



Titta Majasalmi

Latvuspeiton kaukokartoituksen nykytila

Majasalmi T. (2021). Latvuspeiton kaukokartoituksen nykytila. Metsätieteen aikakauskirja 2021-10552. Tieteen tori. 7 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10552>

Yhteystiedot Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennetun ympäristön laitos, Espoo

Sähköposti titta.majasalmi@aalto.fi

Hyväksytty 22.4.2021

Johdanto

Latvuspeiton kartoituksessa eletään juhlavuotta. Luonnonvarakeskus (Luke) julkaisi uudet koko Suomen kattavat vuoden 2019 latvuspeittokarttansa muutaman viikko sitten, ja Suomen ympäristökeskus (SYKE) on pian julkaisemassa omat kansalliset latvuspeittotuotteensa. Joku voisikin ihmetellä, miksi tutkimuslaitokset julkaisevat tahoillaan 'samanlaisia' aineistoja. Kyse on kuitenkin siitä, että Luken ja SYKEN latvuspeittotuotteet perustuvat erilaisiin kaukokartoitus-aineistoihin, ja ne on suunniteltu vastaamaan erilaisiin tietotarpeisiin. Tämä kirjoitus tarjoaa ajankohtaisen katsauksen kansallisiin latvuspeittotuotteisiin ja selvittää, minkälaisiin tutkimuskysymyksiin erilaisten latvuspeittotuotteiden avulla voidaan etsiä vastauksia. Kerron myös lyhyesti latvuspeiton kaukokartoitusmenetelmistä ja tulevaisuuden näkymistä.

Latvuspeiton määritelmä ja käyttötarkoitukset

Latvuspeitto tarkoittaa puiden latvusten (sisältäen latvuksien sisäiset aukot) vaakasuunnassa peittämää osuutta maa-alasta. Sen kautta voidaan arvioida esimerkiksi metsän pohjalle saapuvan auringonsäteilyn määrää, lumen kerrostumista tai elinympäristöjen sopivuutta eri kasvi- ja eläinlajeille. Latvuspeittoa voidaan mitata suhteellisen helposti erilaisilta kaukokartoitusaineistoilta, minkä vuoksi myös kansainvälinen metsän määritelmä (YK:n elintarvike- ja maatalousjärjestö FAO:n mukaan) sisältää latvuspeiton määreen. Huomionarvoista on, että vaikka kansainvälinen metsän määritelmä ja globaalit maanpeiteluokitukset käyttävät latvuspeiton määrettä, niiden käyttämissä latvuspeiton raja-arvoissa on suurta vaihtelua – vaikka kansainvälinen metsän määritelmä perustuu 10 %:n latvuspeittoraja-arvoon, globaaleissa maanpeitekartoissa metsäluokkien latvuspeiton raja-arvot vaihtelevat paljon (esim. >15 %, 10–30 %, 30–60 % ja >60 %). Tämän vuoksi globaalien metsäluokitettujen karttojen vertaileminen on vaikeaa. Latvuspeitto on tärkeä muuttuja erilaisissa maan ja ilmakehän välillä toimivissa malleissa, sillä mm. maanpeiteluokkien keski-

määräisiä albedoarvoja voidaan 'kalibroida' latvuspeiton avulla. Latvuspeiton avulla voidaan myös arvioida esimerkiksi latvustoon sitoutuneen tai metsänpohjalle kertyneen lumen albedovaihtuoksia. Latvuspeiton mittauksen historiasta kiinnostuneille tiedoksi, että erilaisten latvuspeiton maastomittausmenetelmien kehitystä on kuvattu kattavasti Metsätieteen aikakauskirjan Tieteen torilla vuonna 2011 julkaistussa [kirjoituksessa](#).

Suomessa saatavilla olevat latvuspeittotuotteet

Luken latvuspeittotuotteet perustuvat optisiin satelliittikuviin ja valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) aineistoihin, kun taas SYKEN latvuspeittotuotteet on laskettu Maanmittauslaitoksen lentolaserkeilausaineistoista. Optiset satelliittikuvat perustuvat Auringosta saapuvan ja maanpinnasta heijastuvan säteilyn mittaamiseen satelliitissa olevan sensorin avulla. Lentolaserkeilauksessa lentokoneeseen kiinnitetty keilain lähettää laserpulsseja, jotka heijastuvat maanpinnasta, rakennuksista ja puista takaisin lentokoneeseen kiinnitettyyn sensoriin.

