



Arto Haara



Kari T. Korhonen

Arto Haara ja Kari T. Korhonen

Toimenpide-ehdotusten simulointi laskennallisesti ajantasaistetusta kuvioaineistosta

Haara, A. & Korhonen, K.T. 2004. Toimenpide-ehdotusten simulointi laskennallisesti ajantasaistetusta kuvioaineistosta. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2004: 157–173.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää eri virhelähteiden vaikutus toimenpide-ehdotuksiin, jotka on tuotettu laskennallisesti ajantasaistetusta kuvioaineistosta. Tutkimuksessa tarkasteltuja virhelähteitä olivat aineistonmuodostus, mittausvirheet ja ajantasaistus. Tutkimuksessa keskityttiin ensimmäisen suunnittelukauden (5 vuotta) toimenpidetarpeisiin nykyhetkellä tai 5 ja 10 vuoden ajantasaistuksen jälkeen. Kunkin metsikön ”todellisena toimenpidetarpeena” pidettiin puittaisesta inventointitiedosta tuotettua harvennusmalleihin ja uudistamisrajoihin perustuvaa toimenpidetarvetta. Tutkimusaineisto käsitti 274 metsikköä, jotka valittiin Metsäntutkimuslaitoksen pysyviltä kasvukoealoilta, ns. INKA-aineistosta. Lisäksi käytettiin 988:a tarkistusinventointiaineiston metsikköä kuvioittaisen arvioinnin virheiden generoinnissa tutkimusaineistoon. Tutkimusaineistosta muodostettiin puittaiset ja kuvioittaiset lähtötiedostot. Toimenpide-ehdotuksien tuottamisessa ja laskennallisessa ajantasaistuksessa käytettiin MELA-ohjelmistoa.

Mittausvirheet osoittautuivat tutkituista virhelähteistä suurimmaksi epävarmuuden aiheuttajaksi sekä puustotunnusten ajantasaistuksessa että toimenpide-ehdotusten ennustamisessa. Puittaisista aineistoista tuotetut toimenpide-ehdotukset, ja erityisesti harvennustarpeen määrittelyt, olivat luotettavampia kuin metsikkötason aineistoilla tuotetut toimenpide-ehdotukset. Kasvumallien avulla ajantasaistettu inventointiaineisto voisi soveltua toimenpide-ehdotusten kannalta metsäsuunnittelun lähtöaineistoksi, mikäli toimenpide-ehdotuksia tarkastellaan puustotietojen ja harvennus- ja uudistamismallien mukaan. Toimenpide-ehdotusten luotettavuuteen vaikutti merkittävästi se, miten kasvumalleissa käytettävä lämpösumma oli johdettu. Jos lämpösummaksi otettiin INKA-aineiston kullekin metsikölle määritetty alkuperäinen lämpösumma, tulokset olivat selvästi heikompia kuin jos lämpösumma määritettiin laskennallisesti vastaavalla tavalla kuin kasvumallien laadinnassa. Lisätutkimusta tarvitaan etenkin laskennallisesti johdettujen ja maastossa arvioitujen toimenpidetarpeiden yhteneväisyydestä.

Asiasanat: ajantasaistus, metsäinventointi, metsävaratiedot, toimenpide-ehdotus, kasvumallit, metsäsuunnittelu

Yhteystiedot: Metla, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu

Sähköposti: arto.haara@metla.fi, kari.t.korhonen@metla.fi

Hyväksytty 10.2.2004

I Johdanto

Suomessa metsäsuunnittelun lähtöaineistona käytetään yleisesti kuvioittaisella arvioinnilla kerättyä tietoa. Metsäyhtiöt ja Metsähallitus ovat viime vuosina korvanneet perinteisen kuvioittaisen arvioinnin metsävaratietojen jatkuvalla ajantasaisuudella (Nalli ja Hyttinen 1992, Korhonen 2002). Tällaisessa järjestelmässä kertaalleen kerättyjä metsävaratietoja ajantasaistetaan puuston kasvumalleilla ja käsiteltyjen kuvioiden mittauksella aina toimenpiteen jälkeen. Yksityismetsien suunnittelussa on pitäyditty perinteisessä, 10–15 vuoden välein toistettavassa inventoinnissa. Tämä johtunee siitä, että toimenpiteiden jälkeen tehtävät mittaukset, ja jo luotettavan tiedon saaminen toimenpiteestä (ks. esim. Saksa ja Smolander 1998), on yksityismetsissä hankalammin järjestettävissä kuin yhtiöiden metsissä. Perusteluna määrävälein tehtävälle inventoinnille on pidetty myös sitä, että yksityismetsissä metsäsuunnitelman keskeinen tehtävä on tuottaa luettelo lähivuosien toimenpidetarpeista tai hakkuumahdollisuuksista, ja toimenpidetarpeiden arvioinnin vuoksi maastokäyntiä on pidetty välttämättömänä.

Metsikön toimenpidetarpeen arviointi on ongelmallista sekä maastossa että laskennallisesti. Käsite ”toimenpidetarve” voidaan kyseenalaistaa (Kangas ja Hänninen 2003). Metsiköllä ei sinällään ole toimenpidetarpeita, vaan ne on johdettava metsälle asetetuista tavoitteista. Yksityismetsien suunnittelussa metsikön toimenpidetarve koostuu metsänomistajan ja yhteiskunnan tarpeista. Yhteiskunnan asettamat toimenpidetarpeet konkretisoituvat metsänhoito-ohjeissa (Hyvän metsänhoidon suositukset 2001), jotka ilmentävät yhteiskunnan tarvetta pitää metsät ”riittävän” puustoisina (uudistamisveloite, harvennusmallien alarajat), välttää luonnonpoistumaa (harvennusmallien ohjeelliset ylärajat) ja käyttää metsiä pääasiassa tukkipuun tuottamiseen (uudistamiskelpoisuusrajat). Metsänomistajan asettamat toimenpidetarpeet tulevat nykyisessä metsäsuunnittelussa huomioiduksi silloin, kun metsänomistaja on mukana suunnittelun maastotöissä tai suunnitelman koostamisvaiheessa asettamassa omia tavoitteitaan tulevalle metsäsuunnitelmalle.

Käytettäessä MELA-ohjelmistoa metsäsuunnittelussa, metsikön toimenpidetarve voidaan johtaa

metsälle asetetuista tavoitteista. Kullekin metsikölle tuotetaan simuloinnissa joukko mahdollisia toimenpideketjuja ja optimoinnissa tavoitteet ja rajoitteet toteuttava toimenpide tulee valituksi (Siitonen 1993). MELA-ohjelmistoa käytettäessä voidaan suunnitelma koota myös käyttäen pelkästään maastossa ehdotettuja toimenpiteitä (Redsven ym. 2002).

Käsitettä toimenpidetarve käytetään tässä tutkimuksessa havainnollistamaan puustotunnusten laskennallisen ajantasaisuuden virheiden vaikutusta metsäsuunnittelun laskelmiin. Metsikön toimenpidetarpeella tarkoitetaan jatkossa harvennusmallien ja metsänuudistamisrajojen määrittämiä harvennustarpeita ja uudistamismahdollisuuksia (Hyvän metsänhoidon suositukset 2001).

Useissa aiemmissa tutkimuksissa on tarkasteltu inventoinnin (tai ajantasaisuuden) luotettavuutta puuston tilavuusarvioiden ja muiden puustotunnusten avulla (esim. Poso 1983, Suutarla 1985, Laasasenaho ja Päivinen 1986, Anttila 2002, Hyvönen 2002) tai selittävien muuttujien virheiden aiheuttamaa harhaa ennusteisiin (mm. Kangas ja Kangas 1997). Metsikön kasvun ja tuotoksen ennustamisen luotettavuutta on tutkittu myös mallittamalla kiinnostavien muuttujien, esimerkiksi tilavuuden, virheitä (mm. Kangas 1999). Kun virheiden vaikutusta tutkitaan puustotunnusten luotettavuuden avulla, on vaikea tulkita virheiden vaikutusta metsikön toimenpideehdotusten ja sitä kautta metsäsuunnitelman luotettavuuteen. Ojansuun ym. (2002) tutkimuksessa tarkasteltiin inventoinnin, aineistonmuodostuksen sekä kasvumallien ja muiden mallien virheiden vaikutusta männiköiden ensiharvennuskypsytyden arvioinnissa. Suutarlan (1985) tutkimuksessa selvitettiin kuvioittaisen inventoinnin tietojen päivitystä ja sen luotettavuutta kuviotietojen ajantasalla pitämiseksi.

Myös kaukokartoitusmenetelmien käyttöä on kehitetty toimenpideehdotusten tuottamisessa (Muinonen 1988, Anttila 2002, Hyvönen 2002). Hyvönen (2002) tutkimuksessa käsiteltiin k-lähimmän naapurin menetelmän käyttöä metsiköiden toimenpideehdotusten tuottamisessa satelliittikuvilta. Tarkastelussa tuotettuja toimenpideehdotuksia verrattiin maastossa tuotettuihin toimenpideehdotuksiin.

Laskennallisesti ajantasaistetussa kuvioaineistossa esiintyy virheitä, jotka johtuvat lähtöaineiston virheistä ja ajantasaisuudessa käytettyjen mallien

Taulukko 1. Tutkimusaineiston metsiköiden ja puusto-ositteiden keskitunnusten jakaumia kuvaavat tunnuksat sekä metsiköiden ja puusto-ositteiden lukumäärät ikäluokittain. Käytetyt muuttujat: Ikä = metsikön/puusto-ositteen ikä, PPA = pohjapinta-ala, d_{gM} = pohjapinta-alamediaanipuun läpimitta, h_{gM} = pohjapinta-alamediaanipuun pituus.

		Mäntyositteet	Kuusiositteet	Lehtipuuositteet	Metsikkö	
Lukumäärä		258	159	188	274	
Ikä, a	minimi	9	12	12	9	
	maksimi	114	123	123	123	
	keskiarvo	58,5	60,4	65,6	57,5	
	keskihajonta	28,3	27,7	26,9	28,4	
PPA, m ² /ha	minimi	0,2	0,1	0,1	0,2	
	maksimi	25,6	27,4	11,2	29,4	
	keskiarvo	9,3	5,3	1,2	12,7	
	keskihajonta	5,6	6,8	1,4	6,7	
d_{gM} , cm	minimi	2,4	1,9	2,4	1,9	
	maksimi	33,2	28,0	40,3	25,1	
	keskiarvo	14,0	13,2	11,4	13,2	
	keskihajonta	6,1	5,9	5,8	5,4	
h_{gM} , m	minimi	2,3	1,9	3,2	1,9	
	maksimi	23,7	20,5	20,1	20,2	
	keskiarvo	10,2	10,4	9,7	9,9	
	keskihajonta	4,6	4,4	3,7	4,4	
			Ikäluokka			
		0–20	20–40	40–60	60–80	80+
Lukumäärä		31	61	55	59	68

virheistä. Lähtöaineiston virheet puolestaan voivat johtua joko mittausvirheistä tai malleista, joita käytetään lähtöaineiston muodostamiseen mittaus-tiedoista.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten eri virhelähteet vaikuttavat MELA-simuloinneilla tuotettuihin toimenpide-ehdotuksiin ja puustotunnusten ajantasaistuksen luotettavuuteen. Tutkimuksessa tarkasteltuja virhelähteitä ovat aineistonmuodostus, mittausvirheet ja ajantasaistus. Tutkimuksessa keskitytään ensimmäisen suunnittelukauden (5 vuotta) toimenpidetarpeisiin tilanteissa, joissa lähtöaineistoja on ajantasaistettu kasvumallien avulla viisi tai kymmenen vuotta. Lisäksi tarkastellaan aineistonmuodostuksen ja lähtöaineiston virheiden vaikutusta toimenpide-ehdotuksiin tuoreessa inventointiaineistossa. Tutkimuksessa ei tarkastella laskennallisesti tuotetun ja maastossa todetun toimenpidetarpeen yhteneväisyyttä vaan kaikki tarkasteluissa mukana olevat toimenpide-ehdotukset on tuotettu laskennallisesti eri tasoista puustotunnuksista.

