



3D LAZERINIŲ SKENERIŲ VEIKIMO PRINCIPAS IR JŲ PALYGINIMAS

¹Agnė Žilinskaitė, ²Dominykas Šlikas

¹magistrantė, ²lektorius

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. p.: ¹a.zilinskaite@stud.vgtu.lt, ²dominykas.slikas@vgtu.lt

Anotacija. Straipsnyje yra nagrinėjamos 3D lazerinių skenerių sistemos. Apžvelgiami du pagrindiniai lazerio veikimo principai: laiko impulso ir fazių lyginimo. Šiais principais veikia visi 3D lazeriniai skeneriai. Analizuojami antžeminis, mobilusis ir lėktuve įmontuotas 3D lazeriniai skeneriai. Yra pateiktos prietaisų techninės savybės, taikymo galimybės, prietaisų matavimo metodika, kuri yra labai skirtinga. Antžeminis lazerinis skeneris yra stacionarus prietaisas, kuris surenka informaciją apie objektus, esančius aplink vietovę. 3D mobilus lazerinis skeneris yra montuojamas ant mobilios platformos ir renka duomenis transporto priemonei judant. Lėktuve įmontuotas 3D lazerinis skeneris skirtas efektyviam duomenų rinkimui mažame, vidutiniame ir dideliame aukščiuose. Straipsnyje analizuotas matavimo tikslumas, atsižvelgiant į surenkamą duomenų kiekį, matavimo diapozoną, matymo lauką, veikimo principą ir naudojimo sritis.

Reikšminiai žodžiai: lazeris, mobilus skeneris, antžeminis lazerinis skeneris, lėktuvinis skeneris, 3D skenavimas.

Įvadas

Tobulėjant technologijoms, tobulėja ir prietaisai, naudojami geodeziniams matavimams. 3D lazerinių skenerių rinka per pastaruosius metus gan stipriai išsivystė. Dėl itin tikslių matavimų, greito duomenų surinkimo ir galimybės dirbti visokeriopomis sąlygomis prietaisai vis plačiau naudojami įvairiems matavimams atlikti. Matavimus atliekant 3D lazeriniais skeneriais, dideli duomenų kiekiai surenkami nereikalaujant fizinio kontakto su analizuojamu objektu.

3D lazeriniai skeneriai skirstomi į keturias grupes: antžeminius skenerius, mobilius skenerius, lėktuvinius skenerius ir skenavimo sistemas. Šiame darbe bus apžvelgiama trijų tipų lazeriai: antžeminis, mobilus ir įmontuotas į lėktuvą.

Šio tyrimo tikslas: palyginti trijų skirtingų 3D lazerinių skenerių matavimų tikslumą.

Darbo uždaviniai: susipažinti su 3D lazeriniais skeneriais, apžvelgti jų veikimo principus ir technines galimybes, pateikti geodezinių matavimų pritaikymo galimybes, palyginti prietaisus.

Lazerio veikimo principas

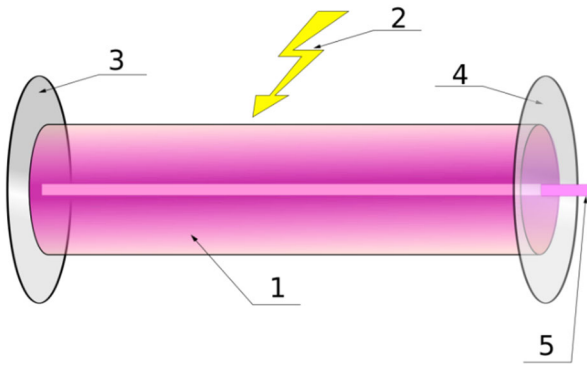
Lazeris – įrenginys, kuris spinduliuoja vienodo bangos ilgio koherentišką šviesą. Jis spinduliuoja į aplinką beveik monochromatinę plokščiąją bangą, sklindančią išilgai jo vamzdelio ašies. Lazerio šviesos generacija vyksta, kai sužadinti atomai arba molekulės pereina į žemesnės energijos arba nesužadintą būseną. Lazerio veikimui svarbūs trys pagrindiniai šviesos sąveikos su medžiagos atomais procesai: sugertis, savaiminis spinduliavimas ir priverstinis spinduliavimas (Universal Laser Systems, n.d.)

Z. Aleknavičienė straipsnyje „Lazerio veikimo principas“ (2012) aprašo lazerių sandarą. Kiekvienas lazeris yra sudarytas iš 3 pagrindinių dalių (1 paveikslas):

1. Aktyvioji terpė, kurios pagrindinė charakteristika – stiprinimo koeficientas, kuris parodo, kiek kartų šviesos intensyvumas išauga sklisdamas per aktyviąją terpę.

