

B153

Kari Alasaari, Jori Lahti & Juha Tiainen

**Kasvillisuusindeksidatan
hankinnan vaihtoehdot
viljanviljelyssä:
Kokemuksia
ja havaintoja
Etelä-Pohjanmaalta**

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
B. Raportteja ja selvityksiä 153

Kari Alasaari, Jori Lahti & Juha Tiainen

Kasvillisuusindeksidatan hankinnan vaihtoehdot viljanviljelyssä: Kokemuksia ja havaintoja Etelä-Pohjanmaalta

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Seinäjoki 2020

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
Publications of Seinäjoki University of Applied Sciences

A

Tutkimuksia
Research reports

B

Raportteja ja selvityksiä
Reports

C

Oppimateriaaleja
Teaching materials

SeAMK julkaisut:

Seinäjoen ammattikorkeakoulun kirjasto
Kalevankatu 35
60100 Seinäjoki
p. 040 830 0410
kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-7317-22-8 (verkkojulkaisu)
ISSN 1797-5573 (verkkojulkaisu)

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TIIVISTELMÄ

Alasaari, K. Lahti, J. & Tiainen, J. 2020. Kasvillisuusindeksidatan hankinnan vaihtoehdot viljanviljelyssä: Kokemuksia ja havaintoja Etelä-Pohjanmaalta. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B. Raportteja ja selvityksiä 153. 45 s.

Kesän 2018 aikana selvitettiin kolmea vaihtoehtoista tapaa hankkia NDVI-indeksin arvo ohranviljelyssä. NDVI-indeksioitua lehtivihreäkarttaa voi hyödyntää lohkon sisäisen vaihtelun huomioivassa ja muuan muassa tuotantopanoksia säästävässä täsmäviljelyssä. Tavoitteena oli vertailla traktori-työkoneyhdistelmässä olevaa kasvustosensoiria, satelliittikuvaa ja droonilla hankittua kuvaa lehtivihreäkartan tekemisessä. Koelohko sijaitsi Lapualla. Lisäksi tutkittiin Grainsense-mittaria sadon laadun mittaamisessa ja selvitettiin sadon määrän ja laadun sekä kasvillisuusindeksin yhteyttä keskenään tutkimuslohkolla.

Kasvustosensoireiden tuottamaan lehtivihreädataan verrattuna koelohkolla päästiin droonin lähi-infrapunakameralla 70 %:n varianssin selitysasteeseen. Seuraavaksi paras vertailutulos saatiin satelliittidatasta, jolla selittyi yli puolet kasvustosensoireiden datasta. Huonoin selitysaste oli droonin pelkistä RGB-kuvista saadulla lehtivihreädatalla.

Tarkin sekä helpoiten viljelijän hyödynnettävä NDVI-datan hankkimismenetelmä oli suoraan traktorissa tai työkoneissa kiinni oleva lähi-infrapunaa hyödyntävä kasvustosensoiri. Droonilla hankitun NDVI-datan vahvuus on siinä, että kuvauksia voidaan sään salliessa tehdä usein ja pienin käyttökustannuksin. Satelliittikuvista tehtyjen NDVI-karttojen paras puoli on datan edullisuus ja sen käytön suhteellinen helpous.

Avainsanat: täsmäviljely, kasvillisuusindeksi, paikkatieto, peltoviljely, ohra, NDVI, droonit, kasvustosensoiri, satelliittikuva

ABSTRACT

Alasaari, K., Lahti, J. & Tiainen, J. Getting the vegetation index in plant production: Experiences from South Ostrobothnia, Finland. Publications of Seinäjoki University of Applied Sciences B. Reports 153. 45 p.

The aim of this case study is to compare different means to get the data of vegetation growth and get that data for the needs of precision farming barley at one Southern Ostrobothnian private farm during summer 2018. The vegetation index (NDVI - index) is used widely as a factor to describe the health of the crops during the growing rotation. In this case study a particular interest was on using mapping drones to get that NDVI-map.

A selection of sample field of barley was made by the farmer and the drone-mapping flights were operated three times and at the same time as the farmer spread fertiliser with VRA spreader technic. At the same date also the satellite-NDVI-images were taken down from the Cropsat-system at MyYara-web-based dataservice. The sample barley field was drone-mapped just before the harvesting date. On that field the quantity of the yield was recorded using the combine harvester´s cropmeter and in addition also the quality of the yield was studied with the Grainsense-meter.

With drone-mapping you can get detailed NDVI-maps with a small financial input. Using mapping drones has given satisfactory results to get just-in-time data of the fields. Also the technical development of both the sensing drones and the cloud- data processing services is rapid.

Keywords: precision farming, vegetation index, NDVI, drones, growth sensor, satellite images

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO JA TAVOITE	9
2	TÄSMÄVILJELY JA KASVILLISUUSINDEKSIT VILJANVILJELYSSÄ	10
2.1	Täsmäviljelyn määritelmä ja soveltaminen	10
2.2	NDVI ja muut kasvillisuusindeksit.....	10
3	TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO.....	12
3.1	Yleistä	12
3.2	Satelliittidata	14
3.2.1	Yleistä.....	14
3.2.2	Sentinel-datan hyödyntäminen	14
3.3	On-board kasvustosensorit	15
3.3.1	Yleistä	15
3.3.2	Sensorijärjestelmien toimintaperiaate	15
3.4	Droonit ja sensorit.....	17
3.4.1	Droonit yleistä.....	17
3.4.2	Droonityypit.....	17
3.4.3	Droonisensorit ja tutkimusdronei	21
3.5	Sadon määrän mittaus puimurin satomittarilla	25
3.5.1	Satokartoitus yleisesti	25
3.5.2	Satokarttojen tulkinta	26
3.5.3	Satomittausjärjestelmän rakenne.....	28
3.6	Sadon laadun määrittäminen Grainsense-mittarilla	30
3.7	Tutkimuslohko Taka-Lahnoo	33
4	TULOKSET JA PÄÄTELMÄT.....	34
4.1	Tulokset yleistä	34
4.2	Tutkimuslohko Taka-Lahnoon tulokset.....	34
4.3	Päätelmät.....	42

LÄHTEET

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

NDVI	Normalized Difference Vegetation on kasvillisuusindeksi, joka lasketaan kaukokartoituksen, kuten satelliittikuvauksen avulla saatavan materiaalin perusteella. Se ilmoittaa vihreän kasvillisuuden ja lehtivihreän suhteellisen määrän alueella.
RGB-kuva	Kuva, jossa eri värejä on muodostettu sekoittamalla keskenään näkyvän valon aallonpituusalueen punaisen, vihreän ja sinisen väristä valoa.
NIR-kuva	Lähi-infrapunakuva, jonka muodostamisessa käytetään hyväksi sähkömagneettisen spektrin lähi-infrapuna-alueita.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle - miehittämätön ilma-alus; nykyisin tästä käytetään myös termiä UA =unmanned aircraft
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System - kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisuus, johon sisältyy kauko-ohjattu ilma-alus, sen kauko-ohjauspaikat, tarvittavat ohjaus- ja seurantayhteydet ja muut erikseen määrätyt käytön edellyttämät järjestelmän osat.
VLOS	Visual Line-of-Sight - suoraan näköyhteyteen perustuva kauko-ohjatun ilma-aluksen tai lennokin lennättäminen siten, että kauko-ohjaaja tai lennättäjä pitää ilman apuvälineitä suoraa näköyhteyttä ilma-alukseen.
BVLOS	Beyond Visual Line-of-Sight - suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta, jossa kauko-ohjaaja tai lennättäjä pitää apuvälineiden avulla yhteyttä kauko-ohjattuun ilma-alukseen.

1 JOHDANTO JA TAVOITE

Raportin tavoitteena on selvittää NDVI-kasvillisuusindeksidatan hankinnan vaihtoehtoja viljanviljelyyn. Lisäksi selvitetään NDVI-indeksistä saadun lehtivihreäkartan avulla peltolohkojen sisäisiä kasvuvaihteluja kasvukauden aikana. Samalla tutkitaan viljasadon laatua ja määrää yhdellä tutkimuslohkolla.

Kasvinviljelyssä peltolohkon sisäisestä vaihtelusta saadun tiedon avulla voidaan edistää ravinteiden täsmähyödyntämistä. Pellon muuttujien mittaaminen kasvukauden aikana ja niistä saadun datan käsittelyn merkitys on kasvanut pyrittäessä parantamaan peltoviljelyn kannattavuutta ja ympäristöystävällisyyttä. Peltokasvit tuottavat kasvimassaa ravinteiden, veden ja auringonvaloa absorboivan lehtivihreän avulla. Yleisesti kasvien ravinnetarpeesta kertoo kasvukauden aikainen lehtivihreäkartta, jonka avulla yritetään parantaa viljanviljelyn sadon määrää, laatua ja kasvinviljelyn kannattavuutta. Tässä raportissa selvitetään kolmella tavalla kasvillisuusindeksidatan hankintaa lannoitteiden ja torjunta-aineiden täsmälevitystä varten.

Tällä hetkellä tarkimmat ja käytännössä helpoiten hyödynnettävät lehtivihreäkartat täsmäviljelyyn saadaan maataloustraktori-työkoneyhdistelmään kuuluvista kasvustosensoreista. Ne kuvaavat läheltä maanpintaa vakiovalotuksella kasvustoa ja laitteisto tekee reaaliajassa suoraan esimerkiksi lannoittimen säätöä lohkon sisällä kasvusensorien antaman datan mukaan. Voiko suhteellinen kalliita kasvustosensoreita korvata edullisemmilla dronisensoireilla tai satelliittikuvista saatavalla datalla kustannustehokkaasti?

Tutkimuslohkoina olivat viljalohkot Lapualla. Kenttäkokeet tehtiin kesällä 2018.

2 TÄSMÄVILJELY JA KASVILLISUUSINDEKSIT VILJANVILJELYSSÄ

2.1 Täsmäviljelyn määritelmä ja soveltaminen

Täsmäviljelyn tavoite on selvittää viljelyn muuttajat ja epävarmuustekijät samalla optimoiden resurssien käyttöä ja suojella tuotantoympäristöä (Gebbers & Adamchuk 2010). Määritelmän mukaan täydellinen täsmäviljelyjärjestelmä koostuu neljästä osasta, joita ovat: (1) pellon muuttajien mittaaminen ja datan käsittely, (2) päätöksenteko, (3) tarkka pellon kasvun seuranta ja (4) viljelytoimenpiteet ja tulosten arviointi (Yao ym. 2011).

2.2 NDVI ja muut kasvillisuusindeksit

Pellon kasvuston kasvukuntoa ja elinvoimaa kuvastavat monet tekijät, joiden yhteisvaikutuksesta hyvä ja terve kasvusto muodostuu. Erilaiset kasvillisuusindeksit (VI) on kehitetty kuvaamaan sekä kasvuston laatua että määrää käyttäen hyväksi fotospektrisiä mittauksia samaan tapaan kuin kasvuston biomassaa tai maan happamuus (Bannari ym. 1995). Kasvuston kasvu ja yhteyttämisteho perustuu lehtivihreän määrään ja sen toimintaan kasvustossa. Kasvuston kunnon arviointi perustuu pääosin kasvin lehtivihreän heijastuksen voimakkuuteen ja sen arviointiin. Lehtivihreän suhteellista määrää mittaava Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse ym. 1974) on täsmäviljelyssä yleisesti käytetty kasvuston tuoreen ja kuivan biomassan määrän ennustaja.