2 Aineisto

Tutkimusaineistona käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen pysyviä kasvukoealoja koko Suomen alueelta, ns. INKA-aineistoa (Gustavsen ym. 1988). Koemetsiköistä on mitattu kolmesta ympyräkoelasta koostuva ryväs, jonka yhteenlaskettu puiden lukumäärä on vähintään 100 (Pohjois-Suomessa) tai 120 (Etelä-Suomessa). Koalojen kaikilta puilta on merkitty ylös puulaji ja läpimitta, lisäksi osalta koalan puusta on mitattu pituus. Koalat on mitattu kolme kertaa viiden vuoden välein. Myös mittausten välillä tehdyt toimenpiteet on merkitty ylös. Kunkin metsikön koalat yhdistettiin kuvaamaan tätä metsikköä. Aineistosta rajattiin pois metsiköt, joissa

- 1) metsikön kaikista koaloista ei löytynyt kolmea mittauskertaa,
- 2) puustotunnusten perusteella oli toimenpidetarve jo ensimmäisen mittauskerran ajankohdalla tai
- 3) ensimmäisen ja kolmannen mittauskerran välillä oli tehty puustoon vaikuttavia toimenpiteitä.

Taulukko 2. Tarkistusmittausaineiston metsikkötunnusten keskivirheet ja harhat ikäluokittain. V = puuston keskitilavuus, muut merkinnät kuten taulukossa 1. Suluissa suhteelliset virheet ja harhat prosentteina.

		0–20	20–40	Ikäluokka 40–60	60–80	80+	Kaikki
Lukumäärä		20	363	197	199	209	988
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	2,9 (20,0)	3,8 (21,1)	3,7 (18,7)	3,9 (17,7)	4,2 (19,0)	3,9 (19,4)
	Harha	-0,5 (-3,6)	-0,1 (-0,6)	0,2 (1,0)	0,8 (3,8)	1,5 (6,7)	0,5 (2,4)
d _{GM} (cm)	Keskivirhe	1,7 (14,4)	1,8 (12,7)	2,1 (12,1)	2,9 (12,5)	2,9 (11,3)	2,4 (12,5)
	Harha	0,4 (3,7)	0,7 (5,1)	0,6 (3,2)	0,3 (1,5)	0,2 (0,7)	0,5 (2,6)
h _{GM} (m)	Keskivirhe	1,4 (14,1)	2,0 (17,2)	2,5 (16,5)	2,7 (13,9)	2,6 (13,1)	2,4 (15,2)
	Harha	-0,1 (-0,6)	0,02 (0,2)	0,04 (0,3)	-0,1 (-0,8)	0,3 (1,3)	0,04 (0,3)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	18,1 (24,0)	30,0 (27,3)	38,4 (26,1)	43,0 (21,1)	47,4 (22,6)	38,5 (24,6)
	Harha	-0,4 (-0,6)	-1,9 (-1,7)	0,8 (0,5)	2,7 (1,3)	11,0 (5,2)	2,3 (1,5)

Näin rajattuun INKA-aineistoon jäi 274 metsikköä. Taulukossa 1 on esitetty tutkimusaineiston keskitunnuksia.

Mittausvirhetarkastelussa käytettiin INKA-aineiston lisäksi Stora Enso Oyj:n metsien inventoinnissa kerättyä Solmu-muotoisen kuvioittaisen arvioinnin tarkistusmittausaineistoa. Aineiston kuvioille oli tehty tavanomainen suunnitteluinventointi sekä tarkistusinventointi. Tarkistusinventoinnissa kuviolla oli keskimäärin 5,2 kiinteäsäteistä koealaa, joilla kasvavat puut oli mitattu. Tarkistusmittausaineistosta valittiin kangasmaiden metsiköt, joita oli 988 kpl. Taulukossa 2 on esitetty koealamittauksista laskettujen puuston keskitunnuksien ja kuvioittain arvioitujen keskitunnuksien poikkeamien jakaumatunnuksia.

3 Menetelmät

3.1 Aineiston käsittely

Lähtöaineistona käytettiin puittaisia mittaustietoja, puittaisista mittauksista johdettuja ns. Solmu-muotoisia puusto-ositteittaisia keskitunnuksia (keskiläpimitta, runkoluku, pohjapinta-ala, keskipituus, ikä) ja puittaisista mittauksista johdettuja ns. Taso-muotoisia metsikköittäisiä puuston keskitunnuksia. Solmu- ja Taso-muotoiset puuston keskitunnuksien johdettiin summaamalla puittain mitattujen tunnuksien arvoja sekä laskemalla niistä keskiarvoja. Keskiläpimittaa, -pituutta ja -ikää laskettaessa puittaisia arvoja painotettiin puun pohjapinta-alalla. Käytettäessä Taso-muotoista aineistoa MELA-simulointien lähtö-

aineistona on Taso-muotoinen aineisto muutettava Solmu-muotoiseksi. Tämä muunnos tehtiin yleistämällä kuvion keskipuun tunnuksia kunkin puusto-ositteen keskipuun tunnuksiksi ja jakamalla kuvion pohjapinta-ala ja runkoluku kunkin puusto-ositteen suhteellisella osuudella ositteiden pohjapinta-alan ja runkoluvun saamiseksi.

Metsikkötason aineistoista tuotettiin pohjapinta-alajakaumaan perustuvat kuvauspuut MELA-ohjelmistolla (Redsven ym. 2002). Aineistonmuodostuksen vaiheita olivat metsikön puusto-ositteiden läpimitta- tai pituusjakauman tuottaminen jakaumamalleilla, kuvauspuiden pituuden tai läpimitan ja kuvauspuiden biologisen iän ja rinnankorkeus- iän ennustaminen (Maltamo ym. 2002). Puusto-osite kuvattiin läpimittajakaumalla, kun ositteen läpimitta oli vähintään 5 cm, ja muutoin käytettiin pituusjakaumaa. Läpimittajakauman kuvauspuiden pituudet ennustettiin puulajeittain Veltheimin (1987) pituusmalleilla ja niitä kalibroitiin puusto-ositteen pohjapinta-alamediaanipuun pituudella. Lähtöaineistojen kehityksen simuloinneissa puutason kasvumalleilla (Hynynen ym. 2002) kasvatettiin joko empiirisiä lukupuita tai metsikkötason aineistoista generoituja kuvauspuita.

Metsikön toimenpide-ehdotukset tuotettiin MELA-ohjelmistolla ensimmäiselle viisivuotiskaudelle. Toimenpide-ehdotuksia muodostettaessa kullekin metsikölle simuloitiin käsittely heti, kun se oli Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänkäsitte-lysuositusten (Hyvän metsänhoidon suositukset 2001) mukaan mahdollista. Hakkuuvaihtoehtoina olivat harvennukset, avo-, siemenpuu- ja suoju- puuhakkuut sekä ylispuiden poisto.

3.2 Aineistonmuodostuksen aiheuttaman virheen tarkastelu

Tutkimuksessa tarkasteltiin aineistonmuodostuksen vaikutusta toimenpide-ehdotuksiin. Vertailukohteina olivat puittaisesta inventointitiedosta ja generoiduista virheettömistä Solmu-muotoisista ja Taso-muotoisista metsikkötason aineistoista tuotetut toimenpide-ehdotukset ensimmäiselle viisivuotiskaudelle. Metsikkötason aineistonmuodostus tehtiin MELA-ohjelmistolla. Puusto-ositteiden läpimittajakaumien ennustamisessa puusto- ja kasvupaikkatunnuksista käytettiin kuuselle Kilkin ym. (1989) ja muille puulajeille Mykkäsen (1986) Weibull-jakaumamalleja.

Tarkasteluajankohtana olivat kaikki INKA-aineiston mittausajankohdat. Kunkin metsikön ”todellisenä toimenpidetarpeena” pidettiin puittaisesta inventointitiedosta MELA-ohjelmistolla tuotettuja, harvennushalleihin ja uudistamisrajoihin perustuvia toimenpidetarpeita.

3.3 Mittausvirheiden ja aineistonmuodostuksen aiheuttaman virheen tarkastelu

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös mittausvirheiden ja aineistonmuodostuksen vaikutusta toimenpide-ehdotuksiin. Vertailun kohteina olivat puittainen inventointitieto ja Solmu-muotoinen aineisto, johon oli generoitu mittausvirhettä. Tarkasteluajankohtana olivat kaikki INKA-aineiston mittausajankohdat ilman ajantasaistusta. Mittausvirheiden ja aineistonmuodostuksen vaikutusta toimenpide-ehdotuksiin selvitettiin vertaamalla keskenään puittaisesta aineistosta ja generoiduista Solmu-aineistoista saatuja toimenpide-ehdotuksia ensimmäiselle viisivuotiskaudelle.

Mittausvirhettä sisältävät Solmu-muotoiset lähtötiedot generoitiin kullekin aineiston mittausajankohdalle k-lähimmän naapurin menetelmällä. INKA-aineiston koealametsiköiden puustotunnuksiin generoitiin satunnaisia mittausvirheitä, jotka saatiin hakemalla kullekin kohdemetsikölle tarkistusmittausaineistosta ”lähin naapuri” eli puusto- ja metsikkötunnuksiltaan lähinnä samanlainen metsikkö. Normalisoitua keskiläpimittaa, metsikön pohjapinta-alaa ja pohjapinta-alalla painotettuja puulaji-

suhteita käytettiin lähimpien naapurien haussa etäisyysfunktion muuttujina. Lähimmän naapurin puustotunnuksen havaitut mittausvirheet kopioitiin INKA-aineiston kohdemetsikön puustotunnuksiin.

Edellä kuvatulla virheiden generoinnilla tuotettiin jokaiselle mittausajankohdalle kullekin metsikölle 10 lähimmän naapurin arviointivirheet.

3.4 Ajantasaistuksen aiheuttaman virheen tarkastelu

Ajantasaistuksen vaikutusta toimenpide-ehdotuksiin selvitettiin vertaamalla kasvatetuista puittaisista inventointitiedoista tuotettuja toimenpide-ehdotuksia ajantasaisista puittaisista inventointitiedoista tuotettuihin toimenpide-ehdotuksiin. Toimenpide-ehdotukset tuotettiin ensimmäiselle viisivuotiskaudelle. Metsiköiden kehitys simuloitiin MELA-ohjelmiston (Hynynen ym. 2002, Redsvén ym. 2002) kasvu- ja kehitysmalleilla 5 tai 10 vuotta eteenpäin. Vertailun kohteina olivat:

- puittainen ajantasainen inventointitieto mittausajankohdissa 2 ja 3,
- mittausajankohdan 1 puittainen inventointitieto kasvatettuna 5 tai 10 vuotta ja
- mittausajankohdan 2 puittainen inventointitieto kasvatettuna 5 vuotta.

