

Laura Sirro¹, Lauri Häme², Timo P. Pitkänen³, Aki Hostikka⁴, Markus Törmä⁵,
Tuomas Häme¹, Annika Kangas⁶, Yrjö Rauste¹, Rosanna Huotari² ja Joni
Norppa²

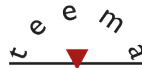
Metsävaratiedon ajantasaistus – satelliittikuviin perustuva muutostulkinta

Sirro L., Häme L., Pitkänen T.P., Hostikka A., Törmä M., Häme T., Kangas A., Rauste Y., Huotari R., Norppa J. (2019). Metsävaratiedon ajantasaistus – satelliittikuviin perustuva muutostulkinta. Metsätieteen aikakauskirja 2019-10260. Tieteen tori: Metsätieto ja sähköiset palvelut. 6 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10260>

Yhteystiedot ¹Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Espoo; ²Satellio Oy (Terramonitor), Helsinki; ³Luonnonvarakeskus, Biotalous ja ympäristö, Helsinki; ⁴Suomen metsäkeskus, Tarkastukset ja valvonta, Lahti; ⁵Suomen ympäristökeskus, Geoinformatiikkatutkimus, Helsinki; ⁶Luonnonvarakeskus, Biotalous ja ympäristö, Joensuu

Sähköposti laura.sirro@vtt.fi

Hyväksytty 30.10.2019



Metsätieto ja sähköiset palvelut

Tausta

Suomen metsäkeskus on päivittänyt metsävaratietoa tähän saakka lähinnä suunnitelluista hakkuista tehtyjen metsänkäyttöilmoitusten perusteella. Metsänkäyttöilmoitukset eivät kuitenkaan sovellu sellaisenaan metsävaratiedon päivitykseen, koska kaikki hakkuut eivät toteudu ilmoitetun kaltaisina ja koska osaa ilmoitetuista hakkuista ei tehdä lainkaan. Metsänkäyttöilmoitukset ovat voimassa kolme vuotta, ja hakkuu voidaan toteuttaa niiden voimassaoloaikana milloin tahansa. Osasta hakkuista metsänkäyttöilmoitus jätetään tekemättä. Metsäkeskus tarvitsi siten hakkuiden seurantaan työkalun, joka antaa vähintään vuosittain tietoa toteutuneista avohakkuista ja harvennuksista.

Euroopan unionin ja Euroopan avaruusjärjestön yhteisen Copernicus-ympäristöohjelman Sentinel-satelliitit ovat kuvanneet optisia satelliittikuvia vuodesta 2015 alkaen. Kuvien tarkkuus on vääräväri-ilmakuvaa vastaavilla aallonpituuskanavilla 10 m. Aineisto on ilmaista ja sitä saadaan Suomesta 2–3 päivän välein. Kuva-aineiston saatavuuteen vaikuttavat myös sään pilvisuus ja vuodenaika.

Maa- ja metsätalousministeriö rahoitti osana Metsätieto ja sähköiset palvelut -kärkihankekokonaisuutta Metsävaratiedon ajantasaistus – satelliittikuviin perustuva muutostulkinta -hanketta. Hankkeen päätavoite oli kehittää menetelmä ja pilottipalvelu metsävaratiedon päivittämiseen ja

metsälain valvomiseen Sentinel-2-satelliittikuvien avulla. Menetelmällä kartoitettiin hakkuiden sijaintia sekä arvioitiin hakkuutapaa ja muutoksen ajankohtaa. Toteutetun pilottipalvelun luotettavuus arvioitiin vertaamalla kartoitettuja hakkuita referenssiaineistoon, jota kerättiin satelliittikuvista, joiden tarkkuus oli puoli metriä. Pilottipalveluun kuului muutostulosten toimittaminen Suomen metsäkeskukselle palvelurajapinnan kautta.

