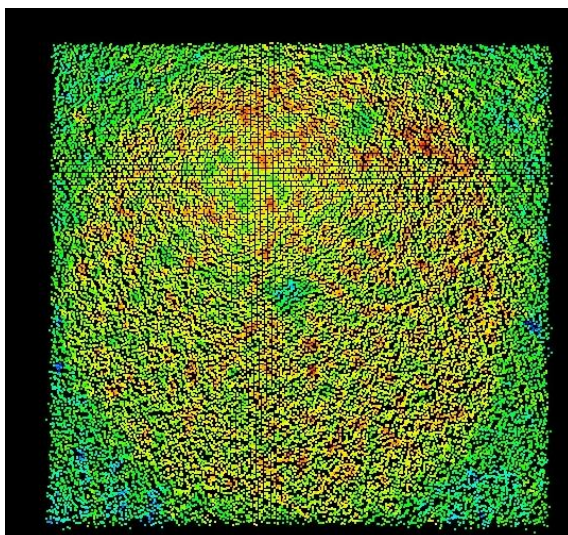
Taikinys padengtas stiklu „02“



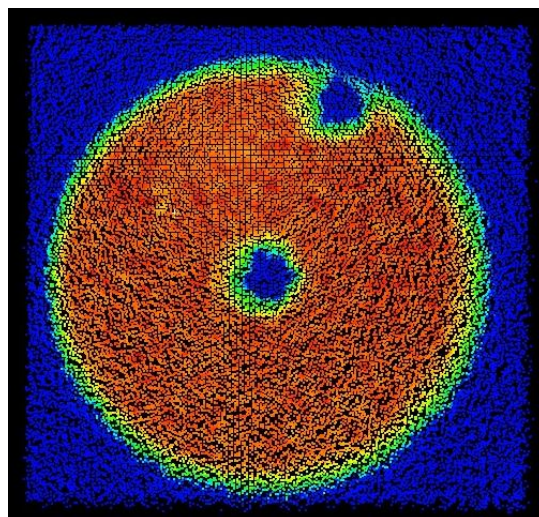
Taikinys padengtas stiklu „05“



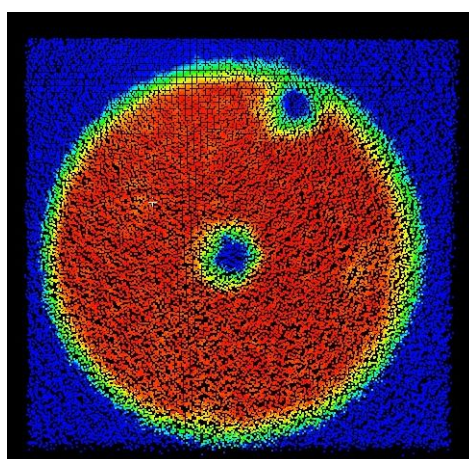
Taikinys padengtas stiklu „PS4S“



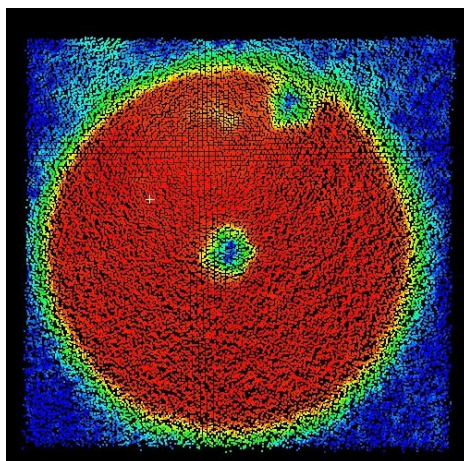
Taikinys padengtas stiklu „PS6“



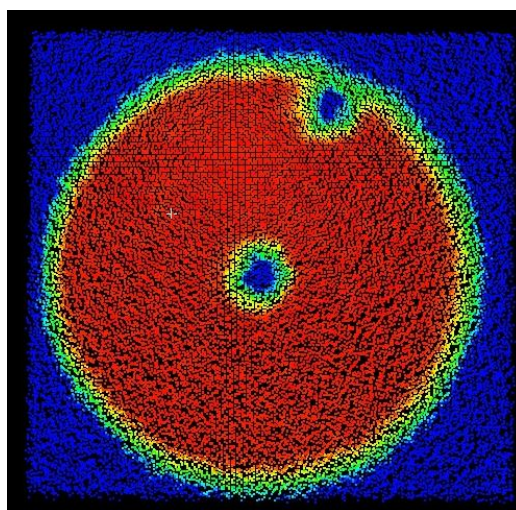
