



EESTI NOORTE METSADE HOOLDUSRAIEVAJADUSE INDIKATSIOONIKAART 2023

Projekti RE.4.08.23-0075 aruanne

Tartu Observatoorium
Tartu Ülikool

Koostasid

Mait Lang
Oleksandr Borysenko

Tõravere 2023

Sisukord

Sissejuhatus.....	3
Materjal ja metoodika.....	4
Andmed.....	4
Punktipilvede meetrika.....	5
Aerolidariandmetel põhinev mudel.....	5
Kaartide koostamine.....	6
Tulemused ja edasivaade.....	8
Tehniline osa.....	8
Kuidas kaarte kasutada.....	8
Sisuline osa - kuhu indikatsioon tekib ja miks.....	9
Edasivaade.....	11
Viited.....	12

SISSEJUHATUS

Mets on keeruline süsteem, mille majandamise kavandamine vajab paljude tegurite hindamist ning pikaajalise mõjuga erinevate stsenaariumite vahel optimumi leidmist. Eestis on statistilise metsainventuuri (SMI) andmetel 2325,6 tuhat hektarit metsamaad, millest 1076,5 tuhat hektarit kuulub riigile ja 1249,1 tuhat hektarit teistele (peamiselt eraomanikele) valdajatele (Valgepea jt 2021). Veidi rohkem kui kuuendikul metsamaast (17,5 %) on inimese sekkumine metsa arengusse kaitsereežiimi tõttu keelatud ning kokku kolmandikul metsamaal on mingi majanduspiirang (Raudsaar jt 2021). Ülejäänud metsamaal toimub metsa majandamine väljakujunenud tavade kohaselt.

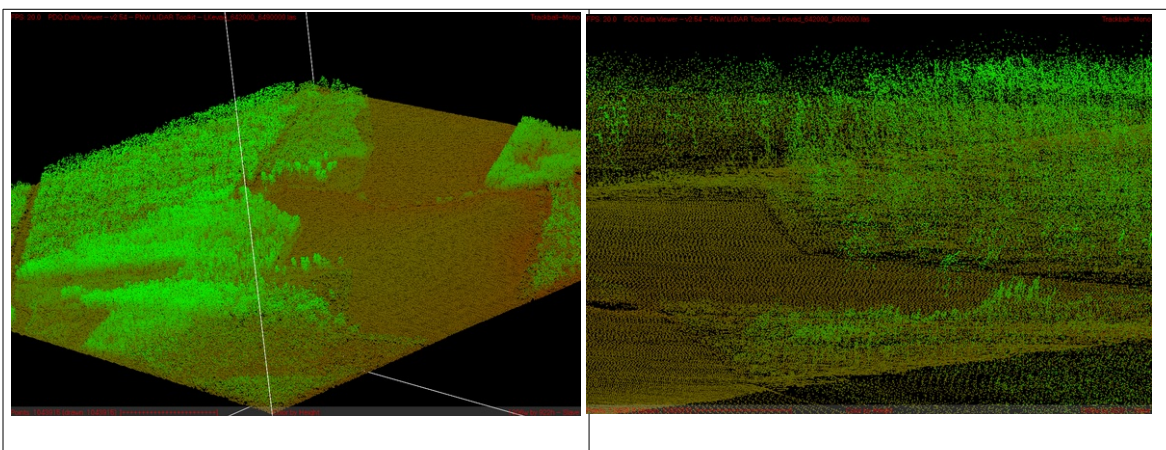
Metsa tekib ja mets uueneb Eestis nii looduslikult kui ka kultiveerimise teel (istutamine, külv). Mõlemal juhul tekib metsamaale mingi puistu, kuid tasuva tulevikupuistu saamiseks on oluline juba noortes puistutes reguleerida hooldusraietega nii puistu liigilist koosseisu kui ka tihedust ning valida kasvatamiseks paremate omadustega puud. Hooldusraied kavandatakse metsakorralduse käigus ja teadlikumad metsaomanikud jälgivad pidevalt oma metsade seisundit ja teevad ka raied vastavalt puistu seisukorrale. Metsaressursi arvestamise riiklikus registris olid 2023. aasta alguses takseerandmed 1,09 miljoni hektari riigimetsamaa ja 1,03 miljoni hektari era- ja teiste omanike metsamaa kohta. Juba aeguma hakkavaid takeerikirjeldusi (registrikanne enne 2015. aastat) oli riigimetsamaal 8% aga teiste omanike maal lausa 33%. Kogu metsamaa ja registris olevate metsaeraldiste pindala erinevus on 207 tuhat hektarit - need on metsad, mille kohta pole kunagi majanduskava tellitud. Metsakorralduse tööde tellimine on kulu, millega aktiivsed metsaomanikud igapäevaselt arvestavad, aga metsamajanduskava ei ole eelduseks, et noort metsa hooldada. Kus siis teha hooldusraieid? Käesolev projekt pakubki ühe võimalusena otsustamiseks kaardi, mis on saadud Maa-ameti lidarmõõdistuse andmete ehk kolmemõõtmeliste punkt pilvede analüüsi tulemusena. Kaardil on välja toodud puistud või nende osad, mida oleks kindlasti vaja metsas üle kontrollida ning vajadusel küsida nõu metsakonsulendilt või kogemustega metsamajandajalt.