Benedettin ja Rossinin (1993) mukaan NDVI kuvaa erittäin hyvin kasvin yhteyttämiskapasiteettia ja -tehokkuutta. Emilia Romagnan alueella Italiassa tehdyn case-tutkimuksen mukaan vehnän satoa voitiin ennustaa ja arvioida NDVI-indeksin avulla jyvän kehittymisen kasvuasteessa. Poimimalla heijastuvista aallonpituuksista punaisen ja ns. lähipunaisen (NIR) alueen kaista kapeana täsmällisenä piikkinä, saadaan tarkempi signaali lehvästön heijastusvoimakkuudesta. Juuri tuolla lähipunaisella (NIR) alueella heijastuksen ero hyvinvoivan ja stressaantuneen kasvin välillä on selkein (Knaapi 2019, 52 - 55).

NDVI-indeksin käytössä on havaittu myös ongelmia. Lehtivihreämittaritulosten on todettu olevan herkkiä ympäristön olosuhteille ja kasvin fysiologiselle tilalle (Xiong ym. 2015). Varsinais-Suomessa tehdyssä maan kasvukunnon hoitoon

keskittyvässä hankkeessa tutkittiin pikamenetelmiä kasvin ravinnetilan kuvaajina. Analysoitavina kasveina oli viljoja, palkokasveja, rapsia, perunaa ja sipulia. Tulosten perusteella pikamenetelmien ja kasvianalyysin tulosten välillä on hajontaa. Lehtivihreätulokset eivät vastanneet kasvin typpipitoisuutta. (Mattila, Manka & Rajala 2018.)

Tällä hetkellä väärävärikuvat soveltuvat lähinnä kasvuston sisäisten erojen tarkasteluun. Kuva-analyysin avulla voitaisiin kuitenkin tunnistaa kuvista kohdat, joissa NDVI on selvästi alle tai yli jonkin raja-arvon, jolloin kuvia voitaisiin käyttää esimerkiksi lannoituksen optimointiin, kuten nykyisin käytössä olevia kaupallisia sensoreita. (Tremblay ym. 2008.)

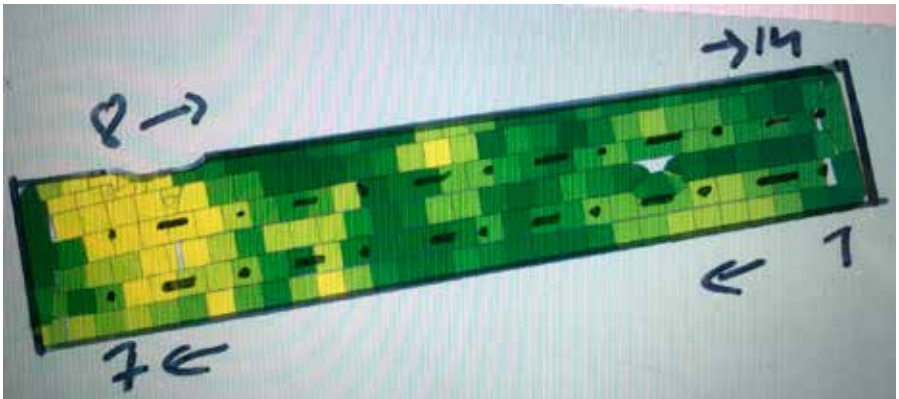
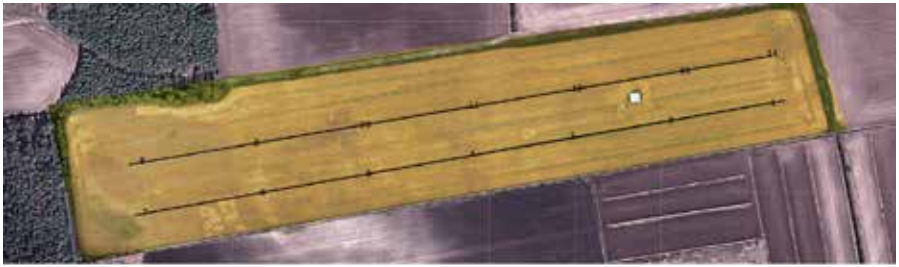
3 TUTKIMUSMENETELMÄ JA -AINEISTO

3.1 Yleistä

Tavoitteena oli hankkia vertailudataa NDVI-indeksistä kolmella eri menetelmällä useilla peltolohkoilla. Lopulta vertailukelpoista dataa saatiin vain yhdeltä lohkolta. Vertailu tehtiin Yaran satelliittikuvista tehtävän NDVI-kartan, droonilennoista Dronedeploy-pilvipalvelun avulla tehtävän NDVI-kartan ja Trimblen GreenSeeker-traktori-työkoneyhdistelmässä mukana olevan kasvillisuussensorien pohjalta tehdyn NDVI-kartan välillä. Tutkimuslohko sijaitsi Lapulla maatalousyrittäjä Kari Alasaaren mailla. Etukäteen oli tiedossa tutkimuksen haasteet saada vertailukelpoista dataa useamalta lohkolta muun muassa sääolojen takia, jotka voivat jopa estää droonilennot ja vaikeuttaa riittävän hyvien satelliittikuvien saantia.

Tutkimusmenetelmänä oli ensin visuaalinen karttojen vertailu ja tulkinta, jonka lisäksi tehtiin tutkimuslohkolla systemaattisen otannan ja koelapisteiden avulla tilastollinen vertailu. Visuaalinen vertailu perustui lehtivihreäkartojen värien eroihin peltolohkon silmävaraisesti isoja vaihteluja etsien. Systemaattinen otanta tehtiin Taka-Lahnoo-koelohkolla, jolle laadittiin 14 koepisteen verkosto. Näistä samoista pisteistä määriteltiin NDVI-arvot sekä satelliittikuvien, droonikuvien että kasvustosensoorien lehtivihreäkartoista. Samoin Grainsense-mittarilla lisäksi mitattiin samoista pisteistä saadun sadon laatu ja leikkuupuimurin satomittarista samoista pisteistä saadun sadon määrä.

Koepisteet Taka-Lahnoo-lohkolle määritettiin kuvan 2 visuaalisen kalvosapluunan avulla. Kaikista 14 pisteestä määritettiin visuaalisesti kolmella eri kartalla pisteiden NDVI-arvo. Takalahnoo-lohkon Grainsense-mittauspisteet sijaitsivat ajouran vieressä metrin päässä urasta suoraan 90 astetta sivullepäin. Jokaisesta 14 koepisteestä otettiin näyte keräten koepisteestä metrin säteeltä 3 - 4 pisimmästä ohrasta tähkät yhteen kämmenelle.



Kuvat 1 ja 2. Mallisapluuna 14 koepisteen määrittelykselle. Kuvassa 2 tulkitaan Green Seekerin NDVI-kartan koepisteiden antamia arvoja (Kuvat: Juha Tiainen 2018).

Mittaustuloksista laskettiin lisäksi Pearsonin korrelaatiokertoimet NDVI-arvoille siten, että haettiin vastausta kysymykseen, voiko dronikartta tai satelliittikartta antaa riittävän tarkkuuden täsmäviljelytoimenpiteisiin verrattuna kasvustosensorien vastaavaan karttaan. NDVI-arvon määrittelyssä oletusarvona paras tarkkuus on tässä selvityksessä kasvustosensorilla. Green Seekerin tyyppinen kasvustosensori käyttää omaa homogeenista valon lähdettään ja valotusta jokaisen kuvan otossa kasvustosta, ja lisäksi kuvaamisetäisyys on varsin pieni verrattuna droni- tai satelliittikuvaukseen.

Korrelaatiokertoimen avulla haettiin sitä, onko kolmella eri NDVI-menetelmällä keskenään tilastollista merkitsevyyttä. Korrelaatiokertoimen neliön (r^2) avulla voidaan lisäksi selvittää, miten paljon esimerkiksi dronilla saatu NDVI selittää Green Seekerin NDVI-arvojen varianssia.

Pearsonin korrelaatiokerroin r

$$r = (\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})) / n s_x s_y \quad (1)$$

missä

n on lukuparien x_i, y_i lukumäärä

s_x, s_y ovat muuttujien x ja y keskihajonnat ja

\bar{x} ja \bar{y} ovat muuttujien x ja y keskiarvot

Ensimmäinen vertailu noin kesäkuun alussa tehtiin visuaalisesti tulkitsemalla. Haettiin vastausta seuraaviin kysymyksiin: Löytyykö kolmen menetelmän avulla samoja lohkon osia samalla lehtivihreäkartan tulkinnalla ja onko kartoissa merkittäviä eroja. Kaikki tutkitut menetelmät käyttävät omaa laskenta-algoritmia NDVI-arvon laskentaan, joten vertailu ei onnistu suoraan lukuja absoluuttisesti keskenään vertaamalla. Oletusarvona on, että jos merkittäviä eroja kartoissa ei ole niin näiden pohjalta tehtävät käskykartat esimerkiksi ohran jaetun lannoituksen tyyppilannoitukseen ovat myös eri menetelmillä hyvin saman kaltaisia tai samoja. Toinen vertailu tehtiin kesäkuun lopussa lohkon koepisteiden NDVI-kolmen eri menetelmän arvoja hyödyntäen.

3.2 Satelliittidata

3.2.1 Yleistä

Yksi lähde NDVI-kartalle on satelliittikuvat. Satelliitit tuottavat NDVI-karttojen lisäksi paljon myös muutakin dataa (Jarman & Dimmock 2018). Havaintovälineitä on useita erilaisia, mutta NDVI:n osalta on olennaista, että tavallisten värin aaltopituuksien lisäksi satelliitin kamerassa on kyky myös lähi-infrapuna-aallonpituuksille. Nykyään NDVI-tiedot maatalouden käyttöön haetaan pääsääntöisesti Sentinel-2 satelliittien datasta (Satelliittiteknologia kehittyä voimalla 2016).

3.2.2 Sentinel-datan hyödyntäminen

Sentinel-2 satelliitteja on kaksi, joista toinen ylittää saman paikan Suomen kohdalla viiden päivän välein (Sentinel Online 2019). Satelliittien kameroiden resoluutio on niin hyvä, että ne kykenevät 10 m resoluutioon NDVI-karttoja tehtäessä. Sentinel-satelliitit kuvaavat myös muilla aallonpituuksilla kuin NDVI:iin käytettävillä, joilla resoluutio ei välttämättä ole yhtä hyvä.

Sentinel-satelliittien data on suosittua erityisesti siksi, että niiden resoluutio on varsin riittävä ja se on avointa. Maataloudessa harvoin hankitaan niin sanottua raakadataa satelliitilta vaan se hankitaan joltain palveluntarjoajalta, joka on jalos-

tanut sitä jo käyttökelpoisempaan muotoon. Näitä palveluita alkaa olla enenevässä määrin ja suomalaisia vaihtoehtoja ovat kehittäneet esimerkiksi Mtech Digital Solutions sekä Suonentieto. Tässä tutkimuksessa käytetään Yaran CropSAT-palvelua, jonka on kehittänyt ruotsalainen Dataväxt (Heimala 2018). Satelliittikuvien hyödyntämistä rajoittaa kuvaushetken sää. Pilvisyys on este tulkintakelpoisen satelliittikuvan saannille.