Taikinys padengtas stiklu „SB4“



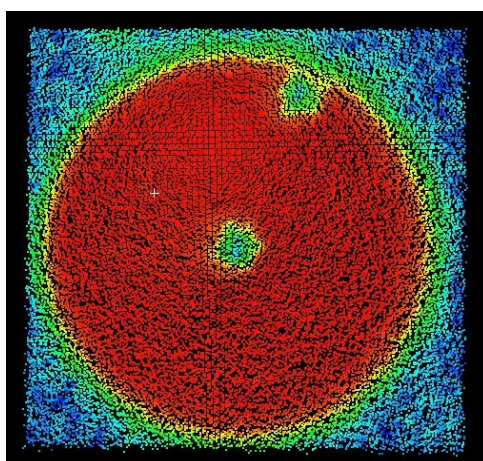
Taikinys padengtas stiklu „SB6“



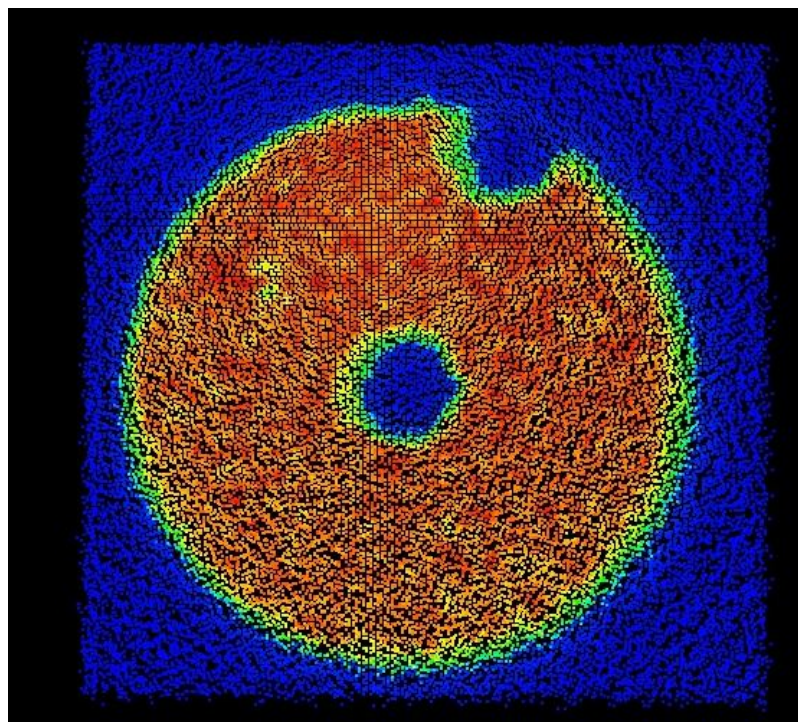
Taikinys padengtas stiklu „SB10“



Taikinys padengtas stiklu „SP6“

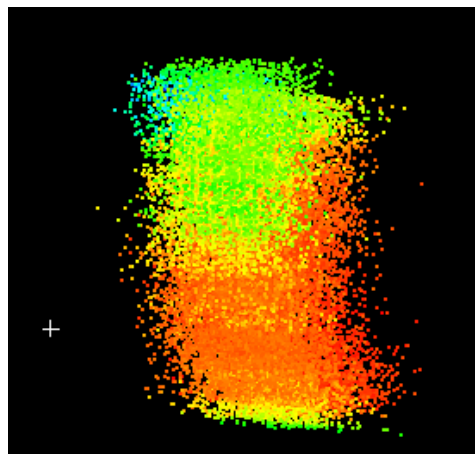
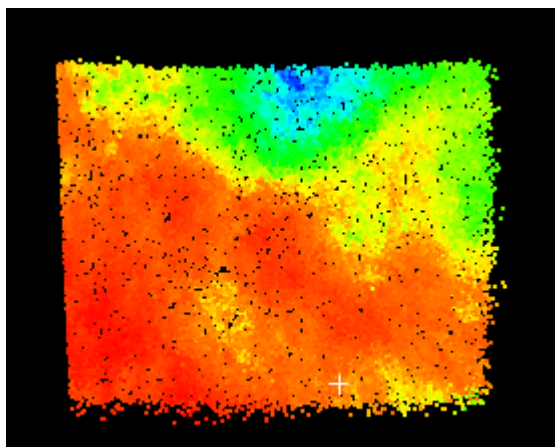