2. Lazerio kaupinimo energija, skirta sužadinti atomams, esantiems aktyviojoje terpėje.

3. Optinis rezonatorius, skirtas spinduliavimo stiprumui reguliuoti ir šviesos pluoštui suformuoti.



1 paveikslas. Lazerio sandara: 1) Aktyvioji terpė; 2) lazerio kaupinimo energija; 3) stipriai atspindintis veidrodinis; 4) iš dalies skaidrus veidrodinis. Kartu su (3) sudaro optinį rezonatorių; 5) lazerio spindulys

Shan ir Toth savo knygoje „Topographic laser ranging and scanning“ (2018) aprašo du pagrindinius atstumo matavimo lazeriu metodus: laiko impulso ir fazių lyginimo metodus.

„Laiko impulso metodas yra paremtas trumpu, bet intensyviu lazerio spindulio impulsu, kuris keliauja nuo prietaiso iki objekto po to, kai atsispindėjo nuo matuojamo objekto. Diapazono matavimo prietaisas fiksuoja tikslų laiko tarpą (t), nuo taške A esančio diapazono matuoklio iki taške B esamo matuojamo objekto, per kurį impulsas atsispindėjęs grįžta. Išmatavus atstumą (S) ir vertikalųjį bei horizontalųjį kampus ir turint impulse greitį (c) apskaičiuojamos taško koordinatės“:

$$S = \frac{c \cdot \tau}{2}. \quad (1)$$

„Fazių lyginimo metodu lazeris perduoda ne impulsą, o nepertraukiamą lazerio spinduliuotę. Tokiu būdu diapazono reikšmė gaunama lyginant perduodamą ir gautą šios spinduliuotės spindulio sinusinio bangos modelio versiją ir matuojant fazių skirtumą tarp jų. Kadangi lazerio bangos spindulio pluošto ilgis (λ) yra gana trumpas, paprastai maždaug $1\mu\text{m}$, topografinės kartografijos taikymo atvejais tokio matavimo tikslumo nereikia, moduliavimo signalas matavimo bangos modelio pavidalu yra ant nešamo signalo ir jo fazių skirtumas gali būti tiksliau matuojamas. Taigi, lazerio spinduliuotės amplitudė bus moduluojama sinusoidiniu signalu, kurio laikotarpis – T_m ir bangos ilgis λ_m . Tada atstumo (S) nustatymas atliekamas tiksliai matuojant fazinį skirtumą (arba fazinį kampą φ) tarp išspinduliuojamo signalo taške A ir signalo, gauto iš

prietaiso po jo atspindžio arba nuo paties žemės paviršiaus, arba nuo objekto, esančio ant žemės taško B. Šis fazės matavimas paprastai atliekamas taikant skaitmeninį impulso skaičiavimo metodą. Tai sudaro dalinio viso atstumo ($\Delta\lambda$) dalį. Bangų ilgių kiekį (M) galima nustatyti keičiant moduliavimo modelį, jį pridėjus prie dalinių verčių gaunamas galutinis diapazonas (R) (2 formulė):

$$R = \frac{M\lambda + \Delta\lambda}{2}. \quad (2)$$

Antžeminis lazerinis skeneris

TLS (Terrestrial Laser Scanning) – antžeminė *Lidar* versija, naudojama realaus pasaulio objektų analizei, aukštos skiriamosios gebos reljefo ir kraštovaizdžio žemėlapiams kurti, surenkant duomenis apie reljefo formą, dydį ir spalvą. Antžeminiai lazeriniai skeneriai yra labai funkcionalūs ir pasižymi didelėmis techninėmis galimybėmis. Šios techninės savybės lemia sėkmingą prietaisų plėtojimą įvairiose srityse (Walsh, 2018).

Antžeminių lazerinių skenerių veikimo principas nėra sudėtingas: skeneris skleidžia lazerio spindulius, kuriuos atspindi aplinkoje esantys įvairūs paviršiai. Į skenerį grįžęs spindulys įrašomas ir programa apskaičiuoja atstumą tarp skenerio ir analizuojamo taško. Galutinis skenavimo rezultatas yra tankus taškų masyvas – taškų debesis.

Antžeminiai lazeriniai skeneriai yra skirstomi pagal tokius principus: matuojamo objekto nuotolį, matymo lauką, atstumo matavimo būdą ir lazerio krypties keitimo būdą (Elipsus, n.d.).