Luken latvuspeittotuotteet on tuotettu monilähteisen valtakunnan metsien inventoinnin (MVMI) menetelmällä, jossa yhdistetään maastotietoja, satelliittikuvia ja muita numeerisia paikkatietoaineistoja (Taulukko 1). Latvuspeiton estimoinnissa käytetään ei-parametrinen k:n lähimmän naapurin estimointimenetelmää (k-NN) ja VMI:n maastokoeala-aineistoja, jotka on päivitetty ajankohtaan 31.7.2019. Luken latvuspeittotuotteet sisältävät kaksi eri temaattista karttaa: toinen kuvaa koko puuston latvuspeiton ja toinen lehtipuuston latvuspeittävyys (ts. havupuiden latvuspeittävyys saa näiden tuotteiden erotuksena). Lehtipuuston latvuspeittävyys on johdettu koko puuston latvuspeittävydestä perustuen lehtipuuston pohjapinta-alan (taimikossa runkoluvun) osuuteen kuvion pohjapinta-alasta (tai runkoluvusta). Luken latvuspeittoaineistot ovat vapaasti käyttäjien ladattavissa, niiden maaresoluutio on 16 m × 16 m ja ajallinen resoluutio vastaa keskikesän tilannetta.

Taulukko 1. Latvuspeittoaineistojen kuvaus.

Aineiston ominaisuus	Luke, latvuspeitto	SYKE, latvuspeitto	SYKE, kerrospeitto
Uusin versio julkaistu	19.3.2021	22.1.2021	23.3.2021
Data	Satelliittikuvat ja VMI:n maastokoealat	Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto	Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto
Menetelmä	ei-parametrinen k:n lähimmän naapurin estimointimenetelmä	lastools:n työkalujen (mm. lasgrid, lascanopy ja lasheight) komennot	lastools:n työkalujen (mm. lasgrid, lascanopy ja lasheight) komennot
Aikasarja	7 tuotetta, uusi tuote 2–3 vuoden välein vuosina 2006–2019	1 tuote, koostettu vuosien 2008–2021 laserkeilausaineistoista	1 tuote, koostettu vuosien 2008–2019 laserkeilausaineistoista
Kasvillisuuden kuvaus	latvuspeitto 0–99 %, erikseen koko puuston ja lehtipuiden latvuspeitto	latvuspeitto 0–100 %, koko puuston latvuspeitto	5 kerrospeittoluokkaa: 20–40 m, 10–20 m, 2–10 m, 0,5–2 m, 0–0,5 m
Maaresoluutio	16 m × 16 m	2 m × 2 m	8 m × 8 m
Arvio ennustevirheestä	Kyllä, hilasolun keskivirhe välillä 15–19 %	Ei	Ei
Saatavuus	Ilmaiseksi ladattavissa	Aineisto ei vielä ladattavissa	Aineisto ei vielä ladattavissa
Lisätietoja	http://kartta.luke.fi/opendata/valinta.html	https://ckan.ymparisto.fi/dataset/kasvillisuuden-latvuspeitto-2m	https://ckan.ymparisto.fi/dataset/kasvillisuuden-rakenteellisuuden-aineistot

SYKEN latvuspeittotuotteet eivät tätä kirjoitettaessa ole vielä käyttäjien ladattavissa, mutta aineistojen jakojärjestelmää kehitetään. Myös SYKEN latvuspeittotuotteet sisältävät kaksi eri tuotetta: toinen on koko puustoa kuvaava latvuspeittokartta, ja toinen on kasvillisuuden kerroksellisuutta kuvaava kerrospeittoluokitus (Taulukko 1). Kasvillisuuden kerrospeittoluokitus perustuu viiteen kerrospeittoluokkaan (20–40 m, 10–20 m, 2–10 m, 0,5–2 m ja 0–0,5 m), jotka lasketaan ylhäältä alaspäin: Kerrospeittotuotteessa on laskettuna valmiiksi sekä kerrospeittävyudet (kunkin kerroksen havaintojen suhde alapuolella olevien kerroksien havaintoihin) että kerrososuudet (kerroksen kasvillisuuden osuus kaikista havainnoista). Molemmat SYKEN latvuspeittotuotteet on prosessoitu käyttäen lastools-analyysityökaluja. Vaikka SYKEN latvuspeittotuotteiden maaresoluutio on huomattavasti tarkempi (2 m × 2 m tai 8 m × 8 m) kuin Luken latvuspeittotuotteiden, ei aineisto kokonaisuutena kuitenkaan vastaa mitään ajanhetkeä, sillä se koostuu laseraineistoista, jotka kerätty eri vuosina ja vuodenaikoina.