Lisäksi selvitettiin metsikkötunnuksen keskivirhe ja harha viiden tai kymmenen vuoden kasvatuksen jälkeen.

3.5 Aineistonmuodostuksen ja ajantasaisuuden aiheuttaman virheen tarkastelu

Tutkimuksessa selvitettiin myös, mitä vaikutusta aineistonmuodostuksella ja ajantasaistuksella on toimenpide-ehdotuksiin. Vertailun kohteina olivat tällöin:

- puittainen inventointitieto mittausajankohdissa 2 ja 3,
- mittausajankohdasta 1 lähtien viisi tai 10 vuotta ajantasaistettu Solmu-muotoinen aineisto,
- mittausajankohdasta 1 lähtien viisi tai 10 vuotta ajantasaistettu Taso-muotoinen aineisto,
- mittausajankohdasta 2 lähtien viisi vuotta ajantasaistettu Solmu-muotoinen aineisto ja

- mittausajankohdasta 2 lähtien viisi vuotta ajantasaistettu Taso-muotoinen.

Vertailut toimenpide-ehdotukset tuotettiin ensimmäiselle viisivuotiskaudelle. Lisäksi selvitettiin metsikkötunnusten keskivirhe ja harha viiden ja kymmenen vuoden kasvatuksen jälkeen Solmu- ja Taso-muotoisilla aineistoilla.

3.6 Mittausvirheiden, aineiston muodostuksen ja ajantasaistuksen aiheuttaman virheen tarkastelu

Tutkimuksessa selvitettiin myös mittausvirheiden, aineistonmuodostuksen ja ajantasaistuksen yhteisvaikutusta MELA-simuloituihin toimenpide-ehdotuksiin. Tällöin vertailun kohteena olivat:

- puittainen inventointitieto mittausajankohdissa 2 ja 3
- mittausajankohdasta 1 generoitu mittausvirheet sisältävä Solmu-muotoinen aineisto kasvatettuna 5 tai 10 vuotta ja
- mittausajankohdasta 2 generoitu mittausvirheet sisältävä aineisto kasvatettuna 5 vuotta.

Vertailut toimenpide-ehdotukset tuotettiin ensimmäiselle viisivuotiskaudelle. Lisäksi selvitettiin metsikkötunnusten keskivirhe ja harha viiden tai kymmenen vuoden kasvatuksen jälkeen mittausvirheen sisältävässä Solmu-muotoisessa aineistossa.

3.7 Puustotunnusten ajantasaistuksen luotettavuuden tarkastelu

Eri lähtöaineistojen ajantasaistuksen luotettavuutta tarkasteltiin myös ajantasaistettujen puustotunnusestimaattien luotettavuuden avulla. Uusimpien mittausten mukaisten puustotunnusten ja ajantasaistettujen puustotunnusten erotuksista laskettiin keskiarvo (harha) ja hajonta (keskivirhe) (kaavat 1 ja 2). Harhaa ja keskivirhettä tarkasteltiin myös suhteellisena jakamalla harha ja hajonta ennusteen keskiarvolla.

$$\text{Harha} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (1)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

y_i = tunnuksen y todellinen arvo puusto-ositteella/metsikössä i

\hat{y}_i = tunnuksen y ennustettu arvo puusto-ositteella/metsikössä i

n = havaintojen lukumäärä

4 Tulokset

4.1 Aineistonmuodostuksesta aiheutuva virhe

Taulukossa 3 on tarkasteltu, mitä vaikutusta aineistonmuodostuksessa syntyvillä virheillä on toimenpide-ehdotuksiin Taso- tai Solmu-muotoista metsikköaineistoa käytettäessä. Tarkastelu on tehty INKA-aineiston kullakin mittauskerralla. Solmu- ja Taso-muotoisista lähtöaineistoista tuotetut toimenpide-ehdotukset ensimmäiselle viisivuotiskaudelle erosivat jonkin verran puittaisista aineistoista tuotetuista toimenpide-ehdotuksista jokaisella mittauskerralla. Toimenpide-ehdotusten oikeinluokitus-% vaihteli 91,6%:sta 94,5%:iin. Aineistonmuodostuksessa syntyvät virheet aiheuttivat sen, että harvennusehdotuksia tuli aineiston metsiköille jonkin verran vähemmän kuin puittaisilla inventointiaineistoilla. Ero oli kuitenkin pieni. Solmu- ja Taso-muotoiset metsikköaineistot olivat tarkastelussa lähes samanveroisia.

4.2 Mittausvirheistä ja aineistonmuodostuksesta aiheutuva virhe

Taulukossa 4 on tarkasteltu mittausvirheen ja aineistonmuodostuksessa syntyvän virheen yhteisvaikutusta toimenpide-ehdotuksiin. Tämäkin tarkastelu on tehty INKA-aineiston kaikilla kolmella mittauskerralla. Ensimmäisen mittauskerran Solmu-muotoisessa aineistossa, johon oli generoitu kuvioittaisen arvioinnin virhettä, tuli harvennus-tarpeita 25% enemmän kuin puittaisilla virheet-

Taulukko 3. Aineistonmuodostuksesta aiheutuvien virheiden vaikutus toimenpide-ehdotuksiin: lepo-, harvennus- ja uudistamiskuvioiden määrä, kun toimenpide-ehdotukset on tuotettu Solmu- tai Taso-muotoisista aineistoista tai puittaisesta inventointiaineistosta INKA-aineiston eri mittauskerroilla. Ei ajantasaistusta.

	Puittainen inventointiaineisto			Yhteensä
	Lepo	Harvennus	Uudistaminen	
SOLMU				
1. mittauskerta				
– Lepo	229	2	5	236
– Harvennus	3	8	0	11
– Uudistaminen	6	2	19	27
– Yhteensä	238	12	24	274
Oikeinluokitus-%	96,2	66,7	79,2	93,4
2. mittauskerta				
– Lepo	177	9	1	187
– Harvennus	2	34	0	36
– Uudistaminen	2	1	48	51
– Yhteensä	181	44	49	274
Oikeinluokitus-%	97,8	77,3	97,8	94,5
3. mittauskerta				
– Lepo	130	12	1	143
– Harvennus	3	74	0	77
– Uudistaminen	5	2	47	54
– Yhteensä	138	88	48	274
Oikeinluokitus-%	94,2	84,1	97,9	91,6
TASO				
1. mittauskerta				
– Lepo	225	3	3	231
– Harvennus	3	9	0	12
– Uudistaminen	10	0	21	31
– Yhteensä	238	12	24	274
Oikeinluokitus-%	94,5	75,0	87,5	93,1
2. mittauskerta				
– Lepo	177	10	0	187
– Harvennus	2	33	0	35
– Uudistaminen	2	1	49	52
– Yhteensä	181	44	49	274
Oikeinluokitus-%	97,8	75,0	100,0	94,5
3. mittauskerta				
– Lepo	128	11	0	139
– Harvennus	5	76	0	81
– Uudistaminen	5	1	48	54
– Yhteensä	138	88	48	274
Oikeinluokitus-%	92,8	86,4	100,0	92,0

tömillä inventointitiedoilla. Kuitenkin toisen ja kolmannen mittauskerran Solmu-muotoisissa aineistoissa harvennustarpeita tuli vähemmän kuin puittaisella inventointiaineistoilla. Harvennus- ja

Taulukko 4. Aineistonmuodostuksesta aiheutuvan virheen ja mittausvirheen yhteisvaikutus toimenpide-ehdotuksiin: lepo-, harvennus- ja uudistamiskuvioiden määrä, kun toimenpide-ehdotukset on tuotettu Solmu-muotoisista aineistoista tai puittaisesta inventointiaineistosta INKA-aineiston eri mittauskerroilla. Kullekin kuviolelle on tuotettu 10 toimenpide-ehdotusta generoiden jokaisella kerralla erilaiset virheet Solmu-muotoisen aineiston keskitunnuksiin. Ei ajantasaistusta.

	Puittainen inventointitieto			Yhteensä
	Lepo	Harvennus	Uudistaminen	
SOLMU				
1. mittauskerta				
– Lepo	2005	54	65	2124
– Harvennus	94	54	2	150
– Uudistaminen	281	12	173	466
– Yhteensä	2380	120	240	2740
Oikeinluokitus-%	84,2	45,0	72,1	81,5
2. mittauskerta				
– Lepo	1564	155	70	1789
– Harvennus	115	251	6	372
– Uudistaminen	131	34	414	579
– Yhteensä	1810	440	490	2740
Oikeinluokitus-%	86,4	57,0	84,5	81,4
3. mittauskerta				
– Lepo	1116	239	33	1388
– Harvennus	145	535	10	690
– Uudistaminen	119	106	437	662
– Yhteensä	1380	880	480	2740
Oikeinluokitus-%	80,9	60,8	91,0	76,2

uudistamishdotusten vastaavuus parani ensimmäisestä mittauskerrasta kolmanteen. Mittausvirheillä ja aineistonmuodostuksella oli huomattava vaikutus toimenpide-ehdotuksiin – oikeinluokitus-% huononi 11–15 %-yksikköä verrattuna tilanteeseen, jossa oli vain aineistonmuodostuksen virhe.

Mittausvirheiden generointi ja aineiston muodostusvirhe aiheuttivat yhdessä taulukossa 5 esitetyt keskivirheet puuston keskitunnusestimaatteihin. Ikäluokittainen tarkastelu osoittaa, että absoluuttiset virheet kasvavat iän myötä ja suhteelliset virheet pienentyvät kuten tarkistusmittausaineistossakin (vrt. taulukko 2). Virheiden generointi tuotti metsikön pohjapinta-alan pienen yliarvion, joka väheni siirryttäessä nuorimmasta ikäluokasta vanhimpaan. Samanlainen trendi oli havaittavissa myös tarkistusmittausaineistossa, tosin vanhemmissa ikäluokissa

Taulukko 5. Aineiston muodostuksesta aiheutuvan virheen ja mittausvirheen yhteisvaikutus puustotunnuksiin ikäluokittain: puustotunnusten keskivirheet ja harhat, suluissa suhteelliset virheet ja harhat prosentteina. Merkinnot kuten taulukoissa 1 ja 2.

