

TAPIO 

Kasvu- ja kasvupaikkatiedolla kohti parempaa
pätöksentekoa, tutkimussynteesi

29.10.2024

Maa- ja metsätalousministeriö

Penttala, E., Schneider H., 2024, Kasvu- ja kasvupaikkatiedolla kohti parempaa päätöksentekoa, tutkimussynteesi. Tapion raportteja nro 74.

© Tapio Oy

ISBN: 978-952-7435-37-3

ISSN: 2342-804X(pdf)

Työn tilaaja: Maa- ja metsätalousministeriö

TIIVISTELMÄ

Suomessa puuston kasvuennusteet ovat perinteisesti perustuneet mallinnettuihin arvoihin, joihin vaikuttaa erityisesti kuvioittain arvioitu kasvupaikkatyyppi. Puuntuotoskykyä voi arvioida myös muilla menetelmillä, kuten pituusbonitoinnilla, jossa kasvuennuste perustuu pituuden ja iän suhteeseen ja siihen sovitettavaan kasvukäyrään. Ruotsissa on jo pitkään hyödynnetty kasvupaikkaindeksiä, joka pohjautuu pitkälti pituusboniteettiin. Myös Latviassa hyödynnetään pituusbonitointia muiden menetelmien joukossa. Kaukokartoitusmenetelmien kehittyminen voisi mahdollistaa kasvuennusteiden ja puuntuotoskyvyn määrittämisen johtamalla tiedon useamman ajankohdan kaukokartoitusaineistosta havaittavasta pituuden muutoksesta.

Tässä tutkimussynteessä selvitettiin pituusboniteetin käyttömahdollisuuksia ja rajoituksia tutkimusten ja haastattelujen avulla. Tutkimusten mukaan pituusbonitointi ei sovi kaikkiin metsiköihin, mutta tämän tutkimussynteessin yhteydessä tehtyjen haastattelujen perusteella arvioidaan yleisesti, että kasvumuutokartan ja siitä johdettavien boniteettiarvojen pitäisi ulottua kaikenlaisiin metsiin. Haastatteluissa ilmeni myös, että nykyisestä kasvupaikkaluokituksista ei tule pyrkiä pois, vaan pituusboniteetin tulee toimia sen rinnalla ja olla mielellään muunnettavissa kasvupaikkaluokaksi. Tutkimusten mukaan kuitenkin pituusboniteetti on itsenäinen menetelmä puuntuotoskyvyn arviointiin ja vaikka suurempi pituusboniteetti keskimäärin tarkoittaa myös ravinteisempaa kasvupaikkaa, menetelmien tuloksia ei voida suoraan muuntaa keskenään.

Haastattelujen perusteella pituusbonitointia pitäisi kehittää Suomessa ja sen myötä luotavasta pituuskasvukartasta saisi muitakin hyötyjä. Muun muassa metsätuhojen aiheuttamaa tappiota kasvuun tai puulajivalinnan onnistumista voitaisiin visualisoida ja arvioida muutokarttojen avulla. Karttojen kehittämisen aikataulu ja siihen käytettävät resurssit jakoivat kuitenkin mielipiteitä haastatteluissa. Osaan haastatteluissa esitettyihin käyttötaroituksiin riittäisi nykyisin saatavilla olevasta aineistosta tehty pituuskasvukartta, jonka suurin hyöty olisi hahmottaa kuvion sisäinen kasvun vaihtelu ja havainnoida uudistamispäätöstä tehdessä, onko kasvu jo hiipunut vai kannattaako metsikkö jättää vielä kasvamaan. Osalla haastateltavista oli taas halua kehittää kasvumuutokarttojen laatimista perusteellisemmin vasta sitten, kun tiheäpulsinen laserkeilaus on tehty valtakunnallisesti kaksi kertaa. Syynä oli se, että mahdollisia kasvumallien kalibrointiarvoja saisi muutoksesta vasta silloin irti niin, että laatu paranisi nykyisistä kasvuennusteista.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ.....	2
1 JOHDANTO.....	4
2 YLEISTÄ PITUUSBONITEETISTA	4
3 USEAMMAN AJANKOHDAN KAUKOKARTOITUSAINEISTON HYÖDYNTÄMINEN	5
4 ARVIO PITUUSBONITEETIN LASKENNASTA KAUKOKARTOITETTUUN METSÄVARATIETOOON PERUSTUEN	6
5 PITUUSBONITEETIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET SUOMESSA	8
5.1 YLEISTÄ	8
5.2 NÄKEMYKSET NYKYISESTÄ KASVUPAIKKALUOKKIIN PERUSTUVASTA TAVASTA MÄÄRITTÄÄ KASVU	8
5.3 KOKEMUKSIA MUISTA TAVOISTA MÄÄRITTÄÄ KASVUENNUSTE	9
5.4 PITUUSBONITOINNIN TUOMA LISÄARVO KASVUENNUSTEISIIN.....	9
5.5 MUUT MAHDOLLISET HYÖDYT MUUTOSTULKINNALLE USEAMMAN AJANKOHDAN KAUKOKARTOITUSAINEISTOSTA.....	10
5.6 KÄYTÄNNÖN TOIMENPITEET, JOTKA TARVITTAISIIN SIIRTYMÄÄN KOHTI PITUUSBONITOINTIA.....	10
5.7 MUITA AIHEESEEN LIITTYVIÄ HUOMIOITA HAASTATELTAVILTA	11
6 BONITOINTIMENETELMÄT JA PUUSTON KASVUENNUSTEIDEN MUODOSTAMINEN POHJOISMAISSA JA BALTIASSA.....	12
6.1 YLEISTÄ	12
6.2 RUOTSI.....	12
6.3 LATVIA.....	13
6.4 VIRO	14
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	14
LÄHTEET.....	15

1 JOHDANTO

Kasvu- ja kasvupaikkatiedoilla kohti parempaa päätöksentekoa -hankkeessa tarkasteltiin kahtena eri ajankohdana kerätyn kaukokartoitusperusteisen paikkatietoaineiston mahdollisuuksia tarkempien puuston kasvuennusteiden luomisessa. Hanke on jaettu kolmeen osaan, joista tutkimussynteesi on ensimmäinen. Seuraavissa vaiheissa luotiin pituuskasvukarttoja ja testattiin niitä vertailemalla kasvumalleihin ja haastatteleamalla kartoista mahdollisesti hyötyviä kohderyhmiä. Kasvu- ja kasvupaikkatiedoilla kohti parempaa päätöksentekoa -hanke on osa maa- ja metsätalousministeriön keväällä 2020 käynnistämää maankäyttösektorin Hiilestä kiinni -ilmastotoimenpidekokonaisuutta. Toimenpiteillä pyritään vähentämään maa- ja metsätalouden ja muun maankäytön kasvihuonekaasupäästöjä ja vahvistamaan hiilinieluja ja varastoja.

Tässä tutkimussynteesissä koostetaan tietoa pituusboniteetista, useamman ajankohdan kaukokartoitusaineiston hyödyntämisestä toteutuneen kasvun arvioinnissa ja pituusboniteetin määrittämisestä kaukokartoitusaineistojen avulla. Lisäksi arvioidaan, olisiko pituusbonitointi hyödyllinen menetelmä Suomessa kasvuennusteiden luomiseen kasvupaikkaluokituksen sijaan tai sen rinnalla.

Tutkimussynteesin alussa käydään läpi pituusbonitoinnin peruskäsitteet kirjallisuuteen perustuen, jonka jälkeen koostetaan tutkimustietoa useamman ajankohdan kaukokartoitusaineiston soveltamisesta ja hyödyistä. Synteesin loppupuolella on asiantuntijoiden näkemyksiä aiheesta. Näkemyksiä on kerätty haastatteleamalla toimijoita Suomessa, Ruotsissa, Virossa ja Latviassa.

2 YLEISTÄ PITUUSBONITEETISTA

Boniteetilla tarkoitetaan puuntuotoskykyä. Se yleensä ilmaistaan runkopuun keskikasvuna kuutiometreinä hehtaarille vuodessa ($m^3/ha/v$) tilanteessa, jossa metsää on hoidettu koko kiertoaajan niin, että saataisiin suurin mahdollinen tuotos. Perinteisesti puuntuotoskykyä on arvioitu Suomessa epäsuorasti kasvupaikkatyyppien avulla. Kun kasvupaikkatyyppi määritetään kasvillisuuden perusteella, voidaan puuntuotoskyvyn olettaa olevan sama kuin kasvuksi on keskimäärin mitattu muissa saman kasvupaikkatyyppin ja kehitysvaiheen metsiköissä. Kuitenkin puuntuotoskyky vaihtelee käytännössä ja esimerkiksi kasvumallit keskiarvoistavat vahvasti kasvupaikkaluokkia.