Projekti rahastas Keskkonnainvesteeringute Keskus Keskkonnaprogrammi metsanduse programmi (2023-1 - 08.02.2023-13.03.2023) meetmest "RE.4.8 Metsandus".

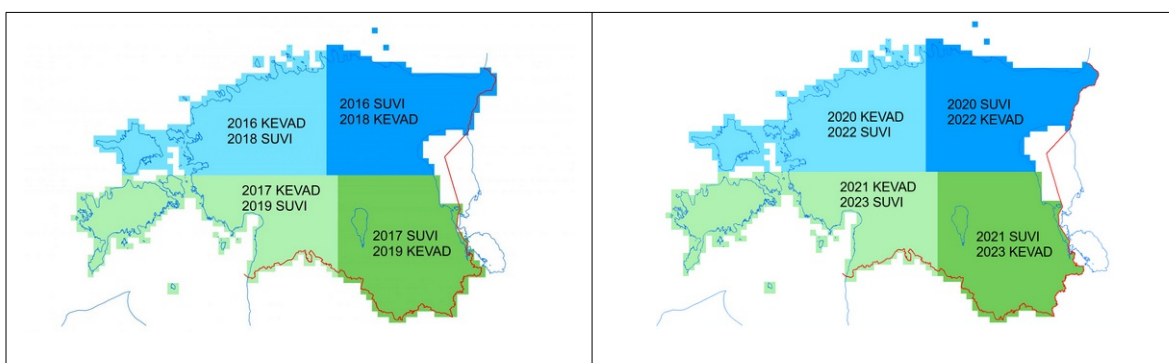
MATERJAL JA METOODIKA

Andmed

Maa-amet on teinud Eestis lennukilt lidarmõõdistust (joonis 1) alates 2008. aastast. Alates 2017. aastast kasutatakse skannerit Riegl VQ-1560i ning mistahes punktis Eestis uuendatakse andmeid suvise väljaarenenud lehestikuga kasvufaasi ajal vähemalt iga nelja aasta järel (joonis 2). Suvise mõõdistuslennu andmed jõutakse analüüsiks sobivale kujule töödelda tavaliselt mõõdistuse aasta lõpuks. Näiteks 2023. aasta suvise mõõdistuse andmed peaks avaandmete lattu ilmuma loodatavast aastavahetuseks. Sellised punktipilved sisaldavad infot puistu kõrguse ja tiheduse kohta (Lang 2010, Lang jt 2012).



Joonis 1. Kolmemõõtmeline vaade punktipilvele. Vasakul on ruutkilomeetrine ala, paremal on suurendus. Maapinnalähedased peegeldused on pruunima tooniga.