3.3 On-board kasvustosenorit

3.3.1 Yleistä

On-board kasvustosenoreilla tarkoitetaan tässä joko traktoriin tai työkoneeseen kiinteästi tai puolikiinteästi asennettavia kasvustosenorijärjestelmiä. Yleisesti sensorit asennetaan joko traktorin katolle tai traktorin keulalle tulevaan puomistoon riippuen valmistajan ratkaisusta. Sensorit voidaan asentaa myös kasvinuojeluruiskun tai lannoitteenlevittimen puomistoon. Käytettäessä sensoreita rehunkorjuuketjussa, voidaan ne asentaa myös niittoyhdistelmään mittaamaan rehuksuston biomassaa.

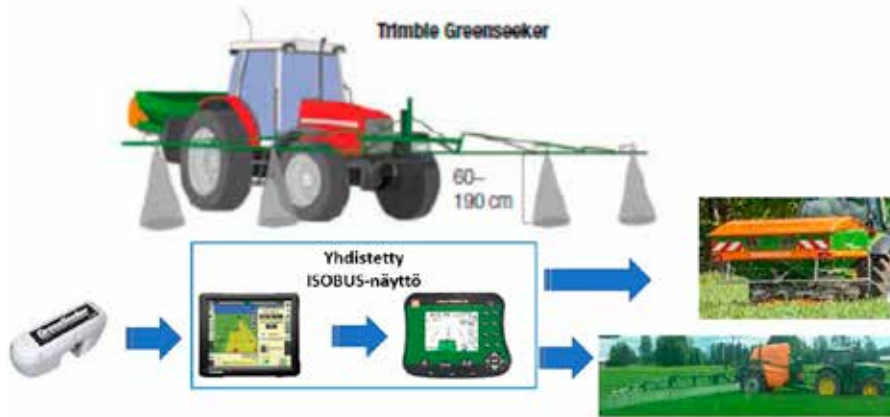
Markkinoilla on tällä hetkellä saatavilla kokonaisratkaisuja monilta sensorivalmistajilta. Tunnetuin ja eniten Suomen markkinoilla käytettävä järjestelmä on Yaran tarjoama N-sensor ratkaisu, jonka sensoritekniikka tosin perustuu Agriconin tekniikkaan. Muita ratkaisuja ovat Trimblen Greenseeker, AG Leaderin OptiRX sekä saksalainen Fritzmeier-Umwelttechnikin ISARIA-järjestelmä.

Näiden lisäksi markkinoille on tulossa lähivuosina uusia ja edullisempia järjestelmiä mittaamaan kasvuston biomassaa ja elinvoimaisuutta. Myös markkinoilla olevat toimittajat tuovat uudistettuja ja parannettuja ratkaisujaan. Kasvukaudelle 2019 Yaran N-sensorista tuli saataville uudistetulla sensoritekniikalla oleva päivitetty ALS2-malli (Yara 2018). Isaria taas on julkistanut syyskuussa 2019 CNH-konsernin kanssa yhteistyö- ja myyntisopimuksen omien tuotteidensa laajempaan levitykseen (Claver 2019). Isarian tekniikkaa käyttää myös Claas-konserni omassa täsmäviljelyratkaisussaan.

3.3.2 Sensorijärjestelmien toimintaperiaate

Eri toimittajien sensorijärjestelmien peruseriaate on melko samanlainen, joten tässä tarkastelussa keskitytään enemmän käytössä olleeseen Trimblen Greenseekeriin. Muut ratkaisut toimivat pääpiirteittäin samalla tavoin käyttäen hieman toisistaan poikkeavia valonpitouksia ja laitteistoratkaisuja. Yara on vielä luonut järjestelmän päälle lisää toiminnallisuutta asentamalla kokonaisuuteen

tietokoneen, joka laskee kasvuston lajikohtaisia lannoitustarpeita kasvuasteen mukaisesti. Nämä tiedot perustuvat Yaran laji- ja lajikekohtaisiin laajoihin monivuotisiin mittauksiin.



Kuva 3. Havainnekuva Trimblen Greenseeker-järjestelmästä (Kuva: Kari Alasaari 2018).

Traktorin liikkua eteenpäin edessä olevassa puomistossa olevat kasvusto-sensorit mittaavat reaaliaikaisesti kasvuston biomassan määrää ja vihreän värin sävyä 60 kertaa sekunnissa. Traktorin ajouraopastin luo sitten sensorien tietojen perusteella kasvillisuusindeksi-arvon. Ajouraopastin ohjaa paikkakohtaisen NDVI-arvon mukaan perään kytkettyä pintalevitintä tai kasvinsuojeluruiskua tehdyn reseptin mukaisesti joko RS-323 portin välityksellä laitteen ohjausboxia tai suoraan yhdistetyn ISOBUS-terminaalin kautta. Paikkakohtaisesti levitetty määrä ja vastaava kasvillisuusindeksi-arvo tallentuvat ajouraopastimeen ja ovat myöhemmin käytettävissä uusia viljelytoimenpiteitä suunniteltaessa tai tehtyjen toimenpiteiden dokumentointiin.

On-board kasvustosensorien avulla voidaan kasvuston täsmälannoitus tai kasvinsuojelutoimenpide tehdä kerta-ajolla ilman erityisiä esivalmisteluja. Tämä on erityisen tärkeää toimiessa urakoitsijana ja operoitaessa useilla pirstaloituneilla lohkoilla. Kasvustosensorijärjestelmän arvokas (15 000 - 30 000 €) hankintahinta ja vaadittava täsmäviljelymenetelmien perusosaaminen osaltaan rajoittavat järjestelmien yleistymistä. Ratkaisutoimittajien tekemien laskelmien mukaan järjestelmät tehokkaasti käytettynä ovat kannattava investointi jo reilun 100 hehtaarin tiloilla. Urakoitsijakäytössä järjestelmät toimivat tehokkaasti palvelen myös useamman tilan tarpeita.

3.4 Dronit ja sensorit

3.4.1 Dronit yleistä

Drooni on yleisnimitys miehittämättömille ja kauko-ohjatuille muuttuva- tai kiinteäsiipisille lentolaitteille (UAV tai UA). Hyötykäyttödrooneissa on yleensä lento-automatiikan lisäksi erilaisia kameroita, muita antureita tai maatalouskäyttöön sopivia ruiskutuslaitteita.

Drooneja voidaan lennättää näköyhteydellä (lennätysetäisyys alle 500 metriä = VLOS) tai lennätysautomatiikan avulla ilman näköyhteyttä (yli 500 metriä = BVLOS). BVLOS-lennätykseen tarvitaan kännykkäyhteyden päässä oleva tähyistäjä droonia ohjaavan pilotin lisäksi.

Droonin komponentit ovat

- A) runko puomeineen, sensoritelineineen (gimbaalit kameroilla) ja laskutelineineen
- B) potkurit kiinnikkeineen, harjattomat moottorit, nopeudensäätimet ja akku
- C) radiolähetin ja -vastaanotin sekä lennonsäädin "äly" (flight controller)
- D) erilaisia antureita, esim. IMU (inertia measuring unit), barometri, GPS, LiDAR-laserkeilain, infrapuna- tunnistin.

Jotta droonia voidaan lennättää, tarvitaan drooniosan lisäksi radio-ohjain, monitori, videolinkki, akkuja ja laturi. Drooneja voidaan lennättää automatiikka-avusteisesti tai kokonaan autonomisesti. Videolinkki ja monitori ovat tärkeitä droonin manuaalisen lennätyksessä sekä autonomisen lennätyksen asetusten säädössä ja lennätyksen valvonnassa. Tyypillisesti ammatti- ja hyötykäytössä drooneja lennätetään paljon automatiikalla, esimerkkinä kartoituslennot. Jos videolinkki menetetään, niin drooni saadaan palaamaan turvallisesti lentoonlähtöpaikalleen (Return-To-Home) kotiinpaluu-toiminolla.

3.4.2 Droonityypit

Dronit voidaan luokitella sekä teknisen rakenteen että käyttötarkoituksen mukaan. Päärakennetyypit ovat kiinteäsiipiset dronit eli perinteiset lennokit ja muuttuvasiipiset dronit, joita yleensä kutsutaan nimityksellä multikopterit. Viimeisen viiden vuoden aikana multikopterit ovat ottaneet markkinat haltuunsa. Suoraan kaupasta ostettavia multikoptereita löytyy neli-, kuusi- tai kahdeksanmoottorisina versioina. Lisäksi varsinkin drooniharrastajat rakentavat itse markkinoilla löytyvistä

osista ns. customdrooneja tiettyyn käyttötarkoitukseen. Valtaosa markkinoilla tällä hetkellä myytävistä drooneista on valmistettu Kiinassa.



Kuva 4. Kiinteä-deltasiipinen yksimoottorinen työntöpotkurilla varustettu kartoitusdrooni. Rakenne on yksinkertainen ja kolhuja kestävä. Mallin lento-önlähtö tehdään kädestä tai tarkoitusta varten tehdyllä telineellä ja lasku maastoon (Kuva: Juha Tiainen 2018).

Kiinteäsiipiset droonit ovat tarkoitettu isojen pinta-alojen kartoitukseen nopeasti, tyypillisesti yhdellä akullisella kartoitetaan yli 100 ha. Yleisimmät muuttuvasiipiset kaupalliset droonit ovat multikoptereita. Neljällä tai useammalla sähkömoottorilla ja potkurilla varustettuja multikoptereita on tarjolla eri hinta- ja kokoluokissa ja niitä myydään täysin lentovalmiina. Droonin hallintaan riittää yleensä vain älypuhelin tai tablettitietokone. Ammattimaiseen käyttöön sopivien droonien hintaluokat alkavat kameradroonien noin 800 eurosta ja päättyvät esimerkiksi autonomisen ruiskutusdroonin noin 15 000 - 20 000 euroon.



Kuva 5. Tyypillinen kartoituslentoihin pystyvä nelikopteri varusteineen (Kuva: Juha Tiainen 2018).

Tällä hetkellä droonien käyttö maataloudessa Suomessa on tyypillisesti kameran ja kuvien hyödyntämistä täsmäviljelyn apuna. Nykyisen lainsäädännön mukaan nestemäisten aineiden lentolevityskielto koskee myös drooneja. Tulevaisuudessa on mahdollista lainsäädännön muuttuessa tehdä tarkkoja torjunta-aineruiskutuksia RTK (Real Time Kinetic) -drooneilla, joilla paikannus onnistuu parin senttimetrin tarkkuudella oman GPS-tukiaseman avulla. Droonitekniikassa on jo päästy eteenpäin kahdessa ongelmakohtassa, lentoajassa ja hyötykuormassa. Kehittyvä akkuteknologia, sekä polttomoottorin ja sähkömoottorin yhdistävät hybrididroonit mahdollistavat jo kymmenien kilojen hyötykuorman esimerkiksi rakeisen lannoitteen levittämiseen. Myös kahden tunnin lentoajat tankkaamatta tai lataamatta akkuja ovat mahdollisia. Muun muassa Kiinassa ja USA:ssa droonien avulla tehtävien torjunta-ainelevityksen tai liukoisen lannoitteen levityksen työsaavutus on ollut noin 15 - 20 hehtaaria tunnissa.