Toinen yleisesti käytössä oleva bonitointimenetelmä on pituusboniteetti, joka tarkoittaa valtapituutta sovitulla indeksi-ikällä. Indeksi-ikäenä pidetään Suomen olosuhteissa yleensä sataa vuotta havupuilla ja viittäkymmentä vuotta koivulla. Kun pituus ja ikä tiedetään, arvo voidaan sovittaa bonitointikäyrälle ja määrittää, kuinka pitkäksi se kasvaisi indeksi-ikäen mennessä. Pituusboniteetin voi määrittää myös sovittamalla puuston valtapituus ja pituuskasvun muutos bonitointikäyrälle. Pituusboniteetista voidaan johtaa puuntuotoskyky, kun tiedetään puulaji ja ilmasto-olosuhteet. Suomessa ei ole käytössä vakiintunutta pituusbonitointimallia, joka kattaisi koko maan ja kaikki puulajit. Bonitointikäyrästä on useita erilaisia ja ne antavat eri arvoja keskenään, mikä takia pituusboniteettia hyödyntäessä tulee aina mainita käytetty malli.

Yleisesti voi sanoa, että mitä ravinteisempi kasvupaikka on, sitä suurempi on myös pituusboniteetti. Kuitenkin näiden kahden bonitointitavan riippuvuus on melko löyhä eli samaa pituusboniteettia voi esiintyä useamman kasvupaikkatyyppin sisällä ja saman kasvupaikkatyyppin sisällä esiintyy useampia pituusboniteetteja. Pituusboniteetin arvioon aiheuttaa epävarmuutta mahdolliset virheet pituuden ja iän arvioinnissa, häiriöt metsikön kehityksessä ja käytetyn pituusboniteettikäyrästä ominaisuudet, kuten milloin ja mille alueelle käyrästä on luotu. Häiriöillä voidaan tarkoittaa ulkoisia epäsuotuisia olosuhteita esimerkiksi tuhojen tai ilmaston vuoksi, mutta myös toimenpiteitä, jotka eivät ole optimaalisia mahdollisimman korkean kasvun saavuttamiseksi. Useimmat

pituusboniteettikäyrästöt olettavat, että metsässä muun muassa taimikonhoito ja harvennukset tehdään sellaiseen aikaan ja sellaisella voimakkuudella, joka on optimaalinen mahdollisimman hyvän kasvun saavuttamiseksi.

Pituusbonitoinnin hyviä puolia ovat sen objektiivisuus ja kvantitatiivisuus. Menetelmän käyttöön liittyy kuitenkin seuraavia rajoituksia:

1. Valtapituuden vaihtelu ei saisi olla liian suuri.
2. Pääpuulajin osuuden pitäisi olla vähintään 60 prosenttia.
3. Ojitetut ja lannoitetut metsiköt voivat aiheuttaa virheitä, koska niitä ei ole mallien laadinta-aineistossa.
4. Nuorten metsiköiden (alle 30-vuotiaat) bonitointi on epätarkkaa (Gustavsen 1980).

Pituusbonitointia hyödynnetään puuntuotoskyvyn määrittämiseen laajemmin ainakin Ruotsissa. Ruotsin Skogforsk-metsäntutkimuslaitoksen tuottaman Skogskunskap-opassivuston mukaan oikea tapa pituusbonitointiin on mitata maastossa kuvion valtapituus ja puuston ikä. Ikä määritetään kairaamalla rinnankorkeudelta ja lisäämällä havupuiden tilanteessa ikälisäys. Koivulla käytetään rinnankorkeusikää. Puulaji, valtapituus, ikä ja indeksi-ikä syötetään opassivuston laskuriin, joka antaa tulokseksi odotetun valtapituuden indeksi-iässä. Saatu arvo, puulaji ja alue syötetään boniteettilaskuriin, joka antaa tulokseksi kuvion puuntuotoskyvyn kuutona hehtaarilla vuotta kohden. Aluekategoriat perustuvat sekä metsätyyppiin että siihen, ollaanko maan etelä-, keski- vai pohjoisosassa.

3 USEAMMAN AJANKOHDAN KAUKOKARTOITUSAINEISTON HYÖDYNTÄMINEN

Kun puuston tila tiedetään useammalta kuin yhdeltä ajankohdalta, voidaan määrittää kasvun ja muiden muutosten taso. Tässä luvussa esitellään esimerkkejä tutkimuksista, joissa tarkastelun kohteena ovat olleet useammalta ajankohdalta samalta alueelta kerätty laserkeilausaineisto ja sen perusteella havaitut muutokset ajankoh-tien välillä.

Zhao ym. (2018) tarkastelivat biomassan muutoksia Skotlannissa samalle alueelle tehtyjen neljän laserkeilauksen perusteella 2002-2012 välillä. Useamman ajankohdan laserkeilausta on käytetty melko vähän biomassan muutosten tarkasteluun, koska tarvitaan myös kattavaa maastodataa. Biomassatunnuksia ei saa suoraan kai-uista vaan ne pitää johtaa malleilla, joiden luominen vaatii paljon maastomittaus-laserpiirre vertailukohteita. He havaitsivat, että puiden pituudet olivat noin 1,5 metrin aliarvioita, vaihdellen keilauskerran pistetiheyden mukaan. Kun harhat saatiin korjattua, laserkeilausta pidettiin toimivana tapana biomassan ja hiilensidonnan muutosten tarkasteluun, sillä se kuvaa parhaiten kasvillisuuden 3D rakennetta.

Vastaranta ym. (2012) tutkivat, kuinka hyvin 2006–2010 välillä tehdyillä kahdella laserkeilauksella saadaan tunnistettua lumituhot. Kummankin laserkeilauksen pistepilvistä muodostetuista latvusmalleista tehtiin tulkintoja latvusten rakenteen muutoksesta. Koealatasolla tunnistamattomia vaurioita oli 19–75 % ja väärin tunnistettujen vaurioiden määrä vaihteli 0–21 % välillä. Kuitenkin runkotilavuudella painotettuna yli 80 % vaurioituneista puista tunnistettiin. Menetelmä todettiin toimivaksi, jos käytössä on riittävän tiheäpulsista aineistoa, tässä tapauk-sessa arvioitiin, että alle 2–3 pistettä neliometrillä vähentäisi tarkkuutta.

Noordermeer ym. (2019) arvioivat Norjassa kahden ajankohdan laserkeilauksen hyödynnettävyyttä valtapituuden muutoksen määrittämiseen, maanpäällisen biomassan muutoksen määrittämiseen, tuhojen luokitteluun ja hakkuutoimenpiteiden luokitteluun. Tarkastelujakso oli 11–15 vuotta. Valtapituuden muutos luokiteltiin kasva-vaan ja pienenevään 96 %:n tarkkuudella ja maanpäällisen biomassan 95 %:n. Metsät jaoteltiin tuhoutuneeseen ja tuhoutumattomaan 89 % tarkkuudella. Luokittelu harvennettuihin, avohakattuihin ja koskemattomiin

onnistui 88 %:n tarkkuudella. Jatkotutkimuksena Noordermeer ym. (2020) ennustivat puuntuotoskykyä ja loivat siitä kartan Norjassa kahden ajankohdan laserkeilauksen perusteella. He totesivat pituusboniteetin korreloivan voimakkaasti ilmalaserkeilaustunnusten kanssa. Koealaston RMSE pituusboniteetille oli kuusella 1,72-2,84 metriä ja männyllä 1,35-1,73 metriä. He arvioivat, että menetelmää voi hyödyntää automaattiseen pituusboniteetin määrittelyyn laajalla alueella. Lisäksi metsikkökuviota pienempiä alueita tarkasteltaessa päästään tarkempiin tuloksiin, mitä operaatiotason inventoinneissa yleisesti käytetyllä kuvioittaisella arvioinnilla päästään.

