

**SELVITYS KASVINJALOSTUKSEN LAJIKEKOETOIMINTAAN
SOVELTUVISTA MITTAUS- JA ANALYYSIMENETELMISTÄ**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Tieto- ja viestintäteknikka, biotalouden koulutus, Forssa
Kevät, 2022
Miia Viitamäki

Tieto- ja viestintäteknikka, biotalouden koulutus

Tiivistelmä

Tekijä Miia Viitamäki

Vuosi 2022

Työn nimi Selvitys kasvinjalostuksen lajikekoetointaan soveltuvista mittaus- ja analyysimenetelmistä

Ohjaaja Johanna Salmia, Mika Hyövelä

Opinnäytetyö pohjautuu työkokemukseen ja tilaajan tarpeeseen kartoittaa, selvittää sekä arvioida valittujen teknologioiden ominaisuuksia ja hyödyllisyyttä yritykselle. Boreal Kasvinjalostus Oy on peltokasvilajikkeita jalostava ja markkinoiva yritys. Mielenkiinto teknologian käytön mahdollisuuksista on herännyt lähivuosien aikana. Teknologisten mittaus- ja analyysimenetelmien käyttö nähdään mahdollisuutena kerätä dataa ja sitä kautta havaintoarvoja kasvuston elinvoimaisuudesta. Opinnäytetyössä käsiteltävät teknologiat on valittu opinnäytetyöhön yrityksen mahdollisen tarpeen ja soveltuvuuden mukaan. Yrityksen kasvinjalostustoiminta on useiden vuosien kestävä peltokasvilajikkeiden tutkimusta ja kehittämistä.

Opinnäytetyössä käsitellyistä mittaus- ja analyysimenetelmistä voidaan todeta, että kyseiset teknologiset ratkaisut toimivat kasvinjalostuksen tukena, mutta niiden käyttöön liittyy korostuvasti data ja sen käsittely. Erityisesti sellaisilla teknologisilla ratkaisuilla, jotka helpottaisivat kasvustohavaintojen tekoa, on huomattavissa, että niiden käyttöön tarvitaan aikaa sekä tiedonkäsittelyntaitoa. Tutkittavan materiaalin määrä on suuri ja teknologian käyttöä hankaloittaa, että kasvukaudella riittää työtä, joten teknologian käyttö ei saisi viedä liikaa aikaa.

Opinnäytetyö perustuu teoreettiseen tietoon, joten sen avulla ei voi suoranaisesti muodostaa johtopäätöksiä käsiteltävien teknologisten mittaus- ja analyysimenetelmien hyötyarvosta. Opinnäytetyö sisältää kirjallisiin lähteisiin perustuvan tutkimuksen, joten vasta varsinaisen käyttökokemuksen avulla pystyy muodostamaan todellisen arvion käyttöönoton kannattavuudesta yrityksen tarpeisiin nähden.

Avainsanat Maanviljely, mittaus teknologia, mittausmenetelmät, kasvinjalostus, NIR-spektroskopia

Sivut 39 sivua

This thesis was based on the author's work experience and the client's need to map, analyse and evaluate the properties and usefulness of the chosen technologies on behalf of the commissioner, Boreal Plant Breeding Ltd. The company processes and markets arable crop varieties. Interest in the possibilities of using technology has emerged over the past few years since the use of technological measurement and analysis methods is seen as an opportunity to collect data and thereby observational values on crop vitality. The technologies discussed in the thesis have been selected according to the possible need and suitability of the company, where breeding activities are based on a long-term process when researching and developing arable crop varieties.

As regards the measurement and analysis methods discussed in the thesis, it can be stated that the technological solutions in question serve as support for plant breeding, but their use is strongly associated with data and its processing. In particular, technological solutions that would facilitate crop observations, require time and data processing skills. The amount of material to be studied is high and the use of technology is hampered by the considerably high workload during the growing season, so the use of technology should not take too long.

The theoretical part of the thesis was mainly based on literature review, so it cannot be used directly to draw conclusions on the usefulness of the technological measurement and analysis methods in question. Therefore, only with the actual user experience, it is possible to make a real assessment of the profitability of the implementation in relation to the company's needs.

Keywords Agriculture, measurement technology, measurement methods, plant breeding,
NIR spectroscopy

Pages 39 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Teknologian käyttö kasvinjalostuksessa	2
3	Kasvinjalostuksen merkitys luomuviljelylle	3
4	Teknologian käytön perusta kasvuston laadun seurannassa	5
5	Teknologiset menetelmät ja ratkaisut viljelyn seurannassa	6
5.1	LI-COR LAI 2200C	7
5.2	SS1 SunScan Canopy Analysis system	9
6	Kamerateknologia osana kasvuston laadun tarkkailua	11
6.1	Drone - RGB-kamera	12
6.2	Drone - MicaSense RedEdge-MX	15
6.3	Drone - MicaSense Altum-PT	17
6.4	Easy Leaf Area Free -sovellus	19
6.5	Canopeo-sovellus	20
7	NIR-analyysimenetelmä ja sen käyttökohteet maanviljelyssä	22
7.1	GrainSense-mittauslaite	24
7.2	Spectral Engines - Nirone Scanner	26
7.3	Yara N-Sensor -lehtivihreä mittauslaite	27
7.4	Yara N-Tester lehtivihreä -mittauslaite	28
7.5	Trimble GreenSeeker -lehtivihreä mittauslaite	30
8	Kasvinjalostustoiminta ja kestävä tulevaisuus	31
9	Johtopäätökset, tulosten pohdinta ja arviointi	33
	Lähteet	39

1 Johdanto

Boreal Kasvinjalostus Oy on kasvinjalostuksen tuotekehitystoimintaan perustuva yritys. Yritys jalostaa ja markkinoi peltokasvilajikkeita, joiden laatu perustuu menestyvään kasvuun. (Boreal, n.d.-a) Kasvinjalostus on geenimuunteluun ja tutkimukseen pohjautuvaa tuotekehitystä, jossa valittuja kasvin ominaisuuksia pyritään muuttamaan ja parantamaan tavoitteena saada lopputulokseksi uusi kasvilajike (Luke Finland, 2017).

Kasvinjalostusprosessi on pitkäkestoinen ja laaja, joten teknologian käyttäminen osana tutkimusta tuo mahdollisuuksia nopeuttaa prosessia sekä edistää siihen liittyviä työvaiheita, kun kyseessä on useamman vuoden aikana tapahtuva prosessi (Boreal, n.d.-b). Tämä opinnäytetyö on saanut innoituksensa kasvinviljelyn seurannan ja siihen tarjoilla olevan teknologian mahdollisuuksien kartoittamisesta eli opinnäytetyön tarkoitus on selvittää valittujen teknologisten mittaus- ja analyysinmenetelmien potentiaalisuutta.

Opinnäytetyö pohjautuu vuonna 2020 harjoitettuun luomulajikekokeeseen, joten käsiteltävänä on myös luomuviljely. Työn päätavoite on selvittää yritykselle valittujen teknologisten mittaus- ja analyysimenetelmien potentiaalisuutta eli mahdollista käyttöönottoa ja käytettävyyden hyötyarvoa yrityksen kasvinjalostustoiminnalle. Opinnäytetyöhön sisällytetyt mittaukseen ja analyysiin perustuvat teknologiset menetelmät ovat tilaajan valitsemia ja suurin osa niistä on ollut yrityksellä jo käytössä.

Valittuja teknologioita voidaan hyödyntää kasvin kasvuun liittyvien ominaisuuksien selvittämiseen. Luomuviljelylle ominaista on viljelykierron toteutuminen, sillä se vähentää viljelyssä ilmeneviä haasteita. Se vaikuttaa muun muassa rikkakasvien kilpailukykyisyyteen, kasvituholaisiin, maaperän kuntoon ja sitä kautta kasvuston elinvoimaisuuteen. Kuitenkin kasvuston kunnan seuranta ympäri kasvukauden on merkittävää viljelymenetelmästä riippumatta. Tästä syystä opinnäytetyö sivuaa luomuviljelyä aiheena, mutta keskiössä on tilaajan tarve selvittää peltokasvilajike koetoiminnassa käytettävien teknologisten laitteiden käytettävyyttä osana kasvuston seurantaa kasvukauden aikana.

Käytettävän teknologian ominaisuudet ja hyötyarvo määrittävät käyttöönoton järkevyyttä kasvinjalostukseen soveltuessa. Kasvinjalostuksen lajikekoetoiminnassa tukena käytettävälle

teknologialle olennaista on, että se palvelisi käyttäjään mahdollisimman potentiaalisesti ja kustannustehokkaasti. Teknologian käytettävyys ja toimivuus tulisi olla koekenttätoimintaan soveltuva. Lisäksi opinnäytetyössä perehdytään teknologian arvoon kasvinjalostuksen tulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä on tavoitteena vastata seuraaviin kysymyksiin: Millaista kasvinjalostuskoetoiminnan tukena käytettävän teknologian tulisi olla? Millaiset ominaisuudet ovat merkitseviä kyseisissä teknologioissa? Mikä on teknologian hyötyarvo kasvinviljelyn seurantaan tukevana tekijänä?

2 Teknologian käyttö kasvinjalostuksessa

Teknologian käyttö on yleistynyt entisestään maanviljelyssä. Kasvinjalostuksessa teknologian käytettävyys on myös olennaisena tekijänä, sillä kyseessä on prosessi, joka vaatii aikaa ja tiedollista käsittelyä. Lisäksi kasvienviljely koetoiminnan muodossa on olennainen osa kasvinjalostusprosessia. Uutta teknologiaa kehitetään jatkuvasti eri käyttökohteisiin sopivaksi. Maanviljelyssä teknologiaa käytetään datan keräämiseen ja laadullisten ominaisuuksien parantamiseen ja seurantaan sekä työtapojen kehittämiseen. Teknologiasta ja sen käyttötarkoituksesta riippuen sitä käytetään joko koko kasvukauden aikana tai tietyssä vaiheessa kasvinjalostusprosessia. (Boreal, 2019) Kasvinjalostuksessa teknologisten mittaus- ja analyysilaitteiden käyttöarvo luo pohjan kerättävän datan hyödyllisyydelle, kun kyseessä on kerättävän tiedon kattavuus ja kasvuston laadun tarkkailun tarpeellisuus.

Nykypäivänä tyypillistä maanviljelyyn kehitettävälle teknologialle on datan kerääminen ja tallettaminen sekä analysoiminen. Datan kerääminen luo mahdollisuuksia kehittää maanviljelyä ja kasvinjalostusta, kuten esimerkiksi työtapoja, kun tietoa saadaan kerättyä enemmän ja monipuolisena. Kasvinjalostus on tuotekehitystä, jossa tuotteena ja kehittämiskohteena ovat kasvilajit. Kasvinjalostaminen perustuu siis kasvin ominaisuuksien tutkimukseen ja parantamiseen. Teknologian kehitys näkyy kasvinjalostuksessa mittaus- ja analyysimenetelmien käytössä koko laajamittaisen kasvinjalostus prosessin aikana. (Boreal, n.d.-d.)