Kuva 6. Kasvinviljelyruiskutuksiinkin pystyvä RTK-drooni (Kuva: Juha Tiainen 2018).



Kuva 7. Ruisku-RTK- droonin puomiston pää, jossa harjaton moottori, jonka alla on ruiskun säädettävä suutin (Kuva: Juha Tiainen 2018).

Ennen dronin lennättämistä muussa kuin harrastelennätyksessä on huomioitava lupa- ja vakuutusasiat. Ns. kolmannen osapuolen vahingot kattava vastuuvakuutus on paikallaan osana ennen dronien hyötykäyttöä, samoin kuin Traficomille tehtävä toimijailmoitus Droneinfo.fi-portaalissa (Droneinfo 2019). Kaikkien, niin harraste- kuin hyötykäyttölennättäjien tulee huomioida lentokorkeus ja -alueet. Vuonna 2018 Suomessa suurin sallittu dronien lennätyskorkeus on 150 metriä muilla kuin lentokielto- tai -rajoitusalueilla. Lisää tietoa muun muassa lentokieltoalueista saa Droneinfo-sivuilta.

3.4.3 Dronisensorit ja tutkimusdroni

Tärkein ja ensimmäinen hyötykäyttöön otettu sensori dronissa on kamara monine variaatioineen. Jotta kuvaaminen onnistuu kaikenlaisissa lentotilanteissa niin kamerat on yleensä kytketty dronin runkoon joustavalla, värinän vaimentavalla ja sähköisesti säädettävällä kameratelineellä eli gimbaalilla. Gimbaalin hinta on perustason kameradrooneissa usein yhtä suuri tai suurempi kuin siihen kytketyn kameran. Peruskamerat ovat tyypillisesti HD- 4K-tason RGB-kameroita. Markkinoilta löytyy myös multispektri- tai jopa hyperspektrikuvaukseen pystyviä kameradrooneja. Muun muassa kotimainen Videodrone-yritys valmistaa tilaajan vaatimusten mukaan erilaisilla kameroilla varustettuja drooneja (Videodrone 2020).



Kuva 8. Geodronen multikopterissa on mukana suorituskykyinen laserkeilain (Kuva: Juha Tiainen 2018).



Kuva 9. DJI Phantom4 Pro plus NIR-kamera (Kuva: Sentera 2018).

Tutkimuksessa käytettiin kartoitusdatan keruussa kaupallista DJI:n Phantom 4 Pro-multikopteria, johon Sentera-niminen yritys Minneapolisissa USA:ssa oli lisännyt lähi-infrapuna-alueetta kuvaavan pienen kamaran vakio RGB-4K-videokameran lisäksi. Kamera on kytketty DJI:n drooniavioniikkaan siten, että sillä onnistuu tuplakuvaus aina molemmilla kameroilla saman aikaisesti. Droonin teknisiä tietoja on esitetty taulukossa 1. Kameran massa on 25 grammaa, ja kannattimieenkin modifikaation lisämassa on vain n. 50 grammaa. Tämä pieni lisämassa ei vaikuta kokemuksiemme mukaan havaittavasti multikopterin lento-ominaisuuksiin tai lento -aikaan. Lisä-NIR-kamera on kiinnitetty joustavasti perusdrooniin, ja se kuvaa aina pystysuoraan alaspäin (Kuva 9). Nelikopterin käyttölämpötila on $0^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ja sitä ei ole luokiteltu veden- tai roiskeveden kestäväksi.



Kuva 10. Senteran lähi-infrapunakameramodifikaatio. Huomaa värinänvaimentimet kameratelineessä. Lisäksi kamerassa on oma Micro-Sd-muistikorttipaikka datan tallennusta varten (Kuva: Sentera 2018).

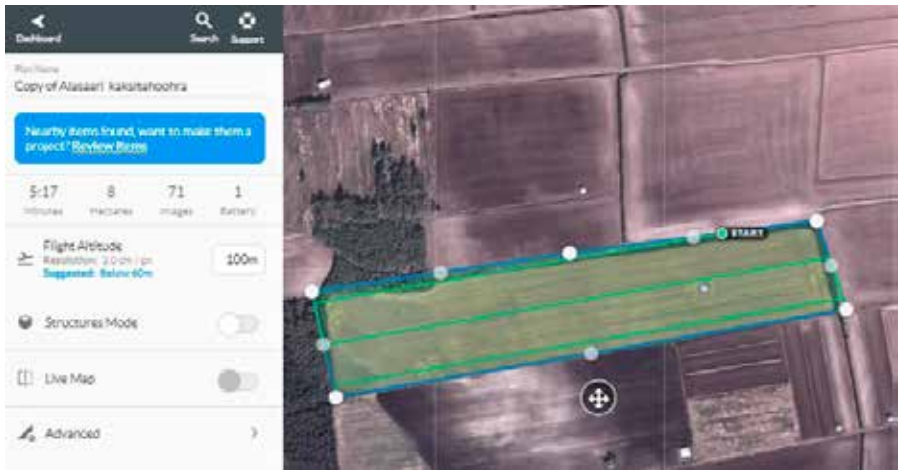
Taulukko 1. Senteran NIR-kameran tekniset ominaisuudet (Sentera 2018).

<ul style="list-style-type: none">• Storage 32 GB SD card per sensor, Image format JPEG• Approximately 18 000 images per card
<ul style="list-style-type: none">• Image format JPEG, TIFF, power 2W
<ul style="list-style-type: none">• Frame rate 10,5 MP Stills: 3 fps, 1,2 MP Stills: 15 fps, 720p Video: 24 fps
<ul style="list-style-type: none">• Field of view 44 degrees HFOV and customizable based on application
<ul style="list-style-type: none">• Interfaces Ethernet, serial/UART
<ul style="list-style-type: none">• Control Open ICD for triggering and metadata logging over serial or IP
<ul style="list-style-type: none">• Compatible with Lockheed Martin Kestrel autopilot, PixHawk autopilot
<ul style="list-style-type: none">• Customized ICD options available

Tutkimusdronilla voidaan kuvata paitsi normaaleja värikuvia (RGB) niin myös punaisen ja lähi-infrapuna-alueen kuvia, joista saadaan määritettyä normalisoitua kasvillisuusindeksiä (NDVI).

3.4.5 Dronedeploy pilvipalveluna

Jatkuvaan, määrävälein tai pari-kolme kertaa kesän aikana tapahtuvaan, kasvukunnon seuranta sopii hyvin koko lohkon systemaattinen kartoitus pystyilmakuvien avulla. Näiden pystyilmakuvien orto-oikaisuun ja yhtenäisen kuvamosaiikin muodostamiseen tarvitaan sopiva pilvipalveluohjelmisto. Kesän 2018 aikana seurantalohkojen kartoituslennot suunniteltiin ja toteutettiin lennonsuunniteluohjelmalla kalifornialaisella Dronedeploy-ohjelmalla (www.dronedeploy.com). Lentosuunnitelmalla voidaan toteuttaa systemaattinen pystyilmakuvien otanta dronin autonomisen lennon ja automaattikameroiden avulla. Lähi-infrapunakameralla otetut pystykuvat ladataan dronin kameran muistikortilta pilvipalveluun, jossa kuvat orto-oikaistaan ja niistä muodostetaan yhtenäinen kuvamosaiikki. Tuloksena saadaan mm. tarkka 2D-ilmakuva kartoitettavasta lohkosta, lehtivihreäkartta (NDVI) sekä 3-D-malli alueesta.



Kuva 11. Tutkimuslohkon (Taka-Lahnoo, Lapua) kartoituslennon suunnitelma toteutusta varten (Kuva: Juha Tiainen 2018).

Kartoitettavan alueen pinta-ala 8 hehtaaria, lennon kesto reilu 5 minuuttia ja systetaattisesti otetaan alueelta tasavälein 71 pystyilmakuvaa. Yleensä hyvää ortomosaiikkikuvaa varten tarvitaan noin 65 - 75 % ylipaitto (overlap), jossa edellisen ilmakuvan kuvausalueesta otetaan ko. prosenttien verran seuraavassa kuvassa mukaan kuvausalueeseen.

Kartoituslennon tuloksena saatua NDVI-lehtivihreäkarttaa voi hyödyntää paitsi tarkkailussa, myös täsmäviljelyn jaetussa lannoituksessa. Lehtivihreäkartasta saadaan joko suoraan pilvipalvelusta tai itse kuvatiedostoa (shapefile) muokaten ns. käskykarttatiedosto traktorin ajo-opastimelle, joka säättää esimerkiksi lannoitimen levittämää typpilannoituksen määrää lohkolla.

3.5 Sadon määrän mittaus puimurin satomittarilla

3.5.1 Satokartoitus yleisesti

Uusiin puimureihin on oston yhteydessä mahdollista valita lisävarusteeksi satomittauslaitteisto. Vanhempiin puimureihin satokartoituslaitteisto voidaan asentaa myös jälkiasennuksena. Sadonmittauslaitteisto koostuu useimmiten reaaliaikaisesta kosteusanturista, törmäysanturista tai optisesta viljanvirtausanturista, leikkuupöydän korkeussensorista, sekä paikkatiedon mahdollistavasta GPS-laitteistosta. Anturien tietojen avulla saadaan lohkolta tallennettua paikka-kohtainen satotaso ja kosteustieto. Satokartoituslaitteisto on avainkomponentti myös tuotteen jäljitettävyyshetjussa.

Tulevaisuudessa on myös paikkakohtainen valkuaismittaus tulossa mahdolliseksi. Näitä ollaan testaamassa jo muutamissa kärkipuimureissa.

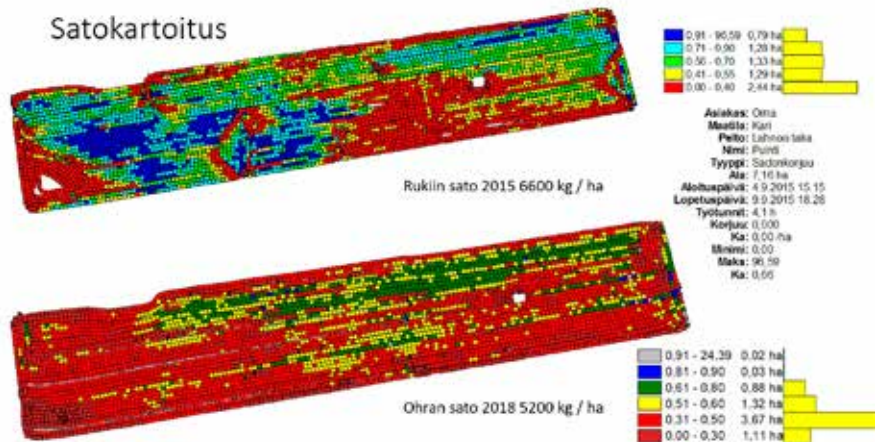
Jälkiasennettavia sadonmittauslaitteistoja on saatavilla useammalta ajo-opas-tinvalmistajalta (Trimble, AG Leader, AgriCom) sekä RDS valmistaa pelkästään tätä käyttöä varten tehtyä laitteistoa. Puimurivalmistajien omista järjestelmissä käytetään anturipuolella näitä yleisesti markkinoilla olevia antureita, jotka ovat integroitu puimurin omiin järjestelmiin.