		0–20	20–40	Ikäluokka 40–60	60–80	80+	Kaikki
1. mittauskerta							
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	1,4 (27,4)	2,4 (22,0)	2,7 (19,2)	2,7 (17,6)	3,0 (18,4)	2,6 (19,7)
	Harha	-0,6 (-10,7)	-0,7 (-6,1)	-0,5 (-3,2)	-0,3 (-2,1)	-0,3 (-2,1)	-0,5 (-3,4)
d _{gM} (cm)	Keskivirhe	1,1 (17,7)	1,5 (15,7)	1,5 (11,7)	2,0 (13,4)	2,3 (13,2)	1,8 (14,0)
	Harha	0,2 (2,9)	0,4 (4,3)	0,6 (5,0)	0,3 (1,9)	0,0 (0,0)	0,3 (2,3)
h _{gM} (m)	Keskivirhe	0,8 (16,9)	1,4 (19,5)	1,9 (18,5)	2,0 (16,2)	2,4 (17,6)	1,9 (18,3)
	Harha	-0,03 (-0,6)	0,03 (0,5)	-0,04 (-0,3)	-0,1 (-0,8)	-0,4 (-3,2)	-0,1 (-1,3)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	5,4 (31,9)	14,2 (30,8)	24,2 (28,8)	26,5 (26,0)	27,1 (24,3)	22,5 (28,3)
	Harha	-1,8 (-10,4)	-3,1 (-6,6)	-2,9 (-3,4)	-5,0 (-4,9)	-6,3 (-5,7)	-4,1 (-5,2)
2. mittauskerta							
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	2,4 (21,2)	2,9 (18,0)	3,1 (17,4)	3,0 (16,6)	3,1 (17,9)	3,0 (17,8)
	Harha	-0,7 (-6,1)	-0,6 (-3,5)	-0,5 (-2,9)	-0,4 (-2,3)	-0,1 (-0,7)	-0,4 (-2,5)
d _{gM} (cm)	Keskivirhe	1,1 (13,1)	1,5 (13,8)	1,6 (11,5)	2,2 (13,3)	2,4 (13,2)	1,9 (13,4)
	Harha	0,3 (3,6)	0,6 (5,5)	0,6 (4,4)	0,2 (1,3)	-0,1 (-0,6)	0,3 (2,2)
h _{gM} (m)	Keskivirhe	1,1 (17,2)	1,6 (18,2)	2,0 (17,7)	2,3 (17,6)	2,4 (16,8)	2,0 (17,9)
	Harha	-0,1 (-1,1)	-0,03 (-0,3)	-0,1 (-0,7)	-0,2 (-1,6)	-0,5 (-3,6)	-0,2 (-1,8)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	11,7 (26,1)	20,9 (26,3)	28,3 (25,1)	31,6 (25,3)	29,8 (24,0)	26,6 (25,8)
	Harha	-3,2 (-7,1)	-3,9 (-4,9)	-3,2 (-2,9)	-7,9 (-6,3)	-5,0 (-4,0)	-4,8 (-4,7)
3. mittauskerta							
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	2,9 (16,4)	3,1 (15,0)	3,2 (15,7)	3,1 (15,6)	3,5 (18,1)	3,2 (16,2)
	Harha	-0,7 (-3,9)	-0,4 (-1,9)	-0,2 (-1,0)	-0,1 (-0,6)	0,1 (0,5)	-0,2 (-1,1)
d _{gM} (cm)	Keskivirhe	1,3 (11,9)	1,7 (13,3)	1,8 (11,8)	2,1 (12,3)	2,6 (13,9)	2,0 (13,1)
	Harha	0,4 (3,6)	0,7 (5,4)	0,7 (4,7)	0,3 (1,8)	0,2 (1,0)	0,5 (3,0)
h _{gM} (m)	Keskivirhe	1,4 (15,6)	2,3 (21,0)	2,1 (16,6)	2,1 (15,6)	2,4 (16,5)	2,1 (17,3)
	Harha	-0,1 (-0,7)	0,0 (0,0)	0,1 (1,1)	-0,03 (-0,2)	-0,2 (-1,1)	-0,02 (-0,2)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	21,9 (25,0)	28,6 (23,9)	31,8 (22,5)	31,7 (22,4)	32,9 (23,7)	30,4 (23,4)
	Harha	-5,6 (-6,4)	-4,5 (-3,7)	-1,7 (-1,2)	-2,2 (-1,5)	-3,5 (-2,5)	-3,3 (-2,5)

tuli jo selvä pohjapinta-alan aliarvio. Pohjapinta-alalle saatu yliarvio johtui männyn suuresta osuudesta generoidussa aineistossa, koska referenssiaineistona käytetyssä tarkistusmittausaineistossa männyn pohjapinta-ala yliarvioitiin.

4.3 Ajantasaistuksesta aiheutuva virhe

Ajantasaistuksen vaikutusta toimenpide-ehdotuksiin tutkittiin vertaamalla ajantasaistetuista puittaisista aineistoista johdettuja toimenpidetarpeita tuoreilla puittaisilla aineistoilla saatuihin toimenpide-ehdotuksiin. Ajantasaistus vaikutti eniten harvennustarpeen arvioon (taulukko 6). Kun tarkasteluparina oli ensimmäisestä mittauskerrasta toiseen mittauskertaan ajantasaistetuista tiedoista johdetut harven-

nusehdotukset ja toisen mittauskerran mittauksista johdetut harvennusehdotukset, harvennusehdotusten kokonaismäärä tuli ajantasaistetuilla tiedoilla jonkin verran pienemmäksi kuin tuoreilla puittaisilla tiedoilla. Muissa tarkasteluissa ajantasaistus ei vaikuttanut harvennusten kokonaismäärään. Harvennusten oikeinluokitus-% vaihteli 85,2 %:sta 87,5 %:iin. Ajantasaistusjakson pidentyminen 5 vuodesta 10 vuoteen heikensi jonkin verran harvennustarvearvioiden luotettavuutta: ajantasaistettaessa 1. mittauskerran puittaisia tietoja 5 vuotta 16 kuviolle tuli eri toimenpide-ehdotus kuin käyttämällä 2. mittauskerran puittaisia inventointitietoja, ja 10 vuoden ajantasaistuksen jälkeen toimenpide-ehdotuksiltaan eroavien kuvioiden määrä kasvoi 34:ksi.

Ajantasaistusjakson pituudella oli selvä vaikutus myös pohjapinta-alaestimaatin luotettavuuteen

Taulukko 6. Viiden ja kymmenen vuoden ajantasaistuksen vaikutus toimenpide-ehdotuksiin: lepo-, harvennus- ja uudistamiskuvioiden määrä, kun toimenpide-ehdotukset on tuotettu 5 tai 10 vuotta kasvatetuista puittaisista mitaustiedoista tai tuoreista puittaisista mitaustiedoista.

	Lepo	Harvennus	Uudistaminen	Yhteensä
Puittainen inventointitieto 2. mittauskerta				
1. mitt.kerta, ajantas. 5 v				
– Lepo	177	10	2	189
– Harvennus	2	34	0	36
– Uudistaminen	2	0	47	49
– Yhteensä	181	44	49	274
Oikeinluokitus-%	97,8	77,3	95,9	94,2
Puittainen inventointitieto 3. mittauskerta				
2. mitt.kerta, ajantas. 5 v				
– Lepo	125	10	0	135
– Harvennus	10	77	0	87
– Uudistaminen	3	1	48	52
– Yhteensä	138	88	48	274
Oikeinluokitus-%	90,6	87,5	100,0	91,2
1. mitt.kerta, ajantas. 10 v				
– Lepo	117	11	0	128
– Harvennus	14	75	0	89
– Uudistaminen	7	2	48	57
– Yhteensä	138	88	48	274
Oikeinluokitus-%	84,8	85,2	100,0	87,6

nuorissa ikäluokissa. 10 vuoden ajantasaistuksen jälkeen pohjapinta-alaestimaatin keskivirhe oli kaksinkertainen 5 vuoden ajantasaistuksen jälkeisen pohjapinta-alaestimaatin keskivirheeseen verrattuna (taulukko 7). Varttuneissa ikäluokissa pohjapinta-alan suhteelliset virheet olivat pienempiä kuin nuorissa ikäluokissa. Keskiläpimitan ja -pituuden ajantasaistuksen virheet olivat melko samansuuruisia kaikissa ikäluokissa. Pohjapinta-alan kasvun ennustamisessa saatiin lähes kaikissa ikäluokissa yliarvio viiden vuoden ajantasaistusajalla, ja kymmenen vuoden ajantasaistuksessa kaikissa ikäluokissa tuli yliarvio. Ensimmäisen ja toisen mittauskerran välillä keskiläpimitan kasvu yliarvioitiin muilla ikäluokilla paitsi luokassa 0–20 vuotta. Toisen ja kolmannen sekä ensimmäisen ja kolmannen mittauskerran välisissä ajantasaistuksissa saatiin keskiläpimitasta aliarvio. Pituuskasvu yliarvioitiin vanhemmissa ikäluokissa ja aliarvioitiin nuoremmassa ikäluokissa. Puulajeittaisessa tarkastelussa männyn pohjapinta-alan kasvulle tuli yliarvio, ja kuusen ja koivun

pohjapinta-alan kasvulle tuli aliarvio. Kymmenen vuoden ajantasaistusajalla männyn pohjapinta-ala yliarvioitiin 0,7 m²/ha (4,7 %) ja kuusen pohjapinta-ala aliarvioitiin 0,1 m²/ha (0,6 %). Keskipituuden kasvu aliarvioitiin männyllä ja kuusella ja yliarvioitiin koivulla.

4.4 Aineistonmuodostusvirheen ja ajantasaistusvirheen yhteisvaikutus

Aineistonmuodostuksesta ja ajantasaistuksesta aiheutuvien virheiden yhteisvaikutusta toimenpide-ehdotuksiin tutkittiin vertaamalla ajantasaistetuilla Solmu- ja Taso-muotoisilla aineistoilla tuotettuja toimenpide-ehdotuksia tuoreella puittaisella inventointitiedolla tuotettuihin toimenpide-ehdotuksiin. Solmu- ja Taso-muotoisten aineistojen välillä ei ollut merkittäviä eroja toimenpide-ehdotusten vastaavuudessa (taulukko 8). Toimenpide-ehdotuksista harvennusten vastaavuus oli heikointa. Puittaisista ajantasaistetuista aineistoista tuotettujen toimenpide-ehdotusten oikeinluokitus-% oli 4–7 %-yksikköä parempi kuin Solmu- tai Taso-muotoisista ajantasaistetuista aineistoista tuotettujen toimenpide-ehdotusten oikeinluokitus-%.

Solmu- ja Taso-muotoisia aineistoja ajantasaistettaessa pohjapinta-alaestimaattien keskivirheet olivat likimäärin samansuuruisia eri mittauskertojen aineistoissa 5 vuoden ajantasaistuksen jälkeen (taulukko 7). Pohjapinta-alan harhatkin olivat Taso- ja Solmu-muotoisilla aineistoilla samansuuruisia. Nuorimman ikäluokan pohjapinta-ala yliarvioitiin Taso- ja Solmu-muotoisilla aineistoilla ajantasaistettaessa ensimmäisen mittauskerran metsikköaineistoja 5 vuotta. Pohjapinta-alasta saatiin aliarvio kaikissa ikäluokissa ajantasaistettaessa toisen mittauskerran metsikköaineistoja 5 vuotta ja ajantasaistettaessa ensimmäisen mittauskerran metsikköaineistoja 10 vuotta. Metsikön keskiläpimitan kasvu aliarvioitiin sekä Taso- että Solmu-muotoisella aineistoilla kaikissa ikäluokissa. Myöskään pituuskasvun ennustamisessa ei syntynyt suuria eroja Taso- ja Solmu-muotoisten aineistojen välille. Pituuskasvu yliarvioitiin vanhemmissa ikäluokissa.

Taso- ja Solmu-muotoisten aineistojen ajantasaistusten ero tuli esille puulajeittaisilla tuloksilla. Keskipituuden ja -läpimitan keskivirheet olivat selvästi

Taulukko 7. Aineiston muodostuksesta ja 5 tai 10 vuoden ajantasaistuksesta aiheutuvien virheiden yhteisvaikutus puustotunnusten luotettavuuteen ikäluokittain: puustotunnusten keskivirheet ja harhat, suluisa suhteelliset virheet ja harhat prosentteina. Merkinnät kuten taulukoissa 1 ja 2.