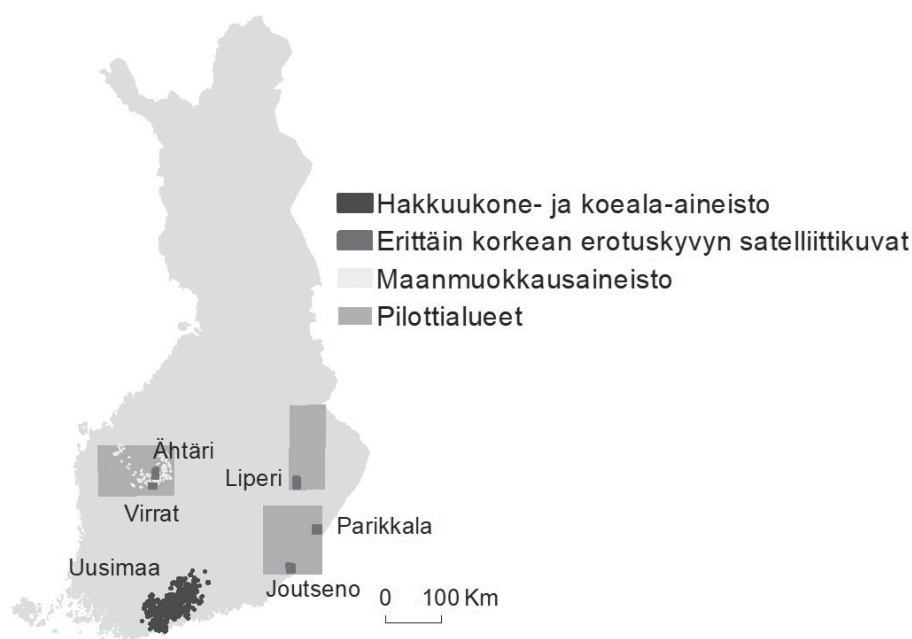
Hankkeessa tutkittiin myös hakatun puuston pohjapinta-alan arviointia sekä maanmuokkauksen ja metsätuhojen erottuvuutta satelliittikuvista. Tämän osan tuloksia käsiteltiin hankkeen loppuraportissa (<https://mmm.fi/metsatieto-ja-sahkoiset-palvelut/loppuraportit>), jossa kuvattiin myös hakkuiden muutostulkintamenetelmä yksityiskohtaisemmin kuin tässä artikkelissa.

Muutostulkintamenetelmän ja pilottipalvelun kehittäminen

Hankkeessa kehitettiin muutostulkintamenetelmä ja pilottipalvelu sovellettavaksi koko Suomen alueelle. Keskeisten tulosten laskentaa ja palvelun pilotointia varten rajattiin kolme pilottialuetta (Kuva 1).

Muutostulkinnan ensisijaisena lähdeaineistona käytettiin Copernicus Sentinel-2 -satelliittikuva-aineistoa vuosilta 2015–2017. Sentinel-2-kuvista rajattiin pilvet manuaalisesti menetelmäkehitystä varten. Varsinaista pilottipalvelua varten kehitettiin automaattinen menetelmä pilvisen kuva-aineiston hylkäämiseen.

Muutostulkintamenetelmän kehityksessä käytettiin paikkatietoaineistoa useasta lähteestä. Metsäkeskuksen koala-aineistoa, kuviomuotoista metsävaratietoa ja Metsätehon keräämää ja käsittelemää kuviomuotoista hakkuukoneaineistoa käytettiin Sentinel-2-kanavien valinnassa ja hakatun pohjapinta-alan mallintamisessa. Metsänkäyttöilmoituksia käytettiin muutoksen luokittelun apuaineistona ja korkean erotuskyvyn kuvien alueen osituksessa referenssiaineiston keräämistä varten. Lisäksi niitä käytettiin menetelmäkehityksessä muutostulkintatulosten laadun arviointiin.



Kuva 1. Hankkeen pilottialueet, virhearvioinnissa käytettyjen erittäin korkean erotuskyvyn kuvien sijainnit ja hakkuukone- ja koala-aineistojen sijainnit.

Menetelmäkehitystyön keskeisin tavoite oli avohakkuiden ja harvennusten paikantaminen. Päättyökälyna oli AutoChange-menetelmä ja -ohjelma, jota on jatkokehitetty viime vuosina usean tutkimushankkeen yhteydessä. AutoChange-muutostulkintamenetelmä perustuu kahden ajankohdan satelliittiaineiston hierarkkiseen luokitteluun. AutoChange tuottaa jokaiselle kohdepikselille maanpeitettä kuvaavan pääluokan, muutostyypin, muutoksen voimakkuuden ja ensimmäisen ajankohdan biomassaindeksin.

AutoChangen tuloskanavien perusteella tehtävän muutoksen luokittelun pääperiaate on, että pikseli luokitellaan hakkuuksi, jos sen pääluokka edustaa metsää ensimmäisen ajankohdan satelliittikuvassa, sen muutostyyppi ennustaa biomassan vähenemistä ja muutoksen voimakkuus liittyy harvennuksille tai avohakkuille määritellyn muutoksen voimakkuuden kynnysarvon.