Prietaisai pagal matavimo nuotolį klasifikuojami į tris rūšis:

1. Trumpojo nuotolio (50–60 m). Jie dažniausiai būna faziniai.
2. Vidutinio nuotolio (150–350 m). Veikia lazerio signalo sklaidimo laiko intervalo matavimo principu.
3. Ilgojo nuotolio (~1000 m). Taip pat veikia lazerio signalo sklaidimo laiko intervalo matavimo principu.

Pagal matymo lauką antžeminiai lazeriniai skeneriai skirstomi į:

1. Panoraminis – horizontalioje plokštumoje gali matuoti aplink vertikalią ašį 360° , o vertikalioje plokštumoje iki 320° kampų. Jie taikomi architektūroje, karjeruose, šachtose ir pan.
2. Hibridinius – horizontaliai matuoja 360° kampų, bet vertikalios kampo matymas siekia $50\text{--}60^\circ$. Prietaisai naudojami sudarant topografinius žemėlapius.

3. Kamerinius – jų matymo laukas tik apie $40 \times 40^\circ$, bet skenuoti galima labai iš toli, todėl jie efektyviai taikomi kalnuotose vietovėse.

Antžeminių lazerinių skenerių veikimo principas paremtas dviem būdais:

1. Fazių lyginimo metodu.
2. Laiko impulso metodu.

Leica ScanStation C10

Leica ScanStation C10 (2 paveikslas) – tai itin aukšto tikslumo ir plataus diapozono antžeminis lazerinis skeneris. Prietaise įdiegta *SmartX Mirror™* sistema, kuri naudodama besisukantį lazerį leidžia atlikti 360° nuskaitymą. Prietaise taikomas laiko impulso metodas. Į šio prietaiso sudėtį įeina ilgojo nuotolio skaitytuvas, pakreipimo jutiklis, akumuliatorius, duomenų kaupiklis, valdiklis, automatinio vaizdo kamera ir lazerio svambalas (*Exact Metrology, n.d.*).



2 paveikslas. *Leica ScanStation C10*

1 lentelėje pateikiama antžeminio lazerinio skenerio *Leica ScanStation C10* gamintojų skelbiami parametrai (*Leica Geosystems, n.d.*).

1 lentelė. *Leica ScanStation C10* specifikacijos

| | |
|---------------------------|--|
| Tikslumas | 6 mm |
| Diapozonas | 300 m |
| Skenavimo dažnis | 50 000 taškų per sekundę |
| Matymo laukas | Horizontalus – 360° Vertikalus – 270° |
| Lazerio klasė | 3R |
| Įvesties maitinimo įtampa | 15 VDC 90 – 260 VAC |
| Energijos suvartojimas | 50 W |
| Darbinė temperatūra | 0 °C iki 40 °C |
| Svoris | 13 kg |
| Dydis | 238×358×395 mm |

Mobilus skeneris

Mobilus skeneris – mobili *Lidar* (angl. *Light Detection and Ranging*) skenavimo sistema, skirta geografiniams duomenims rinkti, naudojant jutiklius, sumontuotus mobilioje platformoje. Ši sistema pasižymi tuo, kad dvi ir daugiau kamerų yra montuojamos ant mobilios platformos, kurios skirtos stereo vaizdams matuoti ir 3D matavimams atlikti. Duomenims surinkti ir apdoroti visi sistemos sensoriai turi būti susieti su: realaus laiko sinchronizavimo sistema, operacine sistema, technine ir programine įranga, kuri skirta impulsų signalams (PPS) iš mobilios skenavimo sistemos komponentų sinchronizuoti (Tao ir Li, 2007). Mobilus sistema gali būti sumontuota ant bet kokios mobilios platformos, automobilio, sunkvežimio, traukinio (3 paveikslas).



3 paveikslas. Mobilus skenavimo sistema, sumontuota ant traukinio

„Skaitmeninių nuotraukų tiesioginis susiejimas atliekamas taikant navigacinius ir pozicionavimo metodus. Siekiant pagerinti susiejimo tikslumą, apdorojant duomenis, yra kartu naudojami daugiapoziciniai jutikliai, pasaulinė padėties nustatymo sistema (GPS) ir inercinis matavimų blokas (IMU). GPS matuoja tikslią prietaiso padėtį atviroje vietoje, bet dažnai pastatai, augmenija užgožia palydovą ir signalas pradeda trūkinėti arba visai dingsta, esant tokioms aplinkybėms pasitarnauja IMU sistema, kuri nereikalauja palydovo matomumo, kad nustatytų padėties pokyčius erdvėje. Todėl atliekant matavimus, žemės matavimų kontrolės, kaip orientyro orientuojant vaizdus erdvėje, atliekamos tradiciniais matavimo būdais, nereikia. Transporto priemonės padėtis gali būti nustatoma centimetro tikslumu, o 3D koordinatės tikslumas iš georeferencinių vaizdo sekų nustatomas metro tikslumu“ (Vosselman ir Maas, 2010).

