



Annukka Pesonen



Kari T. Korhonen



Sakari Tuominen



Matti Maltamo



Eero Lukkarinen

Annukka Pesonen, Kari T. Korhonen, Sakari Tuominen,
Matti Maltamo ja Eero Lukkarinen

Taimikonhoitotarpeen arviointi valtakunnan metsien inventoinnin metsävarakartan pohjalta

Pesonen, A., Korhonen, K. T., Tuominen, S., Maltamo, M. & Lukkarinen, E. 2007. Taimikonhoitotarpeen arviointi valtakunnan metsien inventoinnin metsävarakartan pohjalta. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2007: 77–86.

Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) tulokset osoittavat taimikoissa ja nuorissa metsissä olevan runsaasti hoitorästejä. Hoitotöiden edistämiseksi tarvitaan tarkasti paikannettua tietoa hoitokohteiden sijainnista. Tutkimuksessa selvitettiin satelliittikuvien käyttöön perustuvan metsäninventointiaineiston käyttökelpoisuutta hoitoa tarvitsevien kuvioiden paikantamisessa.

Landsat TM -satelliittikuvien avulla tuotetusta VMI:n metsävarakartasta tuotettiin teemakartta taimikonhoitotarpeesta. Puuston pituus- ja lehtipuuosuustietojen perusteella tuotettu kartta ilmaisee taimikonhoidon ja nuoren metsän hoitotarpeen ja hoidon kiireellisyyden ajankohdan neljänä luokkana. Maastotyönä tehdyin tarkastusmittauksin selvitettiin karttatason luotettavuutta. Tulokset koottiin virhematriiseihin, joissa vertailtiin VMI-karttatason kiireellisyysluokitusta maastotarkastuksen pohjalta arvioituun kiireellisyysluokitukseen.

Tutkimustulokset osoittivat, että satelliittikuvatulkinnalla saadaan käyttökelpoista tietoa hoitokohteiden paikantamiseksi. Kankailla kiireellisyysluokituksen onnistuminen oli huomattavasti parempi kuin soilla. Kun hoitotarpeet voidaan paikantaa tarkasti, hoitotöitä pystytään kohdistamaan ja markkinoimaan paremmin maanomistajille ja taimikonhoitomäärät saadaan paremmin vastaamaan todellista tarvetta.

Asiasanat: Valtakunnan metsien inventointi, Landsat-satelliitit, taimikonhoito

Yhteystiedot: *Pesonen* ja *Maltamo*, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu; *Korhonen*, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun yksikkö, PL 68, 80101 Joensuu; *Tuominen*, Metsäntutkimuslaitos, Helsingin toimipaikka, Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki; *Lukkarinen*, Metsäteho Oy, PL 101, 00171 Helsinki

Hyväksytty 16.5.2007

I Johdanto

Taimikonhoito on keskeinen osa metsänuudistamisketjua. Taimikon varhaisoidossa kasvatettavien taimien kehitys turvataan poistamalla kilpailuvaa lehtipuuvesakkoa. Varhaishoito suositellaan tehtäväksi 1–2 metrin pituusvaiheessa. Varhaishoitoa voi edeltää heinäntorjunta rehevillä kasvupaikoilla. Varsinaisessa taimikonhoidossa säädellään kasvatettavan taimikon tiheyttä ja puulajisuhteita kasvustavoitteiden mukaisiksi. Varsinainen taimikonhoito suositellaan tehtäväksi männyllä 5–7 metrin ja kuusella 3–4 metrin valtapituusvaiheessa (Hyvän metsänhoidon... 2006). Taimikonhoidon tavoitteena on saada aikaan hyvälaatuinen ja tuottava puusto, jossa ei tarvitse tehdä muita toimenpiteitä ennen ensiharvennusta. Kasvutilan lisäyksen ansios- ta puiden järetyminen nopeutuu ja ensiharvennuk- sen kannattavuus paranee (Valkonen ym. 2001). Hy- vän metsänhoidon suositusten (2006) mukaan nuori kasvatusmetsä, jossa taimikonhoito on jäänyt teke- mättä, kannattaa hoitaa kuntoon ennen ensiharven- nusta. Nuoren kasvatusmetsän kunnostus on kal- liimpaa kuin taimikonhoito, mutta se kannattaa sil- ti tehdä ennen varsinaista ensiharvennusta (Hyvän metsänhoidon... 2006, s. 46). Taimikoiden ja nuoren kasvatusmetsien hoidon edistäminen edellyttää hoitokohteiden sijainnin paikantamista.