Kahden kuvan välisten tulkintojen perusteella kehitettiin kuvien aikasarjaa hyödyntävä muutostulkintamenetelmä. Aikasarjamenetelmässä tutkittava alue jaetaan ennalta määrättyihin ruutuihin ja jokaisen ruudun kohdalle tehdään muutostulkinta, joka perustuu usean eri ajankohdan satelliittikuvaan. Tässä tapauksessa kunkin ruudun koko oli 6 km × 6 km. Se perustui Suomessa käytettävään UTM-karttalehtijakoon.

Menetelmässä jokainen muutostulkinta varmistetaan hyödyntämällä useampaa kuvapariver-tailua. Varmistamalla muutostulkinta aikasarjan avulla poistetaan mahdolliset virhetulkinnat, jotka johtuvat yksittäisiin ruutuihin jääneistä pilvistä. Tulosten jälkikäsitelyssä poistettiin muutokset, joiden pinta-ala oli alle puoli hehtaaria.

Aikasarjamenetelmällä laskettiin muutostulkinnat pilottialueille. Laskennassa vertailtiin useita muutosvoimakkuuden raja-arvoja, eli herkkyytasvoja.

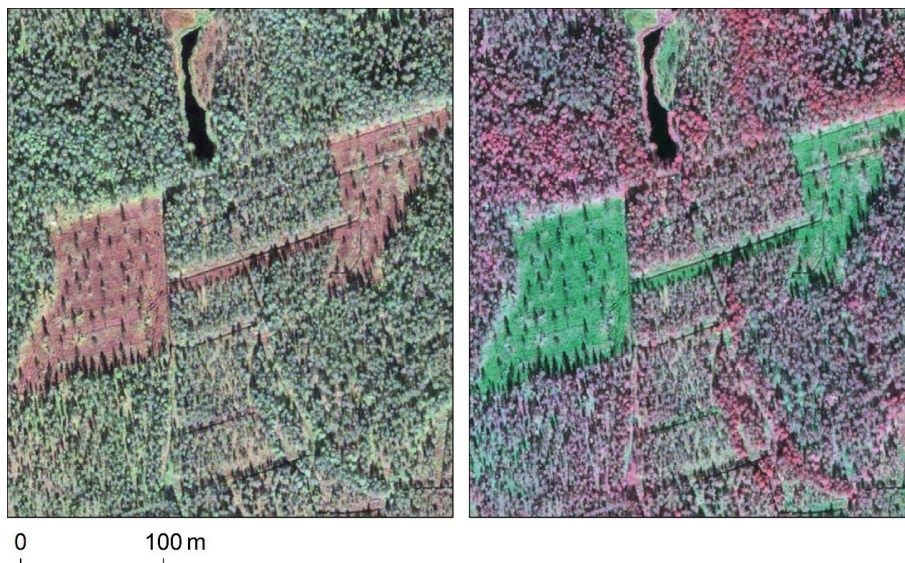
Aikasarjamenetelmän pohjalta kehitettiin pilottipalvelu. Palvelu tuottaa luokituksen hakkuun tyyppistä (pääte-/kasvatushakkuu), geometriasta, muutoksen voimakkuudesta sekä aikavälistä, jolloin muutos on tapahtunut. Lisäksi palveluun sisältyy luotettavuusarvio tulkinnan oikeellisuudesta. Palvelussa tuotettiin hakkuualueiden rajojen lisäksi hilamuotoinen tiedosto, joka ilmaisee keskimääräisen muutoksen voimakkuuden 50 m × 50 m neliöiden alueella maastossa.

Muutostulkintapalvelun pilotti julkaistiin osoitteessa www.hakkuut.fi kesäkuussa 2018. Pilottipalvelu koostuu interaktiivisesta karttakäyttöliittymästä, jonka avulla voi selata tunnistettuja muutoksia internet-selaimella, sekä tiedostojen latausrajapinnasta, jonka avulla palvelun käyttäjät voivat ladata muutostulkinnan tulokset integroitavaksi omaan tietojärjestelmäänsä CSV, GeoJSON-, Shapefile- ja GeoTiff-muodoissa. Käyttöliittymässä voi lisäksi hakea muutoksia päivämäärän sekä karttaruudun tunnuksen perusteella. Metsäkeskus koekäytti pilottipalvelua ja arvioi sen soveltu-vuutta hakkuiden valvontaan.