„Mobilus lazerinis skenavimas gali būti atliekamas skirtingais nuskaitymo metodais, kurie priklauso nuo dviejų priežasčių: priklausomai nuo to, kaip lazerinis skeneris yra pritvirtintas ant transporto priemonės, horizontalia, vertikalia ar pasvirusia sukimosi ašimi, ir

nuo skaitytuvo sukimosi greičio bei transporto priemonės, ant kurios sumontuotas lazeris, važavimo greičio“ (Shan ir Toth, 2018). „Daugelis mobilių skenavimo sistemų naudoja 2D lazerius, kurie horizontalia kryptimi sukasi 360° ir taiko transporto priemonės judėjimą 3D duomenims suteikti. Kai šis skenavimo modelis susiduria su plokščiuoju paviršiumi, tuomet išmatuoti lazerio taškai yra priskiriami tiesiniu būdu“ (Shan ir Toth, 2018 m).

Pagrindinis mobilios skenavimo sistemos privalumas, kad duomenų surinkimas 3D formatu yra nuskaitomas tiesiogiai. Matavimai gali būti atliekami kinematinio ir statinio būdais. Statinio režimo privalumas yra didelis tikslumas ir erdvinė skiriamoji geba, o kinematinio režimo pranašumas yra efektyvus ir greitas duomenų surinkimas.

Mobilus lazerinis skenavimas – tai gana nauja technologija. Šios sistemos sukūrimą daugiausia lėmė greitkelių infrastruktūros žemėlapių sudarymo ir transporto koridorių atsargų poreikis. Mobiliojo žemėlapių kūrimą ir pažangą pirmiausia lėmė skaitmeninės vaizdo ir tiesioginės georeferencinės technologijos, su kuriomis lyginant, mobiliosios skenavimo sistemos turi daug platesnes 3D kartografavimo galimybes, kurios realizuojamos taikant pažangias kelių jutiklių integruotas duomenų kaupimo ir apdorojimo technologijas.

Roadscanner 4

Roadscanner 4 (4 paveikslas) – tai pirmos klasės mobiliųjų žemėlapių ir skenavimo sistema. Šis skeneris naudojamas keliams inventorizuoti, infrastruktūrai stebėti, pastatams tirti, kelių ir oro uostų dangų valdybos sistemoms ir kitiems inžineriniams darbams.



4 paveikslas. *Roadscanner 4*

Mobili skenavimo sistema sinchronizuojama su *Z+F Profiler 9012* aukšto tikslumo lazeriu (5 paveikslas). Lazeris pasižymi plačiu skenavimo diapazonu – 119 m, taip yra užtikrinamas greitas, didžiausio tikslumo, tankus aplinkos skenavimas visomis kryptimis, horizontalia padėtimi yra skenuojama 360°, skenavimo greitis 50–200 hz per sekundę, skenuojamų taškų skaičius siekia nuo 256 000 iki 1 024 000 taškų per sekundę. Kadangi skeneris sukasi apie horizontalią ašį, lazeris gali skenuoti situaciją profilio režimu. Lazeris tvirtinamas kartu su inercine navigacine sistema. Inercinė navigacinė sistema apima dviejų komponentų, didelio tikslumo GNSS (angl. *Global Navigation System*) imtuvo ir antenos, inercinį matavimo bloką, kuris skirtas transporto priemonės padėčiai nustatyti išjungiant GPS, ir atstumo matuoklį (DMI) (*Quality Positioning Services*, n.d.).



5 paveikslas. *Zoller&Froelich (Z+F) 9012* skeneris

Ladybug 5 – tai sferinė šešių kamerų sistema (6 paveikslas), kurios ekrano raiška – 30MP. Naudojant šią kamerą objektui matuoti gaunamas ne tik skenuotų taškų debesis, bet ir nuotraukos, kurios padeda atpažinti objektus (*FLIR Systems, Inc.*, n.d.).



6 paveikslas. *Ladybug 5* sferinė kamera

2 lentelėje pateikta mobilaus skenerio *Roadscanner 4* specifikacija (*FARO*, n.d.).

