

1 Laserskannerid

Laserskannerid kuuluvad aktiivsete seireseadmete hulka, sest saadavad ise välja energiat laserimpulsi kujul ning siis mõõdavad impulsi (osa)peegelduse tagasijõudmiseks kuluvat aega (TOF – *Time Of Flight*) ja tagasipeegeldunud impulsi intensiivsust. Sellist kaugseire meetodit tähistatakse akronüümiga LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Laserskannereid saab kasutada nii maa peal, droonide, lennukite kui ka satelliitide abil. Lennukitel ja droonidel kasutatavatest laserskanneritest ja nende rakendusvaldkondadest saab huviline ülevaate (Li et al., 2020) artiklist.

Eestis on laserskannereid Maa-ameti poolt mehitatud lennukite pealt kasutatud alates 2008. aastast ning Maa-ameti kodulehelt leiab eestikeelset üldinfot nii LiDAR-seadmete ja tööpõhimõtete kohta.

Kuna tegemist on aktiivse anduriga, siis seda saab kasutada kehvades valgusoludes või suisa pimedas. Laserskannerid töötavad edukalt ka oludes, kus fotokaameraga tehtud piltidele põhinev fotogramm-meetria võib jääda hätta (nt madal kontrastsus, palju sarnaseid elemente, osaliselt läbipaistvad objektid nagu nt elektriliinid, puude võrad jne). Üheks LiDARi oluliseks omaduseks on võimalus registreerida mitut osapeegeldust (nt puude ladvast, võrast ja maapinnalt) ühe väljasaadetud impulsi kohta. Taoline rakendus võimaldab lidarandmestikust, mis tavaliselt esitatakse 3D-punktipilvena, eristada maapinna reljeefi ja seda katva taimestiku tihedust, kõrgust ja struktuuri. Põhilised LiDARi kasutusvaldkonnad maateadustes on topograafia ja batümeetria, (metsa)taimestiku ning atmosfääriuuringud.

Objektide edukaks georefereerimiseks, peab laserskanneriga koos kasutama sünkroniseeritud täppis satelliitpositsioneerimis süsteemi (GNSS) ja kõrge täpsusega IMU-d (*Inertial Measurement Unit*), mis mõõdab seadme asendit kõigis tasapindades väga kõrge sagedusega. Laserimpulsse suunatakse ruumis laiali üsna mitmel erineval moel ja uuritava objekti pinnale moodustub nendest muster. Erinevatel süsteemidel on see muster erinev ja sellest mustrist sõltub punktide omavaheline paigutus, mis ei ole tavaliselt objekti pinnal ühtlane. Õhus lendavalt platvormilt tehakse laserskaneerimist lennuribadena (*swath*), mille laius sõltub skanneri vaateväljast (FOV – *Field Of View*) ja lennukõrgusest. Siinjuhul peab arvestama, et lennuriba sees ei ole ka tasase maapinna korral andmete tihedus, iga impulsi jälje (*footprint*) suurus ja kuju ning asukoha täpsus ühtlane – lennuriba äärealadel on täpsus väiksem, impulsi jälg suurem ja väljavenitatum. Keerukama reljeefi korral ebaühtlus võimendub ning tekivad „varju“ jäävad alad, kust ei tule üldse peegeldusi. Sellisel juhul tuleb andmete saamiseks neist piirkondadest lennuribad planeerida ülekattuvana ja ülekate sees on punktitihedus kaks korda suurem. Nii ei pruugi kahe erineva laserskanneri ja lennuplaaniga tehtud uuringut, mis raporteerivad ühesugust keskmist punktitihedust (PD – *point density*), tegelikult olla võrreldavate tulemustega. Eriti oluline on see metsa 3D-uuringute puhul.

Kõige olulisemad laserskannerite parameetrid droonide jaoks:

- Sensori kaal, mis mõjutab koos voolutarbega lennuaega;
- Väljasaadetava impulsi võimsus ja pikkus, mis koos detektori tundlikkusega mõjutab vertikaalset lahtust ning maksimaalset lennukõrgust;
- Väljasaadetavate impulsside arv sekundis koos lennukõrguse, -kiiruse ja FOV-iga mõjutab andmepunktide tihedust;
- Maksimaalne registreeritav osapeegelduste arv, mis mõjutab objekti poolläbipaistvast osast tuleva info hulka ja jaotust;
- IMU täpsus ja värskenduskiirus. Määrab otseselt andmepunktide suhtelise refereerimise täpsuse. IMU on kõige kallim komponent kogu süsteemis;

- GNSS täpsus ja värskenduskiirus, millest sõltub punktide absoluutse georefereerimise täpsus;
- Ühildatud fotokaamera olemasolu, mis võimaldab saada värviinfo esimesele osapeegeldusele ja mis oluliselt lihtsustab hilisemalt punktide klassifitseerimist.

Kõige tuntumad laserskannerite valmistajad on Riegl ja Teledyne Optech, kes on juba aastakümneid tootnud mehitatud lennukitele mõeldud seadmeid. Mõlemad toodavad droonidele mõeldud skannereid, mis on üldiselt saadaolevatest kõige paremate näitajatega, kuid samas ka kõige kallimad.