Ongelmana teknologian käytön yleistymisessä ja käyttöönotossa voi olla siihen vaadittavan työn määrä. Teknologiasta riippuen niiden käyttö voi olla haasteellista, mikäli kyseessä olevan

teknologian käyttö vaatii enemmän resursseja. Maanviljely on jo itsessään useita työvaiheita ja menetelmiä sisältävä prosessi, joten teknologian potentiaalisuutta punnittaessa henkilöstön teknologian käytön taidolla ja koulutus tarpeella sekä teknologian käyttöön tarvittavalla ajalla on esimerkiksi merkitystä. Käyttöönoton kannalta myös teknologian kustannustehokkuudella sekä käytettävyysskapasiteetilla on vaikutusta käyttöönoton kannattavuuteen. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

Kasvuston laadullisiin ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä on useita. Eri kasvien kehitys tapahtuu yksilön omaisesti, joten niiden kasvussa on eroa laadullisesti. Kasvit pyrkivät jo luonnolliselta ominaisuudeltaan torjumaan niiden kasvulle haitallisia tekijöitä, kuten esimerkiksi tuholaisia tuottaen kemiallisia yhdisteitä puolustuskeinona. Niiden kemiallinen rakenne vaihtelee ja vaikuttaa myös valon heijastumiseen. Kasvien rakennetta pystytään tutkimaan ja analysoimaan myös monen muun ominaisuuden kannalta. (Purmonen & Saarinen, 2018, s. 29)

Uusien teknologisten ratkaisujen myötä myös kasvinjalostuksen työmenetelmät kehittyvät, kun kasvien ominaisuuksia pystytään mallintamaan ja analysoimaan entistä potentiaalisemmin. Lisäksi olennaista on optisten menetelmien mahdollistama kasvinviljelyssä tapahtuva kasvun seuranta. Tämä tarkoittaa, että kasvuston laadullisia ominaisuuksia pystytään seuraamaan teknologian avulla ja sen toiminnan mukaisesti. (Purmonen & Saarinen, 2018, s. 29)

3 Kasvinjalostuksen merkitys luomuviljelylle

Luomuviljely tarkoittaa luonnonmukaista viljelyä eli kasvuston elinvoimaisuus on hyvin paljon riippuvainen viljelymenetelmän hallinnasta ja ymmärtämisestä ekologisuuteen suhteutettuna. Luomuviljelyn yläkäsite on luomumaatalous, joka perustuu kestävän kehityksen perus ajatusmalliin toimintatapojen organisoimisesta niin, että huomioidaan luonnon resurssillinen kestävyys suhteutettuna ihmisen nykyisiin sekä tulevien sukupolvien tarpeisiin. (Dredge ym., 2004, ss. 12, 19)

Merkitsevää on siis, ettei kasvuun käytetä esimerkiksi kemiallisia torjunta-aineita, vaan kasvu tapahtuu luonnollisella tavalla ja luomuviljelyyn kuuluvilla menetelmillä (Dredge ym., 2004, s. 19). Tämä tarkoittaa sitä, että kasvu ja satoisuus riippuvat hyvin paljon maaperän kasvuolosuhteista, ilmasto-olosuhteista, viljeltävän kasvin valinnasta sekä laadullisista

ominaisuuksista. (Hagelberg ym., 2019, s. 38). Lisäksi luomuviljelyssä hyödynnetään monivuotista viljelykiertomenetelmää, joka perustuu eri kasvilajien vuorotteluun. Menetelmä toimii kasvinsuojeluna perustuen tuholaisten ja rikkakasvien elinympäristön muutokseen ja sitä kautta niiden ehkäisyyn. (Ruokavirasto, 2019)

Luomuviljelyssä, kuin myös tavanomaisessa viljelyssä, on merkitsevää satoisuus, sadon laatu ja kasvien vastustuskyky. Kasvinjalostustoiminta tähtää kasvinominaisuuksien parantamiseen, joten kehitettävien uusien lajikkeiden satoisuuden ja sen laadun tulisi olla potentiaalisempi verrattuna lähtötilanteeseen eli kehitettävään lajikkeeseen. Kasvien vastustuskyvyllä tarkoitetaan resistenssiä, joka tarkoittaa kasvinjalostuksessa taudin- ja tuholaistenkestävyyttä. (Fagerstedt ym., 2008, s. 176)

Merkitsevää jalostettavissa ominaisuuksissa on myös kasvien mukautuminen viljelyolosuhteisiin. Näitä ominaisuuksia ovat muun muassa sopeutuvuus ilmastoon ja kasvukauden pituuteen sekä maaperään. (Fagerstedt ym., 2008, s. 175) Kuitenkaan vielä ei ole vakiintunutta käsitystä varsinaisesta luomuviljelyn kasvinjalostuksesta. Tästä syystä luomuviljelyyn perehtyvään kasvinjalostukseen on tarvetta, jotta markkinoille saataisiin siihen soveltuva ja luotettava oma kategoria. Kasvinjalostuksella pystytään kehittämään kasvilajikkeiden niitä ominaisuuksia, jotka ovat ongelmatekijöitä luomuviljelyssä, kuten tuholaisten ja rikkakasvien kestävyys. Luomukasvinjalostuksessa tulisi huomioida useita asioita, kuten muun muassa ekologisuuden toteuttaminen, kasvien luonnollisen lisääntymiskyvyn ylläpitäminen ja peltokasvilajikkeiden sopeutuvuus kasvuolosuhteisiin ominaisuuksiltaan. (Ruralia-instituutti, 2021)

Luomuala herättää siis kiinnostusta, mutta pääosin luomujalostustoimintaa harjoittavia toimijoita on vähän. Tarve luomujalostus toimintaan perustuu siihen, että käytössä olleet lajikkeet ovat perus jalostusohjelman omaisesti kehiteltyjä, eikä luomutuotantoon liittyvien ominaisuuksien mukaisesti. (Pietilä, 2017, dia 2)

Luomukasvinjalostuksessa tulisi kehittää ja suosia viljelykasvien laadullisia ominaisuuksia. Laadullisia ominaisuuksia on lukuisia ja näitä ovat muun muassa taudinkestävyys, ravinteiden ottokyky ja käytön tehokkuus sekä muut laadulliset ominaisuudet, kuten ravintoarvo ja säilyvyys. Myös kasvin korteen liittyy laadullisia ominaisuuksia esimerkiksi sen lujudessa ja pituudessa. (Ruralia-instituutti, 2021)

4 Teknologian käytön perusta kasvuston laadun seurannassa

Luomuviljelyssä keskeisiä haasteita ovat sopeutumiskykyiset ja kilpailukykyiset rikkakasvit sekä kasvituholaiset. Rikkakasvien käsittelyssä etua luo maan luontainen elinvoimaisuus. Viljelykasvit menestyvät viljelykierron ollessa tasapainoinen, jolloin rikkakasvien haittavaikutus on pienempi. Rikkakasvien hillintä vaatii tietotaidollista perehtyneisyyttä rikkakasvien ominaisuuksista. Tietyille rikkakasveille tarvitaan harkitut oikeanlaiset menetelmät, jotta rikkakasvien hallinta toimii. Haasteellista on, että rikkakasvit tarvitsevat kasvuun vähemmän lämpöä kuin viljelykasvit ja ovat myös taudinkestävämpiä jalostettuihin kasvilajikkeisiin verrattuna. (Dredge ym., 2004, s. 254)

Kasvustossa tapahtuva kilpaileminen rikkakasvien ja viljelykasvien välillä perustuu kasvutilan, valon, veden ja ravinteiden tarpeeseen. Rikkakasvit aiheuttavat useita haittavaikutuksia viljelykauden toiminnassa, mutta se riippuu kasvilajista, sillä niistä voi myös olla hyötyä. Tämä voidaan havaita maaperän laatuominaisuuksia tarkastellessa. Esimerkiksi suuremmat rikkakasvit edistävät maaperän laatua vähentämällä sen tiivyyttä. Lisäksi joistakin rikkakasveista on tutkittu olevan hyötyä viljelykasvien kasvussa ravinteiden kannalta. (Dredge ym., 2004, s. 255)

Pellossa vallitsevan kasvilajien runsaamman kirjon on myös tutkittu vaikuttavan tuholaiden määrään vähentävällä tavalla (Dredge ym., 2004, s. 255). Tähän liittyy luomuviljelyssä käytettävä viljelykiertomenetelmä, jonka tarkoitus on muuttaa kasvustoa säännöllisesti perustuen viljely maaperän laadullisiin ominaisuuksiin sekä rikkakasvien ilmenemiseen tiettyjen kasvilajien kanssa. Viljelykierto perustuu viljeltävien kasvien kilpailukykyisyyteen ja lehtevyydestä syntyvään peittävyteen. Peittävyydellä tarkoitetaan rikkakasvien varjostamista rajoittaen valon ja lämmön saantia. Viljelykierron tulisi sisältää myös kesän aikana kahdesti niitettävää nurmikasvustoa sekä kylvöajaltaan erilaisia kasvilajikkeita. (Dredge ym., 2004, s. 258)

Rikkakasvien hallitsemiseksi tarvitaan siis tuntemusta rikkakasvilajeista ja niiden vaikutuksista kasvustoon sekä myös oikeanlaisista hallintamenetelmistä. Rikkakasvien hallinnassa ei ole kyse niiden hävittämisestä kokonaan, vaan tasapainoisen kasvuston saavuttamisesta.

Luomuviljelyssä rikkakasvien haittavaikutukset korostuvat ja erityisesti viljelymenetelmällä ja

pellon säännöllisellä hoidolla on vaikutusta kasvuun ja sadon laatuun sekä määrään. (Dredge ym., 2004, ss. 255–256)

Luomuviljelyssä viljelykasvien elinvoimaisuus ja laatu ovat siis yhteydessä maaperän kuntoon. Kasvien kasvualustasta voidaan pitää huolta muun muassa ojituksella ja pinnanmuotoilulla sekä kalkituksella. Merkitsevää on siis, että pellon maaperän rakenteeseen liittyvät hoitomenetelmät ovat hallussa. Luomuviljelyyn liittyy myös muita useita hoitomenetelmiä. (Dredge ym., 2004, s. 258)

Luomuviljelyssä nopeasta kasvurytmistä ja biomassan kasvusta sekä kasvuston peittävydestä tai lehtevyydestä on hyötyä kilpailukykyisyydessä rikkakasveja vastaan. Lisäksi kasvuston kasvurytmiä ja elinvoimaisuutta pystytään seuraamaan erilaisilla teknologioilla, joita tässä opinnäytetyössä käsitellään. Kyseessä olevien teknologisten mittaus- ja analyysimenetelmien avulla mahdollistetaan kasvuston kunnon tarkkailu ja seuranta. Niiden avulla pystytään tunnistamaan kasvuston laatuun vaikuttavia stressitekijöitä ja ennalta ehkäisemään niiden vallitsevuutta. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus) (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

Myöhemmissä luvuissa käsiteltävät teknologiat mahdollistavat kasvuston laadun seurannan. Tämä tarkoittaa sitä, että teknologiat helpottavat kasvuston tarkkailua viljelykauden aikana, kun esimerkiksi pellosta on saatavilla konkreettista dataa, josta voidaan nähdä kasvuston kuntoa ja sitä kautta tunnistaa kasvuston laatua heikentäviä tekijöitä. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

5 Teknologiset menetelmät ja ratkaisut viljelyn seurannassa

Sadon tarkkailua tapahtuu ympäri kasvukauden ja sen laatu on hyvin paljon riippuvainen niin tietotaidollisesta osaamisesta kuin myös kasvuympäristöstä sekä sääolosuhteista. Peltokasvien viljelyssä olennaista on kasvuston kokonaiskuvan määrittäminen ja ymmärrys kasvukauden aikana. Erityisesti silloin kun kyseessä on luomuviljely, kasvuolosuhteilta vaaditaan

työmenetelmiin nähden enemmän viljelymenetelmän erotessa tavanomaisesta.

(Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

Luomuviljelyssä käytettävät lannoitteet eroavat tavanomaisessa viljelyssä käytettävistä lannoitteista ympäristöystävällisyydeltään. Luomuviljelyssä haastetta luo tavanomaisessa viljelyssä käytettäviin kemiallisiin lannoitteisiin verrattuna luomulannoitteiden orgaanisuus. Luomulannoitteet hajoavat maaperään eri tavalla, joten vaikutus ravinnetehokkuutena ei ole välttämättä niin täsmällinen kemiallisiin lannoitteisiin verrattuna, vaan lannoitteiden käytön tehokkuus on riippuvainen niiden hajoavuudesta ja sitoutuvuudesta maaperään. (Yara, n.d.-a)

Kasvuston ravinnepitoisuuden tarkkailuun ja määrittämiseen on tarjolla erilaisia teknologioita. Osa teknologioista, esimerkiksi typpipitoisuuden arviointiin käytettävät lehtivihreämittarit, toimii manuaalisesti eli käsikäyttöisesti, mutta monella tuotevalmistajalla valikoimasta löytyy myös kehittyneempiä automatisoidumpia teknologia kokonaisuuksia, joiden avulla voi esimerkiksi työskennellä reaaliajassa eli mittausteknologia toimii tällöin osana viljelyn työvaihetta. Mittaus- ja analyysimenetelmiksi suunnitellut laitteet perustuvat yleisesti auringonsäteilyyn tai NIR-tekniikkaan (eng. Near Infrared Reflectance) perustuvan infrapunan havaitsemiseen (Pesonen ym., 2010). Tämä luku käsittelee kasvuston biomassan seurantaan tarkoitettuja teknologisia laitteita.