Soininen ym. (2022) arvioivat yksittäisten puiden kasvun mittauksen luotettavuutta kahden laserkeilausaineiston pohjalta 20 vuoden tarkastelujaksolla. Pituuskasvun suhteellinen RMSE oli 22–25 %, mitä pidettiin tarkkana tuloksena. Lämpimän kasvun ja tilavuuskasvun suhteelliset RMSE:t olivat 35-39 % ja 40-45 %. He arvioivat kahden laserkeilauksen menetelmän soveltuvan varsinkin pitkällä aikavälillä kasvun määrittämiseen hyvin, kun kasvu on selkeästi suurempaa suhteessa laserkeilauksen virheisiin.

Kahden ajankohdan laserkeilausta on käytetty puuntuotoskyvyn arviointiin Ruotsissa ja Kanadassa. Moan ym. (2024) tunnistivat tutkimuksessaan kahden ajankohdan laserkeilausaineistoista tuhoalueita, jotta ne voitaisiin poistaa puuntuotoskykymittauksista. He vertailivat 2012 ja 2018 aineistoja ja määrittivät, oliko puu tuhoutunut vai ei jaksolla. Menetelmää testattiin kahdella eri määrittelyllä. Määrittelytapa 1:ssä tuhoksi määriteltiin pystyyn kuoleminen, kaatuminen ja harvennus. Tavassa 2 tuhoksi määriteltiin vain kaatuminen ja harvennus. Luokittelun jälkeen metsiköt sovitettiin puuntuotoskykyä arvioivaan malliin ja todettiin, että tuhoutumattomat alueet sopivat malliin merkitsevästi paremmin kuin alueet, jotka sisälsivät myös tuhoutuneita osia.

Kozniewski ym. (2022) määrittivät Puolan kaakkoisosassa puiden kasvua kolmen eri ajankohdan laserkeilauspilvien avulla. Tarkastelua varten he segmentoivat 2594:n männyn latvukset. He totesivat monen ajankohdan laserkeilausaineiston olevan hyödyllinen puiden menneen pituuskasvun arvioinnissa, mutta yhdistettynä ilmasto-olosuhdetietoihin myös tulevan kasvun ennustamisessa. Laserkeilausaineistosta mitatut pituuskasvuarvot olivat voimakkaasti riippuvaisia sekä puun pituudesta että kasvupaikasta.

4 ARVIO PITUUSBONITEETIN LASKENNASTA KAUKOKARTOITETTUUN METSÄVARATIETOON PERUSTUEN

Kaukokartoitettua metsävaratietoa on hyödynnetty pituusboniteetin määrittämisessä Appiah Mensahin ym. (2023) tutkimuksessa sekä Kyllösen (2019), Kokkonien (2012) ja Vartiaisen (2021) maisterintutkielmissä. Maisterintutkielmissä pituusboniteetin määrittämisen lisäksi arvot muunnettiin kasvupaikkaluokiksi.

Appiah Mensah ym. (2023) tarkastelivat Ruotsin valtakunnallisen metsien inventoinnin koealoja, joille oli tehty kaksi laserkeilausta vuosina 2011-2021, ja loivat niiden pohjalta pituusboniteettiin pohjautuvaa kasvupaikkaindeksiä ennustavat mallit. Mallien selittävinä muuttujina käytettiin toisen laserkeilauksen 90. persentiilin kaikujen korkeutta, 95. persentiilin kaikujen perusteella lasketun tarkastelujakson vuotuista pituuskasvua, sijaintia, korkeutta merenpinnasta, etäisyyttä rannikosta ja maaperän kosteusindeksiä. Nämä tunnuksot valikoituivat osittain siksi, että ne ovat Ruotsissa helposti avoimista aineistoista saatavilla. Lineaarinen regressiomalli ennusti maastossa havaittuja pituusboniteetteja hyvin, mallin suhteellinen RMSE oli alle 10 %. Mallin avulla myös luotiin männylle ja kuuselle maan laajuiset pituusboniteetikartat 12,5x12,5 metrin hiloille. Itsenäisten validointien perusteella nämä kartat soveltuvat käytännön metsäsuunnittelukäyttöön Ruotsissa. Malli oli seuraavanlainen:

$$SIS = \alpha_0 + \beta_1 \cdot (\text{Lat}) + \beta_2 \cdot (\text{Alt}) + \beta_3 \cdot (\text{Distcoast}) + \omega_1 \cdot (\text{Hp90.t2})^2 + \omega_2 \cdot (\Delta\text{Hp95})^2 + \gamma_1 \cdot (\text{Soilwet}) + \gamma_2 \cdot (\text{Soilwet})^2$$

, jossa parametrit olivat taulukossa 1 esitetyn mukaisia.

Taulukko 1. Pituusboniteetin ennustamiseen käytetyt parametrit Appiah Mensahin ym. (2023) tutkimuksessa.

Coefficients of the MLR site index model (Eq. 1.1). SE is the standard error, and SE_{rel} is the standard error relative to the estimate.

Parameter	Variable/Group	Scots pine Estimate	SE	SE _{rel} (%)	P-value
$\hat{\alpha}_0$	Intercept	45.87	1.0120	2.206	< 0.0001
$\hat{\beta}_1$	Lat/Site	-3.877×10^{-6}	1.427×10^{-7}	-3.681	< 0.0001
$\hat{\beta}_2$	Alt/Site	-0.0042	3.825×10^{-4}	-9.217	< 0.0001
$\hat{\beta}_3$	Dist _{coast} /Site	-0.0012	5.168×10^{-4}	-44.939	0.0305
$\hat{\omega}_1$	H _{p90.12} /Size	0.0079	3.547×10^{-4}	4.507	< 0.0001
$\hat{\omega}_2$	ΔH_{p95} /Size	11.66	0.4896	4.199	< 0.0001
$\hat{\gamma}_1$	Soil _{wet} /Resource	0.0649	0.0049	7.683	< 0.0001
$\hat{\gamma}_2$	(Soil _{wet}) ² /Resource	-0.0010	5.659×10^{-5}	-5.619	< 0.0001
Norway spruce					
$\hat{\alpha}_0$	Intercept	115.4	1.1210	0.971	< 0.0001
$\hat{\beta}_1$	Lat/Site	-1.326×10^{-5}	1.685×10^{-7}	-1.271	< 0.0001
$\hat{\beta}_2$	Alt/Site	-0.0105	4.906×10^{-4}	-4.695	< 0.0001
$\hat{\beta}_3$	Dist _{coast} /Site	9.319×10^{-4}	5.976×10^{-5}	6.413	0.119
$\hat{\omega}_1$	H _{p90.12} /Size	0.0036	3.083×10^{-4}	8.65	< 0.0001
$\hat{\omega}_2$	ΔH_{p95} /Size	4.9340	0.4011	8.129	< 0.0001
$\hat{\gamma}_1$	Soil _{wet} /Resource	0.0096	0.0054	55.95	0.074
$\hat{\gamma}_2$	(Soil _{wet}) ² /Resource	-3.678×10^{-4}	5.978×10^{-5}	-16.253	< 0.0001

Kyllönen (2019) määrittäi vuonna 2006 ja 2014 Evolla tehtyjen laserkeilausten pohjalta valtapituuden muutoksen koelaloille eri laserpiirteillä ja johti niistä kasvupaikkatyyppit pituusboniteettikäyrästä avulla. Vuotuisten valtapituuksien kasvujen perusteella etsittiin kasvunopeutta vastaava boniteettikäyrä sekä Vuokilan ja Väliahon (1980) että Motti-mallien käyrästä. Vakaimmaksi, mutta silti valtapituutta jokseenkin hyvin kuvaavaksi valikoitui ensimmäisten kaikkujen 90. korkeuspersentti. Laserpiirteestä ja käyrästä riippuen luokittelutarkkuus kasvupaikkatyypeiksi vaihteli männiköissä 50-65 % välillä ja kuusikoissa ja koivikoissa 35-65 % välillä. Kasvu tarkastelujaksolla oletettiin lineaariseksi, mutta niin ei tarvitsisi tehdä enää sitten, kun saataisiin kolmas laserkeilausajankohta mukaan. Vaikka tarkassa luokituksessa oli epävarmuutta, gradientit tunnistettiin hyvin. Kyllönen (2019) totesi, että hyvä aineiston esittämistapa voisi olla jatkuva tunnus, jonka voi tarvittaessa muuttaa kasvupaikkaluokiksi.