Hakkuutulkintojen virhearviointi

Hakkuutulkintojen virhearviointi pohjautui referenssiaineistoon, joka kerättiin tulkitsemalla tut-kitulla aikajaksolla tapahtuneet muutokset visuaalisesti korkean erotuskyvyn satelliittikuvista. Kolmelta pilottialueilta valittiin virhearviointia varten yhteensä viisi 100 neliökilometrin koe-alueita, joista tilattiin tarkat satelliittikuvat kolmelta ajankohdalta (Kuva 2). Kuvien pikselikoko oli pankromaattisella kanavalla 0,5 m, joka vastaa käytännössä normaalisti käytössä olevien ilmakeu-aineistojen tarkkuutta.

Referenssiaineisto kerättiin otosruuduista, jotka olivat suorakulmaisia 30 m × 30 m ruutuja. Ne valittiin satunnaisesti kolmesta ositteesta: 1) alueilta, joille oli hiljattain annettu avohakkuuta osoittava metsänkäyttöilmoitus, 2) alueilta, joille oli hiljattain annettu harvennushakkuuta osoittava metsänkäyttöilmoitus, ja 3) alueilta, jotka jäivät viimeaikaisten metsänkäyttöilmoitusten ulkopu-olelle. Oterosruutuja luotiin noin 100 kappaletta kutakin ositetta, viittä koealuetta ja yhden vuoden kuvaväliä kohden, jolloin tulkittavien ruutujen kokonaismääräksi saatiin 2110.



Kuva 2. Pala erittäin korkean erotuskyvyn Pléiades-kuvasta 15.8.2015. Vasemmalla oikeavärikuva ja oikealla väärivärikuva (R: lähi-infra, G: punainen, B: vihreä). Pléiades -kuvat © CNES 2015 distribution Airbus DS. ESA Category-1 -projektit C1F.33532 ja C1F.35754.

Kerätyn referenssiaineiston avulla pilottialueiden hakkuutulkinnoille laskettiin kokonaisluokitustarkkuuden ja luokkakohtaisten tarkkuuksien lisäksi yleisesti käytettyjä luokitustarkkuutta kuvaavia tunnuslukuja.

Menetelmän toimivuus ja käyttömahdollisuudet

Valitusta muutosvoimakkuuden herkkyydestä riippuen havaitut muutokset kattoivat 2.67–12.49 % koko metsämaasta tulkittuna koko aineiston aikajaksolla (2015–17) (Taulukko 1).

Kun muutostunnistuksen onnistumista arvioitiin luokkakohtaisten tarkkuuksien, Cohenin kappa-arvon ja F1-arvon avulla, parhaat tulokset saatiin suhteellisen matalalla kynnystasolla (Taulukko 2). Sopivan herkkyydestason valinta riippuu kuitenkin siitä, miten tärkeää on välttää virheellisesti muutoksiksi tulkittuja alueita verrattuna havaitsematta jääviin muutoksiin. Matalammilla herkkyystasoilla on mahdollista löytää etenkin suurempi osa harvennuksista, mutta tällöin väriin hakkuutulkintojen osuus kasvaa.

Harvennushakkuiden tunnistustarkkuus oli kehitetyllä menetelmällä avohakkuiden tunnistustarkkuutta heikompi. Harvennusten tunnistustarkkuus myös vaihteli koealueittain. Tämän tulkittiin johtuvan etupäässä heikkolaatuisista ja syksyyn painottuvista Sentinel-2-kuvista, jolloin sekä yläpilvien esiintyminen kuvilla että lehtien kellastuminen vaikuttivat tuloksiin. Virhearvioin-

Taulukko 1. AutoChange-ohjelman ja aikasarjamenetelmän avulla havaitut muutokset.

Herkkyytaso	Harvennuskuviot		Avohakkuukuviot		Kaikki muutokset Osuus metsämaasta (%)
	Määrä	Kokonaispinta-ala (ha)	Määrä	Kokonaispinta-ala (ha)	
Matala	1268	4677	908	1436	12,49
Melko matala	519	1445	784	1227	5,46
Melko korkea	257	694	681	1076	3,62
Korkea	129	328	624	977	2,67

Taulukko 2. Erittäin korkean erotuskyvyn kuvista tulkittujen (VHR) ja AutoChange-muutosluokitusten (AC) vertailu, TT = tuottajan tarkkuus (todellisuudessa luokkaan *i* kuuluvien havaintojen todennäköisyys tulla luokitetuksi luokkaan *i*), KT = käyttäjän tarkkuus (luokkaan *i* luokitettujen havaintojen todennäköisyys kuulua todellisuudessa luokkaan *i*).