5.1 LI-COR LAI 2200C

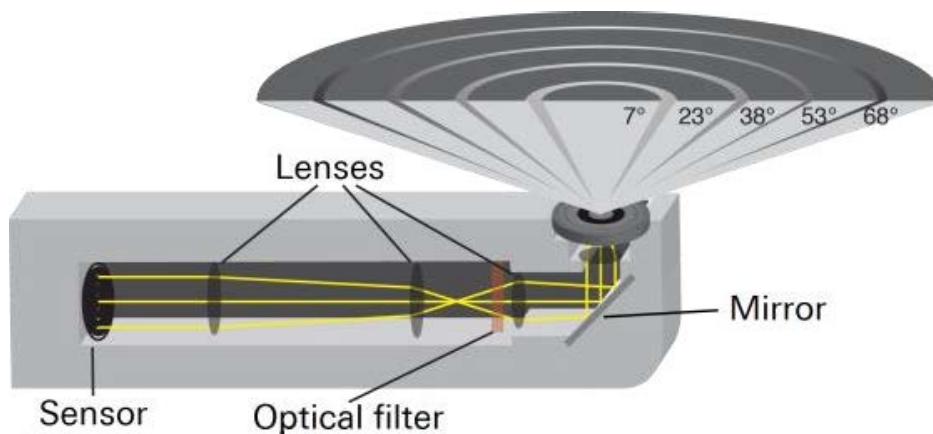
LI-COR LAI-2200C -mittauslaite on kasvuston laadun seurantaan kehitetty lehtialaindeksiä eli lehtevyyttä sekä elinvoimaa mittaava laite (Kuva 1). Laitteen toiminta perustuu mitattavan kasvuston lehtevyyden kuvantamiseen suhteutettuna lehtien rakoilevuuteen eli siihen, kuinka paljon lehtevyydestä on erotettavissa muuta taustaa, kuten taivasta. (LI-COR, n.d.-a)

Kuva 1. LI-COR LAI 2200C-mittauslaite (LI-COR, n.d.-c).



LAI-2200C -mittauslaite ei vaadi erilaisia kulmia auringonvalonsäteilyyn nähden ja sen teknologiassa on otettu huomioon auringonvalosäteilyn läpäisevyys lehdistä mittausta suorittaessa. Laitteessa on ominaisuutena sininen suodatin, joten valonläpäisevyys lehdistä ei häiritse mittatuloksia. Laite ei vaadi siis vakaata valoisuustasoa varjostuvuuden kannalta. Lisäksi mittauslaite mahdollistaa myös riviin viljellyn kasvuston lehtialaindeksin mittaamisen. Mittaukset suoritetaan asettamalla mittauslaitteen sensori lehtipeitteen ala- tai yläpuolelle, mutta tehokkain tapa selvittää lehtialaindeksiä on hyödyntää lehtipeitteen alapuolella olevaa mittauskulmaa (Kuva 2). (LI-COR Biosciences, Environmental, 2015b)

Kuva 2. Mittauslaitteen tekninen rakenne (LI-COR, n.d.-c).

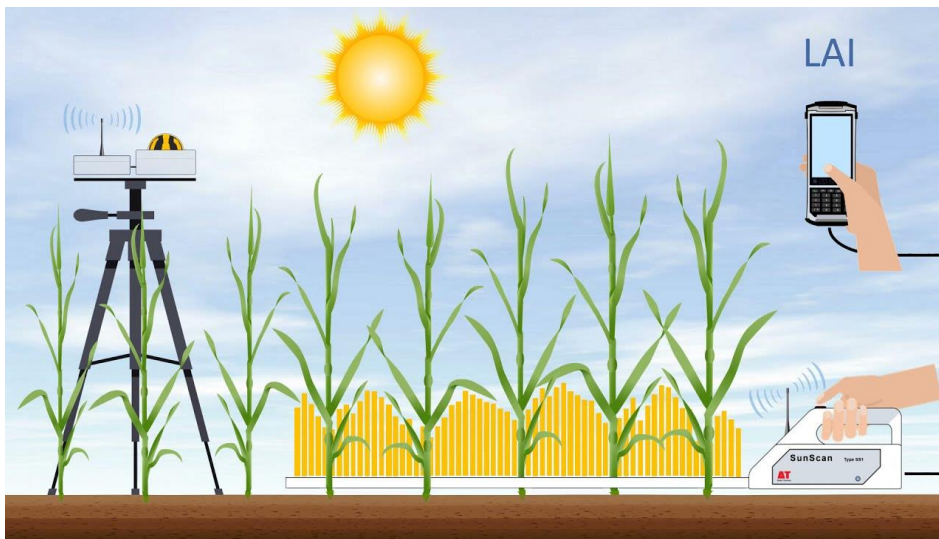


5.2 SS1 SunScan Canopy Analysis system

SunScan on ympäristötieteen mittaustekniikkaa kehittävän ja tuottavan Delta-T Devices -yrityksen kehittämä mittaussysteemi (Delta-T Devices, n.d. -a). Sunscan-järjestelmän avulla voi selvittää kasvuston lehtialaindeksiä (eng. LAI, Leaf Area Index) eli lehtevyyttä ja biomassaa. Laitteen toiminta perustuu fotosynteesin aktiiviseen säteilyyn (eng. PAR, Photosynthetically Active Radiation) havaitsemiseen anturitekniikan avulla. Laite mittaa siis kasvuston lehtialaindeksiä ja sen avulla saadaan myös selville tietoa kasvuston kasvusta, biomassasta ja elinvoimaisuudesta. (Delta-T Devices, 2021)

SunScan-mittauslaitteessa on metrin pituinen mittaussanturivarsi, jossa on 64 anturia upotettuina (Kuva 3). Mittauksia suorittaessa jokainen anturi skannautuu ja tulokset siirtyvät laitekokonaisuuteen kuuluvaan kädessä pidettävään päätelaitteeseen, josta mittauksen suorittaja pystyy tarkastelemaan tuloksia analysoituna. SunScan-mittaukset suoritetaan yleensä kasvuston alaosasta mittaamalla. (Delta-T Devices, 2021)

Kuva 3. SunScan-mittauslaite ja mittaustilanne (Delta-T, n.d.-c).



Laitetta tukee SunData-ohjelma, joka mahdollistaa tietojen tallentamisen laitteen sisäiseen muistiin. Tietojen siirtäminen tietokoneelle onnistuu myös micro SD-kortilla. Mittausvarressa olevat anturit muodostavat PAR-keskiarvon, mutta myös yksittäisten anturien mittaustuloksia pystyy käsittelemään. (Delta-T Devices, n.d. -b)

Vakiotason versio tuotteesta eli SS1-STD3 Standard System sisältää SunScan-mittauslaitteen, käyttöliittymän ja SunData-ohjelman. Kyseisellä perustason kokonaisuudella mittaukset onnistuvat monipuolisesti, mutta laitteen käyttö vaatii tällöin vakaan sääolosuhteen valoituksen kannalta. SS1-COM Complete System on varustelultaan PF5-auringsäteilyanturin sisältävä paketti. PF5-auringsäteilyanturi mittaa kasvustoa ylhäältä päin. Se havaitsee ja erottelee suoran auringonsäteilyn sekä hajautetun epäsuoran auringonsäteilyn sen rakenteellisesta suunnittelusta johtuen ja näin ollen toimii ikään kuin tukilaitteena SunScan-mittauslaitteelle. (Delta-T Devices, 2021)

PF5-aurionvaloanturiyksikön ja SunScan-mittauslaitteen välille on mahdollista muodostaa langaton yhteys, jolloin työskenteleminen onnistuu ilman laitteita yhdistävää kaapelia. Langattoman yhteyden käyttäminen soveltuu etenkin silloin käytettäväksi, kun mittausalue on kasvustoltaan korkeakasvuista tai kyseessä on esimerkiksi laajempi mittausalue. Yhteyden kantavuus on 100–200 metriä. SS1-COM-R4 Complete System with Radio Link -tuotekokonaisuuden valitseminen on kokonaisuus, jossa on mukana langattoman yhteyden laitteiden välille muodostavat signaaliantennit (Kuva 4). (Delta-T Devices, n.d. -b)

Kuva 4. SunScan SS1-COM-R4-mittausjärjestelmä (Delta-T, n.d. -c).



6 Kamerateknologia osana kasvuston laadun tarkkailua

Kamerateknologian käyttö osana kasvinjalostuksen kehittämistä nähdään mahdollisuutena, sillä kyseinen teknologia on kehityksenkohteena potentiaalinen ja mahdollistaa kasvuston kunnon määrittämisen, jos käytössä on kehittyneempää kamerateknologiaa. Tässä luvussa käsiteltävänä on drone ja siihen valitut liitettävät MicaSense-teknologiat.

Drone käsitteenä on moninainen, joten tarkentaen tässä tarkoitetaan yleisintä roottoreilla varustettua drone-mallia. Lisäksi luku perehtyy myös kahteen sovellukseen, jotka perustuvat puhelimen kameran käyttöön osana kasvuston tarkkailua. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, 2022. -a) Perustasoisella dronen ja kameran kokonaisuudella saa tuloksia kasvuston laatuun liittyen, mutta tämä riippuu ympäristöolosuhteista eli kasvuston kuntoon liittyvät ominaisuudet tulisi näkyä erottuvina kohteina ympäristöstään, jotta laadullisista ominaisuuksista pystyisi samaan analysoitavia tuloksia. Kehittyneemmällä teknologialla tarkoitetaan tässä tapauksessa sellaista teknologiaa, mikä tarjoaa käyttäjälleen uuden tason tarkastella kasvustoa. (Purmonen & Saarinen, 2018, s. 30)

Kehittyneempi kamerateknologia sisältää rakenteeltaan ja toiminnallisuudeltaan ominaisuuksia, joiden avulla pystytään kuvia analysoimalla näkemään kasvuston stressitasoa. Myös kasvitaudit ja tuholaiset ovat tunnistettavissa, kun käytössä on tekniikaltaan korkealuokkaisempaa teknologiaa. (Purmonen & Saarinen, 2018, s. 30)

Spektrikuvaus on kehittyneempi kuvaamismenetelmä, jonka avulla voidaan erottaa värejä paremmin tavanomaiseen kameran laatuun verrattuna perustuen aallonpituuksien määrittämiseen. Esimerkiksi dronessa on usein käytössä multispektrikamera.

Multispektrikamerasta seuraava kehitystaso on hyperspektrikamera, jota käytetään lähinnä tutkimuskäyttöön niiden hintaluokan ollessa korkea. Spektrikuvausta voidaan käyttää myös sadon laadullisten ominaisuuksien määrittämiseen kasvinjalostuksessa. Spektrikuvantaminen on kasvinjalostukseen soveltuva menetelmä, jota voidaan hyödyntää useissa eri prosessin vaiheissa, niin kasvuston testausvaiheessa, kuin sadon käsittelyn tutkimusvaiheessa. (Purmonen & Saarinen, 2018, ss. 30–31)

Dronen käytön yleistyessä sen lennättämiseen on luotu turvallisuuteen liittyviä säädöksiä ja käytön vastuu kuuluu sitä ohjaavalle henkilölle (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, 2022. -b). Dronen lennättämiseen vaaditaan hyväksyty verkoteoriakokeen suorittaminen, kun drone ylittää asetetun painorajan. Dronen rekisteröimiseen ja verkoteoriakokeeseen on määritetyt maksut (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, 2022. -c)

6.1 Drone - RGB-kamera

Drone on yleisemmin käytetty ilmaisumuoto ilmassa lennätettävästä miehittämättömästä ilma-aluksesta (eng. UAV, Unmanned Aerial Vehicle) eli teknologisesta lennokista, joka on ollut ajankohtainen innovatiivinen teknologian kehityskohde jo useampien vuosien aikana.

Nimestään huolimatta droneja on kehitetty myös vedenalaiseen ympäristöön soveltuvaksi. (Herrick, 2017). Kehitettävyydestään johtuen kyseisellä teknologialla on lukuisia käyttökohteita ja sen käyttö on nähtävästi lisääntynyt kehityksen myötä (Super Reviews, 2021).