Metsikkötunnus	Aineisto	Ikäluokka					Kaikki	
		0–20	20–40	40–60	60–80	80+		
1. mittauskerta, ajantasaistus 5 vuotta								
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	Solmu	2,8 (25,7)	1,6 (10,4)	1,2 (7,4)	0,9 (5,2)	0,8 (4,6)	1,4 (9,0)
		Taso	2,9 (26,3)	1,5 (10,1)	1,3 (7,7)	0,9 (5,0)	0,9 (5,2)	1,5 (9,2)
		Puittainen	2,4 (22,8)	1,5 (9,2)	1,2 (7,1)	1,0 (5,5)	0,9 (5,1)	1,4 (8,3)
	Harha	Solmu	-0,3 (-2,5)	0,5 (3,3)	0,4 (2,2)	0,1 (0,6)	0,02 (0,1)	0,2 (1,1)
		Taso	-0,3 (-2,8)	0,5 (3,2)	0,4 (2,2)	0,1 (0,3)	-0,03 (-0,2)	0,1 (0,9)
		Puittainen	0,1 (0,6)	-0,4 (-2,6)	-0,1 (-0,6)	-0,3 (-1,5)	-0,3 (-1,5)	-0,2 (-1,4)
d _{gM} (cm)	Keskivirhe	Solmu	0,9 (10,8)	0,8 (6,5)	0,7 (4,7)	0,9 (5,6)	1,2 (6,3)	0,9 (6,3)
		Taso	1,0 (10,9)	0,6 (5,3)	0,7 (4,5)	0,8 (4,6)	0,8 (4,2)	0,7 5,1)
		Puittainen	1,1 (13,6)	0,5 (4,7)	0,5 (3,3)	0,5 (3,2)	0,6 (3,1)	0,6 (4,3)
	Harha	Solmu	0,2 (1,9)	-0,02 (-0,2)	0,1 (0,6)	-0,4 (-2,6)	-0,6 (-3,1)	-0,2 (-1,4)
		Taso	0,1 (0,9)	0,1 (0,5)	-0,01 (-0,06)	-0,4 (-2,1)	-0,3 (-1,9)	-0,1 (-1,0)
		Puittainen	0,5 (5,8)	-0,02 (-0,2)	-0,01 (-0,06)	-0,3 (-1,7)	-0,3 (-1,4)	-0,1 (-0,5)
h _{gM} (m)	Keskivirhe	Solmu	0,8 (12,0)	0,9 (10,1)	1,6 (13,9)	1,1 (8,5)	1,3 (9,7)	1,2 (10,8)
		Taso	0,8 (11,8)	0,9 (9,9)	0,9 (8,6)	1,2 (8,9)	0,9 (6,8)	1,0 (8,6)
		Puittainen	0,7 (11,6)	0,8 (9,9)	0,9 (8,4)	1,2 (8,9)	1,1 (7,8)	1,0 (8,9)
	Harha	Solmu	-0,2 (-3,3)	0,2 (2,5)	0,1 (0,5)	-0,1 (-0,5)	-0,2 (-1,5)	-0,03 (-0,3)
		Taso	-0,2 (-3,0)	0,2 (2,5)	0,2 (2,1)	-0,05 (-0,4)	-0,05 (-0,4)	0,05 (0,4)
		Puittainen	-0,04 (-0,6)	0,3 (3,9)	0,2 (2,1)	-0,2 (-1,2)	-0,3 (-1,8)	0,02 (0,2)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	Solmu	11,9 (28,3)	9,4 (13,1)	10,8 (10,1)	7,7 (6,5)	8,5 (7,0)	9,5 (9,7)
		Taso	12,6 (29,7)	9,6 (13,4)	10,6 (10,1)	9,3 (7,8)	9,5 (7,8)	10,1 (10,3)
		Puittainen	9,4 (23,5)	7,3 (9,8)	7,5 (6,9)	7,3 (6,2)	7,2 (6,0)	7,6 (7,7)
	Harha	Solmu	-0,6 (-1,4)	3,7 (5,2)	3,1 (2,9)	-1,5 (-1,3)	-1,8 (-1,5)	0,6 (0,6)
		Taso	-1,0 (-2,4)	3,8 (5,3)	4,3 (4,1)	-2,4 (-2,0)	-1,7 (-1,4)	0,6 (0,7)
		Puittainen	1,3 (3,2)	0,9 (1,3)	2,0 (1,9)	-1,3 (-1,1)	-1,7 (1,4)	0,1 (0,1)
2. mittauskerta, ajantasaistus 5 vuotta								
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	Solmu	2,3 (13,5)	1,8 (9,3)	1,8 (9,0)	1,1 (5,8)	1,1 (6,1)	1,6 (8,4)
		Taso	2,5 (14,7)	1,8 (9,2)	1,8 (8,9)	1,1 (5,3)	1,2 (6,4)	1,6 (8,5)
		Puittainen	2,2 (12,3)	1,6 (7,6)	1,7 (8,2)	1,2 (6,0)	1,0 (5,1)	1,5 (7,5)
	Harha	Solmu	0,6 (3,3)	0,9 (4,4)	0,3 (1,5)	0,1 (0,7)	0,3 (1,8)	0,4 (2,2)
		Taso	0,5 (2,9)	0,8 (4,1)	0,3 (1,3)	0,1 (0,3)	0,2 (1,2)	0,4 (1,9)
		Puittainen	-0,7 (-3,7)	-0,2 (-0,9)	-0,2 (-1,2)	-0,2 (-1,2)	0,1 (0,4)	-0,2 (-1,0)
d _{gM} (cm)	Keskivirhe	Solmu	1,0 (8,7)	0,9 (6,8)	0,7 (4,6)	0,9 (5,0)	1,3 (6,8)	1,0 (6,2)
		Taso	0,9 (8,6)	0,9 (6,8)	0,8 (4,8)	0,7 (4,1)	0,8 (4,0)	0,8 (5,1)
		Puittainen	0,8 (6,7)	0,6 (4,5)	0,4 (2,7)	0,5 (3,0)	0,6 (3,2)	0,6 (3,6)
	Harha	Solmu	0,3 (2,9)	0,4 (3,3)	0,3 (1,7)	-0,2 (-1,3)	-0,7 (-3,5)	-0,03 (-0,2)
		Taso	0,3 (3,1)	0,5 (4,0)	0,3 (2,0)	-0,1 (-0,7)	-0,3 (-1,5)	0,1 (0,8)
		Puittainen	0,1 (0,8)	0,2 (1,8)	0,1 (0,5)	-0,2 (-1,3)	-0,3 (-1,5)	-0,04 (-0,2)
h _{gM} (m)	Keskivirhe	Solmu	0,9 (10,5)	1,6 (15,6)	1,6 (12,9)	1,3 (9,7)	1,3 (9,1)	1,4 (11,5)
		Taso	1,0 (11,7)	1,7 (16,6)	1,2 (10,2)	1,2 (8,9)	1,1 (7,7)	1,3 (10,6)
		Puittainen	0,9 (10,5)	1,6 (16,0)	1,3 (10,2)	1,1 (7,9)	1,0 (7,0)	1,2 (10,0)
	Harha	Solmu	0,5 (6,0)	0,4 (4,2)	0,4 (3,3)	-0,1 (-0,6)	-0,1 (-0,4)	0,2 (1,6)
		Taso	0,5 (6,3)	0,6 (5,9)	0,6 (4,8)	-0,02 (-0,2)	0,2 (1,4)	0,4 (2,9)
		Puittainen	0,3 (4,1)	0,5 (4,8)	0,4 (3,4)	-0,1 (-0,6)	-0,4 (-0,3)	0,2 (1,7)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	Solmu	14,2 (18,7)	15,6 (14,5)	12,2 (9,0)	14,1 (10,0)	10,6 (7,8)	13,3 (10,8)
		Taso	15,1 (19,9)	16,9 (15,8)	16,7 (12,3)	17,5 (12,4)	10,8 (8,0)	15,5 (12,5)
		Puittainen	10,6 (13,0)	13,5 (12,0)	10,7 (7,7)	9,6 (6,8)	6,7 (4,9)	10,3 (8,2)
	Harha	Solmu	6,4 (8,4)	7,6 (7,0)	4,0 (3,0)	-2,5 (-1,7)	0,1 (0,1)	2,7 (2,2)
		Taso	6,4 (8,4)	8,2 (7,7)	3,9 (2,8)	-2,2 (-1,5)	-0,1 (-0,1)	2,8 (2,3)
		Puittainen	0,8 (1,0)	3,0 (2,7)	1,5 (1,1)	-0,7 (-0,5)	0,7 (0,5)	1,1 (0,9)

Taulukko 7. jatkoa

Metsikkötunnus	Aineisto	Ikäluokka					Kaikki	
		0–20	20–40	40–60	60–80	80+		
1. mittauskerta, ajantasaistus 10 vuotta								
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	Solmu	4,8 (28,7)	3,1 (16,6)	2,5 (12,9)	1,9 (9,6)	1,6 (8,5)	2,7 (14,5)
		Taso	4,8 (28,5)	3,1 (16,3)	2,5 (12,7)	1,8 (9,2)	1,6 (8,2)	2,7 (14,2)
		Puittainen	4,6 (26,6)	2,9 (13,7)	2,7 (13,0)	2,0 (10,0)	1,6 (8,3)	2,7 (13,5)
	Harha	Solmu	0,4 (2,6)	1,5 (8,0)	0,7 (3,5)	0,3 (1,6)	0,4 (2,1)	0,7 (3,7)
		Taso	0,4 (2,6)	1,4 (7,4)	0,6 (3,2)	0,2 (1,0)	0,2 (1,1)	0,6 (3,1)
		Puittainen	-0,1 (-0,6)	-0,6 (-3,0)	-0,4 (-2,1)	-0,5 (-2,6)	-0,2 (-1,0)	-0,4 (-2,0)
d _{gM} (cm)	Keskivirhe	Solmu	1,5 (13,8)	1,3 (9,7)	1,0 (6,5)	1,2 (6,7)	1,5 (7,8)	1,3 (8,2)
		Taso	1,5 (13,7)	1,1 (8,3)	1,0 (6,3)	1,1 (6,2)	1,1 (5,8)	1,1 (7,1)
		Puittainen	1,7 (16,2)	1,0 (7,4)	0,9 (5,4)	0,9 (4,8)	1,0 (5,0)	1,0 (6,5)
	Harha	Solmu	0,6 (5,7)	0,3 (2,4)	0,2 (1,2)	-0,5 (-2,7)	-0,8 (-4,2)	-0,1 (-0,8)
		Taso	0,5 (4,6)	0,4 (2,9)	0,1 (0,9)	-0,4 (-2,4)	-0,5 (-2,5)	-0,04 (-0,3)
		Puittainen	0,6 (6,1)	0,1 (0,8)	0,02 (0,2)	-0,4 (-2,4)	-0,6 (-2,9)	-0,1 (-0,8)
h _{gM} (m)	Keskivirhe	Solmu	1,2 (14,7)	1,8 (18,5)	1,4 (11,9)	1,1 (7,9)	1,3 (9,3)	1,4 (11,8)
		Taso	1,4 (16,2)	1,9 (19,2)	1,5 (12,8)	1,1 (7,7)	1,2 (8,2)	1,4 (11,9)
		Puittainen	1,3 (16,7)	1,8 (18,2)	1,6 (12,8)	1,2 (8,9)	1,2 (8,5)	1,4 (12,0)
	Harha	Solmu	0,4 (4,4)	0,8 (7,7)	0,7 (6,0)	-0,1 (-0,5)	0,0 (0,0)	0,3 (2,8)
		Taso	0,3 (3,5)	0,8 (7,5)	0,8 (6,3)	-0,04 (-0,3)	0,2 (1,6)	0,4 (3,3)
		Puittainen	0,7 (9,4)	0,8 (7,9)	0,6 (5,2)	-0,1 (-0,6)	0,01 (0,1)	0,4 (3,1)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	Solmu	26,6 (35,0)	24,9 (24,6)	19,9 (15,2)	15,2 (11,0)	12,8 (9,6)	19,7 (16,4)
		Taso	27,3 (35,7)	24,9 (24,5)	20,2 (15,6)	15,6 (11,2)	12,6 (9,3)	19,9 (16,5)
		Puittainen	22,3 (28,7)	19,5 (17,5)	16,7 (12,3)	15,8 (11,2)	12,2 (8,9)	17,0 (13,6)
	Harha	Solmu	6,0 (7,9)	14,1 (13,9)	8,8 (6,8)	0,8 (0,6)	1,1 (0,8)	6,0 (5,0)
		Taso	5,5 (7,2)	13,7 (13,5)	9,6 (7,4)	-0,6 (-0,4)	0,3 (0,2)	5,6 (4,6)
		Puittainen	4,3 (5,5)	4,2 (3,7)	3,4 (2,5)	-2,2 (-1,6)	-1,1 (-0,8)	1,3 (1,1)