Taikinys padengtas stiklu „SP10“

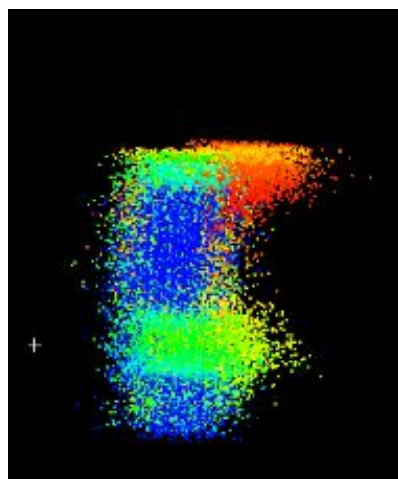
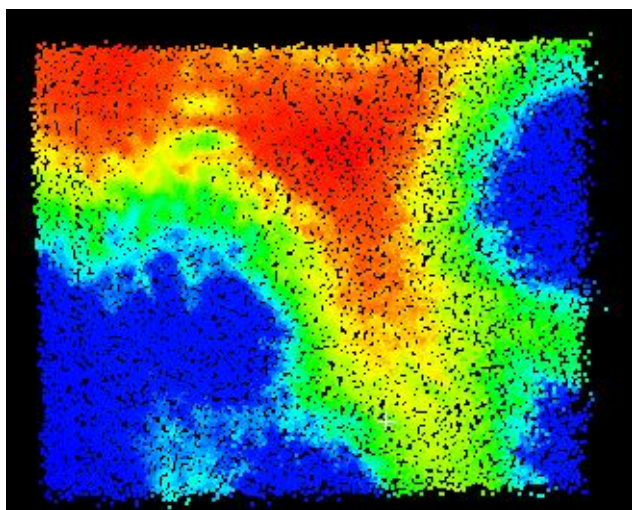


Taikinyis nepadengtas stiklo lakštu

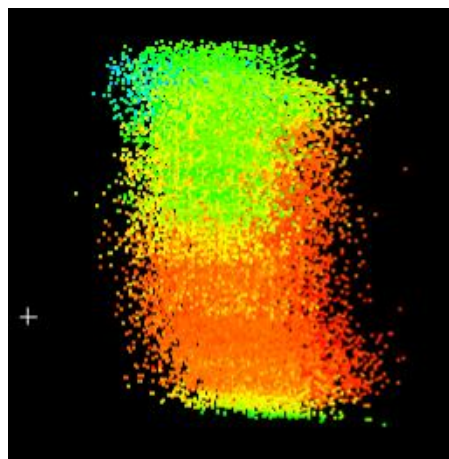
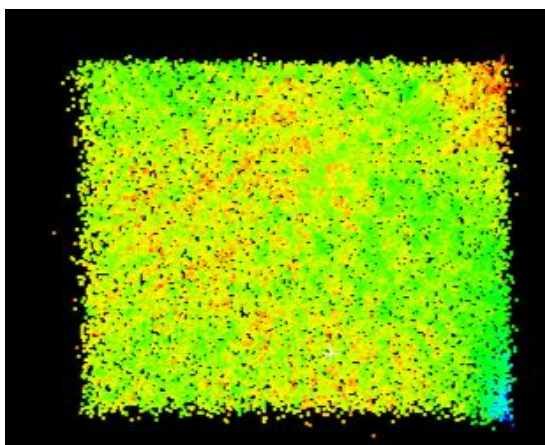
2 priedas