Huomionarvoista on, että Luke tuottaa uudet latvuspeittotuotteet kahden vuoden välein perustuen uusiin koko maan kattaviin aineistoihin, kun taas SYKEN latvuspeittotuotteet on koostettu yli kymmenen vuoden ajanjaksolla kerätystä laserkeilausaineistoista (aineistoja ovat toimittaneet useat eri toimijat, jotka ovat käyttäneet erilaisia keilauslaitteistoja). Tämän takia Luken aineistoille voidaan tuottaa tieto ennustevirheen suuruudesta, mutta SYKEN aineistoille ei (Taulukko 1). Vaikka Luken latvuspeittotuotteiden keskivirhe yksittäiselle soluhilalle on verrattain suuri, se kuitenkin vähenee tutkittavan alueen pinta-alan kasvaessa.

Latvuspeittoaineistojen sopivuus erilaisiin tutkimustarkoituksiin

Latvuspeittotuotteiden ominaisuuksilla on suora vaikutus siihen, millaisiin tutkimuskysymyksiin niiden avulla voidaan vastata. Esimerkiksi se, että SYKEN aineistot eivät ole kansallisella tasolla homogeenista dataa, tarkoittaa, ettei aineisto kuvaa Suomen metsien rakennetta millään tietyllä ajanhetkellä (ts. vaihtelee alueittain). Se tarkoittaa myös, ettei aineistoja voida käyttää tarkoituksiin, joissa vaaditaan tietoa estimointivirheen suuruudesta (Taulukko 2). Lisäksi on huomioitava, että rajavyöhykkeellä ja Puolustusvoimien hallinnoimilla alueilla on SYKEN aineistojen tarkkuutta heikennetty tahallisesti. Luken aineistojen käyttötarkoituksia rajoittaa latvuspeittokarttojen verrattain karkea maaresoluutio, jonka vuoksi ne eivät sovi koealaton tutkimuksiin. Lisäksi Luken latvuspeittotuotteet eivät kuvaa metsän sisäistä kokorakennetta, joten aineisto ei sovi käytettäväksi metsän sisäisen rakenteen tutkimuksiin. SYKEN latvuspeittotuotteet eivät puolestaan sisällä puulajitietoa, joten ne eivät sovi esimerkiksi puiden vuodenvuorokierroksen tutkimiseen.

Taulukko 2. Latvuspeittotuotteiden sopivuus erilaisiin tutkimustarkoituksiin. Lista on tarkoituksella yleisluontoinen ja heijastelee kirjoittajan tämänhetkistä näkemystä.

Tutkimustarkoitus	Luke, latvuspeitto	SYKE, latvuspeitto + kerrospeitto
Ekologinen tutkimus	Kyllä	Kyllä
Koealaton tutkimus	Ei	Kyllä
Aluetason tutkimus	Kyllä	Kyllä
Puiden vuodenvuorokierroksen tutkimus	Kyllä	Ei
Aluskasvillisuuden ja vuodenvuorokierroksen tutkimus	Kyllä	Kyllä
Metsän sisäisen rakenteen tutkimus	Ei	Kyllä
Aikasarjojen tutkimus	Kyllä	Ei
Alueellisten virhearvioiden tutkimus	Kyllä	Ei

Molemmat, sekä Luken että SYKEN latvuspeittotuotteet soveltuvat yleisellä tasolla esimerkiksi ympäristön tilan, maanpeitteen, maankäytön, erilaisten elinympäristöjen ja metsien alueellisen tiheyden vaihtelun kuvaamiseen. Ne soveltuvat myös perusekologiseen tutkimukseen, aluetason tutkimuksiin, aluskasvillisuuden valo-olosuhteiden ja vuodenvaihtelun tutkimuksiin. Luken latvuspeittotuotteiden vahvuutena on koko maan kattavien latvuspeittotuotteiden aikasarjojen pituus, mahdollisuus erotella havu- ja lehtipuun latvuspeittävyys ja se, että aineiston tarkkuutta voidaan arvioida. SYKEN latvuspeittotuotteiden vahvuus on tarkempi maaresoluutio, joka sallii koealatasen (tai jopa puutason) analyysin, ja suhteellisen tarkka metsän sisäisen rakenteen kuvaus. Viime mainitun avulla voidaan mallintaa esimerkiksi metsän kolmiulotteista rakennetta (ts. missä kasvillisuus on keskimääräistä tiheämpää ja missä kerroksissa tihentymiä on eniten) erilaisissa säteilynsiirron malleissa.