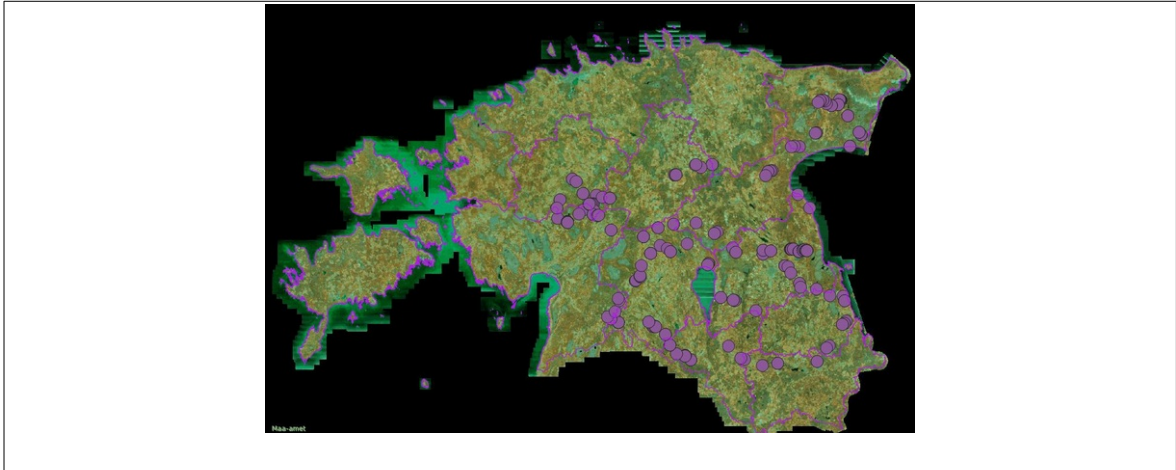
Joonis 2. Maa-ameti pildistusprogramm. Projektis kasutamiseks olid saadaval 2019.-2022. aasta suvised andmed (www.maaamet.ee).

Punktipilvede meetrika

Projektis kasutati 2019.–2022. aasta suviste lidarmõõdistustega saadud punktipilvi. Kevadiste lidarmõõdistusandmete kasutamisest loobuti, sest noortes lehtmetsades ei teki lehtedeta ajal võrastiku osast piisavalt peegeldusi (tegelikult just seetõttu tehaksegi maapinna kuju kaardistamiseks lidarmõõdistustöid lehtedeta aastaajal). Suvistes punktipilvedes on lidarimpulsi peegelduste tihedus vahemikus ainult 0,6–1 m⁻² (mõõdistusalade külgülekattealadel kohati isegi 2 m⁻²), mistõttu väiksemad puud pole arvutuslike meetoditega eraldi tuvastatavad. Seepärast kasutati punktipilvede statistilisel analüüsil põhinevat meetodit, kus kogu Eesti jagati 20 m suurusega ruutudeks (piksliteks) ja igale sellisele alale (400 m⁻²) jäävate peegelduste (tavaliselt 200–400) kogumi ehk pilve kirjeldamiseks arvutati programmiga FUSION/LDV (McGaughey 2020) meetrika, mis numbriliselt kirjeldab peegelduste horisontaalset ja vertikaalset jaotust. Andmete suure mahu tõttu järgiti töötluses Maa-ameti mõõdistustööde kava (joonis 2).

Aerolidariandmetel põhinev mudel

Hooldusraievajaduse indikatsiooni kaardile otsuste kandmiseks kasutati puistu kõrgust ja võrastiku tihedust kirjeldavaid meetrika tunnuseid, milleks olid maapinnapeegeldusteta ($z_{norm} > 1$, kõrgus maapinnast) punktipilve kõrgusjaotuse 80-protsentiil (H_{P80}) ning kõikidel peegeldusjärgudel ja ka ainult esimestel peegeldustel põhinevad võrastiku katvust kirjeldavad K_k ja K_1 (nivoo kõrgus 2 m maapinnast). Võrastiku katvuse tunnused K_k ja K_1 on hästi seotud puistu võrastiku liitusega (Lang 2010, Arumäe jt 2020). Nende tunnuste põhjal koostati esmane mudel sarnaselt eeluuringule (Lang jt 2022). Mudeli poolt kaardile väljatoodud alasid kontrolliti looduses ja välitööde käigus koguti infot ka mudeli poolt märkimata jäetud noorte puistute kohta 170 punktis (joonis 3).



Joonis 3. Mudeli kontrollimiseks ja täiendamiseks tehtud välivaatlused. Taustapilt: Maa-ameti WMS teenus.