Kokkonieni (2012) käytti pituusboniteetin määrittämisen menetelmänä yhden ajankohdan pituus- ja ikätiedon sovittamista bonitointikäyrille (Vuokila ja Väliaho 1980, Schumacherin 1939), minkä jälkeen pituusboniteetti muunnettiin kasvupaikkatyypeiksi. Lähtötieto saatiin sekä maastoinventoinnista että ilmalaserkeilauksesta. Vuokilan ja Väliahon (1980) luokituksessa oli 5 luokkaa, kun taas Schumacherin (1939) luokituksessa oli vain 2. Oikeinluokitusprosentit olivat Vuokilalla ja Väliaholla (1980) koelatasolla 39 % ja kuviotasolla 46 %, ja Schumacherilla (1939) koelatasolla 57 % ja kuviotasolla 54 %, kun käytettiin maastossa mitattuja arvoja. Lasertulkinnan ja metsähallituksen käyttämän SutiGIS-järjestelmän ikätiedon pohjalta tehdyn luokituksen oikeinluokitusprosentti oli vain 31, kun käytettiin Vuokilan ja Väliahon (1980) menetelmää. Kokkonien tulosten perusteella pituusboniteetilla ei voida luotettavasti ennustaa kasvupaikkaluokkia, koska bonitointimenetelmät toimivat itsenäisesti eikä niillä ole suoraa riippuvuutta toisistaan. Pituusboniteetti antaa kuitenkin arvokasta lisätietoa puustosta esimerkiksi metsätilojen arvoa määritettäessä. Tutkimuksen keskeisimpiä virhelähteitä olivat iän määrittäminen väärin ja keskimääräistä suurempi kasvu muun muassa lannoituksen tai kulotuksen vuoksi.

Vartiainen (2021) määrittäi pituusboniteetin sekä suoralla että epäsuoralla menetelmällä, ja kolmella eri aineistolla: laserkeilaus lentokoneella, laserkeilaus dronella ja fotogrammetria dronella. Suoralla menetelmällä tarkoitetaan pituusboniteetin määrittämistä lasertunnuksilla saatavien valtapituuksien kasvujen perusteella. Epäsuorassa menetelmässä määritettiin ensimmäisen mittausajankohdan valtapituutta vastaava ikä Gustavsénin (1980) pituusboniteettikaavalla, lisättiin ikään tarkastelujakson pituus, ja haettiin toisen ajankohdan valtapituusikä yhdistelmälle pituusboniteettiarvo. Suoralla menetelmällä suhteellinen RMSE oli pienempi kuin epäsuoralla menetelmällä. Suoralla menetelmällä suhteellisen RMSE:n arvot vaihtelivat eri kaukokartoitusmenetelmillä 9,8–12,6 % välillä. Epäsuoralla menetelmällä suhteelliset RMSE:t olivat 14,4–22,1 %:n välillä. Pituusboniteetit muunnettiin Cajanderin (1949) kasvupaikkaluokkiin ja niitä verrattiin avoimen metsävaratiedon

kasvupaikkaluokkatietoon. Pituusboniteetilla johdetut kasvupaikkaluokat olivat keskimäärin ravinteisempia kuin avoimessa metsävaratiedossa. Kasvupaikan yliarvioita oli menetelmästä riippuen 64-85 % ja oikeinluokitusprosentti oli 10-25 %.

5 PITUUSBONITEETIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET SUOMESSA

5.1 Yleistä

Suomalaisten toimijoiden näkemyksiä nykyisestä kasvupaikkaluokituksesta ja kaukokartoitukseen pohjautuvasta pituusbonitoinnista selvitettiin haastattelujen avulla. Haastattelujen ensisijaisena tarkoituksena oli selvittää, olisiko menneeseen pituuskasvuun perustuva kartta ja siitä mahdollisesti johdettavat pituusboniteetit hyödyllinen tuote, jota olisi järkevää kehittää. Haastateltavina toimivat Juha Keränen (Metsäkeskus), Juho Heikkilä (Metsäkeskus), Olli Leino (Metsä Group), Markus Holopainen (Helsingin yliopisto) ja Petri Kortejärvi (OP Metsä).

5.2 Näkemykset nykyisestä kasvupaikkaluokkiin perustuvasta tavasta määrittää kasvu

Kasvupaikkaluokitusta pidettiin hyvänä, koska se on Suomen metsäalalla tuttu ja helposti viestittävä bonitointi-menetelmä, jolla on vankka ja vanha pohja myös esimerkiksi tutkimuksessa. Yhdenkään haastateltavan mielestä kasvupaikkaluokitukselta ei tule pyrkiä eroon, vaan tuoda mahdollisia muita menetelmiä puuntuotoskyvyn määrittämiseen sen rinnalle. Pituusboniteetti voisi tarkentaa kasvupaikkaluokkia, mutta haastateltavien mukaan ei saisi luoda ristiriitaa kahden menetelmän välille. Koska tuleva laserkeilauskierrros on pienipiirteisempää, varttuneemmissa metsiköissä voidaan päästä jopa yksinpuintulkintaan, kun taas aluskasvillisuuteen pohjautuvalla kasvupaikkaluokituksella ei voida päästä niin pieneen spatiaaliseen resoluutioon.

Metsävaratiedon kasvupaikkaluokan tarkkuuden riittävyys jakoi haastatteluissa mielipiteitä. Osa haastateltavista ajatteli tarkkuuden olevan täysin riittävä käytännön metsäsuunnittelukäyttöön. Isossa mittakaavassa luokat ovat keskimäärin oikein ja pienemmässä mittakaavassa, kuten toimenpidesuunnittelussa, kuviot käydään joka tapauksessa tarkistamassa maastossa. Joidenkin haastateltavien mielestä taas yhden luokan virhe on kasvuennusteissa liikaa, sillä kasvumallit antavat erityisesti lehtomaisen ja tuoreen kankaan välillä hyvin toisistaan eroavat arvot. Toimijat, jotka käyttivät kasvuennusteita vain tiedon ajantasaistamiseen, eivät nähneet kasvuennusteiden eroavaisuuksissa ongelmaa, sillä mallinnettava jakso on nykyinventointikierrolla vain enintään kuusi vuotta, jolloin mallin virhe hukkuu muihin virheisiin, ja arvot ovat joka tapauksessa pieniä niin lyhyellä ajanjaksoilla.

Kasvupaikkatieto on tuotettu suurilta osin kuvioittaisella arvioinnilla, josta se on viety hiloille. Taustalla oleva kuvioittainen arviointi on voitu tehdä ennen nykyistä kuviojakoa, mikä voi aiheuttaa epätarkkuutta nykyisiin metsävaratietoihin. Haastatteluissa kysyttiin, onko kyseistä ilmiötä havaittu. Osa haastateltavista oli, kun taas osalla ei ollut tästä käytännön havaintoja, mutta he tiedostivat kuitenkin mahdollisuuden heikentyneeseen kasvupaikkatiedon laatuun. Suhtautuminen asian vakavuuteen vaihteli. Osa haastateltavista ajatteli, että kaikissa otantaperusteisissa mittauksissa on virheitä, joten se ei ole erityisen vakavaa kasvupaikkaluokkienkaan suhteen. Haastatteluissa nousi tämän syyn lisäksi kasvupaikkaluokkien tietolähteen vaikutus luotettavuuteen. Joillain alueille ei ole maastossa havaittua tietoa vaan on hyödynnetty monilähde-VMI:tä, jota kaikki eivät pidä riittävän luotettavana. Kaukokartoitus pohjainen kasvupaikka-arvio toimii tällä hetkellä karkeasti niin, että kuusikot määritetään tuoreeksi kankaaksi ja männiköt kuivahkoksi kankaaksi, eli todelliset kasvupaikkatyyppit tulee vain arvatua, jos maastoaineistoa ei löydy.