Satokartoituksessa saatava tieto täytyy vielä analysoida. Tätä varten löytyy markkinoilta suunnitteluohjelmistoja, joiden avulla voidaan satokarttoja retusoida ja keskiarvottaa. Useamman vuoden satokarttoja käyttämällä voidaan lohkoa tehdä satopotentiaalikartta, jota voidaan käyttää sitten hyväksi seuraavien vuosien viljelysuunnittelussa lannoitusten ja kylvötiheyksien määrittelyssä. Satopotentiaalikartan avulla saadaan osaltaan selville myös maalajien ja multavuuksien vaihtelua ja niitä voidaan sitten tasapainottaa maan peruskunnostustoimenpiteitä suunniteltaessa.

Satomittari vaatii käyttäjältä kalibrointia näyttääkseen oikeita satotasoja pellolta. Mittarin kalibrointi ei tosin ole mikään iso tehtävä ja perusmäärittelyt on tarve tehdä vaan alussa. Satomittarin tärkein anti onkin lohkon sisäisten satovaihteluiden tunnistus, ei niinkään täysin absoluuttiset kilomäärät. Lohkon lannoitusta ja perustoimenpiteitä voidaan suunnitella näiden historiatietojen perusteella. Satokartoissa kuitenkin eri vuosina parhaiden satokohtien paikat lohkon sisällä voivat vaihtua maalajien käyttäytymisellä eri olosuhteissa.

3.5.2 Satokarttojen tulkinta

Alla on satokarttakuvat saman lohkon satotasosta kahdelta eri vuodelta. Vasemman pään savisempi ja vähäsen korkeampi osa käyttäytyy täysin eri tavoin eri vuosina. Lohkon yläpuolisko taas on tasaisemmin tuottavaa ja oikea alaneljännes taas multavampana maalajina on ollut heikompi satotasoltaan näinä vuosina.



Kuva 12. Lohkon satokartat satovuosilta 2015 ja 2018 (väreissä hehtaari-sadot x10) (Kuva: Kari Alasaari 2018).



Kuva 13. Lohkon kasvustoa 2018 pari päivää ennen puintia (Kuva: Kari Alasaari 2018).

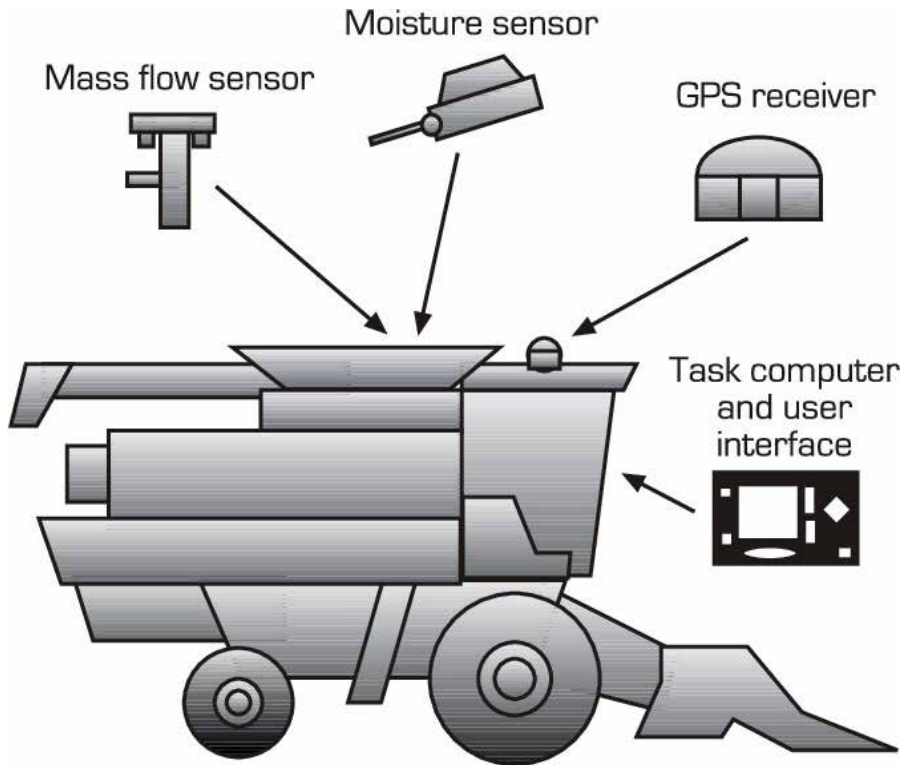
Kuvassa 12 olevat satokartat kahdelta vuodelta todentavat hyvin, että eri vuosiansatokarttojen perusteella pellon kasvuston erot painottuvat eri osille lohkoa riippuen viljeltävästä kasvista, kasvukauden sääolosuhteista ja muista ympäristökijöistä.

Satokartoista saadaan hyvin tietoa pellon kasvukuntoeroista, kun valitaan useampi vuosi satokarttoja, joiden perusteella tunnistetaan hyvät ja heikot paikat. Vertailuvuosien valintaan tulee kiinnittää erityisen paljon huomiota, että valitaan toisiaan tukevat satokartat. Tunteamatta pellon viljelykiertoa tämä voi olla haastavaa.

Satokartoissa voi olla vääristymiä satotasoissa vaikkapa lakoontuneen viljan ja sitä kautta heikomman sadon vuoksi. Todellisuudessa tämä lakoontuminen on kuitenkin johtunut paremmasta kasvukunnosta ja kasvusto ei sen vuoksi ole kestänyt pystyssä. Kuten kuvasta 12 nähdään voi peltolohkon eri osat käyttäytyä kevät- ja syysviljoilla eri lailla ja aiheuttaa taas virhetulkintoja. Satokarttojen tulkinta ilman lohkon taustatietoja voikin viedä päätelmiä väärään suuntaan ja sen vuoksi on vaikea täysin automatisoida ja vaatii käytännössä käsitöitä.

3.5.3 Satomittausjärjestelmän rakenne

Puimureiden sadonmittausjärjestelmä koostuu viljalevaattoriin asennettavasta viljan virtausanturista (Mass flow sensor), kosteusanturista (Moisture sensor), GPS-antennin ja järjestelmän avulla saadaan paikkatieto ja nopeus, sekä pöydänkorkeusanturista, jolla määritellään tallennettavat kohdat pellostä. Nämä tiedot kerätään laitteistoon, joka laskee satotason ja tuo sen näytölle ja tallettaa tiedon joko muistiinsa tai lähettää tiedot suoraan pilvipalveluun jatkokäsittelyä varten. (Ketomäki 2017.)



Kuva 14. Yksinkertaistettu esimerkki satomittauslaitteiston komponenteista (Grisso, Alley & McClellan 2005).

Satomäärän mittaus perustuu joko viljalevaattorissa viljavirtaa mittaavaan valokennoon tai sen sijaan elevaattorin kattoon asennettavaan massavirtaa mittaavaa törmäysanturiin. Tämä anturityyppi on monien uusien puimureiden, kuten John Deeren, tehtaalla asennettava anturityyppi. (Ketomäki 2017.)

Kosteus mitataan kapasitiivisella anturilla, joka asennetaan sopivaan kohtaan viljavirtaa mittaamaan arvoja reaaliaikaisesti. Tarkempi asennuspaikka ja tapa on valmistajakohtainen. Osassa puimureita on valmius näille jo varattuna valmiina tehtaalla. (Ketomäki 2017.)



Kuva 16. RDS:n Ceres 8000i sadonmittauslaitteiston näyttö (Kuva: RDS Technology 2018).

3.6 Sadon laadun määrittäminen Grainsense-mittarilla

Perinteisesti viljasta on mitattu viljan kosteus ennen puintia ja sadosta puinnin jälkeen. Nykyään sadosta halutaan selvittää kosteuden lisäksi varsinkin valkuispitoisuus ja muita viljan laatutekijöitä.

Infrapuna-analytiikka tarjoaa teknisiä ratkaisuja näiden viljan tärkeimpien laatutekijöiden määrittämiseen. Vallalla on kahta IR-tekniikkaa. NIR-analytiikassa (Near Infrared Reflectance) mitataan, paljonko lähetetystä infrapunaalueen valosta heijastuu takaisin viljanäytteestä. NIT-laitteistoissa (Near Infrared Transmittance) selvitetään, paljonko valosta pääsee viljanäytteen läpi (Isosaari 2017).

Kotimainen Grainsense-mittalaite kykenee analysoimaan tällä hetkellä neljästä pääviljalajista kosteuden ja lisäksi öljykasveista kosteuden, valkuais- ja öljypitoisuuden. Laitteessa on oma lähi-infrapuna-avalonlähde, jonka tuottama NIR-valo kulkee noin 50 - 100 jyvän muodostaman näytteen läpi. Laite mittaa laatutekijät NIT-periaatteella. Ratkaisun tekee mahdolliseksi näytteen mittauksen ajaksi peittävä puolipallon muotoinen kansi, joka heijastaa mittaukseen käytetyn valon mittakennolle (Isosaari 2017). Mittaustarkkuus on noin 0,2 prosenttiyksikköä. Alla olevasta kuvasarjasta käy ilmi näytteen otto Grainsenselle ja tulokset sekä niiden tulkinta.



Kuvat 17 ja 18. Grainsense-mittalaite on kevyt, helposti mukana kulkeva ja kompakti (Kuvat: Juha Tiainen 2018).

GrainSense-analysointilaite toimii tavallisilla AA-kokoisilla paristoilla. Laite tekee analyysin itsenäisesti ja vertaa sitä referenssisarjaan. Analysointilaite kytketään bluetooth-yhteydellä matkapuhelimeen tai tablettiin. Mobiililaitteeseen asennettu ohjelmisto vastaa tarvittavasta laskennasta, tulosten käsittelystä sekä paikkatiedosta (Isosaari 2017). Tässä pilottityyppisessä tutkimuksessa käytettiin ainoastaan mittarin näytöltä suoraan luettavia arvoja, jotka valokuvattiin datan tallennusta ja analysointia varten (Kuva 22).



Kuvat 19 ja 20. Näytetähkät "puitiin" kädessä poistaen vihneet ja epäpuhtaudet, jotta päästiin kuvan 21 noin reilun 50 - 80 ohranjyvän tilanteeseen (Kuvat: Juha Tiainen 2018).