Dronen toiminta perustuu ohjausjärjestelmään, joka kommunikoi anturien ja muiden järjestelmien kanssa. Lähtökohtaisesti drone on ohjattavissa kauko-ohjaimen avulla manuaalisesti. Automatisoidusti toimivan dronen lennättäminen perustuu järjestelmän

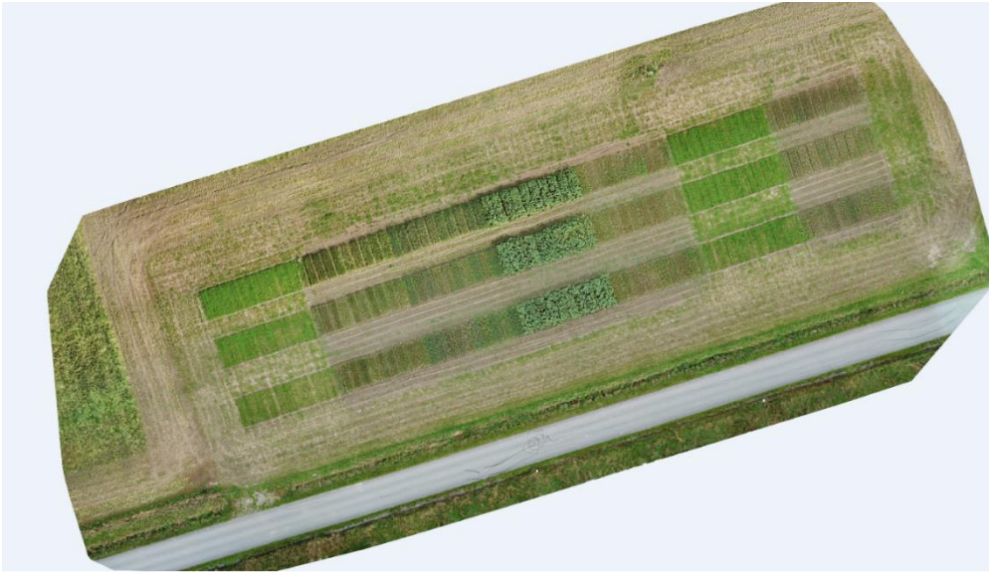
ohjelmointiin, jolloin drone lentää itsenäisesti ja sen voi pysäyttää ainoastaan keskeytyskomennon avulla. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, 2022)

Dronen eli kauko-ohjattavan lennokin käyttämistä on sovellettu myös maatalouteen. Sen käyttö osana maanviljelyä luo mahdollisuuden esimerkiksi kartoittaa peltoaluetta ja arvioida kasvuston laatua. Sillä voidaan myös mallintaa pellon pinta-aloja ja kasvuston korkeuseroja. Drone mahdollistaa maanviljelyssä tapahtuvan kasvun ja kasvuolosuhteiden seuraamisen yläilmoista sekä uuden näkökulman siihen yhdistetyn kamerateknologian avulla. (Teinilä & Vahtila, 2021) Olennaista on kasvuston laadun kokonaiskuvan selvittäminen sekä viljelyalueen kartoittaminen, mutta esimerkiksi myös työkoneiden käytön vaikutus peltoon on nähtävissä kuvien tarkastelussa (Digimaatalous.fi, 2021).

Dronen kuvausteknologia on lähtökohtaisesti tavanomaisella RGB-kameralla varustettu. Erilaisilla tietokoneohjelmilla värikuvaa voidaan kuitenkin käsitellä eri käsittelymuotoon, kuten indeksikuvaksi. (Teinilä & Vahtila, 2021) Olennaisin hyötyarvo dronen käytössä on kuvien kautta saatava informaatio pellon kasvustosta ja sitä kautta on havaittavissa myös muita laatutekijöitä, kuten esimerkiksi maaperän laatua. Kuvantamisen avulla löydetään siis suuntaa antavia havaintoja laadullisiin haasteisiin, kuten typensaantiin tai muihin maaperän ominaisuuksiin pellossa. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

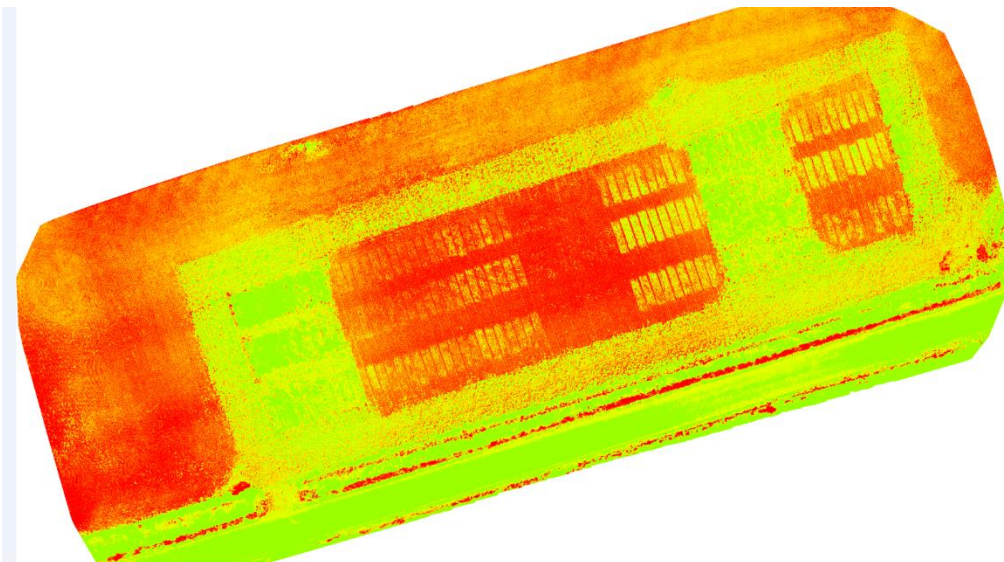
Maaperän typpipitoisuus on merkitsevä laadullinen ominaisuus viljelyssä. Tavanomaisen droneteknologian kuvien avulla ei saada siis tarkkoja arvoja kasvuston laadusta, mutta se edes auttaa viljelijää kasvuston laadun seurannassa mahdollistaen mallinnetun kuvan viljelyalueesta, josta pystyy luomaan kasvuston kuntoon liittyvän analyysin (Kuva 5). (Boreal Kasvijalostus Oy, 2021)

Kuva 5. Orthomosaiikkikuva viljelyalueen koeruuduista (Boreal Kasvinjalostus Oy, 2021).



Kuvaustilanteen sääolosuhteet ja kuvattavan alueen ympäristö vaikuttavat dronen kuvanlaadun lopputulokseen ja sitä käsitellessä tämä on huomattavissa RGB-kuvamuodossa esimerkiksi pellon laadun tarkkailussa (Kuva 6). Vihreä väri nähdään viljelyn kannalta positiivisena asiana ja punainen väri on viljelyn kannalta heikompaa kasvustoa.

Kuva 6. RGBA-kuva viljelyalueen koeruuduista (Boreal Kasvinjalostus Oy, 2021).



Kuvia käsitellessä täytyy huomioida kuitenkin kuvattun alueen mahdolliset varjostavat tekijät tai muut dronen kameran laatuun vaikuttavat häiritsevät tekijät, kuten esimerkiksi pilvisuus. Arvioidessa peltoalueen kasvuston laatua ilmakuvan kautta tarvitaan arviointikykyä ja tuntemusta

kuvatusta alueesta. Tietyn alueen, kuten pellon kartoittamiseen dronessa on hyötyä. (Muwex, 2020) Myös ohjelmalla käsitellyt kuvat vaativat ymmärrystä (Boreal Kasvinjalostus Oy, 2021).

Jos pellostä halutaan tunnistaa tiettyjä tekijöitä, kuten esimerkiksi rikkakasveja, se on mahdollista, mutta siihen vaaditaan työmäärällisesti aikaa ja useampia kuvauskertoja. Tämä johtuu siitä, ettei RGB-kameran kuvanlaatu ole riittävä korkealta kuvattaessa, joten tiettyjen kohteiden tunnistamiseksi kuvat täytyy ottaa lähempää. Kuvattavan alueen koko vaikuttaa siis myös koko prosessin työllistävään vaikutukseen. (Manninen, 2020) Dronen kuvia on mahdollista verrata korjuun yhteydessä mahdollisesti työkoneen lisätekniiikan avulla luotuihin satokartoituksiin. (Palva & Teinilä, 2021)

Olennaista on, että jo perustasoisella drone-kuvaamisella voidaan tukea kasvuston laadun seurantaa ja kuvientarkastelun avulla tehdä havaintoja peltoalueesta kokonaisuudessaan. Dronen käyttö ei kuitenkaan pois sulje pellolla tehtävien havaintojen tarpeellisuutta. Johtuen siitä, että varsinaiset ongelmat ja stressitekijät sekä syiden määrittäminen on suoritettava pellolla kasvustoa tarkkaillen. (Palva & Teinilä, 2021)

Dronen käyttö osana pellon kasvukunnon seurantaa kuitenkin edesauttaa kasvukaudella tapahtuvaa kasvuston laadun määrittämistä ja siitä saatavaa dataa voidaan käyttää vertailuarvona esimerkiksi edellisvuoden kasvustoon nähden. Sitä kautta löytää vastauksia peltoalueen kasvupotentiaaliin. Ajallisesti dronen käyttäminen kuitenkin vaatii analysointia ja tietoteknistä osaamista. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

6.2 Drone - MicaSense RedEdge-MX

MicaSense on anturiteknologiaa kehittävä yritys. Sen valikoimasta löytyy drone-anturiteknologiaa, jota voidaan käyttää muun muassa maa- ja metsätaloudessa kuin myös monessa muussa kohteessa. Yrityksen kehittämien antureiden avulla voidaan maanviljelyssä tutkia esimerkiksi kasvuston stressitasoa tai tunnistaa kasvitauoja. (MicaSense, 2021.-a) Kasvuston stressitasolla tarkoitetaan kasvin laadullista kasvua suhteutettuna kasvuolosuhteisiin ja muun ympäristön vaikutuksen kanssa (Oivukkamäki, 2018, s. 5).

Dronen käyttäminen maanviljelyssä kasvukauden seurannassa on nykypäivänä yleistynyt. Drone tarjoaa mahdollisuuden tarkastella viljelyaluetta ylailmoista siihen liitetyn kameran avulla,

mutta ongelmaksi usein osoittautuu kuvanlaatu, kun kuvista halutaan saada enemmän havaintoarvoja. Tämä ilmenee ongelmana esimerkiksi silloin, kun dronekuvauksen tavoitteena on tunnistaa kuva datasta jokin tietty kohde. Tähän vaikuttaa myös käytettävän laitteen hinta ja sen resoluutio ominaisuus. Kyseisessä MicaSense-sensorisarjassa dronekuvauksen laatu on kehittynyttä ja korkealuokkaista, koska kyseessä on lisäosana toimiva tunnistin kamera, joka asennetaan osaksi dronea. (MicaSense, n.d.-e) Droneissa on usein kamerateline, mikä perustuu vakauttamiseen. Vakautuksen mahdollistavaa rakennetta kutsutaan gimbaaliksi. (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, 2022)

Resoluutio on kuvan tarkkuuden laatua mittaava ja määrittelevä käsite. Kuvan laatu riippuu siis resoluutiosta ja se vaikuttaa kuvan selkeyteen ja tarkkuuteen. Käsitettä käytetään eri tekniikan aloilla, josta johtuen resoluutiolla voidaan tarkoittaa muuta eri asiayhteydessään.