Lisaks on ka uuemaid tegijaid, kes toodavad muuhulgas just droonidele mõeldud laserskannereid. Euroopas on rohkem tuntud firmad nagu: Yellowscan, Routscape, GreenValley, Topodrone jne. Võrreldes näiteks Riegl-i tippmodelitega, kasutavad tootjad odavamate laserskannerite puhul (nt Yellowscan Mapper+ ja Routscape LidarPod) madalama kvaliteediga komponente, mille tulemuseks on ka väiksem täpsus ning väiksem registreeritavate osapeegelduste arv. Maksimaalse osapeegelduste arvu saab kasutaja nn *full waveform* lidarite puhul, kus salvestatakse (peaaegu) kogu tagasipeegeldunud kiirusvoog ja kasutaja saab ise seadistada lävendi peegelduse defineerimiseks. Sellised seadmed, näiteks Riegl Vux-1UAV, on aga oluliselt kallimad ning toodetavad andmemahud on kordades suuremad.

DJI professionaalseks kasutuseks mõeldud M300 droonile gimbali LiDARit L1, mis on üks odavamaid saadaolevaid, kuid ka üsna tagasihoidlike näitajatega. Üldiselt LiDAReid gimballi peale ei panda, vaid nad lihtsalt „riputatakse“ drooni alla, sest nad on küllaltki rasked. Päris mitmed droonitootjaid (nt Microdrones, Topodrone) pakuvad spetsiaalselt LiDARiga integreeritud droonimudeleid.

Omaette huvitav suund on **LiDARi paralleelkasutus** nii mõõdistamisel kui ka ruumimudeli loomisel drooni enese jaoks. Nii tekib droonil võimekus lennata ka kohtades, kuhu GNSS-signaal ei ulatu või pole usaldusväärne (nt kaevandused, siseruumid, koopad, tiheda hoonestuse vahel jne). Vajaliku ruumimudeli loomiseks reaajas, kasutatakse SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) algoritme, mis võivad sisendina, lisaks laserskanneritele, kasutada veel tavakaamera, radari jms infot (Gupta ja Fernando, 2022). Näiteks droonid nagu Flyability Elios 3 või Exyn ExynAero suudavad iseseisvalt kaardistada kaevanduskäike. Samuti hakkas tootja Leica Geosystems 2022. aastal müüma drooni BLK2FLY, kus on täielikult integreeritud laserskanner. Siiski nõuab sedalaadi ruumimudeli loomine suurt arvutusvõimsust ja seetõttu on lennukiirused madalad. Lisaks hoiatab Leica, et näiteks peenemaid kui 5 mm kaableid/oksi ei suuda laserskannerid (veel) tuvastada.

Praktiliselt kõik laserskannerid lubavad toorandmete töötlemise esimeses etapis kasutada ainult konkreetse tootja tarkvara, mis võib olla üsna kallis.

Enamik tootjaid on tänapäeval laserskanneriga integreerinud ka fotokaamera, mis võimaldab andmepunktile hiljem lisada ka RGB-info, mis lihtsustab punktipilve hilisemat klassifitseerimist (Joonis 1).

1.1.1 Laserskannerite vähemlevinud variandid.

Tavaliselt kasutatakse NIR-spektriosas (ca 1550 nm) inimsilmale nähtamatut laserit. **Batümeetrilisteks** töödeks kasutatakse aga lasereid, mille lainepikkus on 640 nm. Selleks otstarbeks toodab nt Riegl integreeritud LiDAR-multirootor lahendust Ricopter, millega saab teha batümeetrilisi kaardistustöid. Veealuse reljeefi kaardistamine drooni abil eeldab vee head läbipaistvust, sest laserskanner suudab registreerida veekogu põhja veel 1,5-kordse Secchi sügavuse juures (Secchi sügavus iseloomustab vee läbipaistvust). Hea ülevaate sellisest kasutuasest saab lugeja Mandlbürger *et al.*, (2020) artiklist.

Mehitatud lennumasinade jaoks on välja töötatud ka skannersüsteeme, kus on **mitu eri lainepikkusel töötavat laserit**, mis annavad objekti kohta ka spektraalinfot vastavas lainepikkuses, kuid drooni lisadena ei ole neid teadaolevalt veel tavakasutajal võimalik osta.

 Yellowscan Mapper+	 Routescene LidarPod
 DJI L1	 Riegel VUX – 1UAV
Leica Geosystems BLK2FLY 	Elios 3 

Joonis 1. Mõned fotod peatükis mainitud laserskanneritest ja droonidest.

2 Kasutatud kirjandus

- Gupta, A., & Fernando, X. (2022). Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) and Data Fusion in Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Challenges. *Drones*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/drones6040085>
- Li, X., Liu, C., Wang, Z., Xie, X., Li, D., & Xu, L. (2020). Airborne LiDAR: State-of-the-art of system design, technology and application. *Measurement Science and Technology*, 32(3), 032002. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/abc867>
- Mandlbauer, G., Pfennigbauer, M., Schwarz, R., Flöry, S., & Nussbaumer, L. (2020). Concept and Performance Evaluation of a Novel UAV-Borne Topo-Bathymetric LiDAR Sensor. *Remote Sensing*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/rs12060986>