Välikontrolli tulemuste põhjal analüüsiti veelkord meetrikat ning täiendati mudelit võrastiku tunnusega, mis kirjeldas peegelduste suhtelist osakaalu maapinnast 2.2–5 m kõrgusele jäävas kihis ($K_{h(2.2-5)}$). Boole funktsioonidel põhinevas otsustusmudelil kasutati seejärel raievajaduse indikatsiooni R arvutamiseks katseliselt leitud parameetreid:

$$R = (H_{p80} \leq 10,5) \wedge ((K_k \geq 80) \vee K_1 \geq 87 \vee (K_{h(2.2-5)} \geq 37)), \quad (1)$$

kus kõrguse meetrika väärtused on meetrites ning katvusi kirjeldavate tunnuste väärtused on protsentides. Mudel annab tulemuseks väärtuse 1, kui hooldusraievajadus on olemas, muudel juhtudel on mudeli väljundiks 0. Mudel ei erista puuliike.

Kaartide koostamine

Mudelit rakendati meetrika rasterkaartidele. Kuna mudel ei sisalda tunnuseid, mis eristaks puistuid majadest ning soid viljakast maast, siis rakendati tulemusele järeltöötlust. Järeltöötusega nulliti hooldusraievajaduse indikatsiooni kaartidelt Eesti 1:10000 mõõtkavas põhikaardi (www.maaamet.ee) andmete põhjal kõik pikslid, mis jäid järgmiste põhikaardi kihtide objektide alla: E_201_meri_a, E_202_seisuveekogu_a, E_302_ou_a, E_301_muu_kolvik_a, E_306_margala_a, E_306_margala_ka, E_307_turbavali_a, E_401_hoone_ka, ja E_501_tee_a. Nulliti ka need pikslid, mis jäid linnade, alevike ja alevite alale vastavalt administratiivpiiride kaardile. Nulliti ka need pikslid, mis jäid mullaviljakuse (digitalne 1:10000 mullakaart, www.maaamet.ee) järgi otsustades maale, kus kõrgusindeks H_{100} (metsatakseerimise kohta rohkem infot leiab raamatutest Krigul

(1972) ja Vaus (2005)) oli alla 22 meetri. Mitmesugustes servades tekkivate üksikute pikslite (müra) kõrvaldamiseks nulliti kaardil kõik need pikslite eraldiseisvad grupid, kus pikslite küljetsi või nurgeti kokkupuuteid arvestades oli vähem kui 7 pikslit (0,28 ha).

Tulemuseks saadud kaartidele pole rakendatud filtreerimist majanduspiirangutega alade eristamiseks või kõrvaldamiseks. Seega, kui kaardi kasutajad otsustavad näidatud kohas hooldusraie kavandada, tuleb enne tööde alustamist veenduda (vt metsaregister, Maaameti portaalid, kohalik metsaühistu, kohalik omavalitsus jt.), et sellele alale ei oleks seatud riigi või kohaliku omavalitsuse poolt metsa majandamise piiranguid.