suurempia Taso-muotoisella aineistolla kuusella ja koivulla, jotka olivat aineistossa vallittuja puulajeja. Taso-muotoisella aineistolla männyn keskipituus- ja keskiläpimitta aliarvioitiin ja kuusella ja koivulla nämä tunnukset yliarvioitiin.

4.5 Mittausvirheiden, aineistonmuodostuksen virheiden ja ajantasaistusvirheiden yhteisvaikutus

Mittausvirheiden, aineistonmuodostuksen virheiden ja ajantasaistuksen virheiden yhteisvaikutusta toimenpide-ehdotuksiin tutkittiin Solmu-muotoisilla aineistoilla, joihin oli generoitu kuvioittaisen arvioinnin virhettä. Viiden vuoden ajantasaistuksen jälkeen harvennushakkuiden oikeinluokitus-% oli 48 % kun lähtöaineisto oli ensimmäisen mittauskerran aineisto (jota kasvatettiin toiseen mittauskertaan). Kun lähtöaineisto oli toisen mittauskerran aineisto (jota kasvatettiin kolmanteen mittauskertaan), viiden vuo-

den ajantasaistuksen jälkeen harvennushakkuiden oikeinluokitus-%:ksi tuli 61 %. Kymmenen vuoden ajantasaistuksen jälkeen (ensimmäisestä mittauskerrasta kolmanteen mittauskertaan) harvennushakkuiden oikeinluokitus-%:ksi saatiin 54 %.

Mittausvirheiden, aineistonmuodostuksen ja ajantasaistuksen vaikutusta tutkittiin myös tarkastelemalla puustotunnusten keskipirheitä ja harhoja. Pohjapinta-alan keskipirhe oli suurimmillaan nuorilla ikäluokilla, ja ikäluokassa 0–20 vuotta absoluuttisen keskipirheen kasvu oli selvästi suurinta (taulukko 10). Alkutilanteen pohjapinta-alan yliarvio muuttui päivytyksen myötä hitaasti aliarvioksi. Keskipituuden ja -läpimitan kasvu aliarvioitiin nuoremmissa ikäluokissa.

Taulukko 8. Aineiston muodostuksesta ja 5 tai 10 vuoden ajantasaistuksesta aiheutuvien virheiden vaikutus toimenpide-ehdotuksiin: lepo-, harvennus- ja uudistamiskuvioiden määrä, kun toimenpide-ehdotukset on tuotettu Solmu- tai Taso-muotoisista, 5 tai 10 vuotta ajantasaistetuista aineistoista tai puittaisista tuoreista mittaustiedoista.

	Lepo	Harvennus	Uudistaminen	Yhteensä
SOLMU				
Puittainen inventointitieto 2. mittauskerta				
1. mitt.kerta, ajantas. 5 v				
– Lepo	169	16	2	197
– Harvennus	5	26	0	31
– Uudistaminen	7	2	47	56
– Yhteensä	181	44	49	274
Oikeinluokitus-%	93,4	59,1	95,9	88,3
Puittainen inventointitieto 3. mittauskerta				
2. mitt.kerta, ajantas. 5 v				
– Lepo	127	18	1	146
– Harvennus	4	66	0	70
– Uudistaminen	7	4	47	58
– Yhteensä	138	88	48	274
Oikeinluokitus-%	92,0	75,0	97,9	87,6
1. mitt.kerta, ajantas. 10 v				
– Lepo	116	26	1	143
– Harvennus	11	56	0	67
– Uudistaminen	11	6	47	64
– Yhteensä	138	88	48	274
Oikeinluokitus-%	84,1	63,6	97,9	79,9
TASO				
Puittainen inventointitieto 2. mittauskerta				
1. mitt.kerta, ajantas. 5 v				
– Lepo	171	15	2	188
– Harvennus	5	28	0	33
– Uudistaminen	5	1	47	53
– Yhteensä	181	44	49	274
Oikeinluokitus-%	94,5	63,6	95,9	89,8
Puittainen inventointitieto 3. mittauskerta				
2. mitt.kerta, ajantas. 5 v				
– Lepo	122	17	0	139
– Harvennus	7	66	0	73
– Uudistaminen	9	5	48	62
– Yhteensä	138	88	48	274
Oikeinluokitus-%	88,4	75,0	100,0	86,1
1. mitt.kerta, ajantas. 10 v				
– Lepo	118	21	0	139
– Harvennus	10	62	0	72
– Uudistaminen	10	5	48	63
– Yhteensä	138	88	48	274
Oikeinluokitus-%	85,5	70,5	100,0	82,2

Taulukko 9. Aineiston muodostuksesta ja ajantasaistuksesta aiheutuvien virheiden sekä mittausvirheiden yhteisvaikutus toimenpide-ehdotuksiin: lepo-, harvennus- ja uudistamiskuvioiden määrä, kun toimenpide-ehdotukset on tuotettu Solmu-muotoisista, 5 tai 10 vuotta ajantasaistetuista aineistoista tai puittaisista tuoreista mittaustiedoista. Kullekin kuviolle on tuotettu 10 toimenpide-ehdotusta generoiden jokaisella kerralla erilaiset virheet Solmu-muotoisen aineiston keskitunnuksiin.

	Lepo	Harvennus	Uudistaminen	Yhteensä
SOLMU				
Puittainen inventointitieto 2. mittauskerta				
1. mitt.kerta, ajantas. 5 v				
– Lepo	1537	198	70	1805
– Harvennus	102	210	15	327
– Uudistaminen	171	32	405	608
– Yhteensä	1810	440	490	2740
Oikeinluokitus-%	84,9	47,7	82,7	78,5
Puittainen inventointitieto 3. mittauskerta				
2. mitt.kerta, ajantas. 5 v				
– Lepo	1103	257	29	1389
– Harvennus	150	535	5	690
– Uudistaminen	127	88	446	661
– Yhteensä	1380	880	480	2740
Oikeinluokitus-%	79,9	60,8	92,9	76,1
Puittainen inventointitieto 3. mittauskerta				
1. mitt.kerta, ajantas. 10 v				
– Lepo	1043	314	27	1384
– Harvennus	162	476	9	647
– Uudistaminen	175	90	444	709
– Yhteensä	1380	880	480	2740
Oikeinluokitus-%	75,6	54,1	92,5	71,6

4.6 Laskennallisen lämpösumman käytön vaikutus toimenpide-ehdotuksiin

Tutkimuksessa käytettiin INKA-aineiston sisältämiä lämpösummia (Gustavsen ym. 1988) aineistonmuodostuksessa ja kasvun ennustamisessa. Kasvumalleja laadittaessa lämpösummat on taas johdettu Ojansuun ja Henttosen (1988) kehittämällä menetelmällä (Hynynen ym. 2002). MELAssa on mahdollisuus käyttää myös laskennallista lämpösummaa kuvioaineiston kanssa (Redsven ym. 2002). Laskennallisten lämpösummien käytön vaikutusta toimenpide-ehdotuksiin kokeiltiin korvaamalla niillä Solmu-muotoisen virheettömän kuvioaineiston lämpösummat. Laskennalliset lämpösummat vaihdettiin myös puittaisiin lähtöaineistoihin. Toimenpide-ehdotuk-

Taulukko 10. Aineistonmuodostuksesta ja ajantasaistuksesta aiheutuvien virheiden sekä mittausvirheiden yhteisvaikutus puustotunnusten luotettavuuteen ikäluokittain: keskivirheet ja harhat viiden ja kymmenen vuoden ajantasaistuksen jälkeen. Suluissa suhteelliset virheet ja harhat. Merkinnot kuten taulukoissa 1 ja 2.

