

**This is an electronic reprint of the original article.  
This reprint *may differ* from the original in pagination and typographic detail.**

**Author(s):** Tuominen, Sakari; Balazs, Andras; Honkavaara, Eija; Pölönen, Ilkka; Saari, Heikki;  
Hakala, Teemu; Viljanen, Niko

**Title:** Fotogrammetrisen 3D-latvusmallin ja hyperspektriaineiston käyttö aluetason puustotulkinnassa

**Year:** 2017

**Version:**

**Please cite the original version:**

Tuominen, S., Balazs, A., Honkavaara, E., Pölönen, I., Saari, H., Hakala, T., & Viljanen, N. (2017). Fotogrammetrisen 3D-latvusmallin ja hyperspektriaineiston käyttö aluetason puustotulkinnassa. *Metsätieteen Aikakauskirja*, 2017.  
<https://doi.org/10.14214/ma.7820>

All material supplied via JYX is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of the repository collections is not permitted, except that material may be duplicated by you for your research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered, whether for sale or otherwise to anyone who is not an authorised user.

Sakari Tuominen<sup>1</sup>, Andras Balazs<sup>1</sup>, Eija Honkavaara<sup>2</sup>, Ilkka Pölönen<sup>3</sup>, Heikki Saari<sup>4</sup>, Teemu Hakala<sup>2</sup> ja Niko Viljanen<sup>2</sup>

## Fotogrammetrisen 3D-latvusmallin ja hyperspektri- aineiston käyttö aluetason puustotulkinnassa

---

**Tuominen S., Balazs A., Honkavaara E., Pölönen I., Saari H., Hakala T., Viljanen N.** (2017). Fotogrammetrisen 3D-latvusmallin ja hyperspektriaineiston käyttö aluetason puustotulkinnassa. Metsätieteen aikakauskirja 2017-7820. Tutkimusseloste. 3 s. <https://doi.org/10.14214/ma.7820>

**Yhteystiedot** <sup>1</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Talous- ja yhteiskunta, Helsinki; <sup>2</sup>Maanmittauslaitos, Paikkatietokeskus FGI, Kaukokartoitus ja fotogrammetria, Masala; <sup>3</sup>Jyväskylän yliopisto, Informaatioteknologian tiedekunta, Jyväskylä; <sup>4</sup>Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Sensing and integration, Espoo

**Sähköposti** sakari.tuominen@luke.fi

**Hyväksytty** 30.10.2017

**Seloste artikkelista** Tuominen S., Balazs A., Honkavaara E., Pölönen I., Saari H., Hakala T., Viljanen N. (2017). Hyperspectral UAV-imagery and photogrammetric canopy height model in estimating forest stand variables. *Silva Fennica* vol. 51 no. 5 article id 7721. <https://doi.org/10.14214/sf.7721>

---

Metsäsuunnittelun tarpeisiin tehtävässä metsäninventoinnissa on Suomessa siirrytty perinteisestä silmävaraisesta kuvioittaisesta maastoarvioinnista paljolti kaukokartoitukseen perustuvaan puustotulkintaan, jossa lähtötietona käytetään laserkeilauksen tuottamaa 3D-pistepilveä ja vääräväri-ilmakuvaa. Menetelmällä voidaan tuottaa kuviotasolla tarkkoja estimaatteja puuston määrästä ja dimensiosta, mutta ongelmaksi on jäänyt puulajisuuksien tunnistaminen, ja lisäksi taimikkokehitysluokissa tarvitaan edelleen arviointia maastossa. Esimerkiksi puulajitulkinnan tarkentamisessa mahdollisia keinoja ovat pistepilviaineiston tiheyden kasvattaminen tai kuva-aineiston radiometrisen resoluution kasvattaminen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella korkearesoluutioisen fotogrammetrisen 3D-pistepilven ja korkean radiometrisen resoluution hyperspektrikuvan yhdistelmää aluetason puustotulkinnassa. Testialueina käytettiin aiemmin Metsäntutkimuslaitoksen perustamia koemetsiköitä Vesijaon tutkimusalueella, joiden sisään rajattiin 298 9 m säteistä ympyräkoelaa puustotulkinnan testausta varten. Koemetsiköt edustivat eri puulajivaltaisuuksia (mänty, kuusi, rauduskoivu ja lehtikuusi) ja kehitysluokkia (nuoresta kasvatusmetsästä uudistuskypsiin), ja niiden puustomäärän vaihtelu oli muutamasta kymmenestä yli tuhanteen kuutiometriin per hehtaari.