Maastomittaukset latvuspeiton kaukokartoituksessa

Luken ja SYKEN käyttämät latvuspeiton estimointimenetelmät edustavat kahta erityyppistä, pitkälle kehittyneitä analyysiketjuja latvuspeiton mittaamiseksi erilaisilta kaukokartoitusaineistoilta. Menetelmäkehityksessä käytettyjen kaukokartoitusaineistojen suurin ero liittyy latvuspeiton maastomittaustarpeisiin. Optisiin satelliittikuviin perustuva latvuspeiton estimointi vaatii tuekseen kattavia maastoaineistoja. Latvuspeiton maastomittaukset ovat työläitä, sillä tarkkojen tulosten saaminen vaatii koealatasolla suurta määrää yksittäisiä mittauspisteitä. Maastoreferenssimittauksien merkitys latvuspeiton kaukokartoitusmenetelmien kehitystyössä on kuitenkin vähentynyt sitä mukaa, kun lentolaserkeilausaineistoja on tullut saataville, sillä lentolaserkeilausaineistoista voidaan suhteellisen tarkasti arvioida latvuspeittoa ja muita puiden korkeuteen ja metsän tiheyteen liittyviä tunnuksia. Lisäksi lentolaserkeilausaineistoja voidaan käyttää optisiin satelliittikuviin perustuvien menetelmien opetusaineistona ja referenssinä, sillä lentolaserkeilausaineistosta voidaan laskea latvuspeitto mille tahansa satelliittihilasolulle. Tämän menetelmän etuna on, että vältetään koealan paikannukseen liittyvät ongelmat. Huomionarvioista on, että myös lentolaserkeilausaineistoihin perustuvia latvuspeittoarviota joudutaan kalibroimaan harhattomien tulosten saamiseksi, joten myös lentolaserkeilausaineistoihin perustuvissa analyyseissä tarvitaan latvuspeiton maastoreferenssiaineistoja.

Latvuspeiton arviointi optisilta satelliittikuvilta

Latvuspeittoa voidaan estimoida optisilta satelliittikuvilta käyttäen yksinkertaisia tilastollisia menetelmiä, kuten regressiota latvuspeiton ja satelliittihilasolujen eri kanavien sävyarvojen (engl. digital number) tai heijastussuhteiden (ts. kuvat ilmakehäkorjattu) välillä tai perustuen koneoppimismenetelmiin, kuten Luken kNN. Suomessa Luke on ainoa, jonka maastokoealat riittävät latvuspeitto-koneoppimismenetelmien kehittämiseen, sillä koneoppimismenetelmät vaativat usein paljon opetusaineistoa. Globaalit latvuspeittotuotteet perustuvat lähes poikkeuksetta erilaisiin koneoppimismenetelmiin, sillä regressiopohjaiset menetelmät toimivat lähinnä kuvatasolla ja pienemmällä maantieteellisillä alueilla. Esimerkkinä globaalista latvuspeittotuotteesta on MODIS-satelliittisensorin (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) VCF (Vegetation Continuous Fields), joka on tuotettu karkealle maaresoluutiolle (500 m × 500 m) käyttäen regressiopuihin perustuvaa koneoppimismenetelmää. MODIS VCF:ssä on kuitenkin havaittu puutteita monelta osin, sillä tuotteen on havaittu selkeästi sekä ali- että yliarvioivan latvuspeittoa. Globaalilla tasolla metsien latvuspeittoa kartoitettaessa muuttuu myös käytetyn latvuspeiton määrittelmä epäselvem-

mäksi, sillä usein ei ole selvää, sisältyvätkö esimerkiksi latvuksien sisäiset aukot puiden latvuksiin vai eivät. Globaalien latvuspeittotuotteiden kehitystyö on myös haastavaa, sillä satelliittihilasolujen karkea maaresoluutio (esim. MODIS VCF:n) tarkoittaa, että satelliittihilasolut ovat eri tavoin heijastavien maanpeiteluokkien mosaiikkia (sen sijaan, että havainto olisi 100 %:sti metsää), joka täytyy huomioida algoritmien opetusaineistoa kootessa. Hienommalla maaresoluutiolla latvuspeittoa voidaan estimoida esimerkiksi Landsat 8 -satelliitin (L8) OLI-sensorin (Operational Land Imager) ja Sentinel-2-satelliitin (S2) MSI-sensorin (Multi-Spectral Instrument) aineistoista, joiden hilasolun sivun pituus vaihtelee kanavan mukaan välillä 10–60 m. Vaikka S2:n uudessa sensorissa on paljon teknisiä parannuksia verrattuna L8:n vanhempaan sensoriin, aineistojen pohjalta tuotettujen latvuspeittoarvioiden tarkkuudessa ei ole kuitenkaan havaittu isoa eroa eteläsuomalaisissa metsissä.