2 lentelė. Roadscanner 4 specifikacija

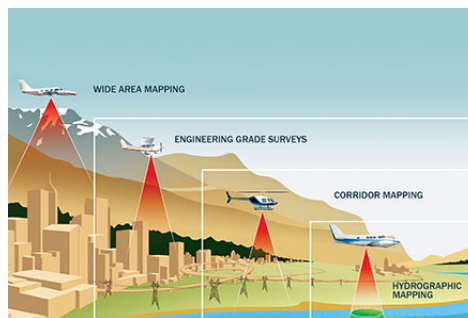
| GNSS komponentai | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Informacijos kanalai | GPS+GLONASS L1/L2 |
| Perdavimas | <1 sek. |
| Padėtis realiu laiku | Iki 10 Hz |
| Galia | |
| Ivesties maitinimo įtampa | 12–14 VDC – 50 amp |
| Sistemos energijos suvartojimas | Apytiksliai 500 W |
| Fizinės ir aplinkos savybės | |
| Dydis | 800×700×900 mm |
| Svoris | Apytiksliai 50 kg |
| Darbinė temperatūra | –5 °C iki 45 °C |
| LiDAR komponentai | |
| Skenavimo greitis | Iki 3 Mpps |
| Skenerio matymo laukas | 300–360° |
| Skenerio dažnis | 100–400 Hz |
| Veikimo diapozonas | 119–800 m |
| Lazerio klasė | 1 |
| Tikslumas | |
| Absoliutinis tikslumas | <2 cm antžeminis kontrolinis taškas |
| Santykinis tikslumas | 1–7 mm |

Šis prietaisas yra pranašus tuo, kad gali būti tvirtinamas prie bet kokios transporto priemonės, duomenys yra surenkami iki 10 kartų greičiau, negu su tradiciniais taškų matavimo prietaisais, todėl darbo našumas itin padidėja. Skeneryje yra įdiegta vaizdo ir taškinių debesų *PointCloud* tvarkymo programinė įranga, kuri prieš pradėdama skenavimo darbus automatiškai sukuria taškų debesį pasirinkto dydžio teritorijai. Tai užtikrina, kad visa reikiama informacija yra surinkta ir nereikia grįžti į matavimų vietą atlikti pakartotinių matavimų. Skenavimo duomenys yra itin tikslūs. Skeneris gali būti moduluojamas įvairiomis konfigūracijomis pagal inercinę navigacinę sistemą ir kamerų bei lazerinių skaitytuvų skaičių.

Lazerinis skenavimas iš orlaivio

Pastaraisiais metais geografinė informacijai apie erdvinį žemės paviršių kaupti yra taikomas efektyvus vietovės skenavimo lazeriu iš orlaivio metodas *LIDAR* (angl. *Light Detection And Ranging*) (7 paveikslas). Taikant šį skenavimo metodą naudojama impulsinė lazerio šviesa kintamiems atstumams iki žemės išmatuoti.

Jutikliai, naudojami oru gabenamame *LIDAR*, dažniausia atlieka dvi pagrindines funkcijas: viena vertus tolimatis matuoja atstumą nuo orlaivio iki žemės paviršiaus, kitu atveju jutikliai skirti tolimačio orientacijai matavimo metu (Kilia et al., 2001).



7 paveikslas. Lazerinis skenavimas iš orlaivio

LIDAR skenavimas iš orlaivio skirstomas į du tipus:

1. Topografinis, kai skenuoti naudojamas lazeris, sklaidžiantis trumpąją infraraudonąją spinduliuotę (National Ocean Service, n.d.).
2. Batimetrinis, kai skenuoti naudojamas lazeris sklaidžia žalią šviesą, kurią pasitelkiant matuojamas vandens dugnas (National Ocean Service, n.d.).

Lazerinis skeneris įtaisomas lėktuve arba sraigtašparnyje. Skrendant optinis elektroninis blokas generuoja lazerio impulsus ir aukštu matuojamuoju dažniu (angl. *Pulse frequency*), iki 100 000 impulsų per sekundę, aktyviais jutikliais matuoja atstumus iki žemės paviršiaus, medžių lajos, pastatų stogų ir kitų objektų. Nuo žemės paviršiaus atspindėtieji impulsai registruojami fotodiodiniu registratoriumi. Pagal impulsų išsiuntimo ir jų atspindžių registravimo laiko skirtumą nustatomas vertikalus arba nuožulnus (skrydžio kryptimi) nuotolis iki žemės paviršiaus objekto (taikinio) taškų. Esti skenerių, kurie atstumą iki žemės matuoja pagal šviesos srauto virpesių fazių skirtumus (Žalnierukas ir Čypas, 2006).