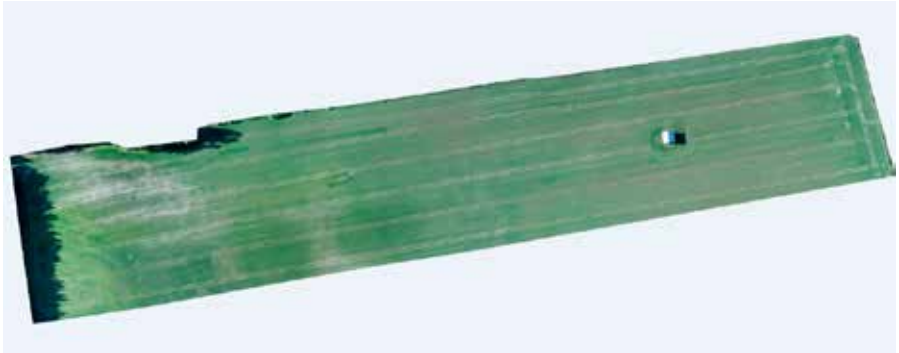
Kuva 21. Näytejyvät valmiina analysoitavaksi mittalasin päällä. Itse analyysi on kannen sulkemisen jälkeen noin muutaman sekunnin toimenpide (Kuva: Juha Tiainen 2018).



Kuva 22. Valokuvatallenne yhden koepisteen proteiini- ja kosteusprosentista. Näyttöä selaten saadaan myös hiilihydraatti- ja öljyprosentit selville näytteestä (Kuva: Juha Tiainen).

3.7 Tutkimuslohko Taka-Lahnoo

Tutkimuslohko Taka-Lahnoon pinta-ala oli 7 ha, ja kuvassa 23 on lohko kuvattuna 6.6. 2018. Lohkolla kasvoi kaksitahoinen Harbinger-ohralajike. Taulukossa 2 on esitetty lohkon maaperätietoja.



Kuva 23. Taka-Lahnoo. Viljana Harbinger 2-taho-ohra. Kasvukauden toimenpiteet 15.5. kylvä, 1.6. oraslannoitus, 14.6. tautitorjunta, 23.6. lisälannoitus, 26.6. tautisuojaus ja 25.8. puinti (Kuva: Juha Tiainen 2018).

Tutkimuslohkolla kartoituslennot dronilla olivat ruiskutus-levityspäivinä 6.6., 15.6., ja 26.6. sekä myös 22.8. 2018. Satelliittikuvat yritettiin saada samoilta päiviltä Yaran CropSat-palvelusta. Lisäksi 22.8.2018 tehtiin Taka-Lahnoosta myös sadon laadun arviointi GrainSense-mittarilla. Lohko puitiin ja satokartoitus tehtiin 25.8.

Taulukko 2. Taka-Lahnoon maaperätietoja (kaksi näytettä) (Alasaari 2018).

Lohko	Ala, ha	Maa-laji	Multa-vuus	pH	Ca mg/l	P mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Cu mg/l	B mg/l	Mn mg/l	Zn mg/l	S mg/l
Taka-	7,24	1 HHT	rm	6,2	2555	5,5	94	337	2,3	0,7	3	1,9	19
Lah-noo		2 HHT	erm	6,2	3099	5,3	129	458	2,3	0,8	3	1,6	25

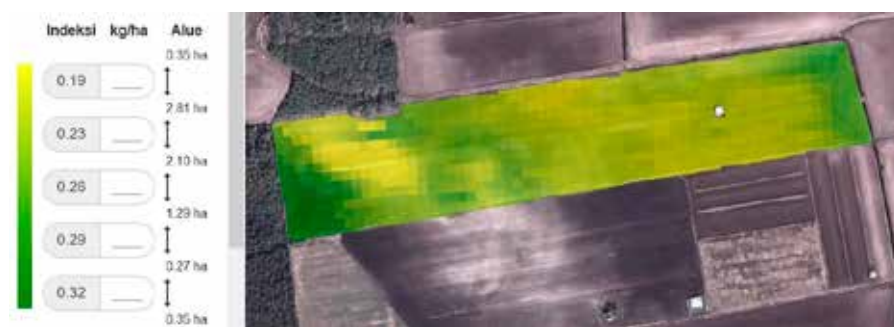
4 TULOKSET JA PÄÄTELMÄT

4.1 Tulokset yleistä

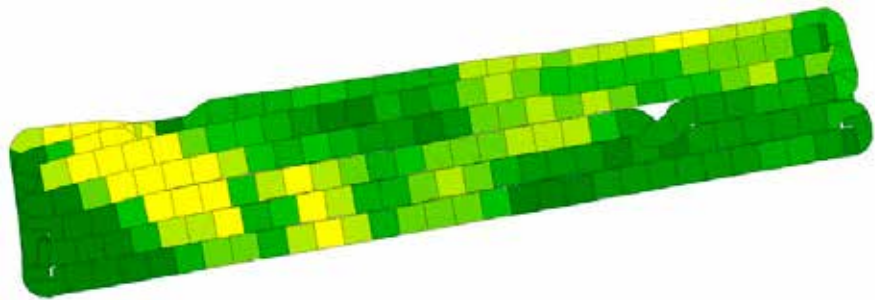
Tutkimuslohkolla NDVI-vertailua tehtiin neljänä eri ajankohtana. Haasteena oli saada kaikista käytetyistä menetelmistä vertailukelpoista dataa samalla kertaa. Pilvisyydestä johtuen satelliittikuvia saatiin samaan aikaan kahden muun mittausmenetelmän kanssa vain kahtena ajankohtana, kesäkuun alussa ja 25.-26.6. Ennen puintia droonilla kuvattiin lisäksi lohko Taka-Lahnoo. Tässä kartoituslennossa lähi-infrapunakuvien peitto ei riittänyt täydellisen ortomosaiikin tekoon pilvipalvelussa vaan lohkon itäosa jäi puuttumaan. Kartoituslentojen aikana oli sää vaihtelevan pilvipoutainen ja tuulinen, mutta Phantom 4 Pro:n tuulensieto- ja suorituskyky riitti kaikkiin kartoituslentoihin mainiosti.

4.2 Tutkimuslohko Taka-Lahnoon tulokset

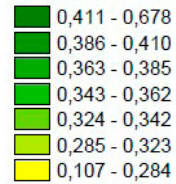
Visuaalisessa kuvien lehtivihreän määrän tulkinnassa seuraavissa kuvissa 24, 25 ja 26 on havaittavissa hyvän kasvun alueet lehtivihreän määrällä mitattuna lohkon itäpäässä, keskiosan pohjoisosassa sekä länsipäässä. Green Seeker on määrittänyt lisäksi ison osan länsi-eteläosaa lohkoista runsaan lehtivihreän kasvuston alueeksi. Yhteinen huonon kasvun alue tässä vaiheessa näyttäisi olleen itäosan keskiosa, heti hyvän kasvun päädyn vieressä oleva alue.



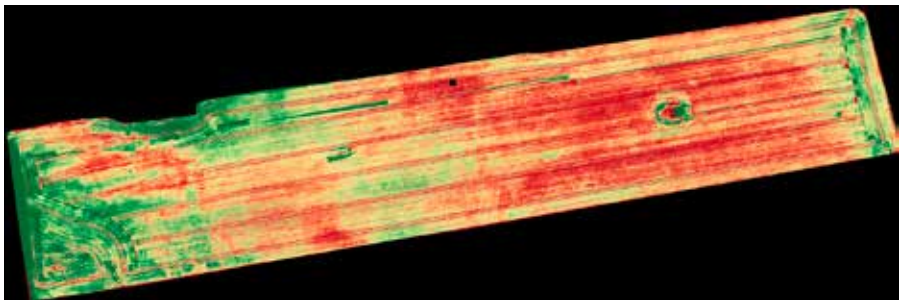
Kuva 24. Taka-Lahnoon satelliittikuva 31.5. Kuvassa myös NDVI-indeksin arvon jakauma (Kuva: Juha Tiainen 2018).



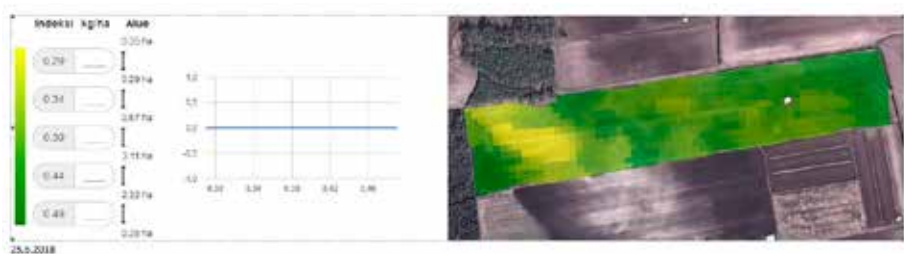
Asiakas: Oma
Maatila: Kari
Pelto: Lahnoo taka
Nimi: Kartoitus
Tyyppi: Istutus/kylvö
Ala: 8,07 ha
Aloituspäivä: 6.6.2018 21.03
Lopetuspäivä: 6.6.2018 21.23
Työtunnit: 0,3 h
Minimi: 0,107
Maks: 0,678
Ka: 0,356



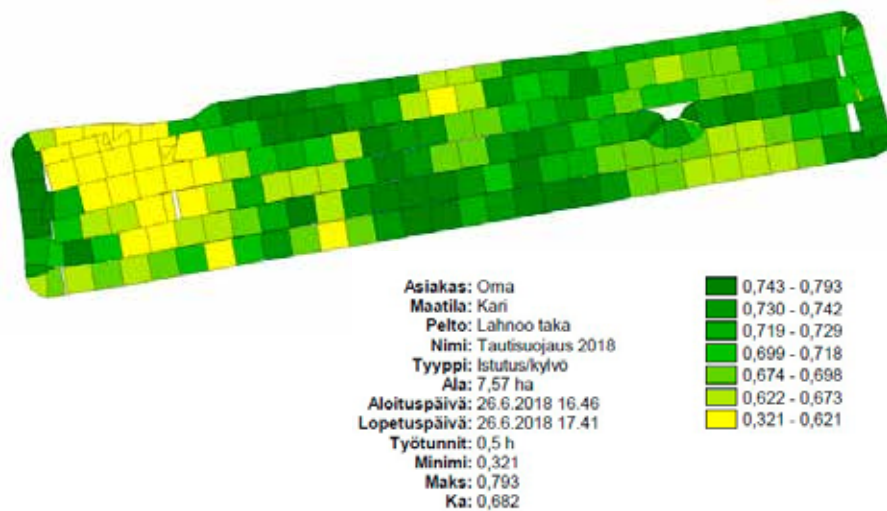
Kuva 25. Taka-Lahnoo 6.6. oraslannoituksen yhteydessä Greenseekerillä NDVI tulkittuna (Kuva: Kari Alasaari 2018).



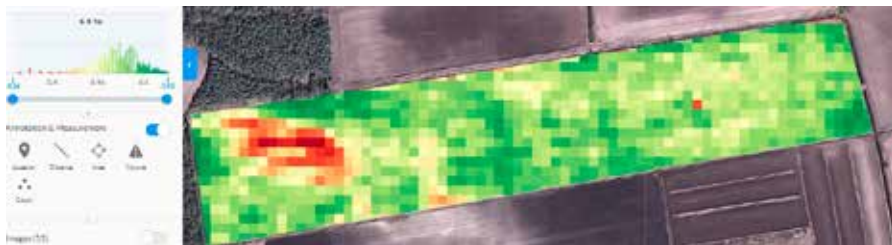
Kuva 26. 6.6. sama lohko dronilla ja RGB-kameran VARI-NDVI -indeksi karttana (Kuva: Juha Tiainen 2018).