TULEMUSED JA EDASIVAADE

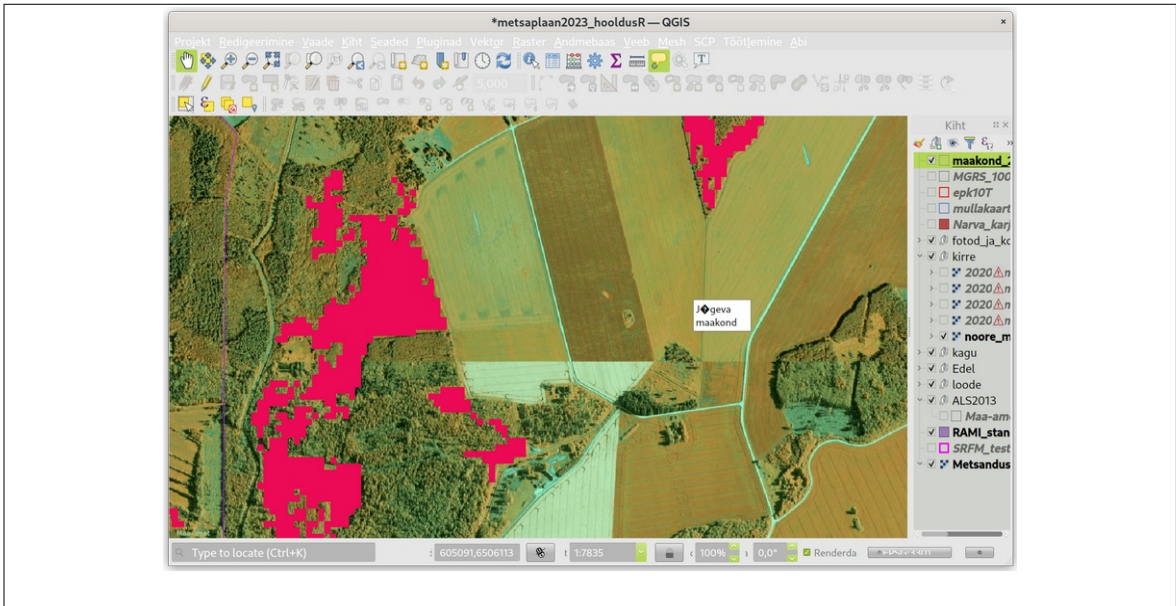
Tehniline osa

Hooldusraievajaduse indikatsiooni kaardid on salvestatud nelja GeoTIFF vormingus rasterfailina. Failide suurused jäävad vahemikku 45–65 MB, mis on umbes 10 praeguse tavalise JPEG vormingus digifoto faili maht. Rasterkaardi piksli suuruseks on 20 m ning koordinaadid on Eesti põhikaardi süsteemis. GeoTIFF failivorming on kasutaja jaoks mugav, kuna ühes failis on koos nii andmed, kui ka andmete kaardile paigutamiseks vajalik koordinaatsüsteemi info.

Kuidas kaarte kasutada

Kaartide kasutamiseks sobivad kõik programmid, mis suudavad kaardikihte asukohale vastavalt üksteisega kokku panna - (MapInfo, ArcGIS, QGIS, GRASS jne). Näiteks QGIS on vabavara, mille igaüks saab paigaldada laua- või rüperaali ja kohe kasutama hakata ilma lisakulutusi tegemata. QGIS on leitav nii ingliskeelsena kui eestikeelsena. Eestikeelses tõlkes esineb kohati ingliskeelseid tekste, sest tõlketööga tegelevad vabatahtlikud. QGIS-s saab kiiresti sobiva kaardivaate koostada (joonis 4), kui lisada hooldusraievajaduse indikatsioonikaardi kiht (menüü *Kiht\Lisa kiht \Lisa rasterkiht* või *Layer\Add layer \Add raster layer*) ja sinna lisaks ortofotod Maa-ameti avalikust WMS teenusest (*Lisa WMS kiht*, aadress on <http://kaart.maaamet.ee/wms/alus?>, tehniline lisainfo on Maa-ameti kodulehel).

Kaardivaateid saab iga kasutaja edasi ise täiendada (näiteks lisada eraldiste vektorpiirid metsaregistri andmebaasist) ja kihtide omadusi kujundada (paremklõps kihtide loendis kaardikihi nimel ja sealt valida *Omadused* või *Properties*). Näiteks hooldusraievajaduse indikatsioonikaardi omaduste loendist on soovitatav valida "Läbipaistvus" või "Transparency" ja seal määrata andmete puudumist tähistavaks väärtuseks 0. Kui tõsta seejärel hooldusraievajaduse indikatsioonikaart kihtide nimekirjas ortofotode peale, saame vaate sarnaselt joonisele (4). QGIS sobib nii kaardi vaatamiseks kui ka numbriliste päringute tegemiseks. Metsas kaardi kasutamiseks soovitame Android-põhistele nutitelefonidele (taskuraalid) äppi **hooldusR**, mis on alla laaditav Google Play-st.



Joonis 4. Hooldusraiate vajaduse indikatsioonikaart kirdesektoris avatuna QGIS programmis. Taustal on Maa-ameti avalikust WMS-teenusest ühendatud metsanduslik ortofoto.