Skenavimo lazeriu sistema nustato erdvinės polines koordinates (kampinis rastras), jų pradžią fiksuoja GPS aparatūra. Kintančiam polinių koordinatų sistemos orientavimui erdvėje XYZ ašių atžvilgiu įrengta inercinė navigacinė sistema (INS). Lazerinis skeneris, GPS ir INS veikia sinchroniškai, prieš skrydžio misiją nustatomi jų ekscentricitetai. Reikia bent vienos GPS referencinės stoties su žinomomis krašto koordinatėmis ir žinomu geoido aukščiu virš elipsoido. GPS ir INS teikia 3 tradicinius linijinius ir 3 kampinius aeronuotraukos absoliutinio orientavimo elementus (Žalnierukas ir Čypas, 2006).

Oru gabenamas *Lidar* dažniausiai naudojamas vietovėse, kuriose taikant tradicinius matavimo metodus susiduriama su problemomis arba užima per daug laiko (Kilia et al., 2001):

1. Miškingos vietovės, kuriose matuoti tacheometru per brangu, o fotogrametrija nepavyksta dėl blogo žemės matomumo.
2. Pelkės ir pakrančių zonos, kuriose dėl potvynių susiduriama su problemomis matuojant tacheometru, o su fotogrametrija yra problema dėl blogos bloko geometrijos ir žemos struktūros.
3. Atvirose vietose, kai reikia matavimo rezultatus gauti per kuo trumpesnę laiko tarpą.
4. Urbanizuotose teritorijose, kai vaizdo derinimas nepavyksta dėl okliuzijų ir aukščio trūkių.

Orlaiviu gabenamas lazerinis skeneris RIEGL VQ-780i

RIEGL VQ-780i (8 paveikslas) – didelio našumo, tvirtas lengvas ir kompaktiškas oro kartografavimo jutiklis. Šis prietaisas skirtas efektyviam duomenų rinkimui mažame, vidutiniame ir dideliame aukščiuose. Didelės spartos besisukančio veidrodžio konstrukcija užtikrina patikimumą ir tolygų taškų pasiskirstymą visame plačiame matymo lauke ir visuose skraidymo aukščiuose. Remiantis RIEGL patikrinta *Waveform-LiDAR* technologija, sistema teikia taškinius debesis dideliu tikslumu, puikia vertikalia taikinio skiriamąja geba, kalibruotais atspindžio rodmenimis ir impulsų formos nuokrypiu, kad nepakartotinis informacijos turinys būtų matuojamas atskirai. Puikus atmosferos triukšmo slopinimas duoda švarius taškų debesis, kuo mažiau pastangų filtruojant izoliuotus triukšmo taškus. Skaitytuvas yra skirtas veikti su naujausiomis inercinės navigacijos (IMU) sistemomis, skrydžio valdymo sistemomis ir fotoaparato parinktimis (RIEGL Laser Measurement Systems, n.d.a).



8 paveikslas. *Riegl VQ-780i* orlaiviu gabenamas lazerinis skeneris

Riegl VQ-780i – nuskaitymo mechanizmas – pagrįstas nuolat besisukančiu daugiakampio veidrodžio ratuku – pateikia tiesias lygiagrečias nuskaitytas linijas,

todėl žemėje gaunamas reguliarus taškų tinklas. Esant vienodam taškų dažnumui visoje teritorijoje, objekto ribos yra tiksliai apibrėžtos ir net mažus objektus galima aptikti. Dėl plataus *Riegl VQ-780i* matymo lauko ir daugybės laiko matavimo galimybių prietaisas puikiai tinka plataus ploto žemėlapiams. Priemonė buvo sukurta siekiant kuo efektyvesnio duomenų rinkimo, nes tuo pačiu metu įmanoma nuskaityti operacijas iš didelio aukščio esant dideliame lazerio impulsų pasikartojimo greičiui, sumažinant reikiamą skrydžio laiką iki minimumo.