Kaukokartoitusmenetelmien, paikkatietojärjes- telmien ja laitteistoteknologian kehityksen ansios- ta satelliittikuvia voidaan hyödyntää yhä pienempi- en alueiden inventoinnissa ja kartoituksessa (Tokola ja Heikkilä 1995). Valtakunnan metsien inventoin- nin (VMI) maastotietoa ja muita tietolähteitä (esi- merkiksi maaston korkeusmallit, pelto-, tie-, vesi-, ja asutusmaskit) yhdistävää inventointimenetelmää on kutsuttu monilähdeinventoinniksi. Kun VMI:ssa GPS-paikannetut maastokoealat yhdistetään satel- liittikuvainformaatioon, tuloksena saadaan numee- rinen metsävarakartta, jossa metsikkötunnuksiin liittyy sijainti (Tomppo ym. 1998). VMI:n tuotta- mien metsikkötunnusten estimoinnissa yksittäisil- le kuvanalkioille käytetään ei-parametrista k:n läh- immän naapurin menetelmää, jolla voidaan tuottaa teemakartta mistä tahansa valtakunnan metsien in- ventoinnissa mitatuista muuttujista (Tomppo ja Ka- tila 1993, Katila ja Tomppo 2001). Tuloslaskelmissa ja -kartoissa käytetään kuvanalkioita, joiden koko

maastossa on 25 m × 25 m.

Taimikonhoitotarpeen arvioinnista on saatu hyviä tuloksia korkearesoluution ilmakuvia käyttäen (mm. Pouliot ym. 2002, 2006). Satelliittikuvien käytöstä taimikonhoitotarpeen määrittämisessä on tehty varsin vähän aiempia tutkimuksia. Häme (1984) tutki satel- liittikuvien käyttökelpoisuutta taimikon vesoittumi- sen määrittämisessä. Tutkimuksessa satelliittikuvan tulkintatulokset tarkistettiin vertaamalla niitä maas- tomittaustuloksiin. Jos kuvatulokinnassa taimikkoku- vion yksikin kuvanalkio tulkittiin vesakoituneeksi, koko taimikko luokitettiin vesoittuneeksi. Tarkem- paa kiireellisyysluokitusta vesakon poistamiseksi ei määritetty kyseisessä tutkimuksessa.

Hyvösen (2002) tutkimuksessa selvitettiin Landsat TM:n sopivuutta toimenpide-ehdotusten esti- mointiin. Nuorten metsien hoitotarve oli jaettu kol- meen luokkaan 1) lepo 2) taimikonhoito ja 3) nuoren metsän kunnostus. Kun tutkimuksessa käytettiin kuvioiden sävyarvojen keskiarvoja, taimikonhoito- kohteista 71,2 % luokitui oikein. Kun taimikonhoi- to ja nuoren metsän kunnostus yhdistettiin yhdek- si luokaksi, koko aineistossa oikein luokituneiden kuvioiden osuus oli 76 %.

Tässä tutkimuksessa selvitetään Landsat TM -satelliittikuviin pohjautuvan monilähteisen VMI:n tuot- tamien metsävarakarttojen käyttökelpoisuutta taimi- konhoito- tai nuoren metsän kunnostuskohteiden pai- kantamisessa. Tutkimuksessa ovat mukana taimikot ja keskipituudeltaan korkeintaan 11-metriset nuoret kasvatusmetsät. Hoitotarpeen estimaatin tarkkuutta arvioidaan selvittämällä, miten hyvin monilähteisen VMI-tiedon pohjalta estimoitu taimikonhoitotarve ja hoidon kiireellisyys pitää paikkansa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 VMI:n monilähdeaineisto

Tutkimusalueena olivat Joensuun kaupungin ja Kon- tiolahden kunnan alueet Pohjois-Karjalassa. Kysei- sellä alueella valtakunnan metsien 9. inventoinnin (VMI9) monilähdeaineisto perustuu vuoden 2000 maastomittauksiin ja pääosin saman vuoden satel- liittikuviin. Koko Etelä-Suomen alueelle on Met- sätutkimuslaitoksessa tehty ajantasaistettu kuva-

tulkinta vuoden 2002 satelliittikuvien ja laskennallisesti ajantasaistettujen VMI9 koealojen avulla. Tässä tutkimuksessa käytettiin vuoteen 2002 ajantasaistettua monilähdeaineistoa. VMI:n monilähdeaineiston taustalla oleva maastoaineisto on mitattu ryvästettynä koealaotantana (Korhonen ym. 2001). Koealat ovat relaskooppikoealoja (Etelä-Suomessa kerroin 2), joilta on mitattu läpimitat kaikista relaskooppikoealaan kuuluvista puista. Maastokoealojen mittaustiedot on yhdistetty satelliittikuva-aineistoon k:n lähimmän naapurin menetelmällä satelliittikuvan kuva-alkioiden sävyarvoja käyttäen (Tomppo ym. 1998). Kuvatulkinnassa yksittäisen kuva-alkion puustotiedot ovat siten keskiarvo sävyarvoiltaan lähinnä samanlaisten koealojen mitattuihin puustotiedoista.

Monilähteisen VMI:n metsävara-aineiston sisältämän tiedon perusteella on tässä työssä pyritty hakemaan ne taimikot ja nuoret metsät (puuston keskipituus korkeintaan 11 m), joissa on taimikon tai nuoren metsän hoitotarvetta, sekä arvioimaan hoidon kiireellisyys. Jatkossa taimikon tai nuoren metsän hoitotarpeesta käytetään termiä taimikonhoitotarve. Taimikonhoitotarvetta kuvaava karttataso luokiteltiin kuva-alkion lehtipuusuusestimaatin (osuus puuston tilavuudesta) mukaan neljään luokkaan:

- lehtipuusuus yli 70 %: kiireellinen taimikonhoitotarve
- lehtipuusuus 50–70 %: taimikonhoitotarve ensimmäisellä viisivuotiskaudella
- lehtipuusuus 30–50 %: taimikonhoitotarve toisella viisivuotiskaudella
- lehtipuusuus alle 30 %: ei välitöntä hoidon tarvetta.