Latvuspeiton arviointi lentolaserkeilauksella

Latvuspeiton arviointi lentolaserkeilausaineistoilta perustuu erilaisten indeksien laskemiseen. Jokainen lentolaserkeilaimesta lähtevä pulssi synnyttää paluukaikuvasteen, joka voidaan tallentaa joko yksittäisinä kaikuina tai aaltomuotoisena. Etäisyyden mittausta perustuu lasersäteiden matkakaan mitattavan kohteen ja sensorin välillä. Esimerkiksi FCI-indeksi (First Echo Cover Index) lasketaan käyttäen ensimmäisiä ja ainoita kaituja, jotka heijastuvat käytetyn referenssikorkeuden yläpuolelta (usein 1,3 m), kun taas ACI-indeksi (All Echo Cover Index) lasketaan huomioiden kaikki referenssikorkeuden yläpuolelta heijastuvat kaitut. FCI on hyvä approksimaatio latvuspeittolle, sillä se huomioi lähinnä puiden väliset aukot. ACI sen sijaan mittaa latvuston aukkoisuutta, sillä ACI-indeksi huomioi latvusten välisten aukkojen lisäksi myös latvusten sisäiset aukot. Koealan FCI-arvo on yleensä isompi kuin ACI-arvo. Latvuspeittomittausten korjauskertoimille on tarvetta, sillä keilain mittaa myös muissa kuin suoraan alaspäin olevissa kulmissa (ts. latvuspeitto arvioidaan vertikaalisesti) ja koska yksittäisten lentolaserkeilauksien teknisissä toteutuksissa on paljon vaihtelua.

Latvuspeiton arviointi satelliittilaserilta

Tällä hetkellä myös satelliittilasermittauksia käytetään latvuspeiton kartoittamiseen. Satelliittilasermittauksia tekeviä sensoreita ovat esimerkiksi Yhdysvaltain liittohallituksen alaisen ilmailu- ja avaruushallintovirasto NASA:n GLAS-sensori (Geoscience Laser Altimetry System), joka on ICESat-1-satelliitin (Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite) kyydissä, ja GEDI-sensori (Global Ecosystem Dynamics Investigation), joka on asennettu kansainväliselle avaruusasemalle ISS:lle (International Space Station). Satelliittilaseraineistot poikkeavat lentolaserkeilainten tuottamasta aineistosta, sillä satelliittilaseraineistot sisältävät kaistoittaisia korkeusmittauksia (satelliittilaser-sensori kulkee kiertoradallaan kuin juna kiskoilla), kun taas lentolaserkeilauksen avulla voidaan mitata alueellisia aineistoja (lentokoneella voidaan lentää edestakaisia linjoja). Esimerkiksi GEDI mittaa kaistoiltaan $\sim 30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ maaresoluution koealoja 60 metrin välien. Mitattavat kaistat sijaitsevat kuitenkin temperaattisilla ja trooppisilla alueilla (leveysasteet $\pm 51,6^\circ$) ISS:n kiertoradan kallistuksen takia – GEDI-aineistoja ei saada Suomesta. Otannan harvuudesta kertoo se, että GEDI ehtii kahden vuoden aikana mitata vain noin 4 % maapallon maa-alasta. Toisin kuin GEDI, GLAS-sensori tekee mittauksia globaalisti. GLAS:n aineistojen pohjalta on tehty globaali latvuspeittokartta vuonna 2019. GLAS:n mittaamien koealojen läpimitta on $\sim 65 \text{ m}$, ja ne sijaitsevat kaistalla 170 metrin välein. Kaistojen välinen etäisyys on päiväntasaajalla $\sim 30 \text{ km}$, joten GLAS:n latvuspeittokarttojen teossa käytettiin paljon erilaisia optisia satelliittikuva-aineistoja. Satelliitti-

laseraineistojen etuna optisiin satelliittikuviin verrattuna on, että niiden avulla voidaan arvioida tiheiden trooppisten sademetsien latvuspeittoa, joka on vaikeaa optisilta satelliittikuvilta. Satelliittilaseraineistot eivät ole myöskään optisten satelliittikuvien tapaan herkkiä pilvien ja puiden varjoille, puuston ja aluskasvillisuuden heijastusominaisuuksille ja signaalin saturoitumiselle.