3 lentelėje pateikti oru gabenamo lazerinio skenerio *Riegl VQ-780i* parametrai (RIEGL Laser Measurement Systems, n.d.b)

3 lentelė. Lazerinio skenerio *Riegl VQ-780i* specifikacijos

| | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Tikslumas | 20 mm |
| Diapozonas | 1600 m |
| Matavimo dažnis | 20–300 kontūrų per sekundę |
| Matymo laukas | Vertikaliai 0,006–60° |
| Lazerio impulsų pasikartojimo dažnis | 1 Mhz |
| Lazerio klasė | 3B |

3D lazerinių skenerių palyginimas

4 lentelėje yra pateiktas 3D antžeminio lazerinio skenerio *Leica ScanStation C10*, 3D mobilus lazerinis skenerio *Road scanner 4* ir oru gabenamo 3D lazerinio skenerio *Riegl VQ-780* palyginimas. Skeneriai buvo lyginami pagal kelis kriterijus: matavimo taškų tikslumą, surinktų duomenų kiekį, matavimo diapazoną, matymo lauką ir veikimo principą.

Iš lentelės galima matyti, kad tiksliausiai matavimus galima atlikti naudojant 3D mobilų lazerinį skenerį *Road Scanner 4*, matavimo tikslumas siekia nuo 1 iki 7 mm, priklausomai nuo to, ant kokios transporto priemonės yra sumontuotas prietaisas ir koku greičiu juda. Na o didžiausia matavimo paklaida galima matavimus atliekant oru gabenamu 3D lazeriniu skeneriu *Riegl VQ-780* – 20 mm. Antžeminio lazerinio skenerio matavimo tikslumas yra 6 mm.

Lėktuvinio skenerio tikslumas iš visų trijų prietaisų yra mažiausias, bet šiuo skenavimo metodu yra surenkamas didžiausias duomenų kiekis ir matavimo diapazonas yra plačiausias – 1600 m. Didžiausio tikslumo skeneris *Road scanner 4* matavimus atlieka nuo 119 iki 800 m diapazonu ir nuskenuoja nuo 256 000 iki 1 024 000 taškų per sekundę. *Leica ScanStation C10* surenkamų taškų kiekis per sekundę yra 50 000 ir diapazonas iki 300 m.

4 lentelė. 3D lazerinių skenerių palyginimas

| | Antžeminis lazerinis skeneris <i>Leica ScanStation C10</i> | Mobilus lazerinis skeneris <i>Road scanner 4</i> | Lėktuvinis lazerinis skeneris <i>Riegl VQ-780i</i> |
|---------------------|---|--|--|
| Matavimo tikslumas | 6 mm | 1–7 mm | 20 mm |
| Dažnis | 50 000 taškų per sekundę | 256 000–1 024 000 taškų per sekundę | 20–300 kontūrų per sekundę |
| Matavimo diapozonas | 0,1–300 m | 119–800 m | 1600 m |
| Matymo laukas | Horizontaliai – 360° Vertikalčiai – 270° | Horizontaliai – 360° Vertikalčiai – 360° | Vertikalčiai – maks. 60° min. – 0.006° |
| Veikimo principas | Laiko impulso | Laiko impulso | Laiko impulso |
| Naudojimo sritys | Fotogrametriniams matavimams, topografiniams planams, pastatams matuoti | Kelių, greitkelių infrastruktūroms, topografiniams planams | Didelių plotų miškingose, pelkėtose vietovėse ar urbanizuotose vietovėse |

3D mobilus lazerinis skeneris *Road scanner 4* turi plačiausią matymo lauką vertikalia kryptimi – 360°, matymo laukas horizontalia kryptimi taip pat yra 360°. Lėktuvinis skeneris *Riegl VQ-780* matavimus atlieka tik vertikaliu kampu, kurio matymo laukas yra nuo 0.006° iki 60°. Kaip ir 3D mobilus lazerinis skeneris, taip ir antžeminis lazerinis skeneris *Leica ScanStation C10* horizontalia kryptimi matavimus gali atlikti 360° spinduliu, bet vertikalia kryptimi matavimo galimybės yra kiek mažesnės – 270°.

3D lazerinių skenerių matavimo principai yra labai skirtingi, todėl naudojimo sritys ir galimybės taip pat labai skirtingos. Lazeriniai skeneriai, įmontuoti lėktuve, dažniausiai naudojami didelėse teritorijose, kuriose būtų sunku atlikti darbus antžeminėmis matavimo priemonėmis. Mobilus skeneris dažniausiai naudojamas kelių, geležinkelių infrastruktūroms. Antžeminiai lazeriniai skeneriai naudojami mažesnių teritorijų ar objektų tyrimui.

Matavimai, atliekami lazeriniais skeneriais, tinka matuojant objektus, kurie negali būti liečiami arba

liečiami itin atsargiai, pavyzdžiui, archeologės iškasenos, arba objektai, prie kurių yra pavojinga artintis, seni tiltai, pastatai.