5.3 Kokemuksia muista tavoista määrittää kasvuennuste

Kaikki haastateltavat olivat kuulleet pituusbonitoinnista menetelmänä ja suurin osa oli ollut mukana ohjaamassa aiheeseen liittyvää gradua tai keskustellut muiden maiden toimijoiden kanssa aiheesta. Metsäkeskuksessa on tehty pituusbonitointiin liittyviä hankkeita, kuten pilotti yhteistyössä Arbonautin kanssa muutama vuotta sitten ja nyt käynnissä oleva Metsäkaksonen. Metsäkaksonen-hanke kestää syksyyn 2025 ja siitä ei vielä ole varsinaisia johtopäätöksiä, mutta on jo huomattu, että menetelmä vaikuttaa lupaavalta. Tänä vuonna kerätään maastoreferenssiä ja kasvutiedon hyödyntäminen tulevassa simuloinnissa on vasta hyvin aluillaan. Petri Kortejärvi on kirjoittanut pituusbonitointiin liittyvän pohdinnan Aarre-lehteen. Markus Holopainen on ollut mukana 2010 aikoihin tehdyissä pituusbonitoititutkimuksissa, jolloin mahdollisuuksia kaukokartoitus pohjaiseen määrittämiseen tutkittiin paljon laserkeilauksen yleistymisen innoittamana. Silloin kuitenkin huomattiin, että yhden ajankohdan kaukokartoitus ei anna luotettavia tuloksia, sillä tarvittiin ikätieto ja sen sai luotettavasti vain maastotyöllä.

Toinen esille tullut menetelmä suuntaa antavan tuotoksen määrittämiseen oli vanha maastossa luokittelu veroluokkiin, joihin vaikutti metsätyyppi, kivisyys, soistuneisuus ja pituusboniteetti. Tuotteena saatiin veroluokituskartta, jossa luokka 1 oli suunnilleen tuoretta kangasta ja ravinteisempää vastaava eli kovimmat verot kohdistuivat niihin. Kartta oli tehty kuviotasolla ja melko karkeasti, mutta periaatteessa voisi olla edelleen hyödynnettävissä, koska puuntuotoskyky ei juuri muutu.

5.4 Pituusbonitoinnin tuoma lisäarvo kasvuennusteisiin

Mallit keskiarvoistavat kasvupaikkaluokkia, joten pituusbonitoinnilla saataisiin yksilöllisemmät vaihtelut esille. Jokainen haastateltavista mainitsi kuvion sisäisen vaihtelun tunnistamisen etuna täsmämetsätalouden kehittymiselle. Osa haastateltavissa näki tämän syyksi, jonka takia menneeseen kasvuun perustuvaa arviota tuotoskyvystä pitäisi ehdottomasti kehittää. Osa taas pohti, onko hyöty niin suuri, että kehitykseen kannattaa panostaa ja siitä ollaan valmiita maksamaan, sillä mikrokuvioilla operoiminen ei ole välttämättä tehokasta. Haastatteluissa ilmeni myös näkemyksiä, että täsmämetsätalouden kehittyminen tukisi talouden lisäksi monimuotoisuutta ja ilmastokestävyyttä.

Täsmämetsätalouden lisäksi suurin hyöty nähtiin pidemmän aikavälin kasvumallinnuksille. Malleja voisi kalibroida jatkuvalla muuttujalla tai tuoda lisää luokkia kuvaamaan tuotoskykyä. Eräs haastateltava vierasti kuitenkin vaihtoehtoa täsmentää kasvupaikkaluokkia "+"- ja "-"-merkeillä, ja piti parempana esitystapana erillistä pituusboniteettiin perustuvan kasvuennusteen arvoa luokkien rinnalla. Kuvion sisällä voi todellisuudessa olla esim. kiivenäismaata ja turvemaata molempia, mutta ne on kuvioitu samaan muun muassa menneen saman käsittelyn takia. Tällöin kuvion keskiarvoistava kasvumallinnus toimii heikosti ja tarkemmasta tiedosta olisi hyötyä. Lisäarvo näkyisi erityisesti isoilla metsänomistajilla ja pitkän aikavälin metsäsuunnittelutietoa haluavilla. Jos metsäomistajien hiilikauppa yleistyy, pitkän aikavälin luotettavista ennusteista ja menneen kasvun valvonnasta kaukokartoituksella voisi tulla välttämättömiä. Biomassan havainnoinnin lisäksi kaupantekotilanteissa ja tuottoarvoa laskevissa saataisiin realistisemmat arvot, jos ravinteisuustiedon muuttuminen yhtä luokkaa karummaksi rajatapauksessa ei laskisikaan arvoa niin paljon, sillä varsinkin ravinteisemmissä metsiköissä luokan vaihtuminen yhdellä vaikuttaa todella paljon kasvumalleihin ja maan arvoon.

Käytännön metsätalouden kannalta menneen kasvun mittaaminen ja pituusboniteetin tietäminen pienellä spatiaalisella resoluutiolla auttaisi toimenpiteiden oikeaa ajoittamista. Hyvin kasvavissa paikoissa kasvupaikkaluokan sisäinen keskiarvoistaminen johtaa usein siihen, että ensiharvennukset tehdään liian myöhään, koska mallit eivät oleta alkuvaiheen kasvua niin nopeaksi kun se jossain voi olla. Avoimessa metsävaratiedossakin voisi esittää kasvuennusteessa pituusboniteetilla korjatun arvon, jos kuvioista on saatu riittävän luotettavaa aineistoa menneestä kasvusta, ja kertoa mihin ennuste perustuu. Luotettavaksi aineistoksi voitaisiin laskea esim. nuoret ja varttuneet kasvatusemetsät, joilla on tieto toteutuneesta ensiharvennuksesta eli voi pitää hoidettuna metsänä. Tärkeintä on saada realistinen kasvuennuste, uudistaa kohteita, jotka eivät enää kasva ja jättää hyvin kasvaneet

pystyy kasvamaan lisää. Operaatiot suunnitellaan pitkälti avointa metsävaratietoa pohjatielona käyttäen, joten tiedon tarkkuus vaikuttaa suoraan käytännön toimenpiteisiin. Jos keilaus jatkuu 6 vuoden syklillä, voidaan kiertoajan pidentämistä suurella puustolla harkita myös 6 vuoden välein, kun nähdään, onko kasvu edelleen jatkunut.

Valtakunnan tasolla pituusboniteetikartta hyödyttäisi hiilinielujen maksimipotentiaalin löytämisessä. Kun saadaan määritettyä, kuinka paljon millekin alueelle on mahdollista saada puuston hiilivarastoa, nähdään miten paljon varasto voisi kasvaa nykyisestä. Pituuskasvukartan avulla taas saisi todennettua muutosta ja hyödynnettyä tietoa muun muassa hiilimarkkinoilla.

Menneeseen kasvuun perustuva pituusbonitointi nähtiin hyväksi myös sen takia, että päästäisiin arvioinnista mittaamiseen ja saataisiin kattavaa tietoa joka paikasta. Otantamenetelmät nähtiin yleisesti sellaisina, joista tulisi pyrkiä pois tilanteissa, joissa koko tarkasteltavan joukon mittaaminen on mahdollista.

5.5 Muut mahdolliset hyödyt muutostulkinnalle useamman ajankohdan kaukokartoitusaineistosta

Kaikki haastatteluissa ilmenneet suorat metsätaloudelle koituvat hyödyt perustuvat gradienttierojen tunnistamiseen liittyvään hyötyyn. Toimenpiteiden oikea ajoitus ja tuki toimenpiteen valintaan nousi kaikkein tärkeimpänä. Voisi esimerkiksi tunnistaa heikkokasvuja kohteita, mikä nuoremmassa metsässä voi olla osoitus huonosta puulajivalinnasta ja olla syynä uudistaa kuvio huomattavastikin ennen suositusten mukaista uudistamisajankohtaa. Varttuneemmassa metsässä kasvun pysähtyminen voi kuvata metsän olevan vanhaa ja siinä voi olla potentiaalia esimerkiksi METSO-kohteeksi. Hyvin kasvavien kohteiden tunnistamisella voidaan ehdottaa pidentettyä kiertoaikaa, yläharvennusta tai muuta perinteisistä suosituksista poikkeavaa. Boniteetin tarkempi määrittäminen voisi edistää monimuotoisuutta tunnistamalla reheviä kohteita, jotka ovat usein myös lajirikkaampia. Turvemaiden suhteen menneen kasvun mittaaminen antaa tärkeää tietoa vesitalouden tilasta ja se voisi auttaa suunnitelmassa muun muassa kunnostusajon tarvetta.