		0–20	20–40	Ikäluokka 40–60	60–80	80+	Kaikki
1. mittauskerta, ajantasaistus 5 vuotta							
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	3,5 (33,2)	3,2 (20,7)	3,2 (18,9)	3,1 (17,5)	3,2 (17,9)	3,2 (19,7)
	Harha	0,1 (1,3)	–0,2 (–1,6)	–0,1 (–0,8)	–0,2 (–1,3)	–0,3 (–1,8)	–0,2 (–1,2)
d _{gM} (cm)	Keskivirhe	1,4 (17,2)	1,7 (15,8)	1,6 (11,3)	2,1 (12,6)	2,4 (12,8)	1,9 (13,5)
	Harha	0,7 (8,4)	0,7 (6,0)	0,7 (4,8)	0,1 (0,6)	–0,2 (–1,2)	0,3 (2,3)
h _{gM} (m)	Keskivirhe	1,0 (15,4)	1,6 (18,7)	2,1 (18,6)	2,2 (16,7)	2,4 (16,8)	2,0 (17,8)
	Harha	0,01 (0,1)	0,4 (5,2)	0,2 (1,6)	–0,1 (–0,7)	–0,4 (–3,1)	0,01 (0,1)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	14,0 (34,9)	18,8 (25,5)	27,7 (25,8)	29,7 (24,5)	28,8 (23,0)	25,5 (25,6)
	Harha	1,5 (3,7)	1,7 (2,4)	1,9 (1,8)	–4,2 (–3,4)	–6,2 (–4,9)	–1,5 (–1,5)
2. mittauskerta, ajantasaistus 5 vuotta							
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	4,0 (22,8)	3,5 (17,3)	3,6 (17,4)	3,4 (16,7)	3,4 (18,0)	3,5 (17,9)
	Harha	–0,5 (–3,0)	–0,03 (–0,2)	–0,5 (–2,3)	–0,4 (–1,8)	0,2 (0,8)	–0,2 (–1,0)
d _{gM} (cm)	Keskivirhe	1,6 (15,2)	1,9 (14,7)	1,7 (11,5)	2,2 (12,8)	2,5 (13,1)	2,1 (13,2)
	Harha	0,7 (7,0)	1,0 (7,7)	0,8 (5,3)	0,1 (0,7)	–0,3 (–1,7)	0,4 (2,6)
h _{gM} (m)	Keskivirhe	1,3 (16,3)	2,1 (20,9)	2,2 (17,9)	2,4 (17,3)	2,4 (16,3)	2,2 (17,9)
	Harha	0,5 (5,8)	0,5 (4,6)	0,4 (3,1)	–0,2 (–1,6)	–0,2 (–1,7)	0,1 (1,0)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	20,2 (25,0)	27,4 (24,4)	30,4 (21,9)	35,0 (24,0)	31,9 (23,0)	30,3 (23,7)
	Harha	1,4 (1,7)	3,0 (2,6)	0,5 (0,3)	–6,9 (–4,7)	–3,2 (–2,3)	–1,4 (–1,1)
1. mittauskerta, ajantasaistus 10 vuotta							
PPA (m ² /ha)	Keskivirhe	5,7 (34,9)	4,4 (21,9)	4,1 (20,2)	3,6 (18,1)	3,6 (18,5)	4,2 (21,4)
	Harha	0,8 (4,8)	0,4 (1,8)	–0,01 (–0,04)	–0,1 (–0,6)	–0,01 (–0,1)	0,1 (0,7)
d _{gM} (cm)	Keskivirhe	2,0 (19,2)	2,2 (17,3)	1,8 (11,9)	2,2 (12,7)	2,5 (13,1)	2,2 (14,1)
	Harha	1,0 (10,0)	1,0 (8,1)	0,8 (5,2)	0,04 (0,2)	–0,4 (–2,1)	0,4 (2,7)
h _{gM} (m)	Keskivirhe	1,4 (17,9)	2,4 (24,6)	2,3 (19,4)	2,2 (16,2)	2,4 (16,3)	2,2 (18,7)
	Harha	0,6 (7,8)	1,0 (10,5)	0,7 (5,7)	–0,03 (–0,2)	–0,2 (–1,6)	0,4 (3,1)
V (m ³ /ha)	Keskivirhe	29,2 (39,8)	29,8 (28,4)	33,1 (25,0)	34,8 (24,5)	31,0 (22,3)	31,8 (25,8)
	Harha	8,9 (12,1)	10,4 (9,9)	6,8 (5,1)	–2,5 (–1,8)	–3,8 (–2,7)	3,2 (2,6)

set tuotettiin ensimmäiselle viisivuotiskaudelle 10 vuotta ajantasaistetusta aineistosta sekä ajantasaistetusta puuttavasta aineistosta. Tällöin virheettömällä Solmu-muotoisella aineistolla ajantasaistusajan ollessa 10 vuotta pohjapinta-alan ja keskipituuden virheet pienivät hieman (0,6–0,7%-yksikköä), mutta keskiläpimitan virhe kasvoi hieman (0,7%-yksikköä). Puustotunnusten harhat kääntyivät vastakkaisiksi: pohjapinta-alan harha 3,7%:n aliarviosta 2,9%:n yliarvioksi, keskipituuden harha 0,8%:n yliarviosta 1,7%:n aliarvioksi ja keskiläpimitan harha 2,8%:n aliarviosta 3,7%:n yliarvioksi. Harvennusehdotusten vastaavuus parani yli 13%-yksikköä oikeinluokitus-%:n noustessa 63,6%:sta 76,8%:iin. Koko aineiston oikeinluokitus-% nousi kuitenkin vain 3,3%-yksikköä, kun lepoehdotusten vastaavuus huononi 4%-yksikköä uudistamisehdotusten

vastaavuuden pysyessä samalla tasolla.

Laskennallisten lämpösommien käyttöä ajantasaistuksessa kokeiltiin myös virhettä sisältävällä kuvioaineistolla. Solmu-aineisto, johon oli generoitu kuvioittaisen arvioinnin virhettä, ajantasaistettiin 10 vuotta laskennallisten lämpösommien kanssa. Tällöin pohjapinta-alan keskivirhe kasvoi hieman (0,8%-yksikköä), mutta keskipituuden ja -läpimitan keskivirheet pienivät hieman. Pohjapinta-alan harha kasvoi 0,7%:n aliarviosta 7%:n yliarvioon. Keskiläpimitan harha muuttui neljän millimetrin aliarviosta yhden millimetrin yliarvioksi. Harvennusehdotusten vastaavuus parani 10%-yksikköä nousten 64,4%:iin. Koko aineiston toimenpiteiden vastaavuus kasvoi 1,5%-yksikköä.

5 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa tarkasteltiin aineistonmuodostuksen, puustotietojen kasvumalleilla tehtävän ajantasaistuksen ja mittausvirheiden vaikutusta toimenpidetarpeen määrittämisen ja puustotunnusten luotettavuuteen. Tarkastelluista virhelähteistä mittausvirheillä oli selvästi suurin vaikutus sekä toimenpidetarpeiden määrittämiseen että puustotunnusten luotettavuuteen.

Puustotunnusten keskivirheiden ja harhan perusteella puukohtainen aineisto ei ole merkittävästi parempi lähtökohta ajantasaistukselle kuin Solmu- tai Taso-muotoinen aineisto. Puukohtaisella aineistolla keskitilavuuden keskivirhe tuli hieman pienemmäksi kuin metsikkötason aineistoja ajantasaistettaessa, mutta muiden tarkasteltujen puustotunnusten keskivirheet eivät juurikaan poikenneet metsikkötason aineistojen keskivirheistä. Ikäluokittaisessa tarkastelussa puukohtaisella aineistolla saatiin kuitenkin nuorimmissa ikäluokissa jonkin verran paremmat tilavuuskasvuennusteet, mutta vanhemmissa ikäluokissa erot jäivät pieniksi. Tilavuuden pieni keskivirhe puittaisella aineistolla selittyy sillä, että pohjapinta-alan ja keskipituuden harhat tulivat puittaisella aineistolla eri suuntaisiksi, jolloin ennustevirheet kumosivat toisensa osittain, kun taas kuviotason aineistoilla ennustevirheet olivat samansuuntaisia (aliarvioita) nuorissa ikäluokissa, joissa saatiin suuri aliarvio. Tukkitilavuusestimaatin keskivirhe ajantasaistuksen jälkeen oli kuitenkin selvästi suurempi metsikkötason lähtöaineistoilla kuin puittaisella aineistolla.

Kun ajantasaistuksen luotettavuutta tarkasteltiin puulajeittain, Taso-muotoinen aineisto osoittautui selvästi heikommaksi kuin puittainen aineisto tai Solmu-muotoinen aineisto. Tulos on odotettu ja aiempien tutkimusten mukainen (Utterä ym. 2002). Käsitelty aineisto sisälsi huomattavasti nuoria, ensiharvennusikään tulevia metsiköitä, joissa kasvun taso vaihtelee paljon metsiköiden välillä. Lisäksi aineistonmuodostuskin on nuorissa metsissä ongelmallista (Maltamo ym. 2002). Taso-muotoisella aineistolla männyn keskipituus- ja keskiläpimitta aliarvioitiin ja kuusella ja koivulla yliarvioitiin. Mänty esiintyi aineistossa yleensä vallitsevana puulajina, jolloin sen pituus ja läpimitta muuttuvat

aliarvioiksi Taso-muotoisen aineiston muutoksessa Solmu-muotoiseksi aineistoksi.

Aineistonmuodostuksessa syntyvät virheet aiheuttivat jonkin verran virheitä ensimmäisen viisivuotiskauden toimenpide-ehdotuksiin, erityisesti harvennusehdotuksiin. Virheiden määrä on kuitenkin kohtuullinen, sillä 67–86 % Solmu- tai Taso-muotoisesta aineistosta johdetuista harvennushakkuuehdotuksista vastasi puittaisesta aineistosta johdettuja harvennusehdotuksia. Solmu- ja Taso-muotoisten aineistojen välille ei tullut juuri eroa toimenpidetarpeen ennustamisessa. Tämä selittyy sillä, että toimenpidetarve määräytyy puuston kokonaispohjapinta-alan perusteella eikä puuston kehityksen onnistumisella puulajeittain ole useimmissa tapauksissa merkitystä (taimikkovaiheen jälkeen).

Kun aineistonmuodostukseen liitettiin lähtöaineiston mittausvirhe, toimenpide-ehdotusten vastaavuus huononi aineistosta riippuen 12–16 %-yksikköä verrattuna pelkkään aineistonmuodostuksen virheeseen. Mittausvirheet kasvattivat harvennus- ja uudistamishdotusten määrää selvästi ensimmäisellä mittauskerralla. Tulos on Ojansuun ym. (2002) tutkimuksessa todetun päätelmän mukainen: satunnaiset mittausvirheet aiheuttavat yliarvion ensiharvennuskypsiens metsiköiden määrän arvioon silloin, kun ensiharvennuskypsyttä arvioidaan puustotunnusten (pohjapinta-alan ja valtipituuden) avulla.

Ajantasaistetuista puittaisista lähtötiedoista johdetut toimenpidetarpeet vastasivat melko hyvin tuoreesta puittaisesta inventointitiedosta johdettuja toimenpidetarpeita. Ajantasaistuksen vaikutus lisääntyi päivitysajan kasvaessa viidestä vuodesta 10 vuoteen. Toimenpide-ehdotusten oikeinluokitus-% oli Solmu- tai Taso-muotoisia aineistoja ajantasaistettaessa jonkin verran huonompi kuin puittaisella aineistolla. Erityisesti harvennustarpeiden ennustaminen oli puittaisella aineistolla selvästi luotettavampaa kuin Solmu- tai Taso-muotoisilla aineistoilla. Solmu- ja Taso-muotoiset aineistot osoittautuivat toimenpide-ehdotusten tuottamisessa ajantasaistuksen jälkeen likimain yhtä hyväksi.

Aineistonmuodostuksesta aiheutuva virhe, mittausvirhe ja ajantasaistuksesta aiheutuva virhe yhdessä aiheuttivat 3–5 %-yksikön heikennyksen toimenpiteiden oikeinluokitus-%:iin verrattuna tilanteeseen, jossa oletettiin käytettävän tuoretta, mittausvirhettä sisältävää Solmu-muotoista aineistoa. Toimenpide-

ehdotuksista harvennustarpeet osuivat huonoiten kohdalleen.

Tutkimuksessa käytetyn metsikkösimulaattorin (MELA) aineistonmuodostuksessa kuvioaineistosta muodostetaan laskentaa ja kasvun simulointia varten teoreettinen läpimittajakauma, jolla kuvataan metsikön oikeaa runkolukujakaumaa. Teoreettisen läpimittajakauman muodostamiseen voidaan käyttää myös runkolukumittauksen huomioivia jakaumamalleja, joista tutkimuksessa kokeiltiin prosentiosuusmalleja ja Johnsonin S_B -jakaumaan perustuvia läpimittajakaumamalleja laskenta-aineiston muodostuksessa (Maltamo ym. 2002). Solmu-muotoinen lähtöaineisto ajantasaistettiin ensin 10 vuotta ja toimenpide-ehdotukset tuotettiin ensimmäiselle viisivuotiskaudelle ja niitä verrattiin ajantasaisilla puittaisilla tiedoilla tuotettuihin ehdotuksiin. Mitatun runkoluvun huomiointi aineistonmuodostuksen yhteydessä paransi oikeinluokitusta kuitenkin vain noin kahden %-yksikön verran.