Kuva 27. Taka-Lahnoon satelliittikuvasta tehty NDVI-kartta 25.6. NDVI-vaihteluväli lohkolla 0,16 - 0,22 (Kuva: Juha Tiainen 2018).



Kuva 28. Taka-Lahnoo 26.6. tautisuojausruiskutuksen yhteydessä Green Seekerillä NDVI tulkituttuna. Vaihteluväli 0,32 - 0,79 (Kuva: Kari Alasaari 2018).

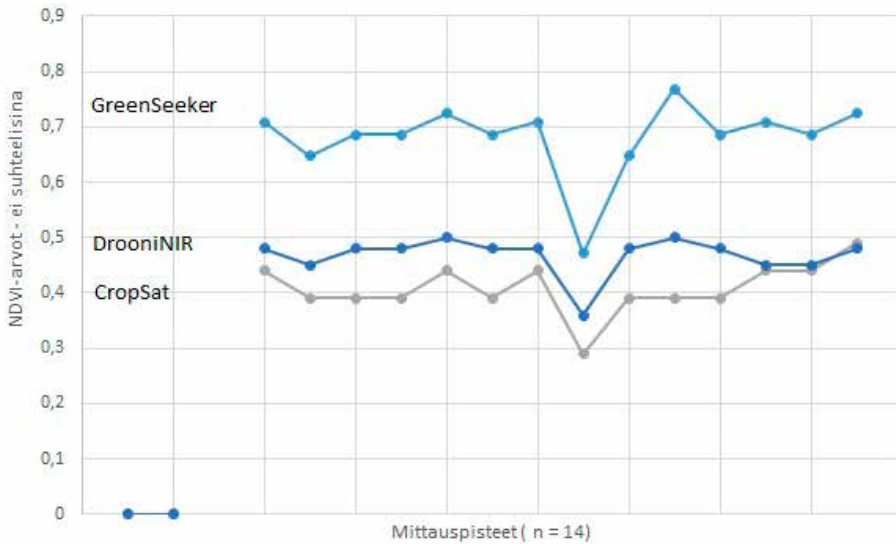


Kuva 29. Saman lohkon NDVI-kartta 26.6. dronilla tehdyn kartoitustulosten jälkeen. Kartta on tehty lähi-infrapunakameran (NIR) kuvien tulkinnasta pilvipalvelussa. Dronedeployn antama vaihteluväli NDVI-arvolle on 0,36 - 0,55 (Kuva: Juha Tiainen 2018).

Kuvissa 27, 28 ja 29 on esillä kesäkuun lopun (25.6. tai 26.6) kolmen eri menetelmän NDVI-kartat väreineen ja NDVI-vaihteluväleineen. Lohkolta määritettyjen 14 koepisteen NDVI-arvot kolmella eri menetelmällä koottiin taulukkoon 3.

Taulukko 3. Mittauspisteiden NDVI-arvot kolmella eri menetelmällä sekä arvojen keskiarvot ja keskihajonnat.

Mittauspiste numero	Green Seeker NDVI-arvo	CropSat NDVI-arvo	Drooni-NIR-NDVI-arvo
1	0,708	0,44	0,48
2	0,648	0,39	0,45
3	0,686	0,39	0,48
4	0,686	0,39	0,48
5	0,724	0,44	0,5
6	0,686	0,39	0,48
7	0,708	0,44	0,48
8	0,471	0,29	0,36
9	0,648	0,39	0,48
10	0,768	0,39	0,5
11	0,686	0,39	0,48
12	0,708	0,44	0,45
13	0,686	0,44	0,45
14	0,724	0,49	0,48
Keskiarvot	0,681	0,408	0,468
Keskihajonta	0,068	0,046	0,035

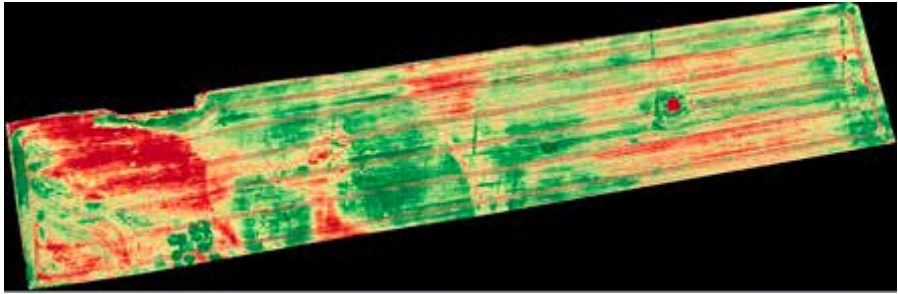


Kuvio 1. Koepisteissä havaitut NDVI-arvot sijoitettuna ei-suhteelliseen asteikkoon (Kuvio: Juha Tiainen 2018).

Kun tarkastellaan sekä taulukkoa 3 ja kuviota 1 koepisteiden NDVI-arvojen jakaumasta niin havaitaan, että koepisteessä numero 8 lohkon itäpäässä on selvästi keskiarvoa pienempi NDVI-arvo verrattuna muihin koepisteisiin. Sitten sekä koepisteissä 1 ja 14 lohkon länsipäässä satelliittikuvasta tulkitut NDVI-arvot poikkeavat alaspäin verrattuna Green Seeker- ja drooniNIR-arvoihin. Työkone-yhdistelmän kasvustosensori ja droonisensori antavat tässä tapauksessa varsin yhtäläisiä NDVI-arvojen eroja koepisteittäin. Koepisteaineistosta laskettiin seuraavaksi Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerroin (r) eri menetelmien välille.

Droonikuvien ja Green Seekerin kuvien välinen korrelaatio lohkolla oli 0,84, kun taas satelliittikuvien ja Green Seekerin kuvien välinen korrelaatio oli 0,71. Droonikuvat selittävät siis noin 71 prosenttia Green Seekerin kuvien varianssista, kun taas satelliittikuvat selittävät vain noin 52 prosenttia GS:n kuvien varianssista.

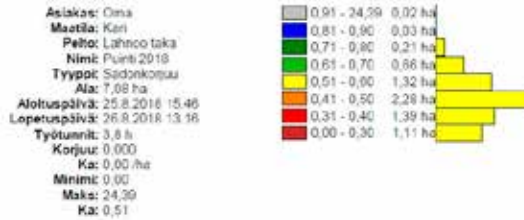
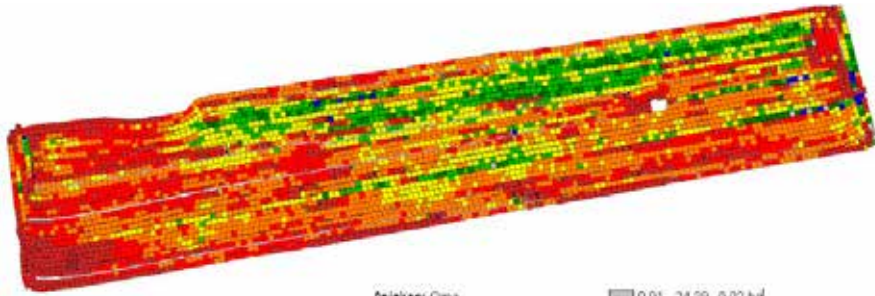
Lisävertailuna Taka-Lahnoo-lohkoilla oli käytössä myös tutkimusdroonin ottamat RGB-kuvat samalta ajalta. Nämä syötettiin samaan Dronedeploy-pilvipalveluun, ja tulokset määritettiin alla olevan kartan mukaan samoilla neljällätoista koepisteellä.



Kuva 30. 26.6. kuvattu RGBVari- NDVI-kartta Taka-Lahnoosta (Kuva: Juha Tiainen 2018).

RGBVari-kartasta määritettyjen koepisteiden NDVI-arvolla tehtiin samanlainen korrelaatio- ja varianssianalyysi verraten sitä teoreettisesti tarkimpaan mahdolliseen vertailumenetelmään eli Green Seekerin antamiin lehtivihreäkartan antamiin arvoihin. Tulokseksi saatiin korrelaatio 0,55 ja RGB- droonikuvat selittivät siten noin 31 prosenttia Green Seekerin varianssista.

Kun käytettävissä oli myös sekä Grainsense-mittalaitteella saadut tulokset sadon laadusta tällä loholla samoin kuin leikkuupuimurin satomittarin tulokset niin heräsi kiinnostus selvittää, selittääkö kasvukauden aikainen lehtivihreäkartta tulevaa satoa. Kuvassa 31 on satomittauksen tulokset lohkon alueella. Kuten huomataan, satotasot vaihtelevat varsin paljon loholla. Minimisatotasoa on alle 3 tonnia hehtaarilla, keskiarvo 5,1 tonnia ja maksimisato yksittäisessä mittausruudussa jopa lähes 9 tonnia ohraa hehtaarilla.



Kuva 31. Lohkon satomittaustulokset, yksittäisen ruudun koko 5*5 metriä (Kuva: Kari Alasaari 2018).

Käyttäen samaa 14 koepisteen verkostoa ja sapluunamenetelmää kuin NDVI-arvojen vertailussa haettiin koepisteille visuaalisella tulkinnalla vertailusadon määrä t/ha. Sadon määrää ja laatua verrattiin siten, että Grainsensen antamia laatumittareiden arvoja koepisteillä verrattiin sadon määrään koepisteillä ja toisaalta Green Seekerin viimeisimpään NDVI-kartan antamiin tuloksiin. Mittaus-tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. 14 mittauspisteen Green Seekerin NDVI-arvot, sato, proteiini-, kosteus-, hiilihydraatti- ja öljyprosentit Taka-Lahnoo-lohkolla ennen puintia.

Mittauspiste	GreenS	Sato	Proteiini-%	Kosteus-%	Hiilih%	Öljy-%
no	NDVI	tn/ha	Protein-%	Moisture-%	Carbo-%	Oil-%
1	0,708	4,5	14,51	23,85	83,69	1,8
2	0,648	3,5	15,46	30,59	82,42	2,13
3	0,686	3,5	15,11	29,17	82,67	2,22
4	0,686	4,5	10,97	20,42	87,1	1,93
5	0,724	4,5	11,15	17,03	87,04	1,82
6	0,686	5,5	12,18	16,48	85,82	2
7	0,708	5,5	6,59	15,15	92	1,41
8	0,471	3,5	7,64	14,6	90,68	1,69
9	0,648	5,5	11,65	20,24	86,49	1,87
10	0,768	6,5	9,56	14,59	88,82	1,62
11	0,686	6,5	14,58	33,27	83,56	1,86
12	0,708	6,5	14,72	27,55	83,21	2,07
13	0,686	4,5	14,01	26,28	84,22	1,77
14	0,724	3,5	14,38	30,33	83,55	2,07
Keskiarvo	0,681214	4,857143	12,32214	22,825	85,805	1,875714
Keskiahajonta	0,067855	1,150728	2,861143	6,690805	3,038681	0,217352

Yhden ajankohdan Green Seekerin antamat NDVI-arvot selittivät saadusta sato-
totasosta korrelaationa 0,39 eli selitysasteena vain noin 16 prosenttia. Samoin
sadon määrä ja laatutekijöistä valittu proteiinin määrä eivät korreloi juuri ollenkaan
tässä tutkimuksessa, korrelaatio oli 0,13 ja selitysaste olematon, 0,02 %. Toi-
saalta laatutekijöistä valitut proteiiniprosentti ja hiilihydraattiprosentti korreloivat
keskenään $r = 0,92$, joten proteiiniprosentti selittää hiilihydraattiprosentista jopa
86 prosenttia Taka-Lahnoolla juuri ennen puintia.