Sisuline osa - kuhu indikatsioon tekib ja miks

Mudeliga (1) tehtud otsused sisaldavad määramatust, mida mõjutavad laserskanneri sees laserimpulsi tagasipeegelduse registreerimisega tegelevad suletud algoritm, konkreetse laserimpulsiga seonduv mõõtegeomeetria, lidarimpulsi neeldumine ja hajumine võrastiku elementidel (lehestik, oksad, tüved) sõltuvalt nende optilistest omadustest ja struktuurist, maapinna kõrgusmudeli vead ja palju muid tegureid (sh definitsioonid). Siiski selgus välikontrollil, et indikatsioonid tekivad tõesti puistutesse, mille kõrgus on üldiselt alla 10–13 m ja mille võrastiku liitus läheneb vahemikule 90–100%. Mudeli alampiiri seab katvuste arvutamiseks kasutatud kõrguse nivoo 2 m, mis tähendab, et alla kahemeetrise taimestikus mudel hooldusraievajadust ei prognoosi. Selliste alla kahemeetrise puistute kohta otsuse tegemiseks on vaja eraldi mudelit, sest maapinna kõrguse mudeli vigade ning rohustu kõrguse suhteline mõju hõreda punktipilve meetrikale on vahemikus 0–2 m väga suur. Uuendusraiejärgse metsahoolduse vajaduse kontrolliks võib näiteks soovitada lihtsat reeglit $3 \cdot A + B$, kus A on uuendusraiest möödunud aeg aastates ja B on Orlovi boniteediklass, mille leiab metsamajanduse soovitustest (kavast) eraldise takeerikirjeldusest. Teise boniteediklassi kuulunud ja looduslikule uuendusele jäetud metsaeraldisel toimuvat võiks seega kontrollida looduses viis aastat peale uuendusraiet või isegi varem.

Välikontrollil selgus, et esialgne mudel jättis tihti hooldusraie vajaduse prognoosimata alla 6–8 meetri kõrgustes puistutes. Meetrika uurimisel selgus, et põhjuseks võib olla võrastiku katvuse tunnuste väärtuste sõltuvus punkt pilve kõrgusjaotusest, mis omakorda kujuneb skanneri sisemise automaatalgoritmi tulemusena. Tuleb märkida, et aerolidarid on optimeeritud just maapinnalt peegelduste saamiseks ning taimkate on tegelikult segav faktor, mille alt peegelduste saamiseks kasutavad tootjad peegelduste registreerimise optimeerimist, mida tehnilistes dokumentides ei kirjeldata. Punkt pilvedest võrastiku katvuse ja liituse hindamine vajab seepärast edaspidiseid uuringuid, et konkreetse skanneri omapärad välja selgitada. Hooldusraievajaduse indikatsioonimudeli puhul aga lahendati probleem mudelisse uue tunnuse $K_{h(2,2-5)}$ lisamisega, mis kirjeldab maapinnast 2,2–5 m kõrguses kihis registreeritud peegelduste osakaalu - kui puistu võrastik jääb sellesse vahemikku, siis on eeldatavalt ka $K_{h(2,2-5)}$ arvulised väärtused suuremad. Katseliselt leiti mudeli (1) jaoks otsustusnivoo 37%, mille kasutamisel paranes oluliselt ka madalamate ja tihedate puistute kaasamine hooldusraievajaduse indikatsioonikaardile. Samuti aitas $K_{h(2,2-5)}$ sissevõtmine mudelisse (1) K_k ja K_l määramisnivoo kahest meetrist allapoole toomise asemel vältida nende puistute kaasamist, kus on harvenduse järel juba hõredam esimene rinne ja samas selle alla tekkinud peale raiet madalam tihe alusmets (näiteks sarapuud või toomingad).

Koostatud kaardid lähtuvad puistute struktuurist, mis oli looduses Maa-ameti poolt tehtud lasermõõdistuse hetkel. Maa-ameti suvine pildistusprogramm on neljaaastase tsükliga (joonis 2). Seega on loomulik, et hooldusraievajaduse indikatsiooni kaardil näidatud kohtades võib praegu olla hooldusraie juba tehtud või puistu hoopis likvideeritud ja asemel on põld või on hall-lepik koristatud biomassina. Arvestades noore metsa kiiret kasvu (Tappo 1982) leidub kaartidel ka puistuid, mis lidarmõõdistuse ajal veel ei vastanud mudeli (1) kriteeriumitele, aga nüüd kolm või neli aastat hiljem kohapeal nähtu põhjal satuks juba kindlasti hooldusraievajadusega puistute nimekirja. Samuti võib leiduda puistuid, mis lidarmõõdistuse ajal vastasid veel kõrguse piirangule, aga just viljakamatel muldadel on praeguseks sellest kõrgemaks kasvanud.