Tietokonekuvissa resoluutiolla kuitenkin tarkoitetaan juuri kuvan tarkkuutta pikseleinä eli pisteinä mitattuna. Kun kuvia tarkastellaan tietokoneella, tarkkuutta voidaan siis määrittää pikseliä tuumaa kohden (eng. PPI, Pixels Per Inch). Kuvan tarkkuus eroaa näytön tarkkuudesta, mikä on hyvä muistaa. Terävälaatuisen kuvan saavuttamiseksi PPI-arvon tulisi olla korkea. (Technopedia, n.d)

MicaSense RedEdge-MX on yksi yrityksen kehittämistä anturiteknoologioista, jonka avulla voidaan tehostaa dronen kameran laatua ja saada enemmän irti kuvankäsittelystä sekä datan analysoinnista (Kuva 7). Luomuviljelyn kannalta kyseistä MicaSense RedEdge-MX -kameran lisäosana toimivaa anturiteknoologiaa voidaan käyttää kasvituholaisten, kasvitautien ja rikkakasvien yleistyvyyden kuvaamiseen, arviointiin ja tarkastelemiseen viljelyalueella. Lisäosalla voidaan mallintaa kasvuston laatua erilaisissa kuvamuodoissa. Myös kasvuston ravinteiden ottoa pystytään tarkastelemaan kuvankäsittelyllä, mutta kuvankäsittely ja dronella otetusta kuvadatasta tehtävät päätelmät tarvitsevat tuntemusta kuvattavasta kohteesta. (MicaSense, 2021.-a)

MicaSense RedEdge-MX on siis korkealuokkaista anturiteknoologiaa, minkä avulla voidaan parantaa dronekuvausta juuri peltoaluetta kuvatessa korkeammalta. MicaSense ja sen tarjoama droneen liittyvä tuotekokoelma on kehittyvää ja innovatiivista. Sen tarjoamat teknologiat perustuvat laadukkaasti kuvanlaadun tavoittelemiseen kuvauskohteeseen soveltuen sekä monipuolisen kuvankäsittelyn mahdollistamiseen. (MicaSense, 2021.-a) MicaSense RedEdge-MX -anturissa ei ole lämpökameratoimintoa, toisin kuin esimerkiksi yrityksen markkinoimassa

toisessa lisäosassa MicaSense Altum -anturissa. (MicaSense, 2021.-b). MicaSense Altum -sensorista kerrotaan seuraavassa luvussa.

Kuva 7. MicaSense RedEdge-MX -sensori (MicaSense, n.d.-c).



6.3 Drone - MicaSense Altum-PT

MicaSense Altum -sensori on MicaSense-tuotekokoelmasta kehittynein malli. Kyseinen dronen lisäosa sisältää radiometrisen lämpökameran, jossa on viisi korkean resoluution kapeaa kaistaa, jotka mahdollistavat kehittyneitä lämpö-, monispektrisiä ja korkearesoluutioisia kuvia (Kuva 8). Altumista on kehitteillä uusi malli, jonka arvioitu julkaisuajankohta on 2022 vuoden maaliskuussa. Kamerakokonaisuudessa on myös synkronoitu tiedonsiirto ja uudessa Altum-PT-mallissa on CFexpress-muistikorttipaikka. MicaSense Altum -sensorin edeltävän tuotepaketin hinta oli noin 10 000–11 000 euroa (MicaSense, n.d.-d). MicaSense Altum-PT -mallin hinta-arvio on noin 16 000 euroa (MicaSense, n.d.-g).

MicaSense Altum -sensorin avulla on mahdollista kasvien luokittelu ja laskeminen sen korkean resoluution ansiosta. Sensoritunnistimen viisi korkean resoluution objektiivia mahdollistaa kasvien yksityiskohtaisia laadun tarkkailun kuvia, joista pystyy arvioimaan kasvuston kuntoa sekä luomaan digitaalisia pintamalleja. (MicaSense, n.d.-e) Sensorin käyttö dronen varusteena

mahdollistaa muun muassa veden saannin, stressitason määrittämisen kasvustosta, fenotyypin määrittämisen, lannoitteiden hallinnan, kasvitautien tunnistamisen ja vyöhykkeiden kartoituksen sekä myös alueen kartoittamisen korkealta. (MicaSense, n.d.-f)

Kuva 8. MicaSense Altum -sensori (MicaSense, n.d.-c).



MicaSense on kehittänyt myös samaan tuotesarjaan kuuluvan kaksoiskamerajärjestelmän, jossa on kaksi kameraa eli kymmenen tunnistinominaisuutta (Kuva 9). Tuotteen tekniset tiedot eroavat toisista yrityksen valmistamista tuotteista jonkin verran resoluutiotarkkuudessa sekä muissa teknisissä ominaisuuksissa saattaa olla eroavuuksia MicaSense -sensorituotepakettien välillä. Olennaista on myös, että sensorien spektriaaltojen eli kuvantuottamisominaisuuksissa on eroavuutta. Esimerkiksi kaksoiskamerajärjestelmä on monipuolisempi kuvausominaisuuksiltaan Altum-versioon verrattuna, kun taas Altum on sensori tarjonnasta ainut, missä on lämpökameraominaisuus ja USB-tiedonsiirto. Muussa kahdessa on muistikorttiominaisuus. (MicaSense, n.d.-b)

Kuva 9. MicaSense-kaksoiskamerajärjestelmä (MicaSense, n.d.-c).



6.4 Easy Leaf Area Free -sovellus

Lehtialan kuvantamisella voidaan saada selville kasvin stressitasoa. Kasvin stressitasolla tarkoitetaan sen ympäristön tai kasvutekijöiden häiritsevää vaikutusta kasvuun (Oivukkamäki, 2018, s. 5). Näitä kasvin kasvuun vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kylmyys, kuivuus ja kuumuus. Niitä kutsutaan myös abioottisiksi stressitekijöiksi, kun taas bioottisia stressitekijöitä ovat muun muassa kasvilajien välinen kilpailu ja ympärillä olevat muut eliöt sekä eläimet. (Oivukkamäki, 2018, s. 5)

Kasvuston kasvuun vaikuttavia elollisia ja elottomia tekijöitä on lukuisia. Myös maaperän laadulla, kuten sen ravinnepitoisuudella, on vaikutusta. Kasvuston laatua voidaan seurata kuvaus-, tunnistus-, tai mittausteknologiaa hyödyntäen. Myös kamerateknologian avulla voidaan mitata esimerkiksi kasvin lehtevyyttä tai selvittää myös lehtivihreän eli klorofyllin määrää. Klorofyllin määrä kasvissa kertoo kasvin kasvun laadusta (Yara, n.d.-b). Kun lehtivihreän määrä on heikompi, on kasvin kasvussa huomattavissa jonkin stressitekijän vaikutusta ja kasvun heikkenemistä (Yara, n.d.-b). Kamerateknologia ei kuitenkaan periaatteessa perustu tutkimuslaitteen kaltaisesti mittausarvojen yksityiskohtaiseen tuottamiseen.

Puhelimen kameraa voidaan hyödyntää lehtialan mittaamiseen. Sovelluskaupasta on löydettävissä kasvin ominaisuuksien analysoimiseen ja tutkimiseen suunniteltuja sovelluksia. Easy Leaf Area Free -sovellus perustuu kasvin lehtialan mittaamiseen ja mallintamiseen. Sovellus toimii pääsääntöisesti nopeasti. Sen toimivuus perustuu lehden vihreyden ja sovelluksessa olevan punaisten asteikkojen väliseen suhteeseen. Sovellusta käyttäessä siinä oleva mitta-asteikko vaatii säätelyä oikean mittatuloksen saamiseksi. (Easy Leaf Area Free, 2015)

Olennaista on, että sovellus mittaa tuloksen heijastuksen avulla. Sovellus ei ole täysin virheetön ja mittatuloksen varmuuteen voi vaikuttaa kameran linssin kulma ja puhelimen vakaus. Puhelimen kameran tulisi myös toimia normaalisti, jotta sovelluksen käyttö onnistuu ihanteellisesti, koska se toimii mittauslaitteena kyseistä sovellusta käyttäessä. Huomattavaa on myös, että kuvattavan kohteen lehtien päällekkäisyys voi vaikuttaa tulokseen. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, pohdinta)

Sovellus on saatavilla Android-laitteisiin ja on ilmainen. Tämä sovellus toimii esimerkkinä siitä, että myös pienemmällä kustannuksella pystyy tekemään kasvin laadullista tutkimusta jollakin tasolla, mutta usein mittatuloksissa voi ilmetä virheellisyttä jossakin määrin, jolloin on hyvä tiedostaa käytettävän sovelluksen toimivuus ja virhemahdollisuudet mittaustuloksissa. Sovellusta voidaan hyödyntää siis kasvinviljelyn tukena, mutta lehtialan mittaaminen voi olla työlästä, koska se vaatii useamman otoksen varmemman tuloksen saavuttamiseksi. Sovellus soveltuu siis vain yksittäisen lehtialan mittaamiseen. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, pohdinta)

6.5 Canopeo-sovellus

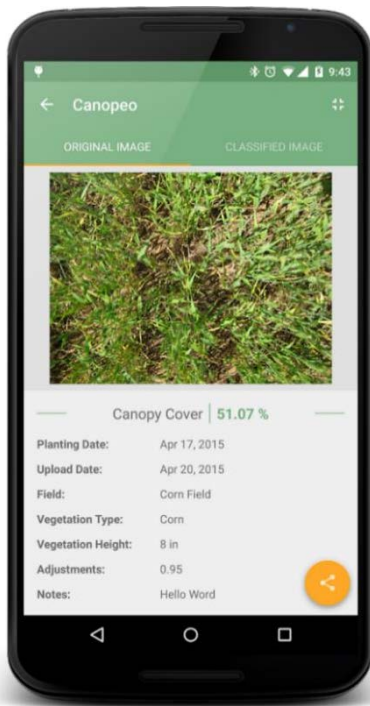
Canopeo-sovelluksen avulla voidaan määrittää kasvuston lehtevyyttä ja biomassaa puhelimen kameraa hyödyntäen. Mittatulos näkyy sovelluksessa laskennallisena prosentuaalisena tuloksena (Kuva 10). Mittaustuloksen saamiseksi puhelimen kamera kohdistetaan kasvuston lehtipeitteen yläpuolelle vaakatasossa. (Google Play, 2015)

Sovellus analysoi kuvan näyttäen sen normaalina värillisenä kuvana sekä vaihtoehtoisesti mustavalkoisena (Kuva 11). Sovellus kertoo vihreän biomassan prosenttimäärän.

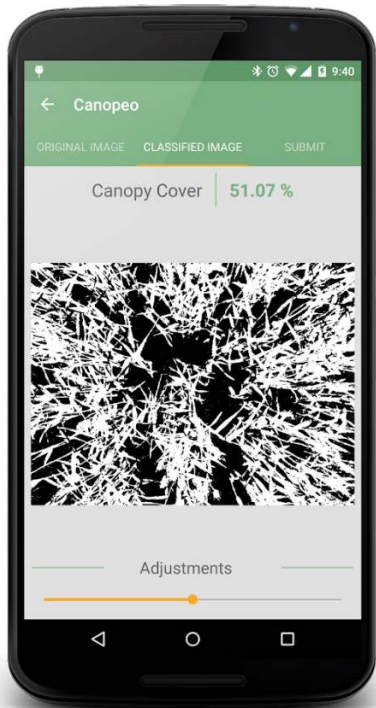
Mustavalkoisesta kuvasta kasvusto on helposti tarkasteltavissa ja musta väri kuvastaa kasveista

erottuvaa taustaa ja valkoinen taas kasvustoa. Tiedot voidaan määrittää ja esimerkiksi kuvauspaikan sijainti on mahdollista tallentaa sovellukseen, jolloin käyttäjä pystyy vertailemaan, kasvustosta otettuja lukemia biomassaltaan eri sijainneista otettuna (Google Play, 2015)

Kuva 10. Canopeo-sovelluksen ensimmäinen näkymä (Google Play, 2015).



Kuva 11. Canopeo-sovelluksen toinen näkymä (Google Play, 2015).



7 NIR-analyysimenetelmä ja sen käyttökohteet maanviljelyssä

Lähi-infrapunaan perustuvaa teknologiaa on käytössä moneen eri tarkoitukseen. NIR-analyysimenetelmä (eng. Near Infrared Reflectance) perustuu aaltoihin, joita lähetetään haluttuun kohteeseen. Takaisin heijastuvat säteet kertovat tutkittavan kohteen havaintoarvon. (Pesonen ym., 2010) NIR-menetelmää käyttämällä voidaan siis mitata erilaisia muuttujia ja ominaisuuksia tutkittavasta kohteesta. Maanviljelyssä NIR-analytiikkaa voidaan hyödyntää sadon laatu- ja rakenne ominaisuuksien sekä kasvumaanperän laadun selvittämiseen. (Jokela, 2017)

NIR-analyysimenetelmä antaa tietoa tärkeimpien ravintoaineiden, kuten typen, fosforin ja kaliumin arvoista. Sen avulla voidaan tutkia ravintoaineiden puutostiloja kasvustossa. Olennaisia tutkimuskohteita ovat laatuarvot, joita ovat muun muassa kosteus, proteiini, tärkkelys, rasva, sokeri, kuitu ja tuhka. NIR-menetelmä tukee siis maanviljelyn tutkimusta merkittäväällä tavalla antaen tarkkoja arvoja kasvuston elinvoimaisuudesta ja sadon laadusta. Yksi NIR-menetelmän käytetyin tapa on kuiva-aineen mittausta ihanteellisen sadonkorjuuajan määrittämiseksi, kuten palkokasvien ja muiden viljelykasvien jyvien laadunseuranta. (Trimble, 2019) NIR-analyysimenetelmä tukee kasvinjalostuksen tutkimuksessa laadukkaan sadon

tavoittelua ja toimii siis olennaisena tutkimusmenetelmänä, kun halutaan määrittää sadon ominaisuuksia, esimerkiksi juuri valkuais-, tärkkelys, kuori ja öljy sekä kosteus ominaisuuksia. (Perttu & Pura, 2013, ss. 14–15)

Laboratorioympäristöihin tai esimerkiksi tuotannon yritysten käyttöön kehitelty NIR-mittausanalyysilaitte on yleinen sadonlaatua määrittävä laite. FOSS NIRS DS2500 -mittauslaite on yksi markkinoilla tarjoilla olevista laitteista, mikä mahdollistaa sadon laadullisen tutkimuksen (Kuva 12). FOSS NIRS DS2500 -mittauslaitteen käytettävyys vaatii tietotaitoa. Esimerkiksi se tulisi käynnistää kaksi tuntia ennen laitteen kalibrointia ja näytteen mittauksia sen toimivuuden kannalta. (FOSS, n.d; FOSS Analytical Service, 2017)

Kuva 12. FOSS NIRS DS2500 -mittauslaite satonäytteen analysointiin (Berner, n.d.).



Tämän luvun alaluvuissa käsitellään NIR-analyysimenetelmään perustuvia teknologioita, joiden avulla voidaan määrittää sadon eri laatuominaisuuksia. Luvuissa käsiteltävät mittauslaitteet määrittävät edellä mainittuja arvoja ja tukevat kasvuston laadullisten ominaisuuksien tutkimusta. Olennaista teknologioissa on niiden käytettävyys. Osaa voidaan käyttää reaaliaikaisesti pellolla, mikä lisää laitteen potentiaalisuutta käyttökokemuksen kannalta. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

Suurien satonäytemäärien mittaamiseen kuitenkin ei ole vielä toistaiseksi kehitelty nopeaa tapaa mitata sadon ominaisuuksia, mutta laitteiden käytettävyydessä on eroavaisuuksia.

Esimerkiksi toisen laitteen kalibrointi saattaa olla hitaampaa, kun taas toisen kalibroiminen saattaa olla helppoa ja nopeaa. Yleisesti kuitenkin NIR-teknologiaan perustuvat laitteet mittaavat tuloksen suhteellisen nopeasti. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

NIR-teknologian käytössä olennaista on siis siihen perustuvan teknologian käytettävyys suhteutettuna käyttäjän tarpeeseen. Esimerkiksi tämän luvun alalukuna käsiteltävät mittaus- ja analyysimenetelmät ovat suurelta osin käytettävyydeltään kasvuston äärellä käytettäviä teknologioita. Markkinoilla on myynnissä niin käsikäyttöisiä mukana kuljetettavia teknologioita kuin myös laboratoriokäyttöön tarkoitettuja laitteita. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

7.1 GrainSense-mittauslaite

GrainSense on sadon laadun määrittämiseen kehitetty mittauslaite (Kuva 14). Sen toiminnallisuus perustuu kehittyneempään NIR-teknologiaan. Siinä on käytetty 360-asteen valonläpäisyratkaisua, joka vahvistaa mittauksia. Yleensä laboratoriotutkimuksissa käytetyt laitteistot rakentuvat perinteisistä hajaheijastus- tai diffuusiläpäisy-NIR-tekniikkaa tukevasta tekniikasta (Grainsense, n.d.-b).

GrainSense-mittalaitteen avulla saa selville kasvuston proteiini-, kosteus-, öljy- ja hiilihydraattipitoisuuden. Laite on käsikäyttöinen ja virtalähteenä toimivat paristot. Usein viljelijät lähettävät satonäytteen tutkittavaksi laboratorioon, mutta kyseisen mittarin avulla voidaan määrittää samoja laatuun liittyviä arvoja ja hyötyä esimerkiksi sadon suunnittelun tukena. (GrainSense, n.d.-a) Mittauslaitetta käyttämällä voi suunnitella puintijärjestyksen niin, että sen avulla voidaan priorisoida siemenlaadultaan parhaat viljelyalueet puitavaksi ensin. (Viljelijän Avena Brener, 2018.-a)

GrainSense kerää tietoa reaaliajassa ja saatu tieto on mahdollista siirtää GPS-sijaintitiedon kanssa pilvitallennuspalveluun. Sen käyttöä täydentää siihen kehitetty GrainSense-sovellus (Kuva 13). Mittauslaite mittaa siis satonäytettä eli siemenien koostumusta, jotka laitetaan laitteen sisälle. (GrainSense, n.d.-b)

Kuva 13. GrainSense-mittauslaitteen toimintakaavio (Partti, 2019).



Mittalaite antaa tuloksen nopeasti ja se on luettavissa näytöltä. Merkitsevää kyseisessä mittauslaitteessa on sen käsikäyttöisyys, jonka avulla NIR-mittaukset eivät sitoudu ainoastaan laboratorio-olosuhteissa suoritettaviksi. (GrainSense, n.d.-b) Tämä tarkoittaa sitä, että satonäytteen koostumusmittaus on mahdollista suorittaa esimerkiksi peltoympäristössä.

Laitteen käyttöönotossa luodaan käyttäjätili ja tulosten tarkasteluun on Android- ja iOS-käyttöjärjestelmissä toimiva GrainSense-sovellus, minkä voi yhdistää puhelimeen bluetoothin avulla. Mittatulos siis ilmestyy laitteen näytölle, mutta tulokset voidaan lähettää sovellukseen tietojen säilytystä varten. Sovelluksesta pystyy myös määrittämään paikkatiedon, jossa mittaus on suoritettu. Sovelluksessa tuloksen pystyy myös jakamaan tarvittaessa. (Viljelijän Avena Berner, 2018.-b)

Kuva 14. GrainSense sato näytteen mittaustaite (GrainSense Oy, n.d).



7.2 Spectral Engines - Nirone Scanner

Spectral Enginesin kehittämä Nirone Scanner on materiaalin tunnistukseen perustuva alusta, jota voidaan hyödyntää muun muassa maanviljelyn tukena (Kuva 15). Sen avulla voidaan selvittää sadon laatua ja lannoitetarvetta. Myös maaperän ja kasvin analysoiminen on mahdollista mittalaitteen avulla. Kyseiselle sensoriteknologialle on useita käyttökohteita ja se perustuu NIR-analyysimenetelmän toimintaan. (Spectral Engines, 2018)

Laite toimii yhdessä sovelluksen kanssa, jonka kautta tiedot voidaan siirtää pilvipalveluun. Nirone Scanner on siis sensori, mikä voidaan liittää kiinnikkeillä tiettyyn alustaan tai käyttää sellaisenaan. Laite on helppokäyttöinen ja mahdollistaa mittausanalyysien suorittamisen ulko-olosuhteissa. (Spectral Engines, 2018; Photon Mission, n.d.)

Kuva 15. Spectral Engines Nirone Scanner -mittauslaite (Photon Mission, n.d).



7.3 Yara N-Sensor -lehtivihreä mittauslaite

Yara N-Sensor on ravinteiden eli lannoituksen optimoituun annosteluun luotu sensori-teknologia, jonka avulla lannoittamisesta saadaan tehokkaampaa. Mittalaitteen käyttö lannoittamisen tukena ei ainoastaan vaikuta kasvuston laatuun. (Yara, n.d. -c) Sen käytöllä on positiivinen vaikutus myös taloudellisesti ja se toimii lisäksi ympäristön kannalta hyödyksi. Käytetyn lannoitteen määrä on ihanteellinen, kun lannoite annostellaan sensori-teknologiaa hyödyntäen. Tällöin lannoitteen kulutus on pienempää verrattuna lannoittamiseen ilman kyseistä teknologista säätelyä. Teknologia avusteista lannoitusta kutsutaan täsmälannoitukseksi. (Alasaari, 2018, ss. 2–6)

Yara N-Sensor -mittauslaitetta käytetään siis lannoituksen yhteydessä työkoneen katolle asennettuna. Se perustuu sensorteknologiaan, mikä havainnoi kasvuston biomassaa ja lehtivihreän eli klorofyllin esiintyvyyttä. (Yara, n.d. -b). Laite yhdistetään Windows-käyttöjärjestelmällä toimivaan tietokoneeseen, johon asennetaan Yara N-Sensor -ohjelmisto. Optimoitu lannoiteannostelu tapahtuu automaattisesti. (Yara, n.d, -d)

Laitteessa oleva sensori toimii kasvien heijastamaan valoon suhteutettuna. Yara N-Sensor soveltuu erityisesti typpilannoituksen säätelyyn. Sensorteknologia toimii reaaliajassa lannoituskoneen kanssa, sillä mittalaite havainnoi kasvien typpipitoisuutta lannoituksen aikana ja on kehitetty perusajonopeuteen soveltuvaksi. (Yara, n.d. -c).

Mittalaitteesta on kaksi järjestelmäversiota Yara N-Sensor ja Yara N-Sensor ALS (eng. Active Light Source). Molemmissa järjestelmissä on samanlainen toimintaperiaate, mutta Yara N-Sensor ALS -versio on varustettu valo ominaisuudella, jolloin valo-olosuhteiden muutos ei haittaa mittalaitteen toimivuutta samalla tavalla, kuin ilman valaisuominaisuutta. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että Yara N-Sensor ALS -versiota voidaan käyttää vuorokaudenajasta riippumatta. Tuoteryhmään on kehitetty myös uusi versio Yara N-Sensor ALS2, jossa on pientä kehitystä aiempaan, esimerkiksi pienempi koko ja irrotettavat anturipäät, pienempi energiankulutus ja sensorin toimintaa tukeva kastekorjausmalli. (Yara, n.d. -c)

Pääasiallisesti Yara N-Sensor ALS on siis ominaisuudeltaan hieman kehittyneempi ja mahdollistaa joustavamman työskentelyn, mikä on merkittävä asia, kun kyseessä on maanviljely ja vaihtelevat sääolosuhteet. Yara N-Sensor ALS on potentiaalisempi käyttäjälle, kun lannoitusta pystyy tekemään mittalaitetta käyttäen myös päivän valoisuuden vähentyessä. (Opinnäytetyön tekijä: Viitamäki, työkokemus)

7.4 Yara N-Tester lehtivihreä -mittauslaite

Typpi on olennainen kasvuston elinvoimaisuuteen vaikuttava ravinne. Se toimii merkittävänä rakennusaineena osana kasvunvaiheita. Kasvuston typpipitoisuutta voidaan arvioida kasveissa olevaa lehtivihreää eli klorofylliä määrittävän lehtivihreämittarin eli SPAD-mittariksi (eng. Soil Plant Analysis Development) kutsutun mittauslaitteen avulla. (Ata-UI-Karim ym., frontiers, 2016) Lehtivihreä on väriaine, jota esiintyy kasvin rakenteessa lehdissä ja varressa. Vielä yksityiskohtaisemmin sitä ilmenee kloroplasteiksi eli viherhiukkasiksi kutsutuissa kasvin soluelimissä. (Simola, 2020, s. 15)

Lehtivihreämittari on siis mittauslaite, mikä hyödyntää valonläpäisyä suhteutettuna kasvin lehteen mitaten lehtivihreän esiintyvyyttä (Simola, 2020, s. 6). Markkinoilla olevat lehtivihreämittarit ovat lähtökohtaisesti hyvin samankaltaisia ulkoasultaan ja mittausmenetelmiltään (Kuva 16). Joitakin eroavuuksia on havaittavissa laitteiden käytön ominaisuuksissa, esimerkiksi kuinka laite näyttää mittaus arvot. (Simola, 2020, s. 22)

Yara N-Tester -lehtivihreämittaria käytetään manuaalisesti mittaamalla 30 otosta kasvuston tai toisin sanoen peltolohkon laadukkaimmasta kohdasta ja laite antaa mittaotoksista keskiarvon.

Laitteen ilmoittamat tulokset pitää kirjoittaa itse muistiin, koska laite ei ole automaattisesti toimiva. (Simola, 2020, s. 6)

Kuva 16. Yara-N-Tester -lehtivihreämittari (Viitamäki, 2020).



Lehtivihreämittarin mittauspää asetetaan kasvin lehdelle, minkä tulisi olla laadultaan normaali eli mittaus otos tulisi ottaa mahdollisimman hyvälaatuiselta lehdeltä. (Lantmännen Agro, n.d.-b) Mittaus olisi suotavaa ottaa kasvin lehden keskeltä ja ylimmästä kokonaan kehittyneestä lehdestä (Simola, 2020, s. 27). Mittausotosta ei ole kannattavaa ottaa myöskään lehdiltä, joissa on havaittavissa kasvitautia tai rikin puutosta, sillä ne saattavat heikentää tuloksien luotettavuutta (Simola, 2020, s. 22). Lehtivihreämittarin avulla saadaan suuntaa antava arvo, jonka kautta voidaan arvioida kasvuston typpipitoisuutta (Lantmännen Agro, n.d.-b).

Lehtivihreämittaria käytetään siis typpilannoituksen tarpeen määrittämiseksi. Lannoitustarpeen määrittämisen lisäksi mittarin tuloksien avulla voidaan arvioida kasvuston stressitasoa ja kasvuston elinvoimaisuutta. Lehtivihreämittarin käyttö soveltuu luomuviljelyyn, mutta luomuviljelyssä tulee käyttää luomuhyväksytyt lannoitteita lannoitesäädöksen mukaisesti (Lantmännen Agro, n.d.-a).

7.5 Trimble GreenSeeker -lehtivihreä mittauslaite

Trimble GreenSeeker on anturitekologiaan perustuva käsikäyttöinen mittauslaite sadon terveyden tai elinvoiman arvioimiseen, joka tukee täsmälannoitusta eli olosuhteiden mukaisesti tapahtuvaa lannoittamista (Kuva 17). Mittarin avulla voi siis määrittää sadon ravinnetarvetta. Mittauslaitteen tulos on suuntaa-antava, joka tukee ravinnetarpeen arvion muodostamista kertoen ravinnepitoisuuden lukuarvona. (Trimble, n.d, -a)

Kuva 17. Trimble GreenSeeker -mittauslaite (Trimble, n.d, -a).

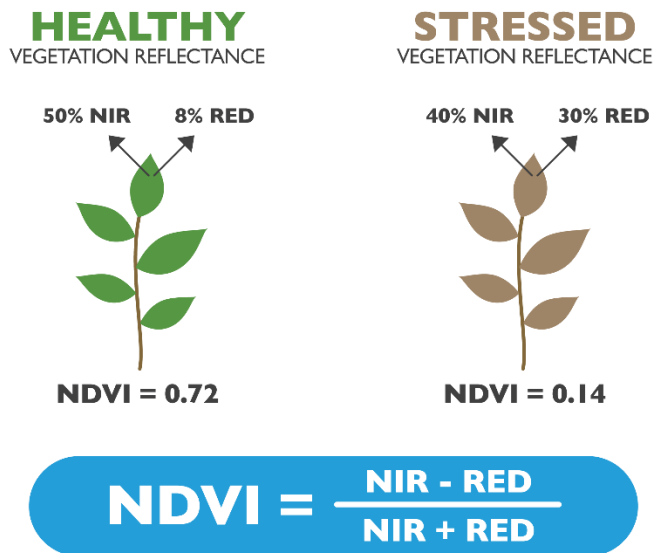


Trimble GreenSeeker -tuotevalikoimasta löytyy myös työkoneeseen asennettava reaaliajassa toimiva täsmälannoitusteknologia, jonka avulla lannoituksen säätely ja annostelu onnistuu työn ohella tehtynä. (Northern Tractor & Implement, n.d.) Anturit asennetaan 60–190 senttimetrin päähän kasvustosta (Alasaari, 2018, s. 5). Tuotteen käyttö tasapainottaa sadon laatua säätelällä haluttua ravinnepitoisuutta. Trimblen kyseessä olevien laitteiden toiminta perustuu punaisen ja infrapunaisen valon ja havaittavan kohteen eli kasvin väliseen heijastumiseen. (Trimble, n.d, -b)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) on yleinen kasvillisuuden vihreyden määrää kuvastava mittausmenetelmä ja laskentamalli. NDVI-mittauksessa huomio kiinnittyy Near-Infrared Reflectance (NIR) eli lähi-infrapunan ja punaisen valon arvojen määrittämiseen. NDVI-arvo kertoo kasvuston elinvoimaisuudesta kuvastaen kasvillisuuden vihreyden voimakkuutta. NDVI-tulosarvo sijoittuu -1 ja +1 arvojen välille. Kasvuston elinvoimaisuus on hyvä NDVI-arvon

ollessa lähempänä +1 arvoa. Kun NDVI-arvo on 0-arvon alapuolella, kasvustossa on havaittavissa stressitekijöitä, jotka vaikuttavat haittaavasti kasvuston laatuun (Kuva 18). (GISGeography, 2021)

Kuva 18. NDVI-laskentakaava (Antognelli, 2018).



8 Kasvinjalostustoiminta ja kestävä tulevaisuus

Ilmastonmuutoksella on arvioitu olevan useita eri vaikutuksia maanviljelyyn. Maanviljelyssä tavoitteena on tuottoisa satoisuus ja ilmastonmuutoksen on ennustettu aiheuttavan muutoksia erityisesti sääolosuhteissa mahdollisesti vaikuttaen myös viljelykasvien kasvunvaiheisiin. (Luke, 2017) Tulevaisuudessa myös tuholaitten levinneisyys voi aiheuttaa uusia ongelmia peltokasvilajikkeiden viljelyssä. Lisäksi muut viljelyn ongelmatekijät voivat voimistua. Näitä ovat muun muassa kasvitautien ja rikkakasvien ilmenemisen kasvu. (WWF, n.d) Ilmaston lämpeneminen tarjoaa suotuisat elinolosuhteet esimerkiksi homeille. Merkitsevää on, että ilmastonmuutos luo siis muutoksia aiempaan sääolosuhteiden muuttuessa, jolloin vaikutukset näkyvät muun muassa sadon määrässä ja laadussa entistä enemmän. (Luke, 2017)

Kasvinjalostustoiminnan avulla mahdollistetaan kasvilajikkeiden kestävyys muuttuviin kasvuolosuhteisiin sopeutuviksi myös tulevaisuudessa jalostamalla niiden ominaisuuksia tulevaisuuden uhkatekijät huomioon ottaen. Jokainen jalostettu lajike on siis kehitetty tiettyihin laadullisiin ominaisuuksiin perustuen. (Boreal Kasvinjalostus, 2014)

Koska maanviljelyn tulevaisuutta pystytään ainoastaan arvioimaan ja ennustamaan, ovat viljelyolosuhteet nähtävissä vasta, kun muutoksia ilmenee. Tästä johtuen tulevaisuutta pystytään ennakoimaan säästämällä geeniperimää tuleville sukupolville. Jalostustoiminnan ja tulevaisuuden tueksi on perustettu geenipankkeja, mitkä toimivat ikään kuin talletusjärjestelmänä. Niiden avulla varmistetaan viljelyvarmuutta myös tulevaisuudessa. (Fagerstedt ym., 2008, ss. 193–196)

Rajala (2004, s.11) perustelee seuraavasti: ”Kestävän kehityksen perusehtona on biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien toimivuuden säilyttäminen sekä ihmisen taloudellisen ja aineellisen toiminnan sopeuttaminen pitkällä aikavälillä luonnon sietokykyyn.” Kestävä kehitys on siis käsitteenä laaja, mutta käsitteen peruseräteenä on kestävä tulevaisuuden takaaminen myös seuraaville sukupolville (Dredge ym., 2004, s. 12).

Kasvinjalostustoiminta on myös kestävä tulevaisuuden mahdollistamista. Maatalous on uusiutuvien luonnonvarojen hoitoon pohjautuvaa toimintaa. Maanviljely toimii kasvinjalostustoiminnan perustana. Merkitsevää kestävä kehityksen toteuttamisessa on toimintatapojen ymmärtäminen pidemmällä ajanjaksolla. Toimintatavat perustuvat muun muassa veden riittävyyteen liittyviin ongelmiin, uusiutuvan energian käytön suosimiseen sekä erityisesti luonnonvarojen vastuulliseen käyttämiseen. (Dredge ym., 2004, s. 11)

Kestävä kehitys voidaan ottaa huomioon myös maanviljelyssä viljelytoimenpiteiden kautta. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia voidaan heikentää muuttamalla viljelytapoja monipuolisemmiksi, mikä taas parantaa esimerkiksi viljelymaaperän laatua ja viljelykasvien elinvoimaa. (Hagelberg ym., 2019, ss. 36–37) Viljelykasvien oikealla valinnalla ja siihen liittyvällä viljelykierrolla pystytään vaikuttamaan useampaan laadulliseen tekijään maanviljelyssä. Viljelymenetelmillä ja hallinnalla on esimerkiksi positiivinen vaikutus rikkakasvi ongelman ehkäisemiseen erityisesti silloin, kun kyseessä on luomuviljely. (Hagelberg ym., 2019, s. 38)

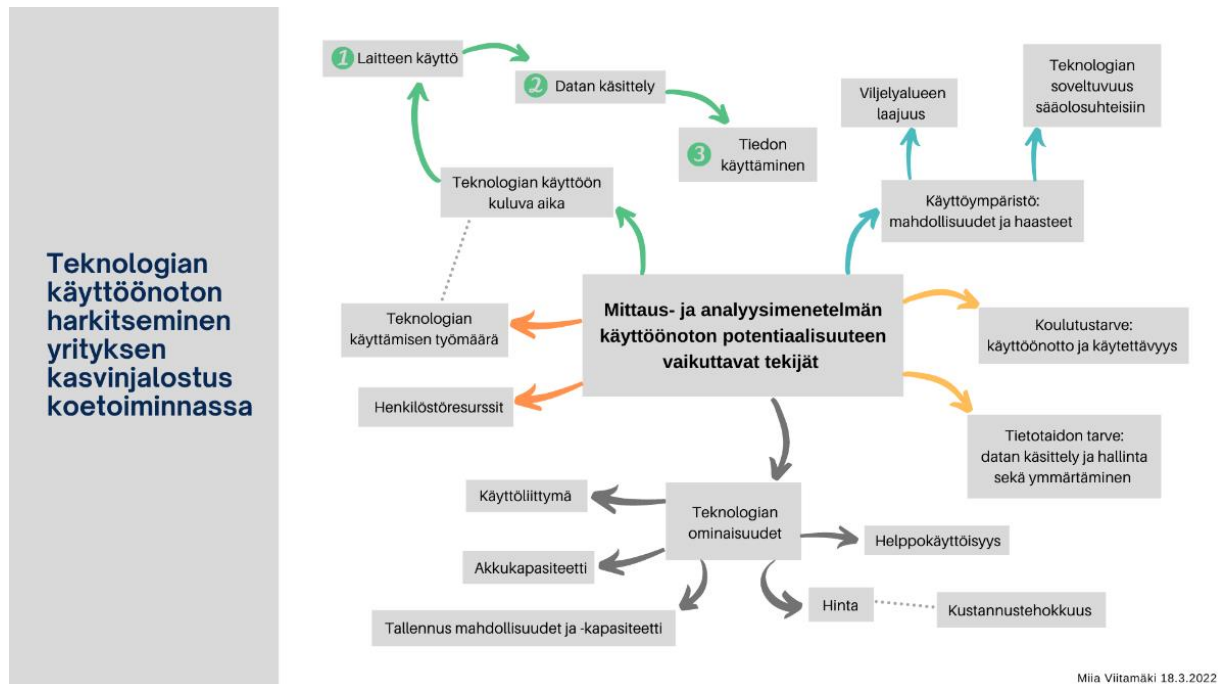
Luomutuotannossa olennaista on siis orgaanisten lannoitteiden ja typen sidonnan käyttö, viljelykiertojen monipuolistaminen, nurmikasvien käyttö osana viljelykiertoa sekä viljeltävien kasvien monimuotoisuuden ylläpitäminen. Luomuviljelyn on myös todettu olevan kasvihuonepäästöihin suhteutettuna suotuisampi viljelymenetelmä, vaikka sen satotaso saattaa olla heikompi. (Hagelberg ym., 2019, s. 38) Maaperän ja kasvuston elinvoimaisuudella on vaikutusta hiilensidontaan (Hagelberg ym., 2019, s. 25).