Koemetsiköt kuvattiin kesäkuussa 2014 Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen UAV-multikopterista käyttäen RGB- ja hyperspektrikameraa. RGB-kameran kuvia käytettiin fotogrammetrisen 3D-pistepilven tuottamiseen, hyperspektrikameralla tallennettiin 38 sävykanavaa



**Kuva 1.** Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen UAV-kuvauslaitteisto: Tarot 960 UAV-multikopteri (vasemmalta) ja siihen asennetut RGB- ja hyperspektrikamera (oikealla). Kuvat: Tapio Huttunen.

aallonpituusalueilta n. 500–900 nm. Tutkimuksessa käytetty UAV-lentolaite ja siihen asennettu sensorikombinaatio on havainnollistettu kuvassa 1.

Kuvausajankohtana sää- ja valaistusolosuhteet vaihtelivat huomattavasti aurinkoisesta pilviseen ja ajoittain sateeseen, minkä johdosta hyperspektrikanavilla testattiin radiometristä kalibroitimenetelmää, jolla eri kuvien pikseliarvot muunnettiin kalibroituiksi reflektanssiarvoiksi. Fotogrammetrinen pistepilvi muunnettiin latvuspintamalliksi käyttäen Maanmittauslaitoksen laserkeilauksella tuottamaa maaston pintamallia.

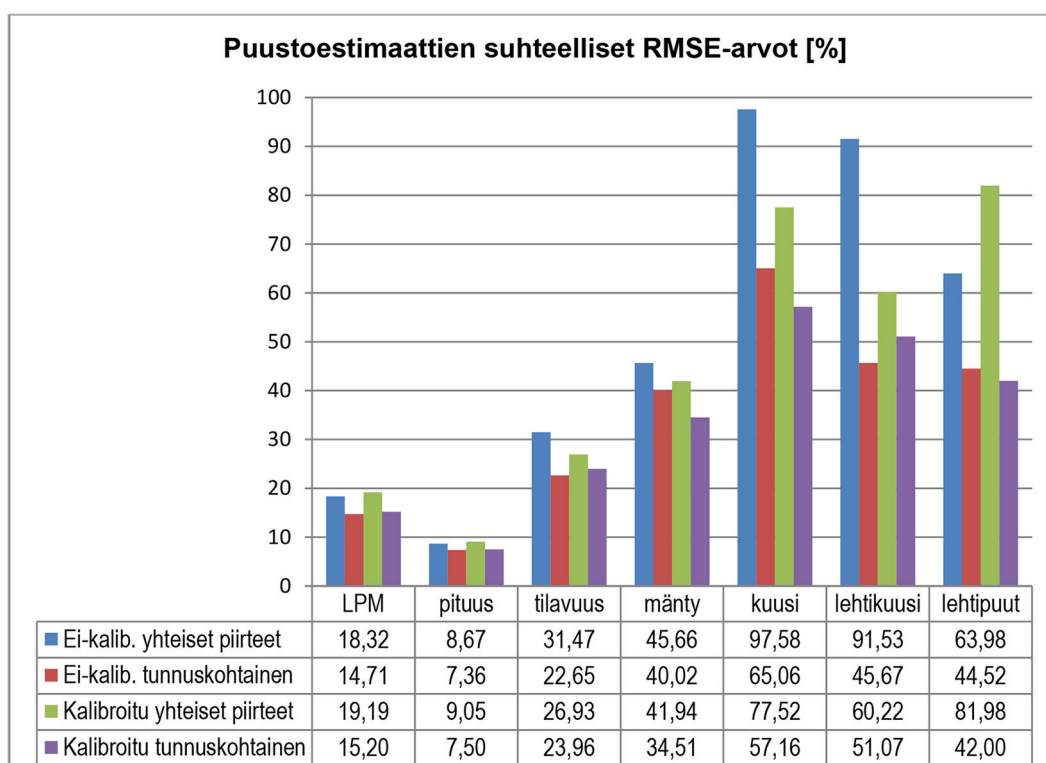
Puustotulkinnan testauksessa käytetyille ympyräkoeloille irrotettiin latvuspintamallin ja hyperspektriaineiston yhdistelmästä suuri joukko tulkintapiirteitä, jotka koostuivat latvumallin pisteiden korkeusjakaumaa kuvaavista piirteistä sekä kalibroitujen ja kalibroimattomien hyperspektrikanavien sävy- ja tekstuuripiirteistä (ml. alkuperäisten kanavien monikanavamuunnokset). Optimaalisen piirreyhdistelmän etsimiseen käytettiin geneettistä algoritmia, jolla haettiin tavoitefunktion mukaista piirreyhdistelmää parhaiden piirteiden periytymisen ja rekombinaatioiden sekä satunnaisen mutatoitumisen kautta. Estimaattorina käytettiin k:n lähimmän naapurin menetelmää. Tavoitefunktiona geneettiselle algoritmillemme oli estimoitujen puustotunnusten RMSE-arvojen minimoiminen, mikä testattiin kunkin piirreyhdistelmän tuottamien estimaattien ristiinvalidoinnilla.