Ajantasaistetulla aineistolla tuotettujen toimenpide-ehdotusten oikeinluokitus-%:t olisivat olleet huomattavasti parempia, jos tarkasteluihin olisi otettu mukaan metsiköt, jotka olivat ylittäneet joko harvennus- tai uudistamisrajan ennen ajantasaistuksen alkua. Tällöin INKA-aineisto olisi käsittänyt 451 metsikköä, ja esimerkiksi Solmu-muotoisella lähtöaineistolla 10 vuoden ajantasaistusajalla 85,4 % toimenpide-ehdotuksista ensimmäiselle viisivuotiskaudelle oli samoja kuin uudelleen mitatulla ajantasaisella puittaisella aineistolla, ja harvennusten oikeinluokitus-% nousi 10 %-yksikköä rajatumpaan metsikköaineistoon verrattuna.

Laskennallisen lämpösumman käyttö vaikutti voimakkaasti toimenpide-ehdotuksiin ja päivitykseen. Kun INKA-aineistoon määritetty metsikön lämpösumma korvattiin laskennallisella lämpösummalla, harvennusehdotukset vastasivat paremmin ajantasaisesta puittaisesta inventointitiedosta johdettuja harvennustarpeita. Toisaalta tällöin lepokuvioista huomattavalle osalle tuli simuloinneissa toimenpidetarve. Lähtöaineiston liian suuren lämpösumman käyttö voi johtaa harvennustarpeiden kokonaismäärän yliarvioon. On kuitenkin muistettava, että harvennuskohteiden löytymättömyys johtaa kasvutappioihin ja tulonmenetyksiin. Lisäksi itse toimenpidetarve voidaan määrittää näissä kohteissa maastotyönä toimenpiteen tarkemman suunnit-

telun yhteydessä. Harvennusehdotusten osalta voi olla kannattavaa kokeilla herkkyyksianalyysejä lämpösummalla potentiaalisten harvennuskohteiden selvittämiseksi maastotarkastusta varten.

Suutarlan (1985) tutkimuksessa vanhan inventointitiedon päivityksellä saatiin keskitilavuuden keskimääräiseksi erojen hajonnaksi 17,3 % ja uudella inventointitiedolla 14,4 % verrattuna tarkistusinventointiin. Tutkimuksessa 6–9 vuotta vanhan ajantasaistetun tiedon perusteella ehdotetuista hakkuuehdotuksista noin 70 % oli samoja ja uudella inventointitiedolla noin 80 % oli samoja kuin tarkistusinventoinnilla määritetyt hakkuuehdotukset. Pilhertan (1987) tutkimuksessa pienilläkin inventointivirheillä oli suuri vaikutus toimenpidetarpeiden määrittämiseen. Jo 5 %:n aliarvio pohjapinta-alassa vähensi harvennushakkuuehdotuksia 75 %. Pohjapinta-alan yliarvio lisäsi harvennushakkuuehdotuksia ja vähensi uudistamishakkuuehdotuksia.

Hyvönen (2002) tutki toimenpidetarpeen määrittelyä satelliittikuvilta k-lähimmän naapurin menetelmällä. Tutkimuksessa saatiin oikeinluokitusprosentiksi 57,6 %, kun aineisto jaettiin kolmeen luokkaan: harvennushakkuihin, uudistamishakkuihin ja lepokuvioihin. Numeerisesta kuvatulkinnasta voisi olla apua laskennalliselle ajantasaistukselle toimenpide-ehdotusten määrittämisessä esimerkiksi tehtyjen toimenpiteiden, metsikön tilajärjestyksen ja 'vesakoituneisuuden' selvittämisessä.

Toimenpidetarpeen määrittämisessä voi olla apua suunnittelijan vanhoista toimenpide-ehdotuksista. Esimerkiksi kuvioilla, joille on ehdotettu joko harvennus tai uudistaminen ajantasaistusajalle ja toimenpide on jäänyt tekemättä, toimenpide-ehdotus on voimassa melko suurella todennäköisyydellä. Tällaisten kuvioiden osuus koko aineistosta voi kuitenkin jäädä pieneksi. Puustotietojen laskennallisen ajantasaistuksen käyttö suunnittelulaskelmien lähtöaineiston tuottamisessa edellyttää kuitenkin, että ajantasaistusajalla tehdyt toimenpiteet tulee selvittää.

Yksityismetsien suunnittelussa arvioija määrittää metsikön toimenpidetarpeen maastokäynnillä puustotunnusten perusteella. Toimenpidetarpeen määrittäminen suunnittelukaudelle on subjektiivista, ja eri suunnittelijoiden antamien toimenpide-ehdotusten välillä on vaihtelua (Poso 1983). Tässä tutkimuksessa tuotettiin metsikölle toimenpide-ehdotus heti, kun

puustotunnusestimaatit ylittivät harvennus- tai uudistamisrajan. Tällaisessa laskennallisessa harvennustarpeen määrittämisessä ongelmaksi jää se, että metsikön tilajärjestyksestä ei tiedetä mitään, koska metsikön tilajärjestyksen kuvaus ei sisälly maastossa määritettyihin tunnuksiin. Tästä voi aiheutua aliarviota harvennustarpeiden arvioon, sillä puuston ryhmittäisyys voi aiheuttaa metsänhoidollisen harvennustarpeen, vaikka puuston pohjapinta-ala keskiarvona olisikin alle harvennusrajan. Jatkokäytöksessä voitaisiin selvittää, miten laskennallisesti ajantasaistetusta tiedosta voidaan määrittää ne kohteet, joille maastossa todetaan kiireellinen toimenpidetarve.

Kiitokset

Tutkimuksen on rahoittanut Suomen Akatemia ('Metsäinformaation käytön tehostaminen' -tutkimushanke), ja se on osa Metsäntutkimuslaitoksen hanketta 'Metsätiedon hankinta ja estimointi suunnittelua varten'. Tekijät haluavat kiittää huolellisista ja hyödyllisistä käsikirjoitusta koskeneista kommentteista prof. Timo Tokolaa ja toista esitarkastajaa.

Kirjallisuus

- Anttila, P. 2002. Updating stand level inventory data applying growth models and visual interpretation of aerial photographs. *Silva Fennica* 36(2): 549–560.
- Gustavsen, H.G., Roiko-Jokela, P. & Varmola, M. 1988. Kivennäismaiden talousmetsien pysyvät (INKA ja TINKA) kokeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 292. 212 s.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA system. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 835. 116 s.
- Hyvän metsänhoidon suosituksset. 2001. Metsätalouden kehittämisskeskus Tapio, Helsinki. 95 s.
- Hyvönen, P. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten ja toimenpide-ehdotusten estimointi k-lähimmän naapurin menetelmällä Landsat TM-satelliittikuvan, vanhan inventointitiedon ja kuviotason tukiaineiston avulla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 363–379.
- Kangas, A. S. 1999. Methods for assessing uncertainty of growth and yield predictions. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1357–1364.
- & Kangas, J. 1997. Mallit, ennusteet ja simulointi metsätalouden laskentajärjestelmissä. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 3/1997: 389–404.
- Kangas, J. & Hänninen, H. 2003. Tilakohtainen metsäsuunnittelu – metsäpolitiikkaa vai metsänomistajien päätöstukea? *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2003: 153–156.
- Kilki, P., Maltamo, M., Mykkänen, R. & Päivinen, R. 1989. Use of the Weibull function in estimating the basal area diameter distribution. *Silva Fennica* 23: 311–318.
- Korhonen, K.T. 2002. Metsäsuunnittelun tietohuollon käytäntö ja tutkimus. *Metsätieteen Aikakauskirja* 3/2002: 509–514.
- Laasasenaho, J. & Päivinen, R. 1986. Kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisesta. *Folia Forestalia* 664. 19 s.
- Maltamo, M., Haara, A., Hirvelä, H., Kangas, A., Lempinen, R., Malinen, J., Nalli, A., Nuutinen, T. & Siipilehto, J. 2002. Läpimittajakaumamalleihin perustuvat vaihtoehdot kuvauspuiden muodostamiseen puuston keskitunnustietojen avulla. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 407–423.
- Muinen, E. 1988. Suuralueen ajantasaisten tietojen laskenta satelliittikuvaa, maastomittauksia ja MELAA käyttäen. Pro gradu -tutkielma. Metsätieteellinen tiedekunta. Joensuun yliopisto. 75 s. + liitteet.
- Mykkänen, R. 1986. Weibull-funktion käyttö puuston läpimittajakauman estimoinnissa. Metsätalouden syventävien opintojen tutkielma. Metsätieteellinen tiedekunta. Joensuun yliopisto. 80 s.
- Nalli, A. & Hyttinen, P. 1992. Metsätalouden suunnittelujärjestelmien nykytila Suomessa. Teoksessa: Päivinen, R., Kangas, J. & Varjo, J. (toim.). Katsaus metsätalouden suunnitteluun Suomessa ja Ruotsissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 406: 23–25.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1988. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösomman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. *Silva Fennica* 17: 143–160.
- , Halinen, M. & Härkönen, K. 2002. Metsätalouden suunnittelujärjestelmän virhelähteet männyn ensiharvennuskypsyden määrittämisessä. *Metsätieteen Aikakauskirja* 3/2002: 441–458.
- Piljherta, K. 1987. Puustotunnusten arviointivirheiden

- vaikutus kuvioitaisiin toimenpidevalintoihin MELAssa. Pro gradu -työ. Metsätieteellinen tiedekunta. Joensuun yliopisto. 68 s.
- Poso, S. 1983. Kuvioittaisen arvioimismenetelmän perusteita. *Silva Fennica* 17: 313–343.
- Redsven, V., Anola-Pukkila, A., Haara, A., Hirvelä, H., Härkönen, K., Kettunen, L., Kiiskinen, A., Kärkkäinen, L., Lempinen, R., Muinonen, E., Nuutinen, T., Salminen, O. & Siitonen, M. 2002. MELA2002 Reference Manual. Metsäntutkimuslaitos. 590 s.
- Saksa, T. & Smolander, H. 1998. Metsänviljelyn viivästyminen Pohjois-Savon alueella tilastoissa ja todellisuudessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1998: 53–64.
- Siitonen, M. 1993. Experiences in the use of forest management planning models. Tiivistelmä: Kokemuksia mallien käytöstä metsätalouden suunnittelussa. *Silva Fennica* 27: 167–178.
- Suutarla, T. 1985. Kuvioittaisen inventoinnin päivitys ja sen luotettavuus. *Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto. Metsävarojen käytön laitos. 47 s.
- Uutera, J., Hiltunen, J., Rissanen, P., Anttila, P. & Hyvönen, P. 2002. Uudet kuvioittaisen arvioinnin menetelmät – arvio soveltuvuudesta yksityismaiden metsäsuunnitteluun. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 523–531.
- Veltheim, T. 1987. Pituusmallit männylle, kuuselle ja koivulle. *Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto. 59 s. + liitteet 29 s.

25 viitettä