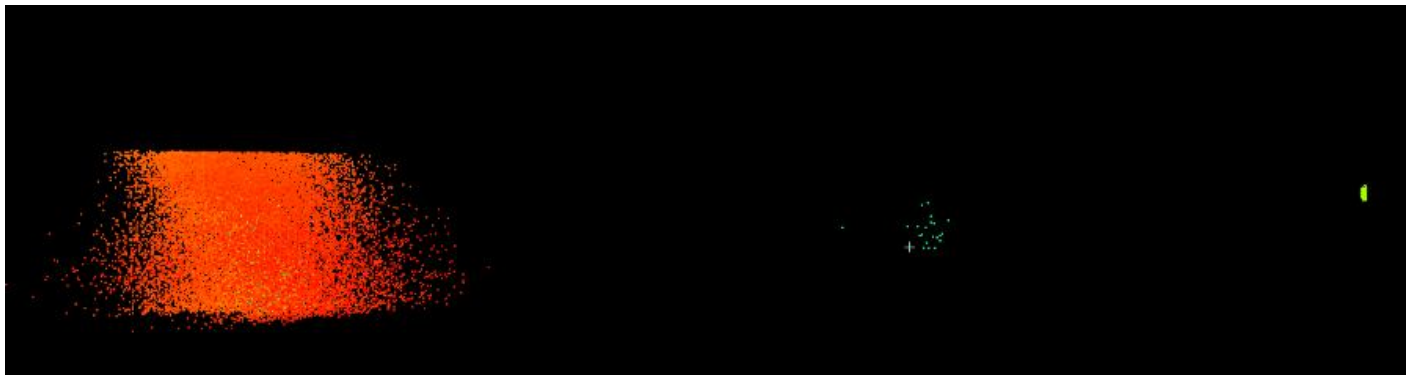
Stiklo „05“ taškų debesys. Kairėje taškų debesies vaizdas iš priekio (iš skenerio pozicijos), dešinėje – iš šono



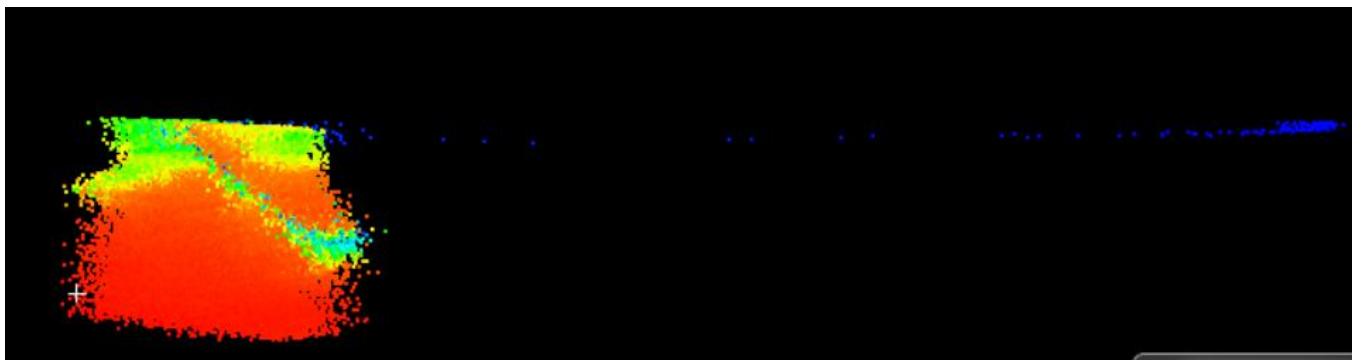
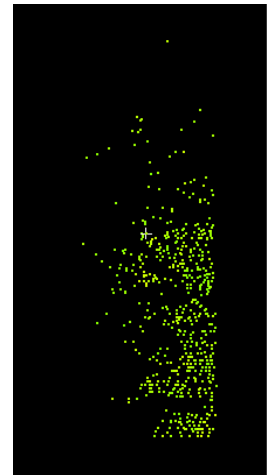
Stiklo „02“ taškų debesys. Kairėje taškų debesies vaizdas iš priekio (iš skenerio pozicijos), dešinėje – iš šono