Haastateltavat tunnistivat hyötyjä myös tuhoriskialueiden, kuten kirjanpainajan ja juurikäävän uhan, tarkempaan tunnistamiseen. Jos esimerkiksi havaitaan, että kuusikko on kasvun perusteella liian karulla paikalla, voidaan sanoa metsikössä olevan todennäköisesti kohonnut kirjanpainajariski ja huomioida se metsänhoidossa. Puun rakenteeseen vaikuttavat tuhot, kuten lumituhot, voidaan havaita suoraan hyvin, mutta esimerkiksi hyönteistuhojen varhaisessa tunnistamisessa ei ole tästä hyötyä. Tieto menneestä kasvusta voi auttaa tekemään parempia puulajivalintoja. Jos kuviolla on kasvanut kuusikko, jonka kasvu on ollut hidasta, voidaan seuraavaksi puusukupolveksi ehdottaa mäntyä. Kasvusta voi päätellä myös yleisesti puuston elinvoimaisuutta, minkä perusteella voi luoda erilaisia riskikarttoja. Tuhoihin liittyen menneeseen kasvuun perustuva kartta voisi myös auttaa metsätuhojen aiheuttamien tulonmenetysten mittaamisessa.

Tarkasteluaikana uudistettujen metsiköiden osalta voidaan myös havaita, minkä pituisena metsikkö on uudistettu ja päätellä siitä kuvion maksimituotoskyky. Ehtona toimivuudelle olisi se, että metsikköä ei olisi uudistettu ennenaikaisesti. Tietoa tästä voidaan hyödyntää läpi seuraavan kiertoajan, toki hyödyt näkyvät vasta pitkän ajan kuluttua.

5.6 Käytännön toimenpiteet, jotka tarvittaisiin siirtymään kohti pituusbonitointia

Näkemykset siitä, millainen lopputuotteen pitäisi olla, vaihtelivat runsaasti. Osa haastateltavista ajatteli, että ennen suurempaa jatkokehitystä pitäisi vielä tehdä vertailututkimusta bonitointitapojen välillä: onko kasvupaikkaluokituksen ja pituusboniteetin välillä merkitsevää eroa ja näin todistettavaa lisäarvoa? Vähimmillään ajateltiin, että kasvukartat ja kaukokartoitukseen perustuva pituusbonitointi ei vaatisi mitään uutta aineistoa tai kehitettävää. Valmiiden aineistojen pohjalta voidaan luoda uusi kartta ja tehdä muutama validointi ja skaalaus

parilla pilottialueella, jonka jälkeen kaikki olisi valmista. Ei haluta täydellistä kalliilla ja pitkän ajan päästä, vaan nykyistä parempaa mahdollisimman nopeasti.

Osa haastateltavista oli taas sitä mieltä, että pituusbonitointia kohti siirtyminen olisi valtava projekti, johon menisi vähintään 5-10 vuotta. Täytyisi määritellä, miten luotettavat kasvuarvot saadaan ja odottaa, että koko Suomen alueelta kaikista metsiköistä on tiheäpulsiset laserkeilaukset, joiden välillä kuviolla ei ole tehty valtapituuden kehitykseen vaikuttavia toimenpiteitä. Täytyisi ratkaista, miten toimitaan muun muassa lannoitusten kanssa. Laajaan projektiin pitäisi liittyä pituusbonitoinnin vieminen kasvumalleihin kalibrointiarvona.

Pituuskasvukartoille on kaikki edellytykset, ei vaatisi muuta kuin parin vuoden työn, mutta olisi halpaa ja helppoa sinänsä tuottaa, jos käyttäisi avoimia aineistoja. Toinen kysymys on se, riittävätkö vain pituusmuutuskartat vai pitäisikö saada määritettyä tarkasti mm. tilavuuden muutokset, sillä boniteetti sinänsä tarkoittaa tilavuuden kasvua. Tilavuutta ei voida kuitenkaan määritellä suoraan kaukokartoituksella vaan sen arvio perustuu malleihin, joten arvion tarkkuus on huonompi kuin pituuden. Uskottiin, että hoidetuissa metsissä on jo kaikki edellytykset myös pituuskasvukartan muuntamiseen boniteetiksi, kun voidaan luottaa siihen, että kasvu vastaa kasvu paikan puuntuotoskykyä.

5.7 Muita aiheeseen liittyviä huomioita haastateltavilta

Yksi haastateltavista oli sitä mieltä, että ikä olisi erityisen tärkeä tieto saada uudistamistiedon muodossa takaisin avoimeen metsävaratietoon, mikä pitkällä aikavälillä varmasti tarkentaisi pituusbonitointiakin. Olisi erittäin tärkeää, että tarkka uudistamisvuosi, tiheys ja puulaji olisi pakollista ilmoittaa uudistamisilmoituksena ja tieto säilyisi ja näkyisi avoimessa metsävaratiedossa.

Menetelmän toistettavuutta Suomen rajojen ulkopuolella pidettiin hyvänä lisänä, mutta ei ensisijaisena ja suurimpana tarpeena. Pituusboniteetin ja kasvupaikkaluokituksen pitäisi toimia rinnakkain. Tavoitteena ei ole korvata kasvupaikkaluokitusta pituusbonitoinnilla. Kasvupaikkaluokkiin johtamista pidettiin tavoiteltavana, niin saisi suoran täsmävyyden. Kasvuindeksi-arvot ovat vieraita, mutta kaikki metsäammattilaiset tuntevat kasvupaikkaluokat.

Vaikka pituusbonitointi sopisi periaatteessa hyvin vain tietynlaisille metsiköille, on tärkeää tuottaa koko Suomen kattava aineisto niin, että tuotaisiin esille tiedon olevan joillakin kuvioilla epäluotettavampaa. Tällöin saadaan vertailukelpoinen Suomen kokoinen aineisto, toisin kuin nyt on, sillä kuvioittaiset arvioinnit ovat subjektiivisia. Aineiston tuottamiseen menee aikaa, koska tämä vaatii sen, että jokaiselta kuviolta saa laserkeilausten välin, jolla ei ole tehty valtapituuteen vaikuttavia hakkuita. Naapurikuvioilta arvojen yleistämistä ei tulisi tehdä, sillä esim. lannoitus voi vääristää paljon. Vaikka yleistämällä saataisiin joku arvo, se ei ole kasvupaikkatyyppien perusteella tehtäviä ennusteita tarkempi. Yhdestä laserkeilauksesta on hyötyä pituusbonitoinnissa, kun päästään riittävään tarkkuuteen. Ensimmäisen laserkeilauskierroksen aineisto on kuitenkin liian epätarkkaa joihinkin sovelluksiin, kuten kasvuennusteiden ja mallien kehittämiseen nykyisestä.

Eri-ikäisrakenteiset metsät tulevat mahdollisesti olemaan haaste, sillä ne on määritelty pituusbonitointimenetelmän käytön ulkopuolelle. Koska puiden asema vaihtelee ja kiertoaika ei tule varsinaisesti koskaan päätökseen, tasaikäiselle hoidetulle metsälle sovitettavat mallit eivät päde. On mahdollista, että ylimmän latvuserroksen pituuden muutos on saman kaltaista kuin tasaikäisen metsikön niillä puulajeilla, jotka eivät hyödy merkittävästi paremmista valo-olosuhteista. Aiheesta on kuitenkin vielä vähän tutkimusta, joten pituusboniteetin määrittäminen luotettavasti vaatisi lisää selvitystyötä ja omia malleja.

Haastatteluissa ilmeni myös tottumus ilmaiseen ja avoimeen tietoon Suomessa. Metsätalouden toimijat pitivät yleisesti ottaen pituuskasvukartan saamista enemmän itsestään selvänä ja ihmettelivät osittain, miksi sellaista

ei ole jo. Paine aineistojen tuottamiseen kohdistuu lähinnä Metsäkeskukseen ja näin ollen Metsäkeskuksen puolesta pohdittiinkin, miten suuri työ olisi saada riittävä rahoitus projektiin luotettavan aineiston tuottamiseksi.

Mahdollisen pituusboniteetin esittämistapa metsävaratiedossa herätti paljon keskustelua. Osalle haastateltavista ei ollut väliä, olisiko pituusboniteetin perusteella tehtävä kasvuennuste erillinen tunnus vai pitäisikö kasvupaikkaluokkaa täsmentää tarpeen mukaan pituusboniteettiä. Osa taas oli selkeästi sitä mieltä, että metsävaratiedossa pitää olla vain yksi kasvuennuste, jonka tuottamistapa on kerrottu. Joidenkin mielestä pituusboniteettiä jatkuvana muuttujana olisi ainoa oikea ratkaisu. Joillekin taas kävi myös luokkamuuttuja, joka vastaa nykyisiä kasvupaikkaluokkia, mutta luokkia pitäisi olla enemmän. Yksi haastateltavista ehdotti, että mitattu kasvutieto voitaisi esittää cm/vuosi muodossa, niin se voisi olla itsenäinen arvo, mutta ei silti ristiriidassa kasvupaikkaluokkaan perustuvan tilavuuskasvuennusteen kanssa. Pituus kuitenkin on se, mitä suoraan havaitaan laserkeilauksella eikä tilavuus.