Edasivaade

Kuidas, millal ja mida kavandada kaardil oleva indikatsiooniga alal? Sellele küsimusele saab vastata kõige täpsemalt metsas kohapeal arvestades puistu struktuuri ja metsaomaniku soove ja nägemust puistu tulevikust ning ka võimalusi raie tegemiseks. Kindlasti tasub küsida nõu kogemustega metsakasvatajalt või metsakonsulendilt või kohalikust metsaühistust enne hooldusraiega alustamist. Näiteks kuusenoorendiku või lehtpuupuistu jaoks võib metsakasvatustlike võtete (sh hooldus- ja harvendusraied) rakendamise strateegia olla hoopis erinev isegi siis, kui puistud on sarnase kõrguse ja võrastiku liitusega.

Mõõtmisandmed hakkavad vananema sellest hetkest, mil nad on kogutud. Metsa puhul on see eriti ilmikas, sest mets kasvab ja metsa struktuuri mõjutavad mitmesugused häiringud (sh hooldusraied) ning kohati peab mets andma koha hoopis põllule, teele või majadele. Noore metsa hooldusraievajaduse indikatsioonikaarti on seetõttu samuti vaja edaspidi pidevalt uuendada. Näiteks Edela-Eestis on seda kindlasti varsti vaja, sest käesolevas projektis olid kasutamiseks saadaval vaid 2019. aasta suve andmed. 2023. aasta suvel tegi Maa-amet Edela-Eestis plaanilise suvise mõõtmise, mille tulemusena saadud laserskaneerimise andmed võiks avaandmete lattu jõuda varasemate kogemuste järgi 2023. aasta lõpuks või 2024. aasta alguseks.

VIITED

- Arumäe, T., Lang, M., Laarmann, D. 2020. Thinning- and tree growth-caused changes in canopy cover and stand height and their estimation using low-density bitemporal airborne lidar measurements – a case study in hemi-boreal forests, *European Journal of Remote Sensing*, 53:1, 113-123, DOI: 10.1080/22797254.2020.1734969
- Lang, M. 2010. Estimation of crown and canopy cover from airborne lidar data. – *Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused* 52, 5–17.
- Lang, M., Arumäe, T., Anniste, J. 2012. Estimation of main forest inventory variables from spectral and airborne lidar data in Aegviidu test site, Estonia. – *Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused* 56, 27–41.
- Lang, M., George, J-P., Borysenko, O. 2022. Eesti metsad pealtvaates – kus oleks vaja teha hooldusraiet? *Sinu Mets*, 69, 12–13.
- Krigul, T. 1972. *Metsatakseerimine*. Tallinn, Valgus. 359 lk.
- McGaughey, R.J. 2020. FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization. September 2020 – FUSION Version 4.10. United States Department of Agriculture Forest Service Pacific Northwest Research Station: Portland, OR, USA.
- Raudsaar, M., Tamm, U., Pärt, E., Timmusk, T. 2021. Keskkond. Aastaraamat Mets 2021. Toim. Feliks Sirkas, Mati Valgepea. Keskkonnaagentuur, Tallinn.
- Tappo, E. 1982. Eesti NSV puistute keskmised takseertunnused puistu enamuspuuliigi, boniteedi ja vanuse järgi. Tallinn: Eesti NSV Põllumajandusministeeriumi Informatsiooni ja Juurutamise Valitsus.
- Valgepea, M., Sirkas, F., Timmusk, T., Pärt, E., Suursild, E., Matson, T. 2021. Metsavarud. Aastaraamat Mets 2021. Toim. Feliks Sirkas, Mati Valgepea. Keskkonnaagentuur, Tallinn.
- Vaus, M. 2005. *Metsatakseerimine*. Tartu, OÜ Halo kirjastus. 178 lk.