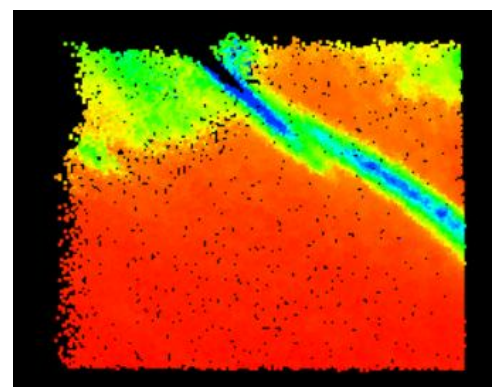
Stiklo „PS6“ taškų debesys. Kairėje taškų debesies vaizdas iš priekio (iš skenerio pozicijos), dešinėje – iš šono

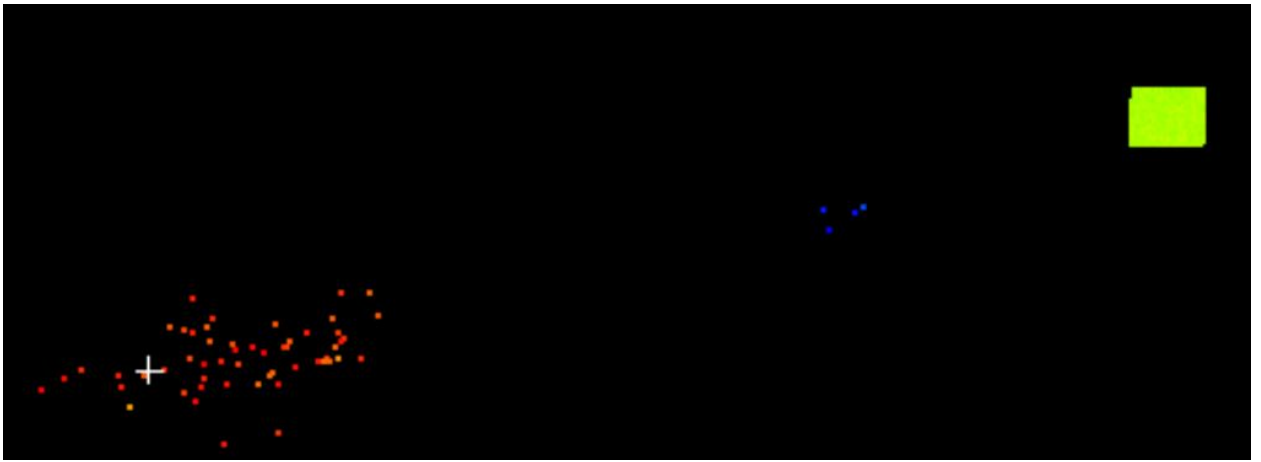


Stiklo „PS4S“ taškų debesys. Viršuje taškų debesies bendras vaizdas iš šono, dešinėje – nuskenuoto objekto paviršiaus vaizdas