		Referenssi (VHR)			yht.	KT (%)
		Ei muutosta	Harvennus	Avohakkuu		
Luokitus (AC)	Ei muutosta	1636	109	46	1791	91,3
	Harvennus	28	36	5	69	52,2
	Avohakkuu	13	6	231	250	92,4
	yht.	1677	151	282	2110	
	TT (%)	97,6	23,8	81,9		

Kokonaistarkkuus 90,2 %
 Kappa-arvo 0,681
 Täsmällisyys (engl. precision) 87,1 %
 Herkkyyks (engl. recall) 64,2 %
 F1-arvo 73,9 %

nissa ongelmaksi muodostuivat lisäksi tarkkojen kuvien ja Sentinel-2-kuvien toisistaan poikkeavat päivämäärät.

Pilottipalvelun tuottamien tulosten ja Metsäkeskukseen saapuneiden metsänkäyttöilmoitusten vertailun perusteella näytti siltä, että kaikista toteutuneista hakkuista ei ollut jätetty lain vaatimaa metsänkäyttöilmoitusta. Pilottialueilta saatujen satelliittikuvien perusteella löytyi kymmeniä kohteita, joista ei löytynyt hakkuista vastaavaa metsänkäyttöilmoitusta. Lisäksi löydettiin kohteita, joissa oli hakattu metsälain tarkoittamia erityisen arvokkaita elinympäristöjä.

Muostulkintojen luotettavuus todettiin riittävän hyväksi operatiiviseen käyttöön. Myös harvennusten paikantamisen luotettavuus todettiin Metsäkeskuksen tekemissä maastokäynneissä kohtuullisen hyväksi, sillä kaikki harvennuksiksi luokitellut kohteet todettiin myös maastossa harvennuksiksi, mutta hakattua pohjapinta-alaa yliarvioitiin. Kehitetty pilottipalvelu vastasi Metsäkeskuksen tarpeita. Suurimmaksi haasteeksi luotettavuudelle todettiin mahdolliset aineistoon jäävät pilvet.

Hankkeen tuloksena Metsäkeskus uudisti metsälain toimeenpanon prosesseja. Maa- ja metsätalousministeriö muutti vuotuista tarkastusmääräystänsä vuodelle 2019, siten että metsänkäyttöilmoitusten maastotarkastusten painopiste siirrettiin tapahtuneiden hakkuiden ja niiden laadun valvontaan aikaisemmasta etukäteisvalvonnasta. Hakkuiden jälkeiset tarkastuskohteet haetaan vertaamalla erotuskuvatulkinnan tuloksia muihin Metsäkeskuksen käytössä oleviin aineistoihin. Erojen perusteella maastotarkastukset pystytään ohjaamaan hakkuiden toteutuksen valvonnan kannalta merkittävimpiin kohteisiin. Tarkastusten yhteydessä kerätään myös luontoon liittyvää tietoa kevennetyllä luontolaatutarkastuksella. Tällöin saadaan huomattavasti entistä tarkastuskäytäntöä enemmän tietoa esimerkiksi säästöpuiden määrästä ja laadusta uudistushakkuualueilla.

Toinen uuden aineiston mukanaan tuoma parannus metsälain toimeenpanoon on metsänkäyttöilmoitusten valvonnan tehostuminen. Laiminlyönnit havaitaan valtakunnassa kattavasti ja pääsääntöisesti varsin nopeasti hakkuun jälkeen. Havaitut metsälakirikkomukset eivät ehdi vanhenemaan, mikä on ollut ongelma ennen erotuskuvatulkinnan tulosten käyttömahdollisuutta. Uusi aineisto helpottaa ja tehostaa uudistamisen valvontaa, koska sen avulla saadaan todennetuksi hakkuun ajankohta ja täsmennetyksi hakatun alueen geometria. Aineistoa voidaan hyödyntää myös kestävän metsätalouden rahoituslain jälkihoitovelvoitteiden valvonnassa ja ympäristötukisopimusten noudattamisen seurannassa. Metsäkeskuksen lisäksi menetelmän tuottamaa aineistoa voivat hyödyntää metsien rakenteesta ja siinä tapahtuvista muutoksista kiinnostuneet tahot.

Kirjallisuutta

- Drusch M., Del Bello U., Carlier S., Colin O., Fernandez V., Gascon F., Hoersch B., Isola C., Laberinti P., Martimort P., Meygret A., Spoto F., Sy O., Marchese F., Bargellini P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment* 120: 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
- Häme T., Heiler I., San Miguel-Ayanz J. (1998). An unsupervised change detection and recognition system for forestry. *International Journal of Remote Sensing* 19(6): 1079–1099. <https://doi.org/10.1080/014311698215612>.
- Olofsson P., Foody G.M., Herold M., Stehman S.V., Woodcock C.E., Wulder M.A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment* 148: 42–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>.