Piirrevalinta tehtiin kahdesta lähtöaineistosta, toisessa oli hyperspektri- ja radiometriset irrotetut alkuperäisistä kalibroimattomista kuvista ja toisessa kalibroiduista. Tällä haluttiin testata sävyarvojen kalibroinnin vaikutus puustotunnusten estimointitarkkuuteen. Piirrevalinnassa testattiin lisäksi kahta vaihtoehtoista lähestymistapaa, toisessa haettiin kaikille puustotunnuksille yhteistä piirrevalintaratkaisua, toisessa haettiin kunkin puustotunnuksen ennustamiseen parhaiten sopivaa piirreyhdistelmää. Yhteisessä ratkaisussa eri puustotunnuksia painotettiin siten, että kokonaistilavuuden paino oli 0.3, keskipituuden 0.2 sekä läpimitan (LPM) ja puulajeittaisten tilavuuksien 0.1. Parhaiten puustotunnuksia ennustavilla piirreyhdistelmillä päästiin hyviin tuloksiin; puuston kokonaistilavuuden suhteelliseksi RMSE-arvoksi saatiin 22.7%, ja vastaavat luvut keskipituudelle ja keskiläpimitalle olivat 7.4% ja 14.7%.

Kuva-aineiston radiometrisen kalibroinnin hyöty näkyi selvästi varsinkin puulajeittaisten tilavuuksien estimaateissa. Poikkeuksena tästä oli lehtikuusi, mikä todennäköisesti johtui siitä, että maastoaineistossa kaikki lehtikuusikoealat olivat melko tai hyvin suuripuustoisia, jolloin pelkkä 3D-pisteaineisto saattoi riittää yksinään tunnistamaan lehtikuusivaltaiset metsiköt. Yleisesti niissä

tunnuksissa, joiden ennustamisessa suurin paino oli 3D-pisteaineiston piirteillä (kuten läpimitta, pituus ja kokonaistilavuus) kalibrointi ei parantanut estimointitulosta.

Puustotunnusten estimoinnissa oli yleisesti ottaen vaikea löytää kaikkien testattujen puustotunnusten estimointiin sopivaa piirreyhdistelmää. Kaikissa puustotunnuksissa parhaan estimointituloksen tuottivat kullekin tunnukselle erikseen haetut kaukokartoituspiirteet. Läpimitan, pituuden ja kokonaistilavuuden osalta kaikille tunnuksille yhteinen piirrevalinta antoi lähes saman estimointitarkkuuden kuin tunnuskohtaiset piirteet. Sen sijaan puulajeittaisissa tilavuuksissa ero yhteisten ja tunnuskohtaisten piirteiden välillä oli suuri. Harvinaisten puulajien ennustamisessa muuttuja-kohtaisesti valitut piirteet pudottivat estimointivirheen lähes puoleen. Puulajikohtaisia tilavuuksia parhaiten ennustavat piirreyhdistelmät antoivat suhteelliseksi RMSE:ksi männyn tilavuudelle 34.5%, kuuselle 57.2%, lehtikuuselle 45.7% ja lehtipuulle 42.0% (Kuva 2).



**Kuva 2.** Puustotunnusten estimointitarkkuus (läpimitta, pituus, kokonaistilavuus ja tilavuudet puulajeittain) eri piirreyhdistelmillä: kalibroitu/ei-kalibroitu, yhteiset piirteet kaikille tunnuksille, tunnuskohtainen piirrevalinta.