Latvuspeiton kaukokartoituksen tulevaisuus

Lähtökohtaisesti kaikki säteilyn siirtymiseen perustuvat kaukokartoitusmenetelmät latvuspeiton kartoittamiseksi mittaavat säteilyä, joka heijastuu latvuksista takaisin sensoriin. Lisäksi mittauksiin sisältyy säteily, joka läpäisee latvukset ja maasta tai alikasvoksesta heijastuttuaan palaa latvuston aukoista takaisin sensoriin. Mikään kaukokartoitussensori ei siis itsessään mittaa latvuspeittoa, vaan niin sanottua 'efektiivistä latvuspeittoa', jota voidaan korjauskertoimilla kalibroida vastaamaan latvuspeittoa (ts. latvuksen aukot tulee laskea osaksi latvusta). Tähän perustuu myös maastoreferenssiaineistojen tarve latvuspeiton kaukokartoitusmenetelmien kehittämiseksi. Myös tulevaisuudessa globaalit latvuspeittokartat tulevat perustumaan optisiin satelliittikuva-aineistoihin, sillä aineistoja on paljon saatavilla laajoille alueille ja uusia aineistoja saadaan lisää jatkuvasti. Satelliittilasermittauksien vahvuus on kaistoilta saatavan aineiston päivittymistiheyden nopeus verrattuna lentolaserkeilausaineistoihin. Satelliittilaseraineistojen käyttö latvuspeiton ja muiden metsän rakennetta kuvaavien muuttujien kartoituksessa yleistyneenä tulevaisuudessa menetelmien kehittyessä, mutta optisia satelliittikuvia tullaan tarvitsemaan jatkuvien karttojen tuottamiseksi. Tällä hetkellä satelliittilaseraineistoihin perustuvia metsäsovelluksia kehitetään ainakin Itä-Suomen yliopiston metsätieteiden osastolla, joten kuulemme varmasti pian lisää.

Yhteenveto

Luken ja SYKEN latvuspeittoaineistojen kautta Suomen metsien rakenne ja ominaisuudet saadaan kuvattua aiempaa tarkemmin, ja monipuolistuvan tiedon turvin voidaan lähteä hakemaan vastauksia yhä suurempaan määrään tutkimuskysymyksiä. Latvuspeittotuotteita ei voi laittaa paremmuusjärjestykseen, sillä tutkimuskysymyksestä riippuu, kumman tuoteperheen aineistoja tutkimuksessa kannattaa kulloinkin käyttää. Latvuspeittoa voidaan arvioida niin maastomittausten, lentolaserkeilausten, kuin aktiivisten ja passiivisten satelliittisensorien aineistoista, ja eri aineistojen ominaisuudet täydentävät toisiaan. Globaalien latvuspeittokarttojen voidaan olettaa myös jatkossa perustuvan optisiin satelliittikuviin niiden saatavuuden ja nopean päivittymistiheyden takia. Lähi-tulevaisuudessa lasersatelliittiaineistojen käyttö erilaisissa metsäsovelluksissa yleistyneenä.

Lähteitä

- Korhonen L (2011) Latvuspeittävyys, sen mittaaminen ja kansainvälinen metsän määritelmä. Metsätieteen aikakauskirja 4/2011, artikkelitunnus 6815. <https://doi.org/10.14214/ma.6815>.
- Korhonen L, Hadi, Packalen P, Rautiainen M (2017) Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 in the estimation of boreal forest canopy cover and leaf area index. *Remote Sens Environ* 195: 259–274. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.021>.
- Majasalmi T, Rautiainen M (2021) Representation of tree cover in global land cover products: Finland as a case study area. *Environ Monit Assess* 193, article id 121. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08898-2>.

- Majasalmi T, Korhonen L, Korpela I, Vauhkonen J (2017) Application of 3D triangulations of airborne laser scanning data to estimate boreal forest leaf area index. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 59: 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.02.022>.
- Tang H, Armston J, Hancock S, Marselis S, Goetz S, Dubayah R (2019) Characterizing global forest canopy cover distribution using spaceborne lidar. *Remote Sens Environ* 231, article id 111262. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111262>.