6 BONITOINTIMENETELMÄT JA PUUSTON KASVUENNUSTEIDEN MUODOSTAMINEN POHJOISMAISSA JA BALTIASSA

6.1 Yleistä

Ruotsin, Viron ja Latvian toimijoita haastateltiin ja selvitettiin, miten heidän toimintaympäristöissään on määritetty puuston kasvuennusteita. Ruotsin toimijoista haastateltiin Fredrik Walteria Dianthus Ab:sta ja Mats Nilssonin tutkimusryhmää SLU:sta, Latviasta Armands Berkisiä Latvian Metsähallituksesta ja Virosta Veiko Eltermania Viron Metsähallituksesta.

Sekä Ruotsissa, Virossa että Latviassa käytetään rinnakkain pituusbonitointiin ja kasvillisuuteen tai muihin tunnuksiin perustuvaa bonitointimenetelmää. Ruotsissa pituusbonitoinnin käyttö on laajinta ja sillä on pitkät perinteet. Kasvun arviointia kahden eri ajankohdan kaukokartoitusaineistoon perustuen on tutkittu eniten Ruotsissa, ja siitä on kehitetty myös käytännön sovelluksia ja palveluita. Latviassa ja Virossa tutkimus- ja kehitystoiminta on ollut tähän mennessä vähäistä.

6.2 Ruotsi

Ruotsissa kasvuennusteet muodostetaan hyödyntäen kasvupaikkaindeksiä, joka pohjautuu tilanteesta riippuen pituusbonitointiin, vuotuisen pituuskasvuun nuorissa metsissä tai kasvupaikan ominaisuuksiin (ilmasto, kasvillisuus, vesitalous, maaperä), jos kumpaakaan edellistä ei voida soveltaa. Ruotsin kasvupaikkaluokitusta on kuvattu myös aikaisemmin tässä raportissa. Järjestelmä on kuvattu muun muassa Skogsstyrelsenin julkaisussa (Skogsstyrelsen 2012).

Mats Nilssonin tutkimusryhmä SLU:sta on kehittänyt menetelmän, jossa kahden eri ajankohdan keilausaineiston perusteella lasketaan KPI (kasvupaikkaindeksi). KPI on pituuden ja pituuskasvun funktio. Lisäksi mallissa otetaan huomioon korkeus merenpinnasta ja sijainti. Mallin kehityksessä hyödynnettiin Ruotsin VMI:n pysyviä koealoja ja mallin validoinnissa hyödynnettiin VMI:n kertakoealoja. Laskennan tuloksena tehtiin rasterimuotoiset pituuskasvukartat koko Ruotsista. Rasterikoko 12,5 m. Kartat on julkaistu internetissä Skogsstyrelsenin sivuilla: <https://kartor.skogsstyrelsen.se/kartor/?startapp=skogligagrunddata>. Laskenta tehtiin mänty- ja kuusivaltaisille (pääpuulajin osuus vähintään 65 %) yhden puujakson metsille. Jatkossa haluttaisiin kehittää vastaavia karttoja muun tyyppisille metsiköille. Tulokset ovat tutkimusjulkaisun mukaan tarkkoja, ja riippumattoman validoinnin perusteella karttoja pidetään riittävän tarkkoina operatiiviseen käyttöön.

Keskustelussa Mats Nilssonin tutkimusryhmän kanssa käsiteltiin myös seuraavia asioita:

- Ruotsissa toinen kaukokartoituskierron päättyy vuonna 2025

- Keilaustiheyden vaihtelu keilauskertojen välillä ei ole ongelma, koska menetelmä on aluepohjainen.
- Sen sijaan keilainteknologia vaikuttaa. Ensimmäisellä kierroksella käytettiin ”skannaavia” laitteita, toisella myös ympyrämuotoisesti skannaavia (”terrain mapper”). Malleja oli säädettävä sen mukaan, kumpaa laitteistoa käytettiin toisella kierroksella.
- Laskennassa on otettava huomioon keilausajankohta (ennen kasvukautta/kasvukauden aikana)
- Koska kasvu vaihtelee vuosittain, lyhyempi keilausväli tuottaa epävarmempaa tulosta.
- Harvennetut kohteet eivät ole ongelmallisia, jos käytetään alaharvennusta. Poimintahakkuut ja vastaavat sen sijaan ovat.
- Ryhmä näki useita hyödyntämismahdollisuuksia eri ajankohtien keilausaineistoille, erityisesti jos keilausväliä voidaan lyhentää: metsien käytön seuranta mainittiin yhtenä esimerkkinä.
- Hankkeella on johtoryhmä, jossa on käytännön metsätalouden edustus. Johtoryhmä näkee keilausvälin lyhentämisen keilaustiheyden nostamista tärkeämpänä.

Dianthus Ab on ruotsalainen yritys, jonka liiketoiminta perustuu paikkatietoanalyysiin ja kaukokartoitukseen. Asiakkaat ovat metsätalouden toimijoita, kuten Billerud Korsnäs, Södra, Statens Fastighetsverk, SCA, Sveaskog ja Stora Enso. Dianthuksella on myös erilaisia kehitysprojekteja. Meneillään oleva projekti keskittyy kasvun arviointiin ja kasvupaikkaindeksin laskentaan vertaamalla kahden eri ajankohdan kaukokartoitusaineistoa samalta alueelta. Dianthus kehittää kyseistä menetelmää, joka on ollut käytössä muun muassa Holmenilla ja Skogsstyrelsenillä. Kehitystyön tuloksena on esimerkiksi Skogsstyrelsenin karttapalvelu, jossa voidaan laskea kuviokohtainen kasvun arvio, joka perustuu kaukokartoitusaineistojen vertailuun.

Haastattelussa Dianthus Ab:n toimitusjohtaja Fredrik Walter toi esille, että pituusboniteetti toimii aluetasolla kasvillisuuteen perustuvaa luokitusta paremmin, ja sitä pitäisi soveltaa mahdollisimman laajasti. Kasvillisuuteen perustuva luokitus aliarvioi usein kasvua. Walterin mukaan kasvun arviointi erotusmenetelmällä ei välttämättä toimi hyvin kuviotasolla, mutta tuottaa parempaa tulosta maisema/alueetasolla. Dianthuksessa kehitetään muun muassa kuviotason kasvun arvioimista kaukokartoitusaineistoon perustuen.

6.3 Latvia

Latvian Metsähallitus inventoi valtion metsät 20 vuoden välein. Päivitys ei perustu kattavaan maastotyöhön. Tietoja päivitetään toimenpiteillä. Maastoinventointi tehdään, jos ei ole tietoa toimenpiteistä kuluneen 20 v aikana.

Myös yksityismetsistä kerätään metsävaratietoa, mutta ei enää kattavasti. Latviassa julkaistaan avointa paikkatietoa koko maasta: ortokuvat, CHM jne. Metsäsuunnitteluyritykset hyödyntävät tätä dataa.

Latviassa kasvupaikkaluokitus perustuu Suomen järjestelmää muistuttavaa metsätyyppijärjestelmään, joka kasvillisuuden lisäksi ottaa huomioon maalajin ja vesitalouden. Järjestelmän otettiin käyttöön 1920-luvulta, nykyinen versio on vuodelta 1976. Kuviokohtaista kasvupaikkatietoa on täsmennetty laserkeilaukseen perustuvalla vesitalousdatalla. Heikkoutena pidetään muun muassa sitä, että metsätyyppi ei sinänsä kuvaa maaperän ominaisuuksia. Järjestelmän kehittämistä on pohdittu. Latvian olosuhteissa maaperän vesitaloudella on suuri merkitys, ja siitä kaivattaisiin tarkempaa tietoa.

Kasvuennusteiden teossa käytetään Latviassa Ruotsin järjestelmää muistuttavaa pituusboniteettia. Tietty metsätyyppi vastaa suoraan tiettyä boniteettia. Vastaavuutta pidetään huonona. Tärkeänä syynä tälle pidetään ilmastomuutosta.