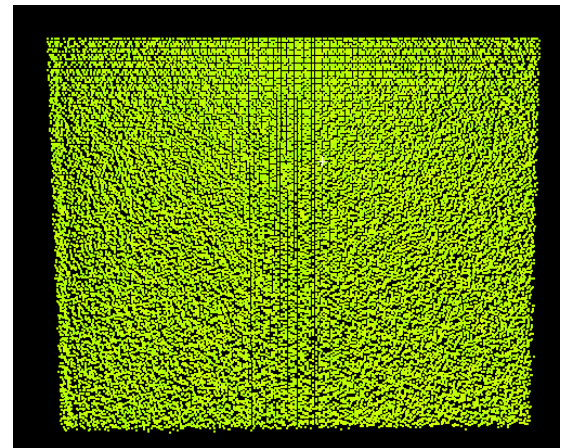


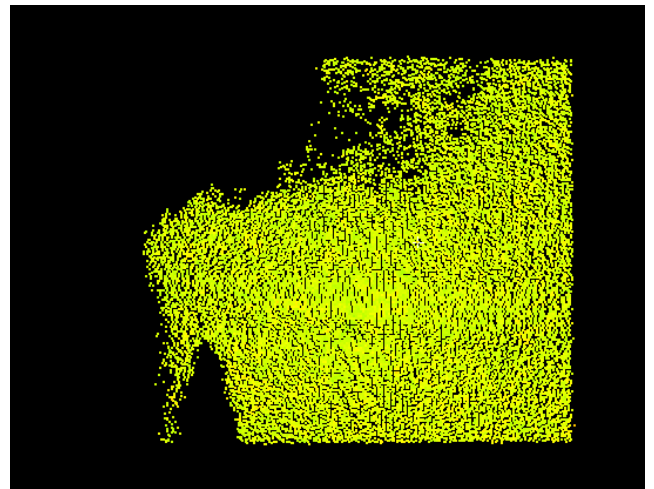
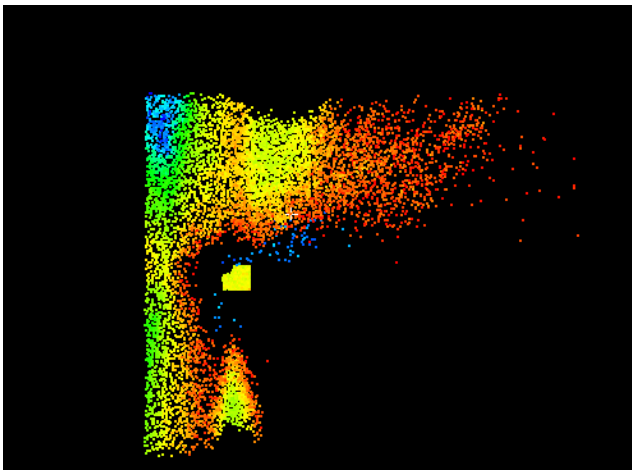
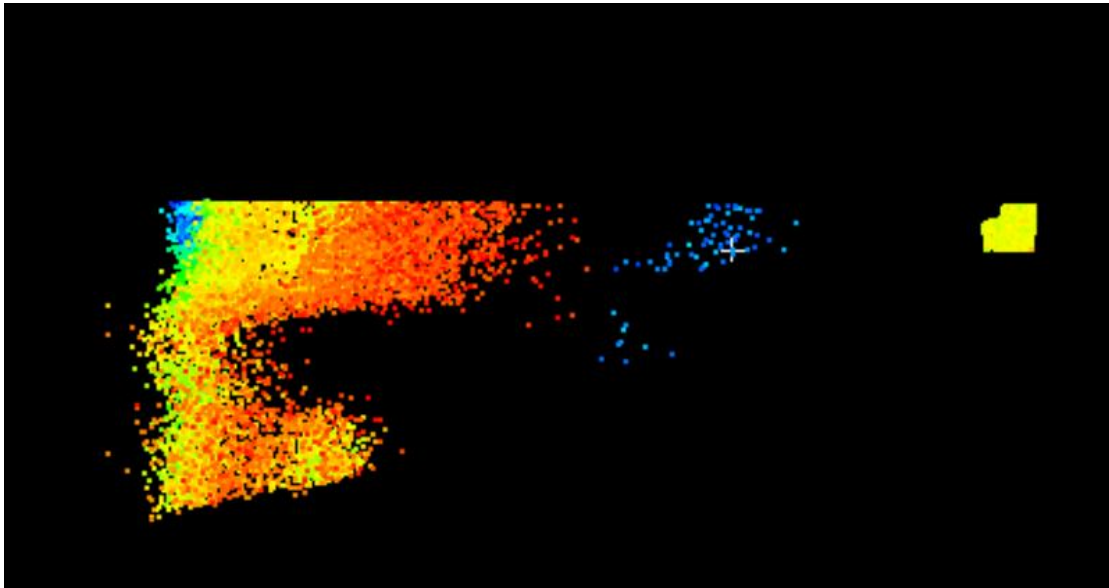
Stiklo „SB4“ taškų debesys. Viršuje taškų debesies bendras vaizdas iš šono, dešinėje – nuskenuoto stiklo plokštelės paviršiaus vaizdas





Stiklo „SB10“ taškų debesys. Viršuje taškų debesies bendras vaizdas iš šono, dešinėje – nuskenuoto objekto paviršiaus paviršiaus vaizdas





Stiklo „SP10“ taškų debesys. Viršuje taškų debesies bendras vaizdas iš šono, kairėje – vaizdas iš priekio, dešinėje – nuskenuoto objekto paviršiaus paviršiaus vaizdas