Išvados

1. Visų trijų 3D lazerinių skenerių veikimas paremtas laiko impulso principu.
2. Didžiausias matavimo tikslumas yra 3D mobilaus lazerinio skenerio *Road scanner 4*.
3. Didžiausias taškų kiekis surenkamas oru gabenamu 3D lazeriniu skeneriu *Riegl VQ-780*, bet matavimo tikslumas yra žemiausias.
4. Plačiausiu matymo lauku pasižymi 3D mobilus lazerinis skeneris *Road scanner 4*.

Literatūra

- Aleknavičienė, Z. (2012). Lazerio veikimo principas. *Mano ūkis*, (8).
<https://www.manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/2012/08/lazerio-veikimo-principas/>
- Elipsus. (n.d.). *Kas yra antžeminis lazerinis skenavimas*
<https://elipsus.lt/kaip-veikia-skeneris/>
- Exact Metrology. (n.d.). *Leica ScanStation C10*
<https://www.exactmetrology.com/metrology-equipment/leica-hds/leica-scan-station-c10>
- FLIR Systems, Inc. (n.d.). *Ladybug 5 +*.
<https://www.flir.com/products/ladybug5plus/FARO>. (n.d.). *Road scanner 4*.
<https://www.faro.com/en-gb/products/construction-bim-cim/road-scanner-c/>
- Kilia, J., Haala, N., & Englich, M. (2001). *Capture and evaluation of airborne laser scanner data*.
https://www.researchgate.net/profile/Norbert_Haala/publication/2499610_Capture_Andevaluation_of_Airborne_Laser_Scanner_Data/links/0decc528dafc3e1e70000000/Capture-Andevaluation-of-Airborne-Laser-Scanner-Data.pdf
- Leica Geosystems. (n.d.). *Leica ScanStation C10 The all-in-one laser scanner for any application*.
https://w3.leica-geosystems.com/downloads/123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures-datasheet/Leica_ScanStation_C10_DS_en.pdf
- National Ocean Service. (n.d.). *What is lidar?*
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
- Quality Positioning Services. (n.d.). *Laser Scanning – Z F profiler 9012 200 Hz – 20*.
<https://confluence.qps.nl/dm/laser-scanning-z-f-profiler-9012-200hz-20-56459838.html>
- RIEGL Laser Measurement Systems. (n.d.a). *Riegl VQ-780i*.
<http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/produktdetail/product/scanner/59/>
- RIEGL Laser Measurement Systems. (n.d.b). *Wave Processing Airborne laser scanner for wide area mapping and high productivity Riegl VQ-780i*.
http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/RIEGL_VQ-780i_Datasheet_2019-09-02.pdf
- Shan, J., & Toth, K. C. (2018). *Topographic laser ranging and scanning*. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781315154381>

Tao, V. C., & Li, J. (2007). *Advances in mobile mapping technology* (pp. 43–51). Taylor & Francis Group. https://books.google.lt/books?hl=lt&lr=&id=tWUfPdng_o0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=mobile+mapping+system&ots=dJTRONzWeQ&sig=TidFBKBqReokIqG2bbtCNToyUY&redir_esc=y#v=onepage&q=mobile%20mapping%20system&f=false

Universal Laser Systems. (n.d.). *The fundamentals of laser technology*. <https://www.ulsinc.com/learn>

Vosselman, G., & Maas, H. (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning* (pp. 293–298). CRC Press.

Walsh, S. (2018). Volume 9 overview: Remote sensing, human dimension and societal benefits. *Comprehensive Remote Sensing*, 9, 1–3. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10521-4>

Žalnierukas, A. ir Čypas, K. (2006). Žemės paviršiaus skenavimo lazeriu iš orlaivio technologijos analizė. *Geodezija ir Kartografija*, 32(4), 101–105. <https://doi.org/10.3846/13921541.2006.9636706>

3D LASER SCANNERS OPERATION PRINCIPLES AND THEIR COMPARISON

A. Žilinskaitė, D. Šlikas

Summary

The article analyzed three types of 3D laser scanners: a mobile mapping scanner, terrestrial laser scanner and airborne laser scanner. The theoretical part consist of description of the basic principles of laser operations, describes 3D laser scanners, their operating principles and technical properties and their application possibilities. In the practical part, 3D laser scanners were compared according to the following criteria: measurement accuracy, amount of data collected, measurement range, field of view, principle of operation and areas of use.

Keywords: laser, mobile mapping scanner, terrestrial laser scanner, airborne scanner, 3D scanning.