Lohkolta saadun sadon keskimääräinen valkuaispitoisuus oli kauppaan toimituksen yhteydessä 11,89 %. Lohkon eri pisteissä saadun osamittaukset vaihtelivat huomattavasti, joten saadulla keskiarvolla 12,32 % päästiin kohtuullisen lähelle oikeaa arvoa. Grainsense-mittaukset eivät ota huomioon lohkon satotason vaihtelua ja sitä kautta kertyneen sadon painostusta. Saatuun mittaustulokseen voidaan täten olla tyytyväisiä ja sen avulla saadaan melko hyvä kuva lohkon sadon valkuaisistasosta. Mallasohranviljelyyn tiedosta olisi suurta apua, sitä varten olisi mittaustapaa vielä syytä kehittää yhä tarkemmaksi.

4.3 Päätelmät

Teoreettisesti tarkimpaan menetelmään eli kasvustosensoreiden tuottamaan lehtivihreädataan verrattuna päästiin droonin lähi-infrapunakameralla lähimmäksi eli yli 70 %:n varianssin selitysasteeseen. Oletusarvona tulos ei ollut yllätys, sillä molemmat laitteet käyttävät teknisesti samaa lähi-infrapuna-aallonpituusalueetta NDVI-kartan muodostamisessa hyväksi. DrooniNIR-datan virhelähteitä voivat olla kuvauskopterin kallistuminen tulessa, ja isomman kuvausetäisyyden vaikutus. Lisäksi kokeessa käytetyn kasvustosensorin etuna on vakiovaloitus, kun taas droonikuvauslennon aikana valotusolosuhteet voivat muuttua pilvisyyden takia. Seuraavaksi paras vertailutulos saatiin satelliittidatasta, jolla selittyi yli puolet (52 %) kasvustosensoreiden datasta. Huonoin selitysaste oli droonin pelkistä RGB-kuvista saadulla lehtivihreädatalla, sillä ne selittivät vain noin 31 prosenttia kasvustosensoreiden varianssista.

Vertailumenetelmistä selvästi kallein ja oletusarvona tarkin sekä helpoiten viljelijän hyödynnettävä NDVI-datan hankkimismenetelmä oli suoraan traktorissa tai työkoneissa kiinni olevat lähi-infrapunaa hyödyntävät kasvustosensorit. Niiden hankkiman datan avulla voidaan reaaliajassa esimerkiksi kasvuston lisälannoituksen tai ruiskutuksen yhteydessä säätää lannoitus- ja ruiskutusmääriä tarpeen mukaan. Ylimääräinen kuvien ja datan käsittely, jota vaaditaan sekä drooni- että satelliittikuvilla, jää pois. Haittana on kasvuston nopeiden muutosten seuranta ja käsittelyjen välisten NDVI-karttojen saannin vaikeus.

Droonilla hankitun NDVI-datan vahvuus on siinä, että kuvauksia voidaan sään salliessa tehdä usein ja pienin käyttökustannuksin. Tosin RGB-värikuvien ja sopivien pilvipalveluiden avulla tehtävät lehtivihreäkartat eivät selitä kovin hyvin lohkon sisäistä kasvukunnan vaihtelua esimerkiksi valaistuksen vaihdellessa lohkon kuvauslennon aikana. Droonien käyttö vaatii lisäksi omaa erikoisosaimista pilvipalvelusta ja itse droonista lennon suunnittelun, toteutuksen ja datan käsittelyn osalta. Vaihtoehtona on ostaa koko lehtivihreädata valmiina traktorin ja työkoneen ajo-opastimeen yhteen sopivassa muodossa drooniyrittäjältä, joita on jo muutamia eri puolilla Suomea.

Satelliittikuvista tehtyjen NDVI-karttojen ehdottomasti paras puoli on datan edullisuus ja käytön suhteellinen helppous. Haittoina on kuva-aineiston vähyys pilvisenä kasvukautena sekä karkeahko datan resoluutio maan pinnalla (10m *10m -ruutu).

Kesän 2018 aikana tutkimuslohkoiksi valituista päästiin vertailemaan vain yhtä lohkoa kaikilla NDVI-datan hankintamenetelmillä yhteensattumien vuoksi. Osaksi datan puuttumista selitti huono satelliittikuvien saatavuus sään takia, osin datan käsittelyn ongelmat. Otantaa olisi jatkoselvityksissä oltava lisää. Samoin eri menetelmillä saaduista kartoista tarkkojen koepisteiden määrittämisessä ja niiltä NDVI-arvojen määrittämisessä olisi hyvä käyttää jotakin paikkatieto-ohjelmistoa kuten esimerkiksi QGISiä hyväksi.

Ikuisuuskytymys maataloudessa ja kasvinviljelyssä on kunkin tulevan kasvukauden sadon määrän ja laadun ennustamisen vaikeus. Lapualla ohralohkolla saadut tulokset osoittivat, että pelkästään lehtivihreän määrän mittaamisen avulla yhdellä kasvukaudella riippumatta millä menetelmällä sen tekee, ei saada tarkkaa ennustetta sadosta. Todennäköisesti NDVI-määrityksiä tarvitaan todella paljon ja useilta kasvukausilta sääolot huomioiden, jotta sadon ennustamisessa päästään jonkinlaiseen tarkkuuteen.

LÄHTEET

Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. & Huete, A. R. 1995. A review of vegetation indices. *Remote sensing reviews* 13, 95 - 120. doi:10.1080/02757259509532298

Benedetti, R. & Rossini, P. 1993. On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: The case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. *Remote sensing of environment* 45 (3), 311 - 326.

Claver, H. 2019. Fritzmeier steps up sensor sales with CNH Industrial. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: <https://www.futurefarming.com/Tools-data/Articles/2019/9/Fritzmeier-steps-up-sensor-sales-with-CNH-Industrial-471348E/>

DroneDeploy. 2018. Commercial drones industrial trends. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: https://www.cdn.prismic.io/dronedeploy-www%2Fae535fda-dfc9-4bcf-9743-292df714e9fe_dd__2018_trends_report-f.pdf

Droneinfo.fi. 2020. Ilmoitus kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämisestä. [Verkkosivu]. Helsinki: Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: https://www.droneinfo.fi/lentotoyo/kauko-ohjatun_ilma-aluksen_kaytosta_ilmoittaminen

Gebbers, R., Adamchuk, V. I. 2010. Precision agriculture and food security. *Science* 327 (5967), 828 - 831.

Grisso, R. D., Alley, M. M. & McClellan, M. 2005. Precision farming tools: Yield monitor. [Verkkoartikkeli]. Saatavana: <https://www.semanticscholar.org/paper/Precision-Farming-Tools.-Yield-Monitor-Grisso-Alley/f5aad7bfea307005746ab1294c77cb4a42ce220d>

Heimala, L. 2018. Yara avaa uudenlaisen satelliittipalvelun. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: <https://www.yara.fi/uutiset-ja-tapahtumat/uutiset/2018-04-25/>

Isosaari, K. 2017. Infrapuna kisaa jo maatilakokoluokassa. [Verkkoartikkeli]. Käytännön maamies (10). [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: <http://www.juhanirahkonen.fi/wp/wp-content/uploads/IR-analysaattorit.pdf>

Jarman, M. & Dimmock, J. 2018. Satellites for agriculture. [Verkkojulkaisu]. AHDB. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/SatellitesForAgriculture1825_181217_WEB.pdf

Ketomäki, V. 2017. Puimurin satokartoitusjärjestelmän rakenne. [Verkkojulkaisu]. Ilmajoki: Koulutuskeskus Sedu. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: http://www.virtuaali.info/opetusmaatilat/4/file/puimurin_satokartoitusjarjestelma.pdf

Knaapi, J. 2019. Tietoa taivaalta. *Koneviesti* (1), 52 - 55.

Mattila, T., Manka, V. & Rajala, J. 2018. Pikamenetelmät kasvin ravinnetilan kuvaajana. [Verkkojulkaisu]. Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti. Raportteja 185. [viitattu 31.1.2020]. Saatavana: <http://hdl.handle.net/10138/250553>

RDS Technology. 2018. [Verkkosivusto]. [Viitattu 3.2.2020]. Saatavana: <https://www.rdstec.com/>

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. [Verkkoartikkeli]. *NASA Special Publication* 351, 309. [viitattu 31.1.2020]. Saatavana: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19740022614>

Satelliittiteknologia kehittyä voimalla. 2016. [Verkkoartikkeli]. *Koneviesti* 10.3.2016. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: <https://www.koneviesti.fi/artikkelit/satelliittiteknologia-kehitty-voimalla-1.140245>

Sentera. 2019. [Verkkosivusto]. [Viitattu 3.2.2020]. Saatavana: <https://sentera.com/>

Sentinel Online. 2019. [Verkkosivusto]. ESA. [Viitattu 3.2.2020]. Saatavana: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>

Tremblay, N., Wang, Z., Ma, B.-L., Belec, C. & Vigneault, P. 2008. A Comparison of crop data measured by two commercial sensors for variable-rate nitrogen application. *Precision agriculture* 10 (145).

Videodrone. 2020. [Verkkosivusto]. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: <https://videodrone.fi/>

Xiong, D., J. Chen, J., Yu, T., Gao, W., Ling, X, Li, Y., Peng, S. & Huang, J. 2015. SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. *Scientific reports* 5 (13389).

Yao, H., Tang, L., Tian, L., Brown, R., Bhatnagar, D. & Cleveland, T. 2011. Using hyperspectral data in precision farming applications. *Teoksessa: Hyperspectral remote sensing of vegetation*. Boca Raton: CRC Press, 591 - 608.

Yara. 2018. Yara tuo uuden Smart Farming -ratkaisun Suomen markkinoille. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.1.2020]. Saatavana: <https://www.yara.fi/uutiset-ja-tapahtumat/uutiset/2018-11-14-maatalouskonemessut/>

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA – PUBLICATIONS OF SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

- A. TUTKIMUKSIA - RESEARCH REPORTS
- B. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ - REPORTS
- C. OPPIMATERIAALEJA - TEACHING MATERIALS

Seinäjoen ammattikorkeakoulun aiemmin ilmestyneet julkaisut löytyvät SeAMKin Julkaisut-verkkosivuilta <https://www.seamk.fi/yrityksille/julkaisut/> ja Theseus-verkkokirjastosta <https://theseus.fi>

SeAMK Julkaisut:
Seinäjoen ammattikorkeakoulun kirjasto
Kalevankatu 35, 60100 Seinäjoki
puh. 040 830 0410
kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-7317-22-8 (verkkojulkaisu)
ISSN 1797-5573 (verkkojulkaisu)

SeAMK 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES