



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

---

Mattila Melina ja Niemonen Mikko

## **Säilörehunurmen biomassan määrittäminen dronikuvien avulla – vertailussa RGB- ja multispektrikamera**

Opinnäytetyö  
Kevät 2023  
Agrologi (AMK)



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Agrologi (AMK)

Tekijä: Melina Mattila ja Mikko Niemonen

Työn nimi: Säilörehunurmen biomassan määrittäminen droonikuvien avulla – vertailussa RGB- ja multispektrikamera

Ohjaajat: Jori Lahti ja Roope Näsi

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 36

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, onko edullisen droonin ottamien kuvien perusteella mahdollista arvioida säilörehunurmen satotasoa yhtä tarkasti kuin kalliimman droonin ottamista kuvista.

Idea opinnäytetyöhön syntyi Melina Mattilan Seinäjoen ammattikorkeakoulun erikoistumisharjoittelun aikana. Erikoistumisharjoittelussaan ProAgria Etelä-Pohjanmaan, Seinäjoen ammattikorkeakoulun ja Luonnonvarakeskuksen Ilmastositurit-hankkeessa hän kuvasi hankkeen koelohkoja droonilla, ja Luonnonvarakeskuksen tutkija Markku Niskanen ehdotti yhteistyötä CyberGrass-hankkeen kanssa.

Lennot suoritettiin kesän 2022 aikana Etelä-Pohjanmaalla. CyberGrass-hankkeen droonilennot suoritti Maanmittauslaitoksen vanhempi tutkija Roope Näsi. Kaksi lohkoa kuvattiin molemmilla drooneilla saman päivän aikana. Lohkoilta otettiin myös biomassanäytteet, joista laskettiin arvio tuoreen biomassan määrästä näytealalla. Näytteenottokohdat merkittiin kartalle RTK-korjatun GNSS-signaalin avulla.

Tuloksia vertailtiin laskemalla QGIS-paikkatieto-ohjelmassa lohkoille kasvillisuusindeksit. Tutkimuksen perusteella RGB-alueen kanavista lasketulla VARI-indeksillä saadaan melko hyvin arvioitua sadon määrää. Kalliimman hintaluokan dronen Altum-multispektrikameran lähi-infrapunakanava mahdollistaa NDVI-indeksin laskemisen, joka tutkimuksessa osoittautui kaikkein luotettavimmaksi.

<sup>1</sup> Asiasanat: Drooni, Kaukokartoitus, QGIS, NDVI, VARI, Multispektri, RGB, CyberGrass

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree program: Agriculture and Rural Enterprises

Author/s: Melina Mattila ja Mikko Niemonen

Title of thesis: Determining silage grass biomass using drone images - a comparison between RGB and multispectral cameras.

Supervisors: Jori Lahti ja Roope Näsi

Year: 2023

Number of pages: 36

Number of appendices: 0

---

The aim of this thesis was to find out whether it is possible to estimate the yield levels of silage grass based on the images taken by a low-cost drone as accurately as from the images taken by a more expensive drone.

The idea for the thesis arose during Melina Mattila's specialization practice period at the Seinäjoki University of Applied Sciences. Her practice period was part of the Ilmastositurit-project in collaboration with ProAgria South Ostrobothnia, the Natural Resources Institute Finland, and the Seinäjoki University of Applied Sciences. During her practice, she filmed the test blocks of the project with a drone, and Markku Niskanen, a researcher at the Natural Resources Institute Finland, suggested cooperation with the CyberGrass project.

The flights were conducted during the summer of 2022 in South Ostrobothnia. The drone flights of the CyberGrass project were carried out by Roope Näsi, a senior researcher at the National Land Survey of Finland. Two blocks were filmed with both drones during the same day. Biomass samples were also taken from the blocks, from which an estimate of the amount of fresh biomass in the sample area was calculated. The sampling points were marked on the map using the RTK-corrected GNSS signal.

The results were compared by calculating the vegetation indices for the blocks in the QGIS spatial data program. Based on the research, the VARI index calculated from the channels in the RGB area provides a fairly good estimate of the yield. The near-infrared channel of the Altum multispectral camera in the more expensive drone enables the calculation of the NDVI index and it proved to be the most reliable in the study.

<sup>1</sup> Keywords: Drone, Remote sensing, QGIS, NDVI, VARI, Multispectral, RGB, CyberGrass

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	1
Thesis abstract .....	2
SISÄLTÖ .....	3
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	8
2 TEORIATAUSTA .....	9
2.1 Geoinformatiikka .....	9
2.2 Kaukokartoitus .....	10
2.3 Sähkömagneettinen säteily .....	10
2.4 Kasvillisuusindeksin muodostaminen .....	11
2.5 Miehittämättömät ilma-alukset.....	12
2.5.1 Dronit maataloudessa .....	12
2.5.2 Lainsäädäntö .....	13
2.5.3 Kielto- ja rajoitusalueet.....	13
3 TUTKIMUS .....	15
3.1 Tutkimuksen taustat .....	15
3.2 Tutkimuskysymys ja tavoitteet.....	15
3.3 Tutkimusaineisto .....	16
3.4 Menetelmät .....	16
3.4.1 Kamera .....	16
3.4.2 DroneDeploy.....	20
3.4.3 QGIS-paikkatieto-ohjelmisto .....	20
4 TULOKSET JA ANALYSOINTI .....	23
4.1 Lohko A.....	23
4.2 Lohko B.....	27
5 YHTEENVETO .....	32

LÄHTEET .....	34
---------------	----

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudet.....	11
Kuvio 2. Phantomin pikselin koko.....	18
Kuvio 3. Altumin pikseleiden koko.....	18
Kuvio 4. QGIS-ohjelman työjärjestyksestä muodostettu kuvio.....	22
Kuvio 5. Lohko A:n biomassanäytteiden koordinaattipisteet.....	23
Kuvio 6. Phantom kuvio, lohko A VARI.....	24
Kuvio 7. Altum kuvio, lohko A VARI.....	25
Kuvio 8. Altum, lohko A NDVI.....	26
Kuvio 9. Lohko B:n biomassanäytteiden koordinaatit.....	27
Kuvio 10. Phantom, lohko B VARI.....	28
Kuvio 11. Altum, lohko B VARI.....	29
Kuvio 12. Altum, lohko B NDVI.....	30
Kuvio 13. Satokartta Lohko A Phantom VARI.....	31
Kuvio 14. Rasterikuva QGIS.....	33
Taulukko 1. Tutkimuksessa käytettyjen droonien ja niiden kameran ominaisuuksia.....	17
Taulukko 2. Lohko A Phantom VARI.....	24
Taulukko 3. Lohko A, Altum- VARI.....	25
Taulukko 4. Lohko A, Altum NDVI.....	25

Taulukko 5. Lohko B, Phantom VARI. ....	28
Taulukko 6. Lohko B, Altum VARI.....	28
Taulukko 7. Lohko B, Altum NDVI. ....	29

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Drooni</b>	Käytetään tässä työssä tarkoittamaan miehittämättömiä ilma-aluksia (englanniksi unmanned aerial vehicle, UAV)
<b>RTK</b>	Real time kinematic, suomennettuna reaaliaikainen kinemaattinen mittaus.
<b>NDVI</b>	Normalized vegetation index, suomennettuna normalisoitu kasvillisuusindeksi ilmoittaa vihreän kasvillisuuden määrän ja kunnon alueella. Vihreät kasvit absorboivat valoa punaisella aallonpituusalueella (RED) ja toisaalta heijastavat voimakkaasti lähi-infrapuna-alueen säteilyä (NIR). NDVI-indeksi perustuu näiden aallonpituusalueiden väliseen suhteeseen $(NIR - RED) / (NIR + RED)$ .
<b>VARI</b>	Visible Atmospheric Resistant Index (VARI) on kasvillisuusindeksi, jolla voidaan arvioida kasvillisuuden osuutta määrällisesti spektrin näkyvällä alueella. $VARI = (Green - Red) / (Green + Red - Blue)$



# 1 JOHDANTO

Droonien käyttöä maatalouden apuvälineenä kehitetään ja tutkitaan paljon tällä hetkellä. Meneillään on useita julkisesti rahoitettuja tutkimushankkeita.

Tässä opinnäytetyössä hyödynnettiin CyberGrass-hankkeen tutkimustietoa ja omia kuvauksia droonilla. Vertailimme opinnäytetyössämme harrastetason droonin ottamia kuvia ammattitason droonin kuviin. Vertailussa käytettiin DroneDeploy- ja QGIS-ohjelmia apuna. Vertailu tapahtui droonilla otetuista kuvista muodostetuista rasteriaineistoista.

Koelennot lennettiin kahdella peltolohkolla (koelohko A ja koelohko B) kesän 2022 aikana Etelä-Pohjanmaalla. Ammattitason lennot suoritti Maanmittauslaitoksen vanhempi tutkija, tekniikan tohtori Roope Näsi Matrice 300 RTK -droonilla, jossa käytössä oli MicaSense Altum-multispektrikamera. Harrastetason lennot suoritti Seinäjoen ammattikorkeakoulun harjoittelija Melina Mattila DJI Phantom 4 Pro V2 -droonilla, jossa käytössä oli RGB-kamera. Havaintolohkoilta otettiin biomassanäytteet leikkaamalla 0,25 neliömetrin ala geometrisesti tarkasti määritellyiltä paikoilta. Näytteet analysoitiin ja saatuja tuloksia käytettiin vertailukohtana.

Kasvustosta otetuista kuvista voidaan muodostaa erilaisia kasvillisuusindeksikarttoja. Kasvillisuusindeksi on suhdeluku, joka lasketaan yksittäisten pikseleiden kirkkausarvoista. Käytettävän indeksin valintaan vaikuttavat käytössä olevan kameran ominaisuudet sekä haluttu tieto. Työssä laskettiin VARI-indeksi, joka on tehty arvioimaan RGB-kuvista sadon määrää ja kasvien terveyttä. Multispektrikameran kuvista laskettiin myös NDVI-indeksi, jonka kaava vertailee lähi-infrapunaa ja punaista valoa. Se sopii sadon määrän ja kasvuston terveyden arviontiin, mutta sillä pystytään saamaan VARI-indeksiä tarkempaa tietoa kasvuston fysiologisesta tilasta.

## 2 TEORIATAUSTA

### 2.1 Geoinformatiikka

Helsingin yliopisto toteaa geoinformatiikasta seuraavasti:

Geoinformatiikka keskittyy alueellisen, paikkaan sidotun tiedon tehokkaaseen tuottamiseen, analysointiin ja visualisointiin, sekä näihin liittyvään menetelmäkehitykseen. Se on menetelmällinen tutkimusala, joka hyödyntää ja kehittää paikkatietotekniikkaa ja kaukokartoitusmenetelmiä. Maantieteessä ja geotieteissä geoinformatiikan menetelmiä sovelletaan esimerkiksi ympäristön muutoksien seurannan ja mallinnuksen tutkimukseen, sekä alueiden käytön suunnitteluun. (Helsingin yliopisto, i.a.)

Hankittava tieto sidotaan paikkaan maantieteellisen koordinaatiston avulla. Apuna käytetään satelliittipaikannusjärjestelmiä (GNSS). Järjestelmän avulla luodaan yhteys useaan satelliittiin ja etäisyysmittauksen avulla voidaan määrittää tarkka paikka koordinaatistolla (Holopainen ym., 2015, s. 31). Kaukokartoituksella hankittu tieto kiinnitetään tämän järjestelmän avulla koordinaattijärjestelmään. Erilaisten ohjelmien ja sovellusten avulla voidaan tarkastella samasta paikasta eri tiedonkeruuvälineillä hankittua tietoa, jota kutsutaan paikkatiedoksi. Maataloudessa tietoa hankitaan satelliitti- ja dronikuvauksella. Hankittua tietoa muokataan erilaisilla ohjelmilla tai sovelluksilla, jolloin sitä voidaan hyödyntää viljelytoimenpiteissä tai havainnoinnissa.

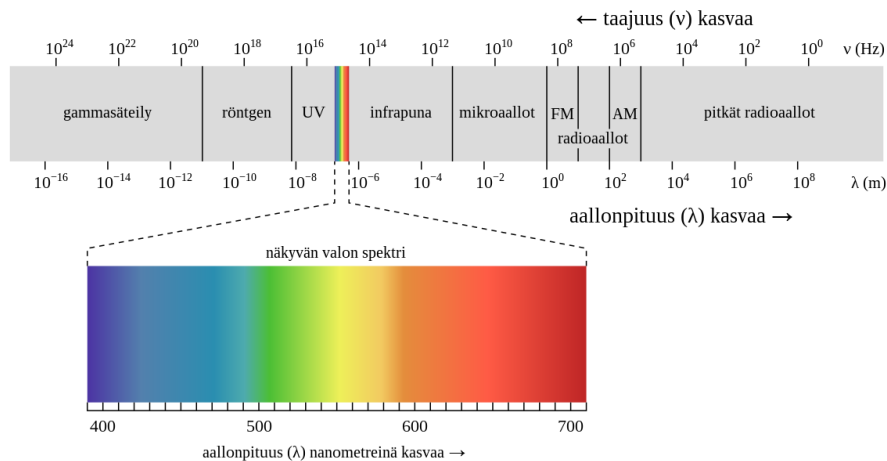
Holopainen ym., (2015, s. 16) esittävät kerättävän paikkatiedon muodot, vektori ja rasteriaineistot. Vektorimuotoinen aineisto sisältää vähemmän tietoa kohteesta kuin rasteriaineisto. Rasteriaineistossa kuvattavan alueen tiedot voivat vaihdella alueen sisällä, kun taas vektoriaineistossa alue saa saman arvon. Paikkatiedossa on yhdistetty kohteen sijainti ja muu tieto kohteesta. Paikkatietojärjestelmä, johon kuuluu kohteen tiedot, ohjelma ja käyttöliittymä analysointiin, on välttämätön tiedon käsittelemiseksi (Holopainen ym., 2015, s. 18). Jokainen kohteen tieto on yksi karttataso, joita yhdistelemällä saadaan haluttu tieto kohteesta esille.

## 2.2 Kaukokartoitus

Kaukokartoituksesta voidaan käyttää myös sanaa kaukohavainnointi. Kaukokartoituksella havainnoidaan kohdetta sähkömagneettisia aaltoja hyödyntäen. Kaukokartoitusta voidaan tehdä satelliittien, lentokoneiden ja dronien avulla. Kasvillisuusindeksin määrittämiseen on myös traktoriin kiinnitettäviä ja käsikäyttöisiä sensoreita. Kartoitus voidaan jakaa aktiiviseen ja passiiviseen muotoon. Holopaisen ym. (2015, s. 36) mukaan aktiivisessa kartoituksessa kuten laserkeilauksessa laite lähettää lasersäteen, jonka avulla kohteen etäisyys mitataan. Passiivinen havainnointi perustuu auringon säteilyn heijastuksen mittaamiseen. Osa auringon säteilystä absorboituu eli imeytyy ja osa heijastuu maasta ja kasvillisuuden pinnalta. Kuvauksessa voidaan hyödyntää valon eri aallonpituuksia ja niistä yhtälöiden avulla lasketaan tietoja kuvauksista. Pesonen ym. (2010, s. 30) kirjoittavat punaisen valon heijastuman tai lähi-infrapun aallonpituuksien käytöstä vihermassan selvittämiseen pelloilta otetuista kuvista. Kuvien tiedoista voidaan laskea esimerkiksi kasvillisuusindeksi NDVI. Maataloudessa hyviä kohteita kaukokartoituksella saatavalle tiedolle ovat pellon kosteusolosuhteet, biomassan määrittäminen ja kasvuston terveys.

## 2.3 Sähkömagneettinen säteily

Valo on säteilyä, mutta ihmissilmä näkee tästä säteilystä vain pienen osan. Koko sähkömagneettisen säteilyn spektri koostuu erilaisista aallonpituuksista, joita ovat näkyvän valon lisäksi mm. radioaallot, röntgensäteet, gammasäteet, infrapunasäteily ja ultraviolettisäteily (Freeman, 2005, s. 10). Aallonpituuden yksikkönä käytetään yleisimmin nanometrejä (nm). Näkyvän valon aallonpituudet ovat noin 400–780 nm, violetti 400–450 nm, sininen 450–490 nm, vihreä 490–560 nm, keltainen 560–590 nm, oranssi 590–630 nm ja punainen 630–780 nm. Kuviossa 1. näkyy sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudet. Aallonpituuksia voidaan kutsua myös kanaviksi. Tavallisella RGB-kameralla voidaan ottaa kuvia 3 eri kanavalta, punainen, vihreä ja sininen. Multispektrikameralla voidaan ottaa kuvia yleisimmin alle 10 kanavalta (Hietanen ym., 2020, s. 264).



Kuvio 1. Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituudet. (Wikipedia commons, 2011).

## 2.4 Kasvillisuusindeksin muodostaminen

Kasvillisuusindeksejä on olemassa lukuisia eri käyttötarkoituksiin. Kameran tallentamien värikanavien avulla voidaan analysointiohjelmissa saada erilaisia indeksejä aallonpituuksien suhdelukuina.

Tavallisen digikameran RGB-kuvasta pystytään laskemaan VARI-indeksi, jolla voidaan arvioida kasvillisuuden osuutta määrällisesti spektrin näkyvällä alueella (Digimaatalous, 2021). VARI-indeksissä käytetään laskennassa punaisen, vihreän ja sinisen valon aallonpituuksia laskentakaavalla

$$(\text{vihreä} - \text{punainen}) / (\text{vihreä} + \text{punainen} - \text{sininen}) \quad (1)$$

NDVI-indeksissä käytetään lähi-infrapuna-alueen (NIR = Near InfraRed) ja punaisen valon aallonpituuksia laskentakaavalla

$$(\text{NIR} - \text{punainen}) / (\text{NIR} + \text{punainen}). \quad (2)$$

Sillä pystytään saamaan kasvustosta näkyviin asioita, jotka eivät ole silmin nähtävissä. Esimerkiksi hyvinvoivat kasvustot heijastavat lähi-infrapuna-alueella voimakkaammin kuin sairaat kasvustot (Digimaatalous, 2021).

## 2.5 Miehittämättömät ilma-alukset

Droonit ovat alun perin sotilaskäyttöön suunniteltuja kauko-ohjattavia lennokkeja, joissa on yleensä kiinni kamera (Droneinfo, i.a). Drooni voi moniroottorinen tai kiinteäsiipinen. Moniroottorinen drooni on yleisin harrastekäytössä, ja siinä on useampi moottori ja potkuri, joiden ansiosta drooni lentää kuin helikopteri. Kiinteäsiipinen drooni voi lentää korkeammalla, nopeammin ja pidempiä aikoja, mutta se on kalliimpi ja hankalampi hallita. Kiinteäsiipinen drooni lentää kuin lentokone, ja sen lentoon lähettämiseksi tarvitaan usein kiitorata.

Siipien lisäksi drooni tarvitsee muutamia lisälaitteita (Droneinfo, i.a). Yleisimmin droonit lentävät sähköisesti ja ovat siten varustettuja akuilla. Yhden akun lentoaika vaihtelee käytettävästä droonista riippuen laitteen painon, akun kapasiteetin, lentokorkeuden ja -sään mukaan. Akut ovat herkkiä vaurioitumaan, ja niitä on käsiteltävä huolellisesti. Esimerkiksi liian kylmä akku saattaa purkaa varaustasonsa nopeasti, jolloin drooni saattaa pudota maahan yllättäen. Säilytyksessä akkua ei myöskään saa pitää alle 10 %:n varauksella eikä myöskään täyteen ladattuna, vaan aina on tarkistettava valmistajan ohjeiden mukainen akun varaustaso (storage voltage).

Droonia ja kameraa ohjataan radiolähtimellä, joka on yhteydessä drooniin 2,4 GHz taajuudella (Droneinfo, i.a). GHz-taajuusalue on herkkä esteille ja radioliikenteelle, joten esteetön näköyhteys droonin ja lähttimen välillä on tärkeä.

Stabiloitu kamerateline, eli gimbaali vakauttaa kameraa lennon aikana (Droneinfo i.a). Gimbaalin moottorit vakauttavat kameraa ja kuvasta tulee tarkka, vaikka kone heiluisi lennon aikana. Droonissa täytyy olla myös aina vilkkuvat vihreät valot, jotka näkyvät kauas.

### 2.5.1 Droonit maataloudessa

Maataloudessa droonia käytetään nykyisin lähinnä kasvuston seurantaan. Kasvuston tasaaisuutta, orastumista, rikkakasveja, tuholaisia ja metsätuhoja pystytään seuraamaan helposti droonilla otettavista kuvista. Markkinoinnin ja henkilöstön perehdytyksen apuna käytetään paljon droonilla kuvattua materiaalia. Myös esimerkiksi rakennusten, eläinten,

laidunten ja aitojen, salaojien ja sadetuslaitteiden kuntoa on helppo valvoa ilmasta. Rikkauskasvien tunnistus saattaa onnistua dronin kuvista mutta kasvinsuojeluruiskutukset on kuitenkin kielletty EU:n alueella (Kaivosoja 2021, s. 90).

### **2.5.2 Lainsäädäntö**

Euroopan unionin lainsäädäntö (EU) 2019/947 pyrkii varmistamaan dronien turvallisen käytön. Säännökset keskittyvät dronien painoon, lentoympäristöön, lentokorkeuteen ja lennättäjän osaamisen kehittämiseen. Lainsäädäntöä on kehitetty jatkuvasti, ja uusien päivitysten koskee pakollisia koneiden CE-merkintöjä. Lain siirtymäaika päättyy 1.1.2024.

Lennätys on jaettu kategorioihin avoin, erityinen ja sertifioitu sen mukaan mitä lennätetään ja missä. Lennättääkseen yli 250 grammaa painavaa ja/tai kameralla varustettua dronin on rekisteröidyttävä lento-operaattoriksi Traficom.fi-sivuilla. Avoimen kategorian lennättäminen vaatii rekisteröitymisen ja pääsääntöisesti verkkokokeen suorittamisen. Rekisteröityminen maksaa 30 € / 1 vuosi, 75 € / 3 vuotta tai 100 € / 5 vuotta. Rekisteröimisestä saatu operaattorin rekisteritunnus tulee olla näkyvillä lennätettävässä dronissa (Droneinfo, i.a).

A1- ja A3-kategorian suurin sallittu koneen paino voi olla jopa 25 kg, mutta konetta ei saa lennättää ihmisten yllä eikä 150 metriä lähempänä asuin-, teollisuus- tai virkistysalueita. A2-kategoria vaatii lisäksi valvotun lisäteoriakokeen suoritusta ja sillä voi lentää jo toimintaan osallistuvien ihmisten yli. Kaikessa dronilennätyksessä täytyy huomioida UAS-ilmatilavyöhykkeet sekä muut ilmailun kielto-, rajoitus- ja vaara-alueet. Erityinen- ja sertifioitu-kategoriat koskevat sellaisia lentoja, joissa lennätetään dronin näköyhteyden ulkopuolella, yli 120 metrin korkeudessa tai droni on erityisen painava. Erityinen- ja sertifioitu-kategoriat vaativat toimilupien hakemista (Droneinfo i.a).

### **2.5.3 Kielto- ja rajoitusalueet**

Lentoa suunnitellessa on aina ensin tutustuttava käytössä olevaan ilmatilaan. Ilmatilan käyttöön on olemassa useita erilaisia rajoituksia, jotka estävät lentämisen vapaasti. R-alueet (restricted area), eli rajoitetut alueet, on perustettu pääosin suojaamaan

Puolustusvoimien toimintaa, ja osa alueista on pysyvästi rajoitettuja, kuten esimerkiksi varuskunnat. Tilapäisiä rajoituksia voidaan asettaa esimerkiksi Puolustusvoimien ampuma-alueilla tai yleisötapahtumiin. P-alue (prohibited area) on ilmailulta täysin kielletty alue, jonka tarkoitus on suojella teollisuuden tai valtion tärkeitä alueita, kuten esimerkiksi ydinvoimaloita.

UAS- ilmatilavyöhykkeen voi perustaa Traficomien päätöksellä rajoittamaan tai kieltämään droonilla lentämistä tietyllä alueella. UAS-vyöhykkeitä lentojen kieltämiseksi on perustettu lentoasemien, vankiloiden, eduskunnan, poliisiasemien ja joidenkin suurlähetystöjen ympärille. Ennen lentoa ajankohtaiset rajoitusalueet on tarkastettava Aviamaps Oy:n sivustolta (Aviamaps, i.a).

## 3 TUTKIMUS

### 3.1 Tutkimuksen taustat

CyberGrass-hanke tutkii nurmirehun sadon määrän ja laadun arviointia kaukokartoitusaineiston avulla. Hankkeessa kehitetään uutta menetelmää, joka voidaan liittää maatalousyritysten ja neuvontaorganisaatioiden digitaalisten palvelujen valikoimaan. Hanketta rahoittaa Interreg Botnia Atlantica, Euroopan aluekehitysrahasto, ja siinä on toimijoita Suomesta ja Ruotsista. Johtava tuensaaja hankkeessa on Luonnonvarakeskus. Muut hankekumppanit ovat Suomesta Maanmittauslaitos ja ProAgria Etelä-Pohjanmaa sekä Ruotsista Hushållningssällskapet i Norrbotten-Västerbotten ja Sveriges Lantbruksuniversitet (Interreg Botnia Atlantica 2022).

Melina Mattila suoritti kesällä 2022 Seinäjoen ammattikorkeakoulun agrologin koulutusohjelman erikoistumisharjoittelun Ilmastoturit-hankkeessa. Harjoittelun aikana hän oli kuvaamassa Seinäjoen ammattikorkeakoulun kuluttajatason dronilla samoja peltolohkoja kuin CyberGrass-hanke. Kuvausten aikana heräsi kysymys, pystytäänkö edullisemman tason dronilla arvioimaan säilörehunurmen satotasoja samalla varmuudella kuin kalliimman hintaluokan dronilla. Opinnäytetyössä vertailemme dronilla otettujen ortokuvien rasterien lukuarvoja VARI-kasvillisuusindeksillä laskettuna.

### 3.2 Tutkimuskysymys ja tavoitteet

Moni viljelijä haluaisi varmasti saada helposti reaaliaikaista tietoa säilörehunurmen määrän, laadun ja oikean niittoajankohdan arvioimiseksi. Satelliiteilla voidaan saada ilmaista tietoa, mutta pilvinen sää voi estää satelliittikuvien käytön. Dronilla kuvia voi ottaa myös pilvisellä säällä, koska se lentää pilvien alapuolella (Stam, 2021, s. 91). Koska dronilla voidaan kuvata satelliitteja lähempänä maanpintaa, kuvien resoluutio eli erottelukyky ja tarkkuus on parempi.



Tutkimuskysymys on, päästäänkö RGB-kameralla varustetulla kuluttajatasen droonilla samankaltaisiin mittaustuloksiin säilörehun määrän arvioimisessa kuin ammattitason multispektrikameralla varustetulla droonilla.

### **3.3 Tutkimusaineisto**

Tätä työtä varten saimme käyttöön CyberGrass-hankkeen materiaaleja, joista työssä otettiin käyttöön mitatut biomassatulokset sekä Roope Näsin Matrice 300 RTK -dronin MicaSense Altum -kameralla kuvatut multispektrikuvat. Tutkimuslohkot A ja B kuvattiin saman päivän aikana kahdella eri droonilla, Matrice 300 RTK:lla ja DJI:n Phantom 4 Pro v2:lla. Biomassanäytteet otettiin leikkaamalla molemmilta lohkoilta neljä osanäytettä. Jokaisen osanäytteen pinta-ala oli 0,25 neliometriä, ja näytekohdan koordinaatit tallennettiin RTK-korjatun GNSS-signaalin avulla. Näytteet punnittiin pellolla ja tuloksista laskettiin tuoresato kiloina hehtaaria kohti. Näytteet lähetettiin Valion laboratorioon, jossa näytteistä tehtiin laatuanalyysit. Sadon määrän selvittäminen kaukokartoitusaineiston avulla vaatii biomassanäytteiden ottamisen. Niiden avulla kaukokartoitusaineiston tieto voidaan skaalata todelliseen satoon.

### **3.4 Menetelmät**

#### **3.4.1 Kamera**

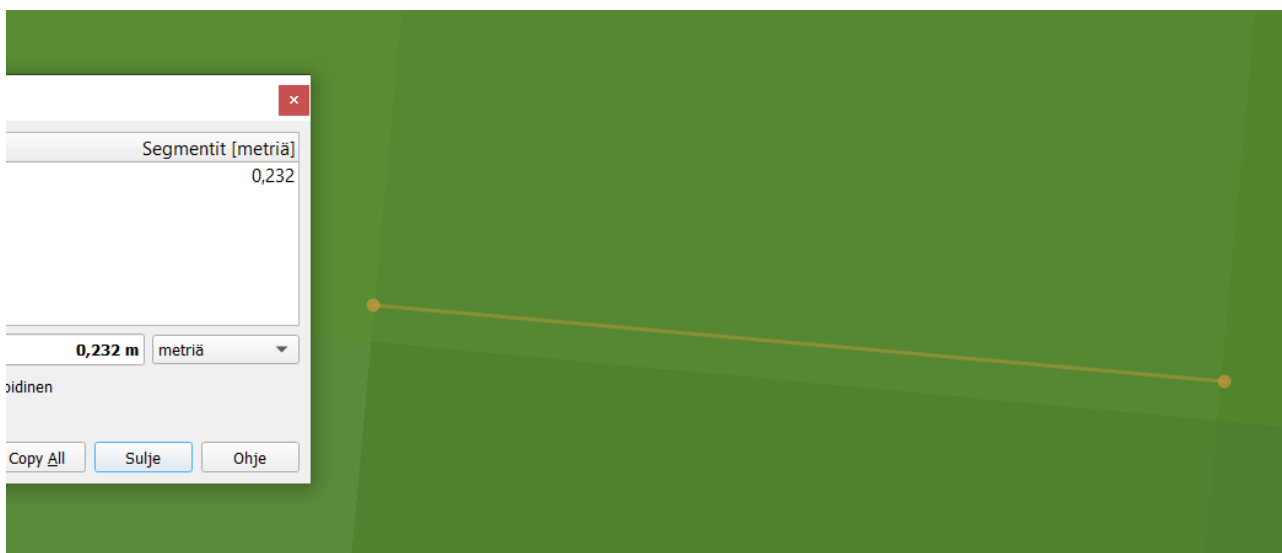
Tutkimuksessa käytettyjen dronien kameroiden suorituskyvyssä oli suuria eroja. Taulukossa 1 on kerrottu käytettyjen dronien sekä niiden kameroiden ominaisuuksista.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytettyjen dronien ja niiden kameran ominaisuuksia. Muokattu lähteistä MicaSense (2022) ja Dji (i.a.).

Kameran ominaisuus	DJI Phantom 4 Pro V2	DJI Matrice 300 RTK
Kameran tyyppi	RGB	Multispektrikamera
Resoluutio (pikseliä)	4096×2160	2064 x 1544
Kanavien määrä	3	5
Lentoaika	n. 20–30 min	jopa 55 min
Huippunopeus	n. 70 km/h	82 km/h
Esteentunnistus	viiteen suuntaan	kuuteen suuntaan
Hinta	n. 1600 €	n. 20000 €

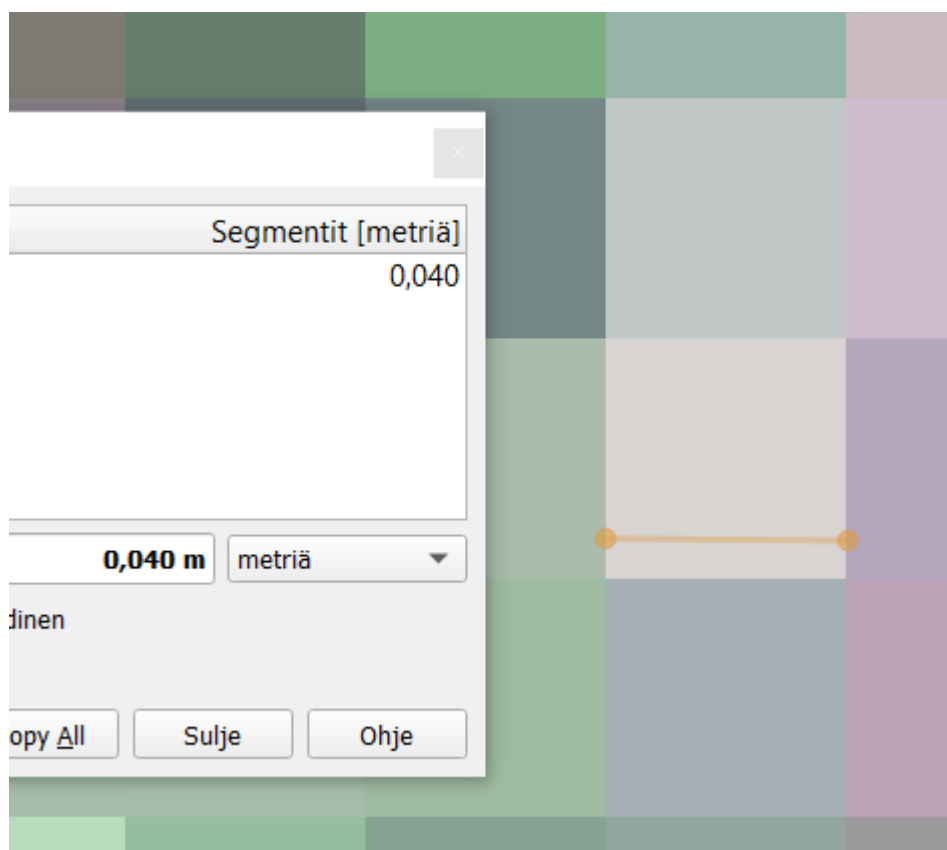
Phantomin RGB-kamera ottaa kuvaa näkyvän valon aallonpituuksilla, punainen 630–780, vihreä 490–560 nm ja sininen 450–490 nm. Altumin kameran kanavista käytimme lisäksi NDVI:n laskennassa lähi-infrapunasäteilyn aallonpituutta, jonka aallonpituusalue ulottuu 780 nanometristä yhteen millimetriin saakka (Hietanen ym., 2020, s.264, s. 271–272). Altum kameran kanavien aallonpituudet ovat seuraavat. Sininen kanava on 475 nm, kaistan leveys 32 nm. Vihreä kanava on 560 nm, kaistan leveys 27 nm. Punainen kanava on 668 nm, kaistan leveys 14 nm. Red edge on 717 nm, kaistan leveys 12 nm. Lähi-infrapunakanava on 842 nm, leveys 57 nm MicaSense (2022). Matrice dronin MicaSense Altum -kamera on varustettu yhdellä kuvakennolla ja kuudella eri linssillä.

QGIS-ohjelman rasteriaineistoista otetuista kuvakaappauksista ero pikseleiden määrässä käy hyvin selville. Kuvauskorkeus molemmilla tutkimuksessa käytetyillä laitteilla oli 70 metriä. Kuviossa kaksi on mitattu QGIS:n mittaustyökalulla Phantomin pikselin koko. Pikselin koko kertoo kameran resoluution eli erottelutarkkuuden. Pikselin koko on Phantomin kuvassa 23 cm.



Kuvio 2. Phantomin pikselin koko.

Kuviossa kolme on vastaava kuvakaappaus kuin edellinen Altumin pikselistä. Siinä pikselin koko on 4 cm.



Kuvio 3. Altumin pikseleiden koko

Erottelukykyä voi verrata laskutoimituksen avulla. Kun lasketaan pikseleiden pinta-alat kaavasta 3 ja verrataan niitä toisiinsa, saadaan eron suuruus selville.

Pikselin pinta-ala  $c$  määritetään kaavalla.

$$c = a * b \quad (3)$$

Missä

$c$  on pinta-ala

$a$  on kanta

$b$  on korkeus

Phantomin pikselin pinta-ala lasketaan kaavasta 3

$$c = 23 \text{ cm} * 23 \text{ cm} = 529 \text{ cm}^2$$

Altumin pikselin pinta-ala lasketaan kaavasta 3

$$c = 4 \text{ cm} * 4 \text{ cm} = 16 \text{ cm}^2$$

Pikseleiden määrän ero saadaan jakamalla pinta-alat kaavalla.

$$c \text{ Phantom} / c \text{ Altum} = \text{pinta-alojen suhdeluku} \quad (4)$$

Pikseleiden suhdeluku lasketaan kaavasta 4

$$\text{Pinta-alojen suhdeluku} = 529 \text{ cm}^2 / 16 \text{ cm}^2 = 33$$

Phantomin pikseliin verrattuna Altumin tarkkuus on 33-kertainen, koska Phantomin pikselin alaan mahtuu 33 Altumin pikseliä.

### 3.4.2 DroneDeploy

Phantomin droonikuvat otettiin käyttäen DroneDeploy-ohjelmaa, joka on maksullinen, noin 500 \$/kk, mutta ohjelmasta on mahdollista saada 14 päivän ilmainen kokeiluversio. Sovellus asennetaan mobiililaitteelle, joka yhdistetään johdolla drooniin. Tämän jälkeen droonin GPS-paikannus löysi alueen automaattisesti ja ohjelmalla määriteltiin kuvattava alue. Lentokorkeudeksi määritettiin 70 m ja kuvien peittoprosentiksi 80 %. Altumin lennot lennettiin myös 70 m korkeudelta ja kuvien sivupeittona käytettiin 72 % ja pituuspeittona 75 %. Peittoprosentti kuvaa sitä, miten paljon kuvat menevät päällekkäin, joten korkea peittoprosentti takaa laadukkaan ortomosaiikin ja 3D-mallin, mutta samalla kuvien määrä ja siten lentoaika kasvavat. Ohjelma laskee lentoreitin, otettavien kuvien määrän ja kertoo lentoajan ja tarvittavien akkujen määrän. Drooni lensi kuvattavan alueen omatoimisesti ja palasi kuvauksen jälkeen itsenäisesti lähtöpisteeseen.

Kuvausten jälkeen kuvatiedostot ladattiin pilveen ja DroneDeploy-sovelluksella kuvista muodostettiin yhtenäinen kuva, ortomosaiikki, jolla pystytään jo näkemään vaihtelut kasvilisuudessa sekä maaston pinnanmuodot.

Ohjelma muodostaa kuvista digitaalisen maastomallin fotogrammetrisin keinoin. Fotogrammetria tarkoittaa yksinkertaisesti mittaamista kuvien avulla (Stachniss, 2015). Kun kuvan etäisyys ja kulma kohteeseen on tunnettu, voidaan kuvasta tehdä mittauksia tosielämän kohteista.

### 3.4.3 QGIS-paikkatieto-ohjelmisto

Käytimme työssämme QGIS-ohjelman uusinta versiota 3.28.4 Firenze. Ohjelma on ilmainen ja vapaasti käytettävissä, joten se soveltuu hyvin tutkimukseen. Ortomosaiikkikuvat ovat TIF-tiedostona, ja ne avataan QGIS-ohjelmassa rasteritasona. Kaikkien tasojen koordinaattijärjestelmän tulisi olla sama. Tässä projektissa käytimme koordinaattijärjestelmää EPSG:3076-ETRS89 / TM35FIN/E/N. Tason koordinaattijärjestelmän voi tarkistaa tason informaatiokohdasta. Jos koordinaattijärjestelmä pitää vaihtaa, tallennetaan taso uudella nimellä ja oikeassa koordinaattijärjestelmässä.

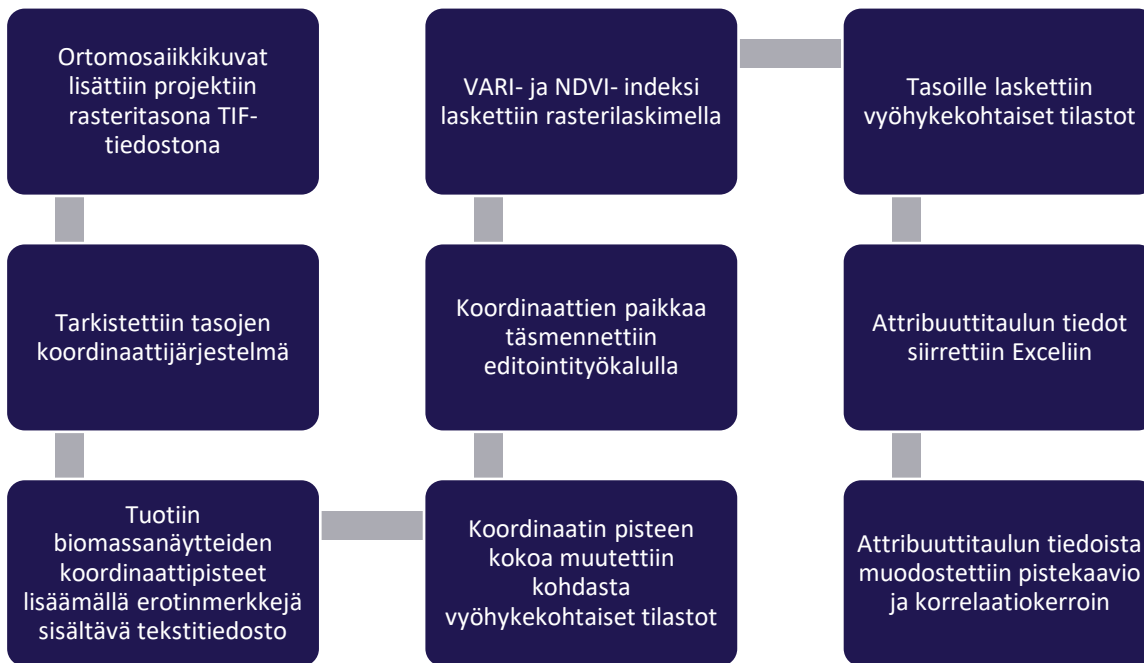
Seuraavaksi projektiin lisättiin biomassanäytteiden koordinaattipisteet tekstitiedostona. Tekstitiedosto luotiin Excel-taulukosta kopioimalla tiedot ja liittämällä ne muistioon. Muistiossa kaikki pilkut korvataan pisteellä ja välit pilkulla. Tekstitiedosto vietiin QGIS-ohjelmaan lisäämällä erotinmerkkejä sisältävä tekstitiedosto.

Halusimme koordinaattipisteen vastaavan mahdollisimman hyvin otettua 0,25 neliömetrin näytealaa, joten loimme koordinaateille oman vyöhykkeen prosessointityökalulla. Syötetasoksi valittiin koordinaattitiedosto ja etäisyydeksi laitoimme 0,28 metriä. Tämä sen takia, että ohjelma antaa kuvakkeen ainoastaan ympyränä ja näytteenottoala oli neliön mallinen. Tällä tavoin saimme ympyrän alaksi 0,246 neliömetriä. Koska tutkimuslohko A oli Phantomilla kuvattu näytteidenoton jälkeen, jouduimme siirtämään näytepisteiden paikkaa yhden metrin. Vaihto tehtiin ohjelman editointityökalulla.

Käytimme VARI-indeksin laskemiseen RGB-alueen kanavia, jotka Phantomin ortomosaiikkikuvissa ovat siinä järjestyksessä, että kanava 1 on punainen, kanava 2 on vihreä ja kanava 3 on sininen. Altumin kuvissa kanavat täytyy vaihtaa kuvaustekniikkaosiosta järjestykseen, jossa kanava 3 on punainen, kanava 2 on vihreä ja kanava 1 on sininen.

VARI-indeksi laskettiin ohjelman rasterilaskimella. Laskimeen syötettiin VARI:n kaavaa (1) käyttäen kanavat. NDVI-indeksi lasketaan samoin, käyttäen NDVI:n kaavaa (2). Matricen kuvissa lähi-infrapunakanava on kanava 5.

Jokaiselle tasolle laskettiin prosessointivalikosta vyöhykekohtaiset tilastot. Syötetasoksi valittiin luotu vyöhyke ja rasteritasoksi taso, jonka tilastot halutaan laskea. Tasojen attribuuttitaulut siirrettiin Exceliin tarkempaa tutkimista varten. Attribuuttitaulussa havaintopisteen sijainti ja siitä oleva tieto yhdistyvät taulukoksi. Meidän tutkimuksessamme havaintopisteen tietoja olivat koordinaatti, mitattu satotaso ja ohjelmassa laskettu näytepisteen kasvillisuusindeksi. Kuviossa 4. on kuvattu työjärjestys kuviona.



Kuvio 4. QGIS-ohjelman työjärjestyksestä muodostettu kuvio.

## 4 TULOKSET JA ANALYSOINTI

### 4.1 Lohko A

Lisäsimme Cybergrass-hankkeesta saamamme materiaalin QGIS-paikkatieto-ohjelmaan. Muodostimme aineistosta kasvillisuusindeksikarttoja sekä VARI- että NDVI-indeksillä. VARI-indeksi lasketaan kaavalla 1. NDVI-indeksi lasketaan kaavalla 2. Vertailimme saatuja tuloksia Excel-taulukkolaskentaohjelmassa. Teimme verrattavista kasvillisuusindekseistä pistekaavion, josta saimme korrelaatiokertoimen eri tuloksille. Korrelaatiokertoimen avulla voimme vertailla tulosten luotettavuutta pelloilta otettuihin vertailunäytteisiin. Vertailimme lohko A:n ja lohko B:n näytepisteistä otettujen biomassanäytteiden tuloksia dronikuvien rasteriarvoista laskettuihin kasvillisuusindekseihin. Kuviossa 5 näkyy lohko A:n biomassanäytteiden ottopaikat, jotka on tuotu ohjelmaan koordinaattitiedostona.



Kuvio 5. Lohko A:n biomassanäytteiden koordinaattipisteet.

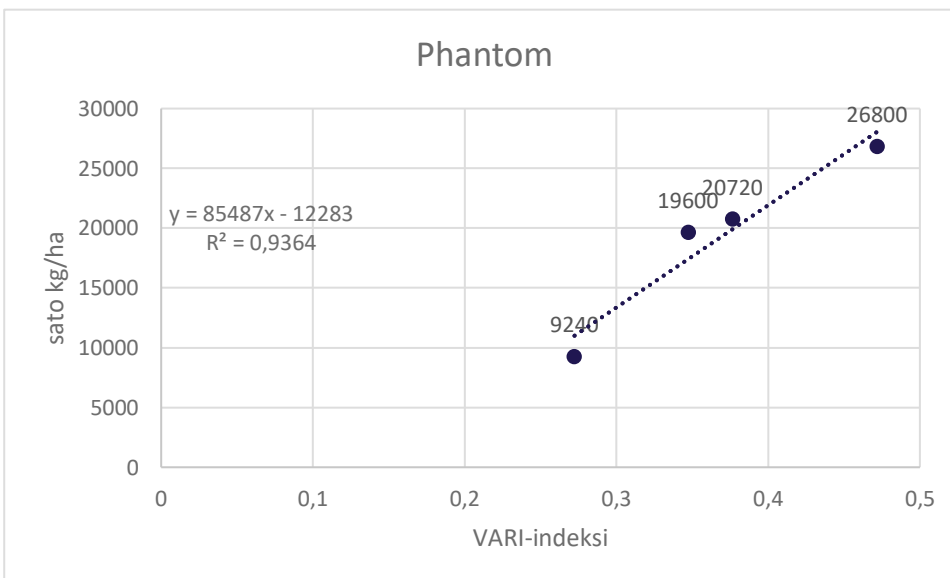
Hypoteesina oli, että Matrice 300 RTK -dronin suorituskykyisemmällä Altum-kameralla otetuissa kuvissa olisi parempi riippuvuus mitattuihin satotasoihin kuin Phantom-dronin kameralla.



Lohko A:n rasterikuvista lasketuista VARI-indekseistä on muodostettu QGIS-ohjelmassa ominaisuus- eli attribuuttitaulut, joista tiedot on siirretty Excel-ohjelmistoon. Taulukko 2 on muodostettu Phantomin attribuuttitaulun tiedoista. Taulukossa näkyy näytepisteen sato-taso sekä muodostetut VARI-indeksit. Kuvioissa 6 on verrattu näytepisteiden VARI-indeksin arvoa mitattuun satoon. Excel-ohjelman kaaviotyökalun avulla lisäsimme kaavioon suuntaviivan, sen toteuttavan yhtälön ja selityssasteen  $R^2$  eli korrelaatiokerroimen. Selityssasteen arvo kertoo x- ja y-akselin lukujen riippuvuuden toisistaan. Mitä suurempi arvo on, sitä enemmän arvot ovat toisistaan riippuvaisia.

Taulukko 2.2 Lohko A Phantom VARI.

Näyte	Sato kg/ha	VARI-ind.
A	19600	0,347272
B	26800	0,471798
C	20720	0,376544
D	9240	0,272346

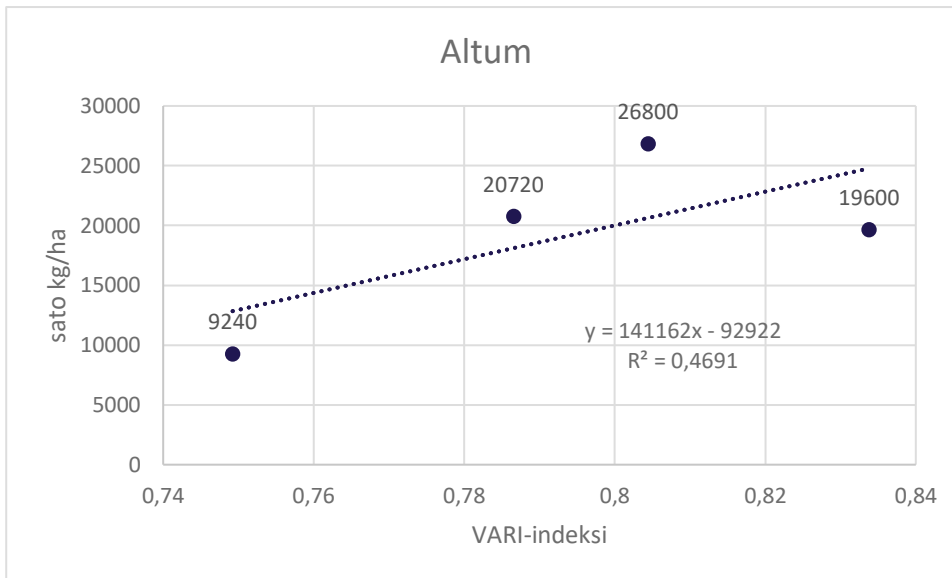


Kuvio 6. Phantom-kuvio, lohko A VARI.

Taulukko 3 on Altum-kameran tiedoista muodostettu ja kuviossa 7 pistekaavio tuloksista. Korrelaatiokerrointa heikentää erityisesti näytepiste A:n sijoittuminen VARI-indeksi-arvoltaan suurimmaksi kaaviossa.

Taulukko 3.3 Lohko A, Altum- VARI.

Näyte	Sato kg/ha	VARI-ind.
A	19600	0,8337958
B	26800	0,8044291
C	20720	0,7865568
D	9240	0,7492207

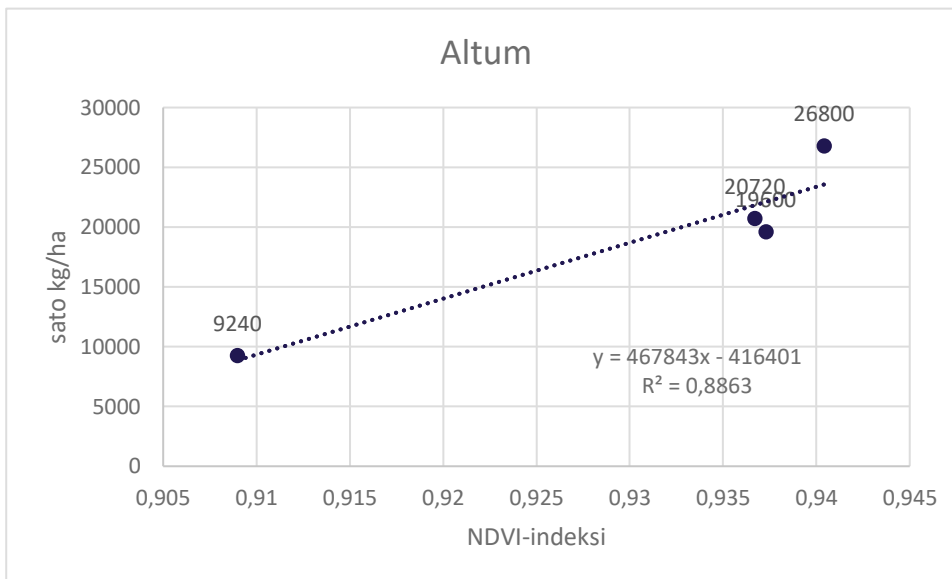


Kuvio 7. Altum-kuvio, lohko A VARI.

Taulukossa 4 on Altumin tiedoista muodostettu NDVI-indeksi. Kuviossa 8 on saaduista tuloksista muodostettu pistekaavio. Kaaviossa NDVI-indeksit ja mitatut satotasot ovat oikeassa suuruusjärjestyksessä ja niiden korrelaatiokerroin on 0,8863.

Taulukko 4.4 Lohko A, Altum NDVI.

Näyte	Sato kg/ha	NDVI-ind.
A	19600	0,937292
B	26800	0,940413
C	20720	0,936705
D	9240	0,908982



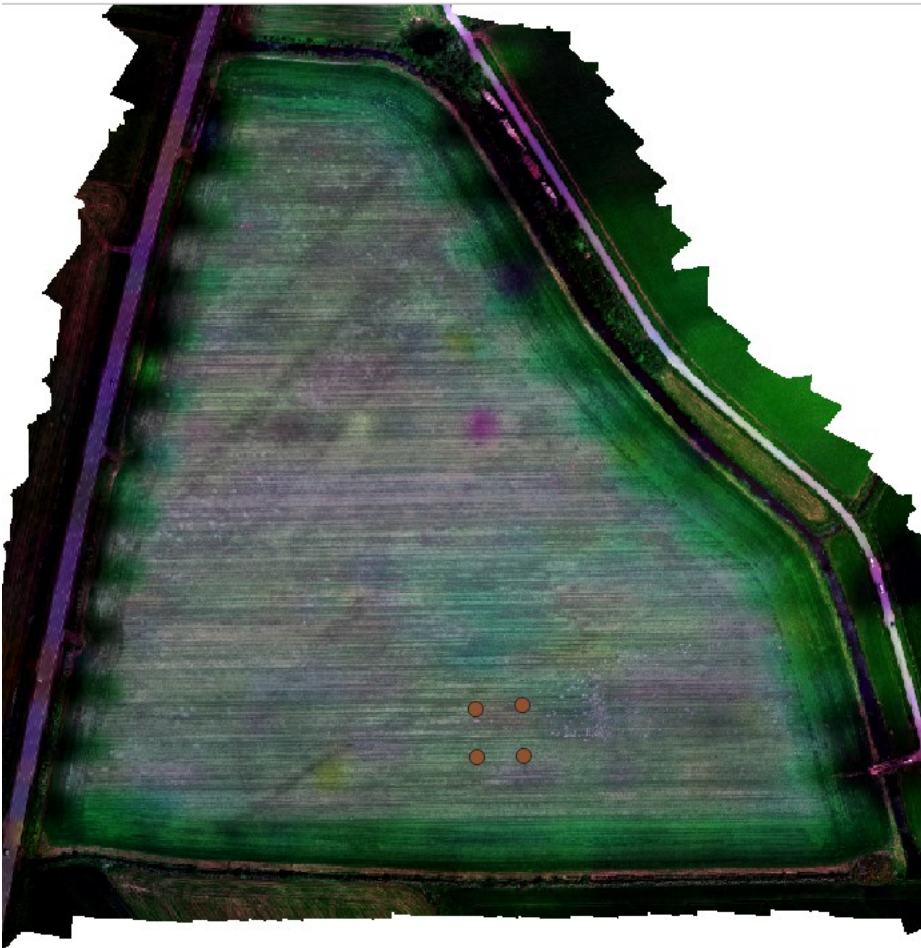
Kuvio 8. Altum-kuvio, lohko A NDVI.

Saatujen tulosten perusteella hypoteesi kumoutuu lohko A:lla. Korrelaatiokerroin on Phantom:in kuvien näytepisteistä lasketun VARI-indeksien ja mitatun satotason välillä 0,9364, kun Altumin vastaavien korrelaatiokerroin on 0,4691. Saatujen tulosten perusteella Phantom-kameran kuvista muodostettu VARI-indeksi on luettavampi ennustamaan satotasoa. Tulosten vertailukelpoisuus lohko A:lla kärsii siitä, että Phantom-kuvaukset on suoritettu samana päivänä 3 tuntia myöhemmin kuin Altumilla suoritettut kuvaukset. Phantom kuvauksissa näytepisteen koordinaatteja täytyi siirtää 1 metri, koska biomassanäytteet oli leikattu kuvausten välissä 0,25 neliön alalta. Altumin VARI-indeksikaaviossa korrelaatiokerroin laskee yhden näytepisteen vuoksi. Biomassanäyte 19600 kg/ha on saanut suurimman indeksiarvon, vaikka sen kuuluisi olla toisena neljästä näytteestä. Selitystä arvolle ei löytynyt, vaikka laskenta toistettiin useita kertoja. Näytepisteen siirto Phantomin otetuissa kuvissa aiheuttaa vertailulle epätarkkuutta. Siirto oli kuitenkin välttämätöntä suorittaa, koska leikattu ja tallattu alue olisi ollut vielä epätarkempi.

Vertailun vuoksi laskettu NDVI-indeksi on myös luotettava arvioimaan sadon määrää. Sen korrelaatiokerroin on 0,8863.

## 4.2 Lohko B

Lohko B:llä suoritettiin samat laskennat droonikuvista muodostetuille rasteriaineistoille. Tällä loholla molemmat kuvaukset on suoritettu samanaikaisesti ja ennen näytteenottoa. Kuvio 9 on Altumin kameran kuvista muodostettu ortomosaiikkikuva, johon on tuotu näytepisteiden koordinaatit.

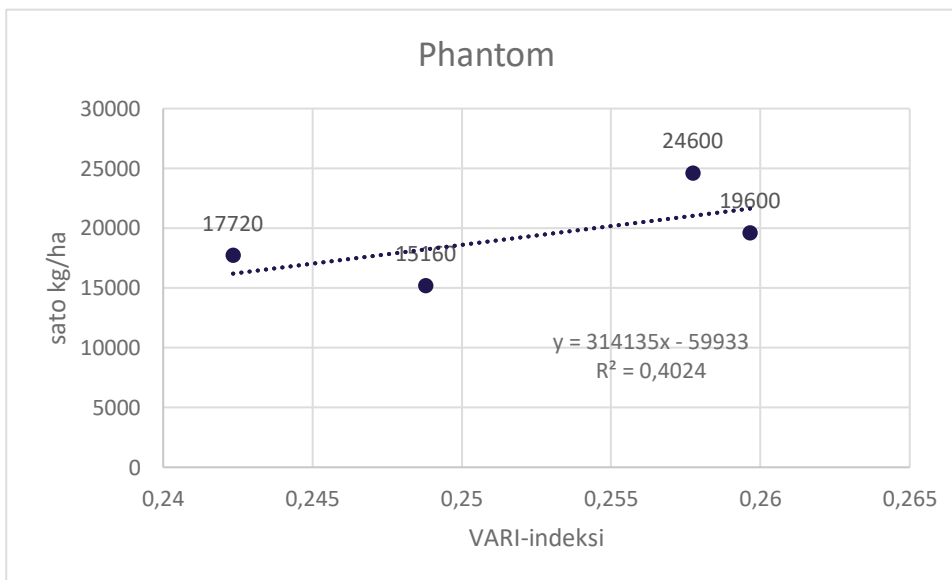


Kuvio 9. Lohko B:n biomassanäytteiden koordinaatit.

Taulukossa 5 on Phantomin attribuuttitaulun tiedoista muodostettu taulukko. Kuviossa 10 on muodostettu pistetaulukko VARI-indekseistä ja biomassanäytteistä samalla tavalla kuin lohko A:lla. Pistekaaviosta näkyy, että indeksin arvot ja mitatut satotasot eivät ole oikeassa järjestyksessä.

Taulukko 5.5 Lohko B, Phantom VARI.

Näyte	Sato kg/ha	VARI-ind.
A	24600	0,257736
B	19600	0,25965
C	17720	0,242339
D	15160	0,248794

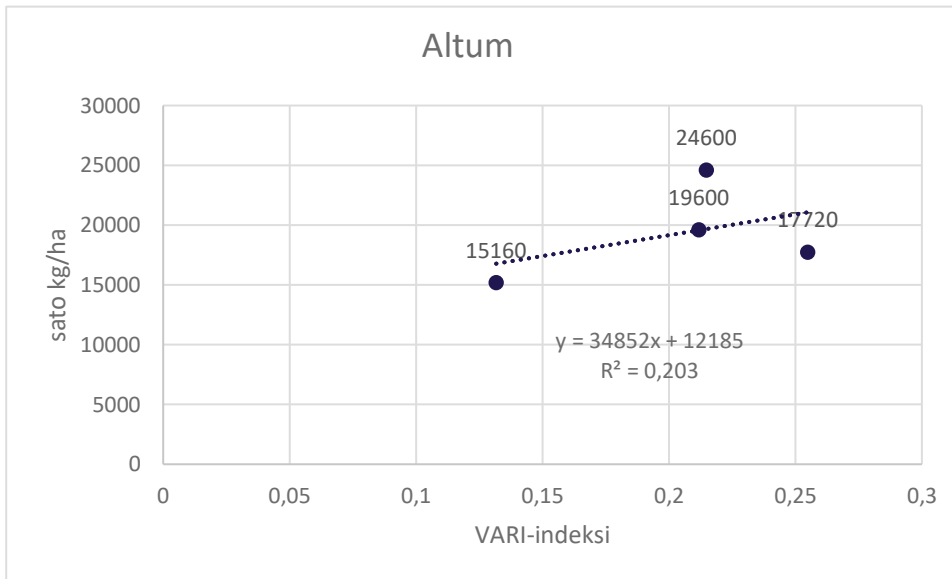


Kuvio 10. Phantom, lohko B VARI.

Altum-kameralla otetuista kuvista muodostettu VARI-indeksi on taulukossa 6. Tiedoista muodostettu pistetaulukko on kuviossa 11. Taulukosta näkee, että luotettavuutta heikentää näytepiste C:n sijoittuminen VARI-indeksi-arvon mukaan suurimmaksi, vaikka mitatun sato-tason mukaan sen pitäisi olla toisena. Näytepisteiden A ja C arvot sijoittuvat myös kauas kuvion suuntaviivasta.

Taulukko 6.6 Lohko B, Altum VARI.

Näyte	Sato kg/ha	VARI-ind.
A	24600	0,214786
B	19600	0,21182
C	17720	0,254843
D	15160	0,131669

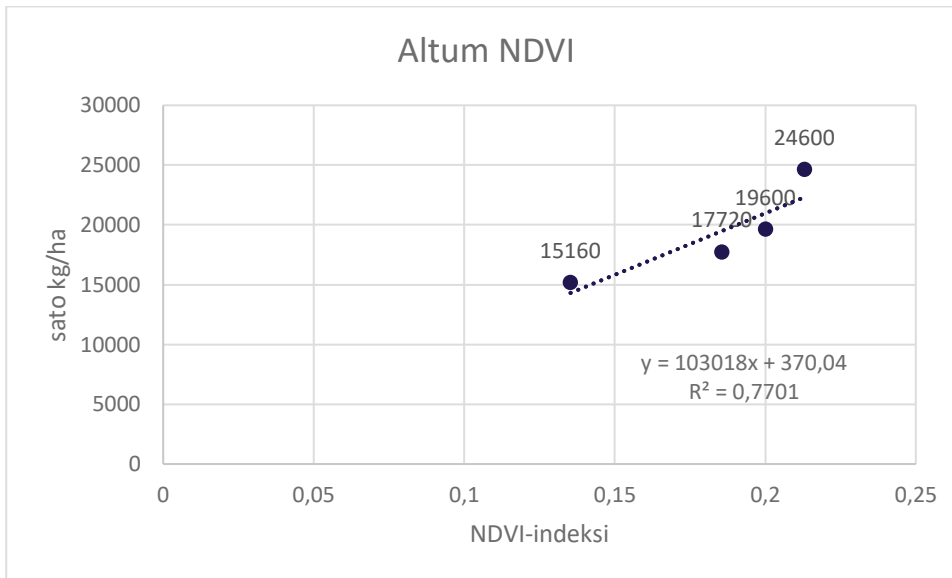


Kuvio 11. Altum, lohko B VARI.

Taulukossa 7 on Altumin kuvista muodostettu näytepisteiden NDVI-indeksi. NDVI-indeksin korrelaatio mitattuun satotasoon on kuvattu kuviossa 12. Mitattu satotaso ja NDVI-indeksin arvot ovat oikeassa suuruusjärjestyksessä.

Taulukko 7.7 Lohko B, Altum NDVI.

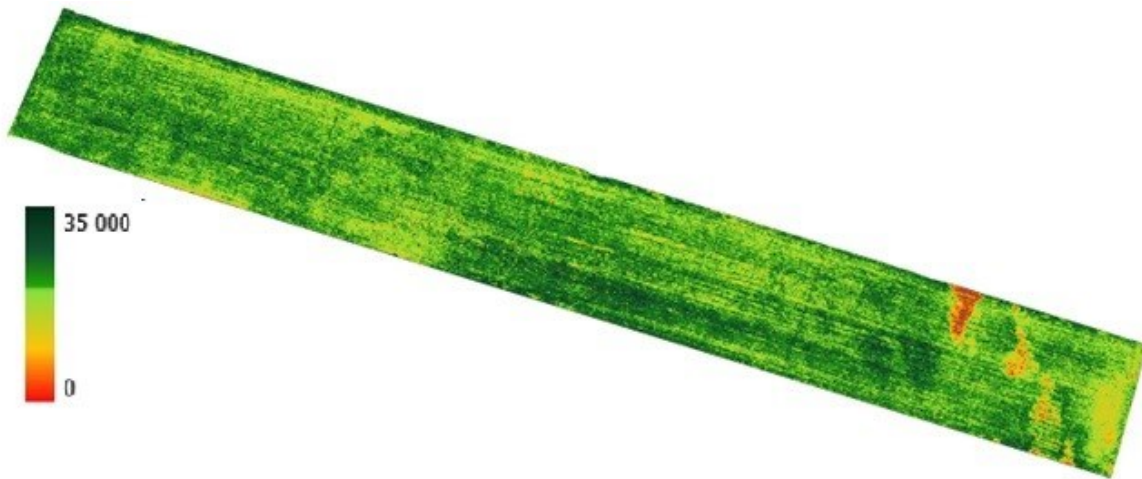
Näyte	Sato kg/ha	NDVI-ind.
A	24600	0,212959
B	19600	0,200028
C	17720	0,185568
D	15160	0,135292



Kuvio 12. Altum, lohko B NDVI.

Myös tällä lohkolla hypoteesi kumoutuu. Phantom-kameran kuvista muodostettu VARI-indeksin korrelaatiokerroin on 0,4024, kun Altumin vastaava kerroin on 0,203. Altumin NDVI-indeksikorrelaatio on 0,7701. Tällä lohkolla NDVI-indeksi on luettavin mittaamaan sadon määrää.

Kuvioiden suuntaviivan toteuttavan yhtälön avulla voidaan muodostaa myös satoarvokartta. Yhtälön X:n paikalle sijoitetaan QGIS-ohjelman rasterilaskimessa kasvillisuusindeksin arvo, ja ohjelma laskee rasterin jokaiselle pikselille satomäärän. Kuviossa 13 on muodostettu satokartta VARI-indeksistä lohko A:lle. Kuvan vasemmassa alalaidassa on väriskaala, joka kertoo, minkälainen satotaso kg/ha on eri värin kohdalla. Kartasta erottuvat selkeästi suuren satotason tuottavat pellon osat tumman vihreinä ja heikommat kohdat keltaisina ja punaisena.



Kuvio 13. Satokartta Lohko A Phantom VARI.



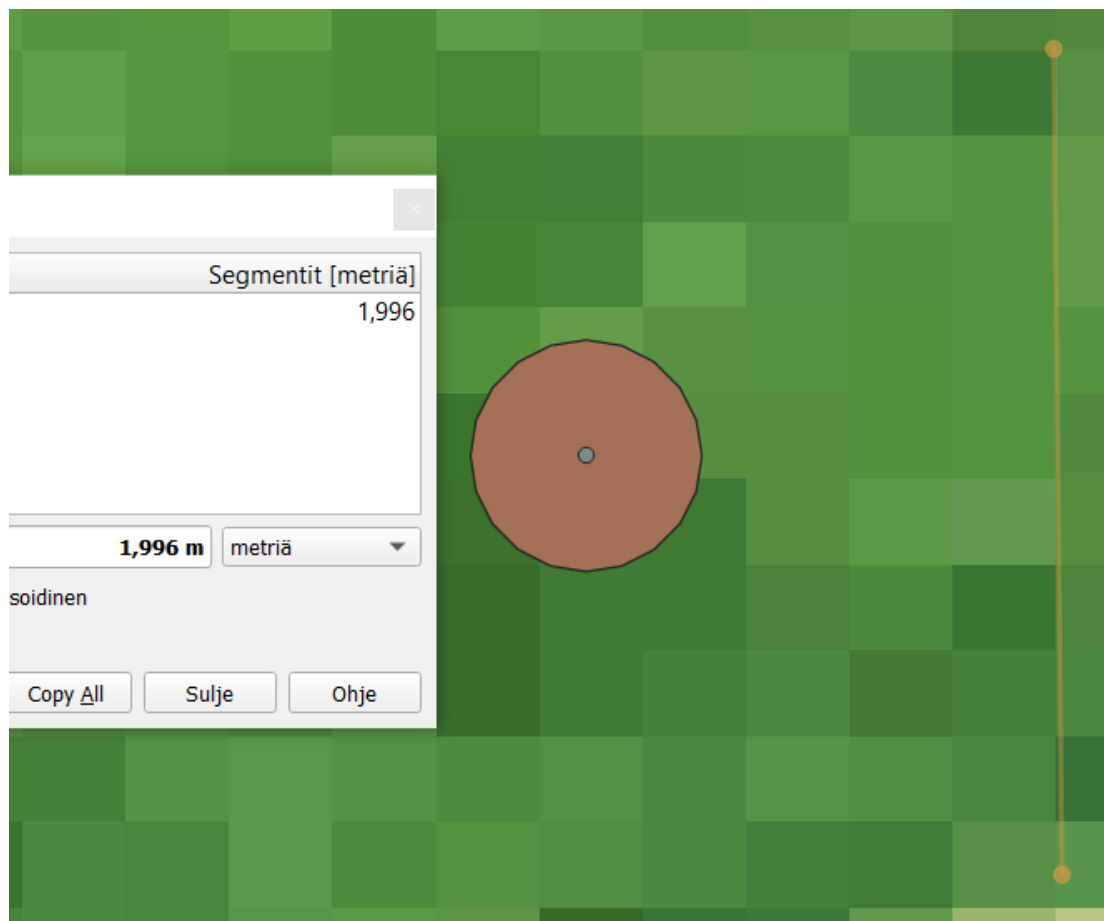
## 5 YHTEENVETO

NDVI-indeksiä käytetään yleisesti sadon määrän ja kasvuston kunnon arviointiin (Digimaatalous, 2021). Lähteessä mainitaan myös NDVI-indeksin kuvaavan hyvin kasvuston tiheyttä ja lehtivihreän määrää. Tutkimuksemme osoitti, että myös pelkällä RGB-kameralla varustetulla dronilla voi saada luotettavia tuloksia verrattuna NIR-alueen kameran omaavan droniin. Kameroiden suorituskyvyllä ei tutkimuksen mukaan ole merkitystä RGB-kanavien avulla tehtävään sadon arvointiin. Suuremman pikselikoon omaava kamera voi häivyttää pienet erot kasvustosta. Pienissä pikseleissä erot kasvustossa korostuvat ja saattavat vääristää RGB-alueella suoritettavaa vertailua. Lähi-infrapuna-alueen sisältämän kameran kuvista muodostetusta NDVI-indeksin korrelaatiokerroin on tasaisempi lohko A:n ja B:n välillä kuin RGB-alueen VARI-indeksi. Tutkimuksemme vahvisti tietoa siitä, että NDVI-indeksi on luotettava ennustamaan sadon määrää.

A-lohkolla Phantomin kameran kuvista laskettu VARI-korrelaatiokerroin on 0,94 ja Altumin 0,47 ja NDVI:n korrelaatiokerroin 0,88. Phantomin VARI ja Altumin NDVI ovat luotettavuudeltaan hyvin lähellä toisiaan. B-lohkolla Phantomin VARI-indeksin korrelaatiokerroin on 0,40. Altumin VARI-korrelaatiokerroin on 0,20 ja NDVI 0,79. VARI-indeksin korrelaatiokerroin vaihtelee suuresti lohkojen välillä.

Mielenkiintoista olisikin testata laajemmalla otoksella ja eri kasvilajeilla, kuinka luotettavia saamamme tulokset ovat. Tutkimuksemme perusteella tulimme siihen tulokseen, että biomassanäytteitä olisi hyvä ottaa useita osanäytteitä kultakin koepisteeltä ja suuremmalta alalta. Esimerkiksi noin kymmenen neliön ala voisi olla sopiva. Kasvillisuusindeksiä QGIS-ohjelmalla muodostettaessa tältä alalta tarkkuus koko pellon mittakaavaa ajatellen voisi tarkentua. Tässä tutkimuksessa 0,25 alalta skaalattu pikseleiden arvo ei kuvasta mielestämme riittävää suuruutta pellolla. Kuvassa 14 näkyy QGIS-ohjelmasta otettu kuvakaappaus, jossa on mittaustyökalulla merkitty kahden metrin matka. Punainen ympyrä on pinta-alaltaan meidän tutkimuksessa käyttämämme 0,25 neliötä. Jos aiemmin mainitulta kymmenen neliön alalta olisi vaikka neljä osanäytettä ja niistä laskettaisiin keskiarvo koepisteelle, varmuus kaukokartoitusaineistosta saatavalle tulokselle paranisi. Kuvasta näkyy

hyvin, kuinka pikseleiden arvot ovat erilaisia. Vierekkäiset pikselit ovat lähes kaikki eriarvoisia, mikä näkyy värierona kuvassa.



Kuvio 14. Rasterikuva QGIS.

Lohkoilta ei ollut käytettävissä todellisia korjatusta sadosta muodostettuja satokarttoja, joihin olisimme voineet verrata indekseillä laskettua satoa. Säilörehun korjuukoneissa voi olla varusteena sadonmittauslaitteita (Digimaatalous, 2022). Mittaus perustuu valomittaukseen, jossa hyödynnetään valon eri aallonpituuksia, RGB ja NIR (Oksanen, 2021). Oksanen mukaan sato- ja maaperätietoa yhdistämällä lannoitusta voitaisiin tarkentaa. Sato-, maaperä- ja kaukokartoitusaineiston yhdistäminen paikkatieto-ohjelmassa saattaisi olla hyvä apuväline sadontuoton maksimointiin ja tuotantopanosten käytön optimointiin. Yhdistetyn tiedon perusteella voi tehdä tehtäviedostoja lannoitus- ja kasvinsuojelulaitteisiin eli suorittaa täsmäviljelyä.

## LÄHTEET

Aviamaps. (i.a.). *Ilmatilat nyt ja tänään.*

<https://aviamaps.com/map?drooni&lang=fi#p=3.67/65.76/27>

Digimaatalous. (20.5.2021). *Droonit kasvuston kuvaamisessa.* <https://www.digimaatalous.fi/droonit-kasvuston-kuvaamisessa/>

Digimaatalous. (19.9.2022). *Nurmen satokartoitus korjuukoneissa.* <https://www.digimaatalous.fi/nurmen-satokartoitus-korjuukoneissa/>

Dji. (i.a.). Specs Phantom 4 Pro V2.0. <https://www.dji.com/fi/phantom-4-pro-v2/specs>

Droneinfo. (i.a.). *Itseopiskelumateriaali EU-asetuksen mukaisiin kauko-ohjaajan kokeisiin.* <https://droneinfo.fi/fi>

Freeman, M. (2005). *Digikuvaajan valaisunhallinta.* (E Sarkkinen, käänt.). Docendo Finland. (Alkuperäinen teos julkaistu 2004).

Helsingin yliopisto. (i.a.). *Geoinformatiikka: Yleistä Geoinformatiikasta.* <https://blogs.helsinki.fi/geoinformatiikka/>

Hietanen, M., Visuri, R., & Nyberg, H. (2009). Muu optinen säteily: Näkyvä valo. Teoksessa R. Pastila (toim.), *Säteily- ja ydinturvallisuus: Ultravioletti- ja lasersäteily* (s. 264–265). Säteilyturvakeskus.

Holopainen, M., Tokola, T., Vastaranta, M., Heikkilä, J., Huitu, H., Laamanen, R., & Alho, P. (2015). *Geoinformatiikka luonnonvarojen hallinnassa.* (Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 7). [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/166765/GIS\\_kirja\\_kansineen\\_netti.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/166765/GIS_kirja_kansineen_netti.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Interreg Botnia Atlantica. (5.4.2022) Hankerekisteri 2014–2020. *CyberGrass - Introduction to remote sensing and artificial intelligence assisted silage production*. <https://www.botnia-atlantica.eu/hyvaksytyt-hankkeet/hankerekisteri/cybergrass-introduction-to-remote-sensing-and-artificial-intelligence-assisted-silage-production>

Kaivosoja, J. (2021). Droneteknologiat. Teoksessa M. Keskitalo, S. Peltonen, S. Linden, S. Anttila (toim.), *Uudistuva kasvintuotanto* (s. 90). (Tieto tuottamaan 147). ProAgria Keskusten Liitto.

Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2019/947, annettu 24 päivänä toukokuuta 2019, säännöistä ja menetelmistä miehittämättömien ilma-alusten käytössä. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0947>

MicaSense. (24.11.2022). *MicaSense Altum™ and DLS 2 Integration Guide*. <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/360010025413-Altum-Integration-Guide>

Oksanen, T. (7.10.2021). Nurmen satomittauksessa mitataan määrän lisäksi myös laatua ja proteiinipitoisuuksia – nurmen satokarttojen potentiaali lannoitukseen on vielä hyödyntämättä. *Koneviesti*, 69(14), 16.

Pesonen, L., Kaivosoja, J., & Suomi, P. (2010). *Täsmäviljely ja ravinteiden käytön tarkentaminen: Tehoa maatalouden vesien suojeluun* (Teho-hankkeen julkaisuja 5/2010). Tehohanke. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-157-1>

Stachniss, C. (2015). *Photogrammetry 1–01 – Introduction*. [video]. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=mOG\\_IpPnpY](https://www.youtube.com/watch?v=mOG_IpPnpY)

Stam, T. (2021). Droneteknologiat. Teoksessa M. Keskitalo, S. Peltonen, S. Linden, S. Anttila (toim.), *Uudistuva kasvintuotanto* (s.91). (Tieto tuottamaan 147). ProAgria Keskusten Liitto.

Wikipedia commons. (13.2.2011). File:EM spectrum fi.svg. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM\\_spectrum\\_fi.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrum_fi.svg)