Lehtipuusuutta päädyttiin käyttämään luokitusperusteena, koska se on merkittävä taimikonhoitotarpeeseen vaikuttava tekijä havupuutaimikoissa ja koska lehtipuuston runsastuminen erottuu hyvin satelliittikuvilla. Puuston keskipituudeltaan yli 11-metriset kuva-alkiot jätettiin hoitotarvekartassa tausta-arvoiksi (tutkimusaineiston ulkopuolelle).

2.2 Testiaineisto

Taimikonhoitotarve-karttataso luotettavuusarviointi oli kaksivaiheinen. Ensimmäisessä osassa tutkittiin

VMI:n taimikonhoitotarvekarttataso luotettavuutta tarkastamalla maastossa 83 metsäsuunnitelmien kuviorajausten mukaista kuviota, jotka edustivat taimikonhoidon eri kiireellisyysluokkia VMI-karttataso mukaan. Tutkimuksen toisessa osassa pyrittiin arvioimaan, jääkö osa kohteista VMI-karttataso avulla löytymättä. Tätä varten poimittiin otannalla 42 kuviota, joissa oli tuoreen metsäsuunnitelman (maastotyöt vuoden 2000 molemmin puolin) mukaan hoitoehdotus. Näiden kuvioiden kohdalta tarkastettiin karttatasolta, onko kohde siinä tulkittu hoitoa vaativaksi. Mikäli metsätaloussuunnitelmassa ollut toimenpide-ehdotus poikkesi VMI-karttataso mukaisesta luokituksesta, kuvio tarkistettiin maastossa. Muutoin VMI-karttataso luokitus tulkittiin onnistuneeksi.

Maastotarkistuksissa jokaisella kuviolla mitattiin kuvion koon mukaan 5–10 ympyräkoealaa, joiden säde oli 2,52 metriä. Koealat sijoitettiin yhdelle tai kahdelle linjalle tasavälein. Linjojen paikat kuviolalla valittiin siten, että kuvion eri osat tulivat edustetuiksi. Koealoilta laskettiin puulajeittain kasvatuskelpoisten taimien runkoluku sekä poistettavan havu- ja lehtipuuston määrä. Tämän lisäksi mitattiin kasvatettavan ja poistettavan puuston pituus ja keskiläpimitta koealoittain. Alle puolet kasvatettavan puuston pituudesta olevia puita ei laskettu mukaan. Kasvatuskelpoisen puun minimiäisyys toisesta kasvatuskelpoisesta puusta oli yksi metri. Poistettavien puiden runkoluvun ja pituusaseman (suhteessa kasvatettaviin puihin) ja lehtipuusuuden perusteella taimikoille arvioitiin subjektiivisesti hoitotarve ja sen kiireellisyys luokkiin: kiireellinen, ensimmäinen viisivuotiskausi, toinen viisivuotiskausi. Arviointia tehdessä otettiin huomioon se, että kuvatulkinta oli tehty kolme vuotta aiemmin eli taimikonhoidon ajankohta arvioitiin mittausajankohdasta kolme vuotta taaksepäin. Kuvioilta otettiin lisäksi digitaalisia valokuvia. Metsänhoidon ammattilainen tarkisti hoitotarveluokitukseltaan epäselvät kuvat digitaalisilta valokuvilta ja mittaustiedoista ja teki niiden perusteella lopullisen hoitotarveluokituksen epäselville kuvioille.

Mikäli kuviolla oli tehty hoitotoimenpiteitä satelliittikuvauksen jälkeen, toimenpiteiden satelliittikuvatulkinnan oikeellisuus arvioitiin maastossa ilman koealamittauksia.

Taulukko 1. Virhematriisit tutkimuksen kuvioiden kiireellisyyssuokituksista.

		Maastoluokitus				Yhteensä	
		Kiireellinen	1. viisi- vuotiskausi	2. viisi- vuotiskausi	Ei ajan- kohtainen		Ei taimikko
Koko aineisto							
	Kiireellinen	19	8	1	1	2	31
	1. viisivuotiskausi	1	17	1	1	2	22
Kuva- tulkinta	2. viisivuotiskausi	2	7	8	5	1	23
	Ei ajankohtainen	0	7	9	6	2	24
	Ei taimikko	0	1	0	2	22	25
	Yhteensä	22	40	19	15	29	125
Kankaat							
	Kiireellinen	19	7	1	1	2	30
	1. viisivuotiskausi	1	16	0	1	2	20
Kuva- tulkinta	2. viisivuotiskausi	2	5	3	0	1	11
	Ei ajankohtainen	0	2	6	5	1	14
	Ei taimikko	0	1	0	2	15	18
	Yhteensä	22	31	10	9	21	93
Suot							
	Kiireellinen	0	1	0	0	0	1
	1. viisivuotiskausi	0	1	1	0	0	2
Kuva- tulkinta	2. viisivuotiskausi	0	2	5	5	0	12
	Ei ajankohtainen	0	5	3	1	1	10
	Ei taimikko	0	0	0	0	7	7
	Yhteensä	0	9	9	6	8	32

Taulukko 2. Virhematriisit tutkimuksen kuvioiden hoitotarveluokituksista.