Kasvun arviointia kaukokartoitustietoon perustuen on tutkittu Latvian metsäntutkimuslaitoksessa Silavassa. Tuloksia tutkimuksista ei ollut käytettävissä haastattelussa.

6.4 Viro

Viron kasvupaikkaluokitus sisältää 26 luokkaa ja 10 ryhmää. Kasvupaikkaluokituksen lisäksi kasvuennusteiden luomisessa käytetään kuusiportaista boniteettiluokitusta. Jos puusto on vanhempi kuin 15 vuotta, määritetään korkeusindeksi puustotunnusten perusteella (eli korkeus/ikä). Nuoremmassa metsässä inventoija arvioi boniteettiluokan. Tämä sisältyy kasvumalleihin.

Virossa valtion mailla kerätään metsävaratietoa ”perinteisesti”, maastotyöhön perustuen. Laserkeilausaineistoa on käytettävissä, mutta pelkästään inventoijan tukena. Tiedot ovat avoimesti saatavilla, ja niitä pidetään kattavina, laadukkaina ja ajantasaisina.

Ilmakuvaus ja laserkeilaus tehdään joka toinen vuosi, vuorotellen keväällä ja kesällä. Viron metsähallitus käyttää vain kesäkuvia, joten aineistoa on neljän vuoden välein.

Metsähallituksessa eikä muuallakaan Virossa ei ole kokeiltu kasvun arviointia kahden eri ajankohdan kaukokartoitusaineiston perusteella. Metsähallitukseen ollaan kuitenkin palkkaamassa henkilökuntaa, jolla on hyvää osaamista kaukokartoituksesta, joten kehitys voi myös Virossa lähteä liikkeelle.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaukokartoitusaineistosta luotuun menneeseen pituuskasvuun perustuvaa karttaa ja siitä johdettavaa pituusboniteettia pidettiin hyödyllisenä kehitettävänä haastattelujen ja tutkimusten perusteella. Vastaavanlaisten tuotoskykyä kuvaavien karttojen eteen on tehty Ruotsissa jo paljon kehitystyötä ja löydetty hyödyllisiä toimintamalleja, joita voisi käyttää Suomessakin. Pituusbonitointi on käytössä muissakin naapurimaissa, joten näyttöä käyttökelpoisuudesta on.

Suomessa kasvun arvioinnista päästään kasvun mittaamiseen ainakin valtapuuston pituuden osalta, koska laserkeilauksella voi havaita luotettavasti pituuksia ja koko Suomea ollaan inventoimassa jo toista kertaa. Pienen puuston osalta laserkeilaus ei ole kuitenkaan niin luotettavaa kuin varttuneemman, joten ainakin tällä hetkellä taimikoiden kasvun arvioinnin tulisi ensisijaisesti perustua kasvupaikan ominaisuuksiin, maastoinventointiin ja kasvun mallintamiseen. Kasvatusmetsissä ja muissa suurempipuustoisissa olisi potentiaalia sovittaa laserkeilauksista saatu pituus ja pituuden muutos bonitointimalliin, jonka perusteella voisi arvioida tulevaa puuston koon kehitystä. Vielä on hieman epäselvää, olisiko nyt kahden ensimmäisen laserkeilauskierroksen erotuksen tarkkuudella tehdyt kasvunmittaukset riittävän tarkkoja pituusbonitointitarkoitukseen vai pitäisikö odottaa kolmatta kierrosta. Pitäisi siis määrittää, mitkä ovat sallitut luottamusvälit ja pääseekö niihin nykyisellä aineistolla. Tätä varten tarvitaan testausta ja menetelmän syvempää arviointia.

Vaikka selviäisi, että pituusbonitointi vaatii kolmannen laserkeilauskierroksen ollakseen riittävän tarkkaa, jotta sitä olisi järkevää soveltaa, kahden ensimmäisen inventoinnin välille on mahdollista tehdä pituuskasvukartta, josta saa jo selkeitä hyötyjä irti. Pituuskasvukartta olisi joka tapauksessa luotava osana kaukokartoitusperusteista pituusboniteettitietoa, joten sen luominen jo nyt ei menisi missään nimessä hukkaan.

LÄHTEET

Appiah Mensah, A., Jonzén, J., Nystrom, K., Wallerman, J. ja Nilsson, M. 2023. Mapping site index in coniferous forests using bi-temporal airborne laser scanning data and field data from the Swedish national forest inventory. *Forest Ecology and Management* 547: 121395.

Cajander, A. K. 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. *Acta Forestalia Fennica* vol. 56 no. 4 article id 7395. <https://doi.org/10.14214/aff.7395>

Gustavsén, H. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. *Folia Forestalia* 454. 31 s.

Hotanen, J.-P., Nousiainen, H., Mäkipää, R., Reinikainen, A. ja Tonteri, T. 2008. Metsätyypit – opas kasvupaikkojen luokitteluun. *Metsäkustannus*. 192 s.

Kokkonen, S. 2012. Laserkeilaukseen ja metsäsuunnittelutietoon perustuvan pituusbonitoinnin tarkkuus. Pro gradu -tutkielma.

Kozniowski, M., Kolendo, Ł., Ksepko, M. ja Chmur, S. Tracking Individual Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) 2022. Height Growth Using Multi-Temporal ALS Data from North-Eastern Poland. *Remote Sensing* 14(17):4170. <https://doi.org/10.3390/rs14174170>

Kyllönen, I. 2019. Kahden ajankohdan laserkeilausaineistoihin perustuva pituusbonitointi. Pro gradu -tutkielma.

Moan, M., Noordermeer, L., White, J., Coops, N. ja Bollandsås, O.M. 2024. Detecting and excluding disturbed forest areas improves site index determination using bitemporal airborne laser scanner data, *Forestry: An International Journal of Forest Research* 97(1): 48–58. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad025>

Noordermeer, L., Økseter, R., Ørka, H.O., Gobakken, T., Næsset, E. ja Bollandsås, O.M. 2019. Classifications of Forest Change by Using Bitemporal Airborne Laser Scanner Data. *Remote Sensing*. 2019; 11(18):2145. <https://doi.org/10.3390/rs11182145>

Noordermeer, L., Gobakken, T., Næsset, E. ja Bollandsås, O.M. 2020. Predicting and mapping site index in operational forest inventories using bitemporal airborne laser scanner data. *Forest Ecology and Management* 457: 117768. ISSN 0378-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117768>

Schumacher, F. X. 1939. A New Growth Curve and Its Applications to Timber Yield Studies. *Journal of Forestry* 37: 819-820.

Skogsstyrelsen. 2012. Skogsskötselserien: Skogsskötselns grunder och samband, <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-1-skogsskotselns-grunder-och-samband.pdf>

Skogskunskap. Standortsindex. Saatavissa: <https://www.skogskunskap.se/rakna-med-verktyg/mata-sko-gen/standortsindex/> [Viitattu 16.5.2024]

Soininen, V., Kukko, A., Yu, X., Kaartinen, H., Luoma, V., Saikkonen, O., Holopainen, M., Matikainen, L., Lehtomäki, M. ja Hyyppä, J. 2022. Predicting Growth of Individual Trees Directly and Indirectly Using 20-Year Bitemporal Airborne Laser Scanning Point Cloud Data. *Forests*. 2022; 13(12):2040. <https://doi.org/10.3390/f13122040>

Vartiainen, P. 2021. Kasvupaikan boniteetin määrittäminen eriaikaisen kaukokartoitustiedon avulla. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto. Metsätieteen pro gradu, erikoistumisala metsänarviointi ja metsäsuunnittelu. 46 s.

Vastaranta, M., Korpela, I., Uotila, A. et al. 2012. Mapping of snow-damaged trees based on bitemporal airborne LiDAR data. *Eur J Forest Res* 131, 1217–1228. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0593-2>

Vuokila, Y. ja Väliäho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 99(2). 271 s.

Zhao, K., Suarez, J., Garcia, M., Hu, T., Wang, C. ja Londo, A. 2018. Utility of multitemporal lidar for forest and carbon monitoring: Tree growth, biomass dynamics, and carbon flux. *Remote Sensing of Environment* 204: 883-897. ISSN 0034-4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.007>



Maistraatinportti 4 A

00240 Helsinki

tapio@tapio.fi

www.tapio.fi