		Maastoluokitus			Yhteensä
		Hoitotarve	Ei hoitotarve	Ei taimikko	
Koko aineisto					
	Hoitotarve	64	7	5	76
Kuvatulkinta	Ei hoitotarvetta	16	6	2	24
	Ei taimikko	1	2	22	25
	Yhteensä	81	15	29	125
Kankaat					
	Hoitotarve	54	2	5	61
Kuvatulkinta	Ei hoitotarvetta	8	5	1	14
	Ei taimikko	1	2	15	18
	Yhteensä	63	9	21	93
Suot					
	Hoitotarve	10	5	0	15
Kuvatulkinta	Ei hoitotarvetta	8	1	1	10
	Ei taimikko	0	0	7	7
	Yhteensä	18	6	8	32

2.3 Analyysimenetelmät

Tulosten analysoinnissa käytettiin virhematriiseja, joilla testattiin VMI-karttatason luokituksen onnistumista. Virhematriiseista laskettiin oikeinluokitusprosentit, jotka kertovat oikein luokittuneiden otosyksiköiden määrän verrattuna kaikkien otosyksiköiden määrään (Kangas ym. 2003).

Oikeinluokitusprosentin lisäksi virhematriiseista laskettiin kappa-kerroin k , jolla kuvataan luokituksen tarkkuutta verrattuna täysin satunnaiseen luokitukseen (Kangas ym. 2003, SAS Institute... 1999, s. 552). Kappa-arvo voidaan tulkita siten että luokitus on onnistunut $k \times 100$ % paremmin kuin satunnainen luokitus.

3 Tulokset

3.1 Kiireellisyyslukittaiset tulokset

Aineiston luotettavuutta arvioitiin virhematriisien avulla vertaamalla VMI:n monilähdeaineistosta johdetun hoidonkiireellisyyslukituksen tuloksia maastossa arvioituun taimikonhoidon kiireellisyyteen. Taulukossa 1 on luokiteltu kaikki tutkimuksen kuviot virhematriiseihin. Taulukossa 3 on vastaavat oikeinluokitusprosentit, kappa-arvot ja niiden asymptoottiset keskivirheet.

Koko aineistossa oli maastossa arvioituja kuvioita 83 ja metsäsuunnitelmia apuna käyttäen tarkistettuja kuvioita 42. Kaikkiaan tutkimuksessa oli siis 125 kuviota, joista 93 oli kankailla ja 32 soilla.

Taimikonhoidon kiireellisyyslukitukseltaan oikein luokitui 58 % kuvioista. Maastoluokituksen mukaan kiireellistä taimikonhoitoa tarvitsevasta 22 kuviosta 19 luokitui kuvatulkinnassa oikein. Näiden lisäksi kiireellisesti hoidettavaksi luokitui 8 sellaista kuviota, joille maastossa oli ehdotettu taimikonhoito ensimmäisellä viisivuotiskaudella; yksi toisella viisivuotiskaudella hoidettavaksi ehdotettu taimikko; yksi hoitoa tarvitsematon taimikko ja kaksi kuviota, jotka eivät maastoluokituksen mukaan olleet taimikoita.

Ensimmäisellä viisivuotiskaudella taimikonhoitoa tarvitsevasta 40 kuviosta 17 luokitui kuvatulkinnassa oikein. Toisella viisivuotiskaudella tarvitsevasta

Taulukko 3. Matriiseista lasketut oikeinluokitusprosentit, kappa-arvot ja niiden asymptoottiset keskivirheet (ASE).

	Kiireellisyyslukitus			Hoitotarveluokitus		
	Oikeinluokitus-%	Kappa	ASE	Oikeinluokitus-%	Kappa	ASE
Kaikki kuviot	58	0,47	0,053	74	0,51	0,07
Kankaat	62	0,52	0,062	80	0,59	0,08
Suot	44	0,26	. ^{a)}	56	0,30	0,14

^{a)} Asymptoottista keskivirhettä ei voida estimoida, koska oikeinluokitusmatriisiin kaikissa soluissa ei havaintoa.

19 kuviosta 8 luokitui kuvatulkinnassa oikein.

Kankailla kuvioista 62 % luokitui oikein, kun soilla vastaava luku oli 44 %.

Virhematriisien tulkitsemiseksi laskettiin jokaisesta matriisista oikeinluokitusprosentti ja kappa-arvo. Näiden laskelmien tulokset on esitetty taulukossa 3. Koko aineiston kappa-arvo 0,47 kertoo, että luokitus on onnistunut 47 % paremmin kuin satunnainen luokitus. Tuomisen ym. (2006) mukaan kankaiden kappa-arvoa 0,52 voidaan pitää keskinkertaisena (arvo välillä 0,41–0,60). Soiden kappa-arvo 0,26 tarkoittaa sitä, että luokitus on onnistunut kohtalaisesti.

3.2 Tulokset ilman kiireellisyyslukitusta

Tutkimuksessa selvitettiin myös hoitotarvearvion onnistumista ilman kiireellisyyslukitusta. Tätä varten alkuperäistä luokitusta muutettiin siten, että hoitotarve-luokka sisältää alkuperäisen luokituksen mukaiset luokat: kiireellinen, ensimmäinen viisivuotiskausi, toinen viisivuotiskausi. Ei hoitotarvetta -luokka sisältää kuviot, joissa taimikonhoitotarvetta kuvatulkinnan mukaan ei ole tai se ei ole ajan-kohtainen. Taulukossa 2 on luokiteltu tutkimuksen kuviot virhematriiseihin hoitotarpeen perusteella. Taulukossa 3 on vastaavat oikeinluokitusprosentit, kappa-arvot ja niiden asymptoottiset keskivirheet.

Ilman kiireellisyyslukitusta hoitotarve arvioitiin oikein 74 %:lle kuvioista (taulukko 3). Kankailla oikeinluokitusprosentti oli 80 % ja soilla 56 %. Kappa-arvo 0,51 oli vain hieman parempi kuin kiireellisyyslukittain tehdyn luokituksen tulos.

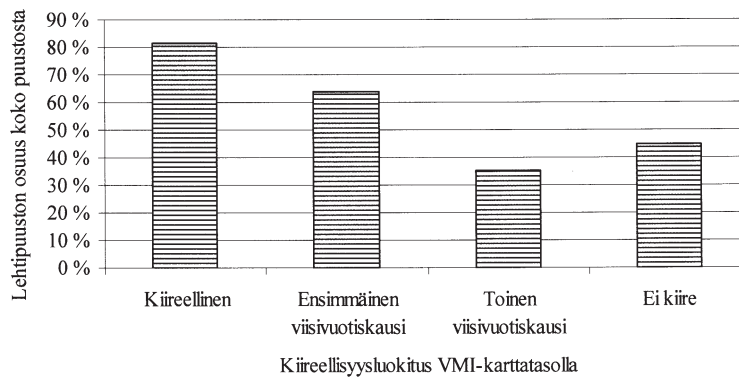
4 Tulosten tarkastelu

4.1 Luokituksen onnistumiseen vaikuttavat tekijät

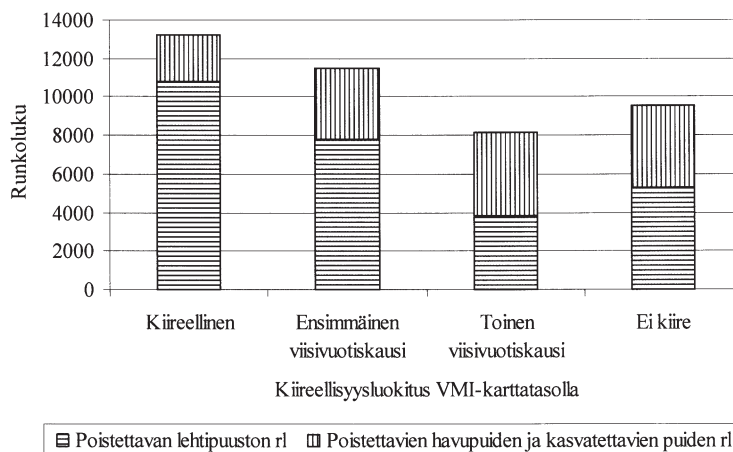
VMI:n monilähdeaineistosta johdetun hoidon kiireellisyysluokituksen mukaisille luokille laskettiin erilaisia keskiarvotunnuksia maastossa mitatuista tunnuksista. Kuvilla 1 ja 2 havainnollistetaan tietoja poistettavan lehtipuun osuudesta ja puuston määrästä eri kiireellisyysluokissa. Kuvat osoittavat tulkinnassa arvioitun hoitotarpeen kiireellisyyden korreloivan hyvin

maastossa mitatun lehtipuuosuuden kanssa.

Satelliittikuvatulkinnan perusteella oikein luokituituvat hyvin tiheät lehtipuuvesakkoa kasvavat kangasmaiden taimikot, joissa vesakko oli kasvatettavia taimia pidempää (kuva 3a). Näiden kohteiden löytyminen on tärkeää tulosten käyttökelpoisuuden kannalta. Kiireellisimmäksi luokittuneilla kuvioilla oli keskimääräinen taimien runkoluku 13 300 kpl/ha ja lehtipuuosuus kuvion puustosta oli noin 82 %. Taimikonhoitotarve on selvä, koska varsinkin valoa vaativat puulajit kärsivät helposti varjostuksesta ja lehtipuiden piiskauksesta.



Kuva 1. Poistettavan lehtipuun keskimääräinen osuus kokonaisrunkoluvusta karttatason mukaisissa kiireellisyysluokissa.



Kuva 2. Kokonaispuuston jakautuminen poistettavaan lehtipuustoon ja muihin puustoon eri kiireellisyysluokittain.

Kuvatulkinnassa toiseen kiireellisyysluokkaan luokitettuneilla kuvioilla oli keskimäärin 11 500 runkoa hehtaarilla ja siitä 64 % oli lehtipuuta. Myös tämän luokan kuviot olivat luokituneet hyvin, sillä luokan kuvioista kolmella neljästä oli hoitotarve ensimmäisellä viisivuotiskaudella. Useimmissa tapauksissa lehtipuut olivat kasvatettavia taimia lyhyempiä (kuva 3b) eikä hoitamattomuus ollut vielä vaurioittanut kasvatettavaa puustoa.

Kuvatulkinnassa luokkaan hoitotarve toisen viisivuotiskauden aikana luokitettuneissa kuvioissa oli eniten virhettä. Tähän ryhmään selvästi luokituneet kuviot olivat lähes poikkeuksetta avosoita tai vähäpuustoisia soita (kuva 4a), minkä vuoksi kuvioiden keskimääräinen runkoluku jäi kaikista pienimmäksi eli noin 8 100 runkoa hehtaarilla. Lehtipuun osuus koko puustosta oli vain 35 %.

Luokkaan ei taimikonhoitotarvetta luokitettuneilla

kuvioilla runkoluku oli keskimäärin 9 500 runkoa hehtaarilla ja lehtipuun osuus jäi 45 %:iin. Tähän luokkaan selkeästi luokitunut kuvio oli yleensä kangasmaalla kasvava lähes puhdas männikkö (kuva 4b), jossa lehtipuun osuus oli erittäin pieni. Näillä kuvioilla taimikonhoidolla ei ollut kiirettä, sillä kasvavat lehtipuut olivat hyvin pieniä ja niitä oli vähän.

Soilla luokitustulos oli heikompi kuin kankailla. Osittain soiden heikko luokitustulos selittyy sillä, että tutkimusaineistossa ei ollut lainkaan kiireellisiä taimikonhoitokohteita soilla. Kuvatulkinnassa kiireelliset taimikonhoitokohteet erottuivat parhaiten ja niiden puuttuminen aineistosta soiden osalta on vaikuttanut oikeinluokitusprosenttiin. Koska suokuvioilla ei ollut kiireellisiä taimikonhoitokohteita, kiireellisyysluokituksen virhematriisin kapparvon keskivirhettä ei voitu estimoida suo-ositteelle. Keskivirhe voitiin estimoida hoitotarveluokituksen



Kuva 3. Kuvatulkinnassa kiireellisesti hoidettavaksi (a) ja ensimmäisellä viisivuotiskaudella hoidettavaksi (b) luokitunut kuvio. Maastoarvion luokitukset vastasivat kuvatulkinnan luokitusta molemmissa tapauksissa.



Kuva 4. Kuvatulkinnassa toisella viisivuotiskaudella hoidettavaksi luokitunut (a) ja luokkaan ”taimikonhoito ei ajan-kohtainen” luokitunut (b) kuvio.

(ilman kiireellisyysluokitusta) virhematriisille myös soiden osalta. Keskivirhe jää suoaineiston pienuudesta johtuen niin suureksi, että kankaiden ja soiden kappa-arvojen erotus ei ole tilastollisesti merkittävä. On todennäköistä, että suuremmassakin aineistossa tulkintatulokset soilla jäisi heikommaksi kuin kankailla, koska erityisesti vähäpuustoisilla kohteilla maaperän kosteus vaikuttaa merkittävästi metsikön heijastussuhteeseen ja siten satelliittikuvan kuva-alkioiden sävyarvoihin (esim. Tokola ym. 1998).

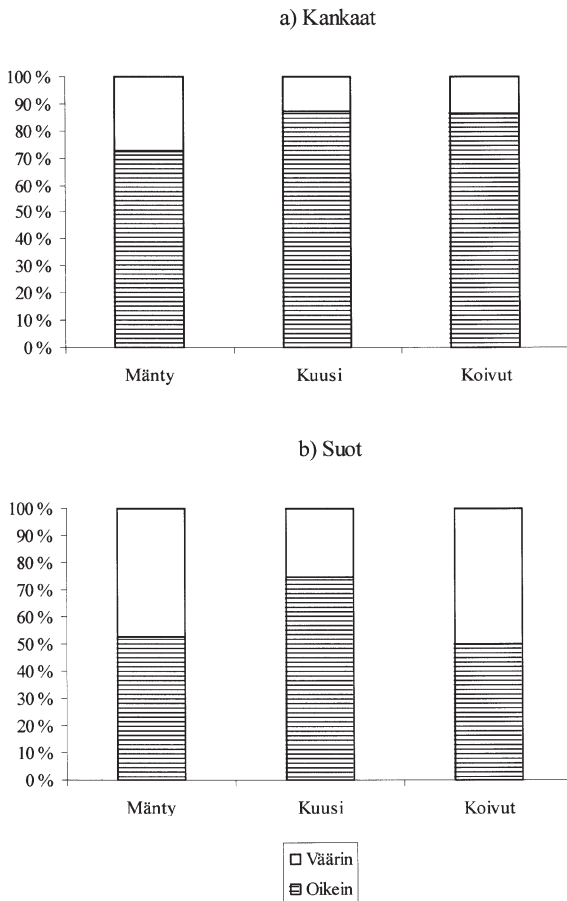
Taimikon vallitsevan puulajin mukaan tarkasteltuna parhaiten luokituitivat kuusivaltaiset kuviot ja heikoimmin mäntyvaltaiset kuviot (kuva 5). Männiköiden kohdalla luokituksen onnistumista heikensi se, että aineistossa oli tiheitä mäntyvaltaisia kuvioita, joissa oli mäntyjen harvennustarvetta, mutta vain vähän raivattavaa lehtipuustoa. Koska hoitotarpeen arviointi perustui kuvatulkinnassa lehtipuusuuden arvioon, tällaiset kohteet luokituitivat väärin.

Joillakin kuvioilla havaittiin, että tiheästä aluskasvustona kasvavasta pajukosta tai pihlajista heijastuva säteily vääristää hoitotarvearviota aiheuttaen kuvion hoitotarpeen luokittumisen kiireelliseksi vaikka

taimikonhoito saattaa olla jo tehty. Myös taimikon vieressä kasvavan varttuneen metsikön aiheuttamat varjot saattoivat aiheuttaa luokitusvirheitä.

4.2 Menetelmän kehitystarpeita

Koska kuva-alkion koko tulkittussa satelliittikuva-aineistossa oli 25 m × 25 m, on kuvioden reunoilla sekapikseleitä, jotka sisältävät puustoa kahdelta tai useammalta kuviolta ja saavat arvonsa erilaisten kohteiden pinta-alalla painotettuna keskiarvona (Tokola ym. 1998). Joissakin tutkimuksissa (mm. Tokola ja Kilpeläinen 1999) on selvitetty erikseen kuvion reuna-alueiden ja keskustan luokitustarkkuutta. Tässä tutkimuksessa hoitotarve arvioitiin kuvatulkinnassa kuviokohtaisesti. Kuvion reunojen tulkitavirheet saattoivat vaikuttaa luokitustarkkuuteen lähinnä siinä tapauksessa, että reunavaikutus oli aiheuttanut lehtipuuston kaltaisen heijastusvaikutuksen. Jos reunavaikutus oli aiheuttanut kuvion lehtipuuston häviämisen tulkinnassa, tällainen kuvio luokitui kuitenkin oikein, jos lehtipuusto oli nähtävissä



Kuva 5. Taimikonhoitotarvearvion onnistuminen a) kankailla ja b) soilla taimikon vallitsevan puulajin mukaan.

kuvion keskiosissa. Reunavaikutusten takia kuvion hoitotarpeen arviointi tulisi kokeilla ilman reunapikseleitä, mutta käytetyssä kuva-aineistossa tämä ei olisi useilla kuvioilla ollut mahdollista kuvioiden pienen koon vuoksi.

Tarkasteltaessa virhematriiseista laskettuja oikeinluokitusprosentteja ja kappa-arvoja on huomioitava, että ne ottavat huomioon vain sen, onko luokitus mennyt oikein vai väärin. Oikeinluokitusprosentti ja kappa-arvo eivät ota huomioon sitä, kuinka paljon (montako luokkaa) oikea luokitus on eronnut karttatason luokitukselta.

Tutkimuksessa satelliittikuvatulkinnan ja maastotarkistuksen välinen aikaero oli kolme vuotta. Ero on taimikkovaiheessa huomattavan pitkä. Maastossa

kiireellisyysarvio pyrittiin tekemään siten, että arvio vastaisi kuvatulkinnan ajankohtaa. Joissakin tapauksissa tämä on voinut aiheuttaa virhettä maastoarvioon, mutta useimmilla kohteilla arvioinnissa ei ollut vaikeuksia. Tulokset olisivat olleet todennäköisesti parempia, jos kuvatulkinnan ja maastotarkistuksen välinen aika olisi ollut lyhyempi. Valtakunnan metsien 10. inventoinnissa on siirrytty vuosittain koko maan kattavaan otantaan ja tihennetty myös satelliittikuvatulkinnan frekvenssiä. Nämä muutokset tarjoavat aiempaa parempaa aineistoa myös taimikonhoitotarpeiden arviointiin.

Tutkimus toteutettiin pienellä alueella Itä-Suomessa. Tulokset ovat todennäköisesti yleistämiskelpoisia suurimmassa osassa maata. Alueilla, joissa karut mäntyvaltaiset taimikot ovat yleisiä, tulokset olisivat heikompia, sillä menetelmä perustui lehtipuuston erottamiseen havupuustosta.

Tuloksia tulkittaessa on huomattava, että tutkimuksessa ei tarkasteltu VMI:n tulosten luotettavuutta vaan hoitotarpeiden kohdentumista oikeille kuvioille VMI:n monilähdeaineistosta tehdyn estimoinnin perusteella. VMI:n tulokset perustuvat pelkästään maastomittauksista tehtyihin laskelmiin eivätkä ne siten ole alttiita tässä tutkimuksessa havaituille kuvatulkinnan virheille.

Tutkimuksen tulosten perusteella VMI:n monilähdeaineistoa voidaan suositella taimikonhoitokohteiden tunnistamiseen. Tulkinnan onnistumista voitaisiin todennäköisesti jonkin verran parantaa pyrkimällä tekemään alkuperäisen satelliittikuvan tulkinta nimenomaan lehtipuuvaltaisia taimikoita hakien, mutta myös tässä tutkimuksessa lähtökohdaksi valittu VMI:n valmiiksi tulkittu monilähdeaineisto osoittautui käyttökelpoiseksi erityisesti kankailla. Suokuvioilla hoitotarvearviot ovat tämän tutkimuksen mukaan heikommalla, mutta tutkimusaineisto oli suotaimikoiden osalta liian pieni yleistämiskelpoisten tulosten saamiseen.

Tutkimuksessa tuotetun taimikonhoitotarvekartan käyttökelpoisuutta voidaan käytännön toiminnassa parantaa muista tietolähteistä hankitulla tiedolla. Esimerkiksi vähäpuustoiset suot voidaan joissakin tapauksissa havaita peruskartoilta tai paikallistunteumuksen perusteella jättää potentiaalisten taimikonhoitokohteiden ulkopuolelle vaikka kohde olisikin kuvatulkinnassa luokitunut taimikonhoitokohteeksi. Metsänhoitoyhdistyksissä ja myös metsäkeskuk-

sisä on tietoa tehdyistä taimikonhoidoista erityisesti kestävänsä metsätalouden edistämisrahoitusta (KEMERA) saaneista kohteista. Tätä tietoa käyttäen voidaan jo tehdyt taimikonhoidot rajata potentiaalisten taimikonhoitokohteiden ulkopuolelle.

Loppusanat

Tutkimuksen tekijät haluavat kiittää Sauli Valkosta ja kahta nimettömäksi jäänyttä käsikirjoituksen arvioijaa käsikirjoituksen parannusehdotuksista.

Kirjallisuus

Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Julkaisusarja 13/2001. 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.

Häme, T. 1984. Interpretation of deciduous trees and shrubs in conifer seedling stands from Landsat imagery. *The Photogrammetric Journal of Finland* 9: 209–217.

Kangas, A., Päivinen, R., Holopainen, M. & Maltamo, M. 2003. Metsän mittaus ja kartoitus. *Silva Carelica* 40. 228 s.

Katila, M. & Tomppo, E. 2001. Selecting estimation parameters for the Finnish multisource National Forest Inventory. *Remote Sensing of Environment* 76: 16–32.

Mäkelä, H. 2001. Estimation of forest stand parameters by Landsat TM imagery and stand-level inventory data. *Lisensiaattitutkinus. Joensuun yliopisto*. 56 s.

Pouliot, D.A., King, D.J. & Pitt, D.G. 2002. Automated assessment of hardwood and shrub competition in regenerating forests using leaf-off airborne imagery. *Remote Sensing of Environment* 12(3–4): 223–236.

—, King, D.J., Bell, F.W. & Pitt, D.G. 2006. Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration. *Remote Sensing of Environment* 82(2–3): 322–334.

SAS Institute Inc. 1999. *SAS Procedures Guide, Version 8*. SAS Institute Inc., Cary, NC. 1643 s.

Tokola, T. & Heikkilä, J. 1995. Satelliittikuvainventoinnin puuston tilavuusestimaattien luotettavuus tilatasolla. Julkaisussa: Korhonen, K. & Mäkkeli, P. (toim.). *Metsien eri käyttömuodot yhdistävä suunnittelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 568: 23–35.

— & Kilpeläinen P. 1999. The forest stand margin area in the interpretation of growing stock using Landsat TM imagery. *Canadian Journal of Forest Research* 29(3): 303–309.

—, Hyppänen, H., Miina, S., Vesa, L. & Anttila, P. 1998. Metsän kaukokartoitus. *Silva Carelica* 32. 156 s.

Tomppo, E. & Katila, M. 1993. Satelliittikuvapohjainen valtakunnan metsien inventoinnin tietotuotanto. Julkaisussa: Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M-L. Paikatiedon ja satelliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 479: 21–26.

—, Katila, M., Moilanen, J., Mäkelä, H. & Peräsaari, J. 1998. Kunnittaiset metsävaratiedot 1990–94. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 4B/1998: 619–839.

Tuominen, S., Holopainen, M. & Poso S. 2006. Multiphase sampling. Julkaisussa: Kangas, A. & Maltamo, M. (toim.). *Forest inventory – methodology and applications. Managing Forest Ecosystems* 10. Springer. s. 235–252.

Valkonen, S., Ruuska, J., Kolström, T., Kubin, E. & Saarinen, M. (toim.). 2001. Onnistunut metsänuudistaminen. *Metsäntutkimuslaitos ja Metsälehti kustannus*. 217 s.

16 viitettä