9 Johtopäätökset, tulosten pohdinta ja arviointi

Teknologian hyötyarvo kasvinviljelyn seurantaan tukevana tekijänä on tuottaa havainnointidataa ja sitä käsittelemällä kasvuston havainnointia tukevia arvoja. Kasvia viljeltäessä tavoitteena on optimaalisten kasvuolosuhteiden saavuttaminen ja sitä kautta sadon laadukkuuden varmistaminen. Olennaista on viljelymenetelmän tiedostaminen. Kasvuston seuranta teknologisia mittaus- ja analyysimenetelmiä hyödyntäen tukee viljelijän tietoisuutta kasvustosta monipuolisilla tavoilla. Esimerkiksi luomuviljelyssä lannoitteiden käytön vaikutus ei ole samalla tavalla suoravaikutteinen kuin tavanomaisessa viljelyssä käytettävien lannoitteiden. Tällöin teknologian käytöllä on huomattava vaikutus kasvuston elinvoimaisuutta määriteltäessä.

Kun pohditaan teknologisen ratkaisun käyttöönottoa, on huomattavissa, että joidenkin teknologioiden käyttämiseen tarvitaan ajallisesti enemmän resursseja. Tällöin usein pohditaankin kyseessä olevan mittaus- ja analyysimenetelmän hyötyarvoa muilta ominaisuuksiltaan, joiden pitää olla hyötyarvoa nostavia, jotta käyttöönotto on kannattavaa. Myös kustannustehokkuus on asia, jolla on vaikutusta käyttöönoton harkinnassa ja usein teknologian hyötyarvo eli potentiaalisuus käyttäjän tarpeisiin soveltuvaksi korostuu laitteen hinnan ollessa korkea. Tiettyjen teknologisten mittaus- ja analyysimenetelmien kohdalla on huomattavissa, että mittauslaitteen käyttöönottoon saattaa liittyä lisäkuluja. Oheisessa kuvassa on yhteenveto mittauslaitteen hankintaan vaikuttavista tekijöistä. (Kuva 19) Laitehankinnan harkinnassa tietyt ominaisuudet ovat siis merkitseviä kyseisissä teknologioissa.

Kuva 19. Teknologian käyttöönoton harkitseminen yrityksen kasvinjalostus koetoiminnassa (Viitamäki, 2022).



Opinnäytetyössä käsitellyt mittaus- ja analyysimenetelmät ovat pääosin havaintodatan tiedonkeruuseen kehitettyjä teknologioita, kun niiden käyttöä harkitaan kasvinjalostustoimintaan soveltuvaksi. Teknologian käyttöönoton hyötyarvo on käyttäjän määriteltävissä siitä saatavaan tietoon suhteutettuna. Esimerkiksi dronen lisäosaksi kehitetty MicaSense-tuotesarja tarjoaa useita kasvuston havainnointiin tarkoitettuja ominaisuuksia, mutta niiden käytön hyötyarvo on sidonnainen muun muassa käyttäjän kuvankäsittelyyn liittyviin aikaresursseihin.

Dronen käytön kannattavuudesta osana kasvinjalostuskoetoimintaa epäedullista tekee se, että sen käyttäminen vaatii aikaresursseja lukuisien koeruutujen kuvantamisen kannalta, vaikka toisaalta kuvantaminen on suhteellisen nopeaa. Lisäksi dronesta saatava kuvadata pitää käsitellä ja analysoida. Viljelykauden aikana dronesta saatavan kuvatiedon käsittely saattaa olla ajankäytön kannalta haasteellista, jos kuvattavana on useampia peltoalueita. Yleisesti kuitenkin yhden viljelyalueen kuvantamisen pystyy suorittamaan suhteellisen tehokkaasti. On mahdollista myös priorisoida kuvattavien peltoalueiden kuvantamistarvet niiden elinvoimaisuuden mukaisesti, jolloin aikaa säästyy muille viljelykauden työvaiheille. Toisaalta priorisointi tapahtuu viljelijän ammattitaitoon perustuviin havaintoihin, jotka ovat pääosin silmämääräisiä. Yleisesti ottaen kamerateknologian käyttö luo mahdollisuuksia kasvuston laaduntarkkailuun.

Lisäksi huomioitavaa dronen käyttöönotossa yritykselle on, että sen käyttö vaatii verkkoteoriakokeen suorittamisen ja dronen rekisteröimisen. Kun drone halutaan useamman henkilön käyttöön, pitää jokaisen suorittaa henkilökohtaisesti kyseinen verkkoteoriakoe, joka tarkoittaa lisäkustannuksia. Dronesta saatavan datan ja tiedonkäsittelyn kannalta olisi suotavaa, että tietotaitoisia henkilöitä olisi enemmän kuin yksi.

Pääasiallisesti dronen lisäosaksi kehitetyt MicaSense-tuotteet parantavat viljelyalueen kuvantamisen laatua ja lisäävät havaintoarvoja kasvuston elinvoimaisuuteen liittyen. Tuotekokonaisuuden kannattavuutta kasvinjalostuskoetoiminnan tukena käytettäväksi teknologiaksi heikentää kuitenkin niiden hintaluokka, johon yhdistyy myös käytön vastuullisuus.

Pääsääntöisesti dronen ja RGB-kameran hyötyarvo viljelyalueen havainnoinnin tukena on merkittävää, kun kyseessä on useita tai suuria viljelyalueita. MicaSense-tuoteryhmän teknologioiden käyttöönoton harkintaan vaikuttaa kuitenkin hintaluokka, mikä on suhteellisen korkea. Dronen ja RGB-kameran käyttöä voidaan kutsua perustason kuvantamiseksi. Kuvien analysoinnista saa muodostettua havaintoja pellon maaperän ja kasvuston laatuun liittyen, mutta MicaSense -lisäosien avulla dronen käyttöarvo ja havaintojen laatu nousee entisestään, jolloin viljelyalueen kuvantamisesta on saatavilla enemmän havaintoja kuvankäsittelyn ollessa korkealuokkaisempaa. Dronen käyttö vaatii data-analytiikan taitoja ja monipuolista tietotaitoa ymmärtää kasvuston elinvoimaisuuteen vaikuttavat tekijät. Toisin sanoen dronen hyötyarvo perustuu tässä tapauksessa viljelyalueen elinvoimaisuutta havainnoivaksi teknologiaksi.

Typipitoisuutta voidaan määrittää teknologisten laitteiden avulla, mutta eroavaisuus on niiden käytettävyydessä ja siinä, kuinka ne palvelevat käyttäjän tarpeita. Esimerkiksi peruskäyttöinen lehtivihreämittari on käytettävyydeltään manuaalinen ja edullisempi ratkaisu, mutta Yara N-Sensor -teknologia on käytettävyydeltään osaksi työntekoa kehitetty teknologia, jonka avulla lannoitustarpeen määrittäminen onnistuu automaattisesti reaaliajassa eli pellolla työkoneella työskennellessä.

Kasvinjalostuksen koetoiminta sisältää suuressa mittakaavassa koekentiksi kutsuttuja viljelyalueita, joiden laatua tarkkaillaan viljelykauden eri vaiheissa usein hyvin yksityiskohtaisesti. Teknologisen ratkaisun tulisi mahdollistaa yleishavaintoarvojen tekeminen kasvustosta työrupeamaa keventäen tarkkailtavien kohteiden määrän ollessa suuri. Esimerkiksi

lehtivihreämittareiden käyttö perustuu pitkälti kasvuston äärellä tehtävään manuaaliseen mittaustyöhön, joka vaatii huomattavasti enemmän aikaa.

Kasvuston lehtivihreänmittaamiseen perustuvien teknologioiden hyötyarvo asettuu taas pienempien viljelyalueiden kunnon havainnointiin, joten dronen perustasoista käyttöä voisi hyödyntää yhdessä lehtivihreä mittaustaitteiden kanssa siten, että dronekuvantamisen avulla selvittäisi ensin viljelyalueen heikoimmat kohdat, jonka jälkeen suorittaisi lehtivihreämittaamisen vasta tällaisiksi havaituille alueille. Kuitenkin tässä ongelmaksi voi muodostua ajankäytön haasteellisuus viljelykauden aikana dronekuvien käsittelyn kannalta, joten viljelyalueiden dronekuvantamisen priorisoinnilla on vaikutusta.

GrainSense-mittaustaitteiden käytön hyötyarvo vaikuttaa esimerkiksi syksyllä puintien aikaan, sillä sen avulla voi määrittää puintijärjestystä. GrainSensen käyttöön liittyvät myös aikaresurssihaasteet, sillä sen käyttö on manuaalista, ja tästä johtuen useiden koeruutujen mittaaminen voi osoittautua työlääksi. FOSS NIRS DS2500 -mittauslaitte on sisätiloihin sijoitettava ja sen korkea hinta oletettavasti korreloi monipuolisempia tuloksia laadun kannalta.

NIR-teknologioihin perustuvat mittaus- ja analyysimenetelmät ovat merkitsevässä asemassa kasvinjalostuksen tutkimustyössä, sillä kasvinjalostuksessa tavoite on pyrkiä parantamaan kasvin laatua ominaisuuksiltaan. NIR-analyysimenetelmän avulla pystyy määrittämään yksityiskohtaisesti peltokasvilajikkeiden laatuominaisuuksia. Kasvinjalostuskoetoiminnan tukena käytettävän teknologian tulisi olla kustannustehokasta ja yrityksen tarpeisiin sopivaa.

Tässä opinnäytetyössä käsitellyistä teknologioista voi todeta, että niiden käyttöönotolla pystyy selvittämään kasvuston elinvoimaisuudesta olennaisia havaintoarvoja, joiden avulla on mahdollista tukea viljelytoimenpiteiden suunnittelua ja viljelyn toteuttamista. Kyseisten teknologioiden käyttö sijoittuu kasvukaudella enimmäkseen tiettyihin kasvuvaiheisiin, kun osa tukee sadonkäsittelyä sekä viljelytoimenpiteiden suunnittelua. Jokaisella teknologisella ratkaisulla on oma kohdealueensa (Kuva 20). Ohessa yhteenveto kaavio kohdealueista.

Kuva 20. Yhteenveto teknologisista mittaus- ja analyysimenetelmistä (Viitamäki, 2022).



Esimerkiksi tässä käsitellyt lehtialaindeksin mittaamiseen perustuvat teknologiset ratkaisut mahdollistavat kasvuston biomassan määrittämisen. Tietyt muut ratkaisut taas tukevat kasvuston ravinnepitoisuuden seuranta, kuten typpipitoisuuden selvittämistä. Osa teknologioista tukee muiden havaintojen tekemistä ja kasvuston kunnan huomioimista havainnollistaen viljelyalueen kokonaiskuva. Mittaus- ja analyysimenetelmien pohdinnan tueksi on luotu excel-tiedosto, mikä on luovutettu toimeksiantajan yksityiseen käyttöön.

Opinnäytetyön jatkoa pohtien tässä opinnäytetyössä tarkasteltujen teknologioiden tarkemmat tiedot ja hintaluokat ovat selvitettävissä valmistajien sivuilta tai ottamalla yhteyttä valmistajaan. Esimerkiksi Trimble GreenSeeker -mittauslaitteen hinta on selvitettävissä yhteydenotolla.

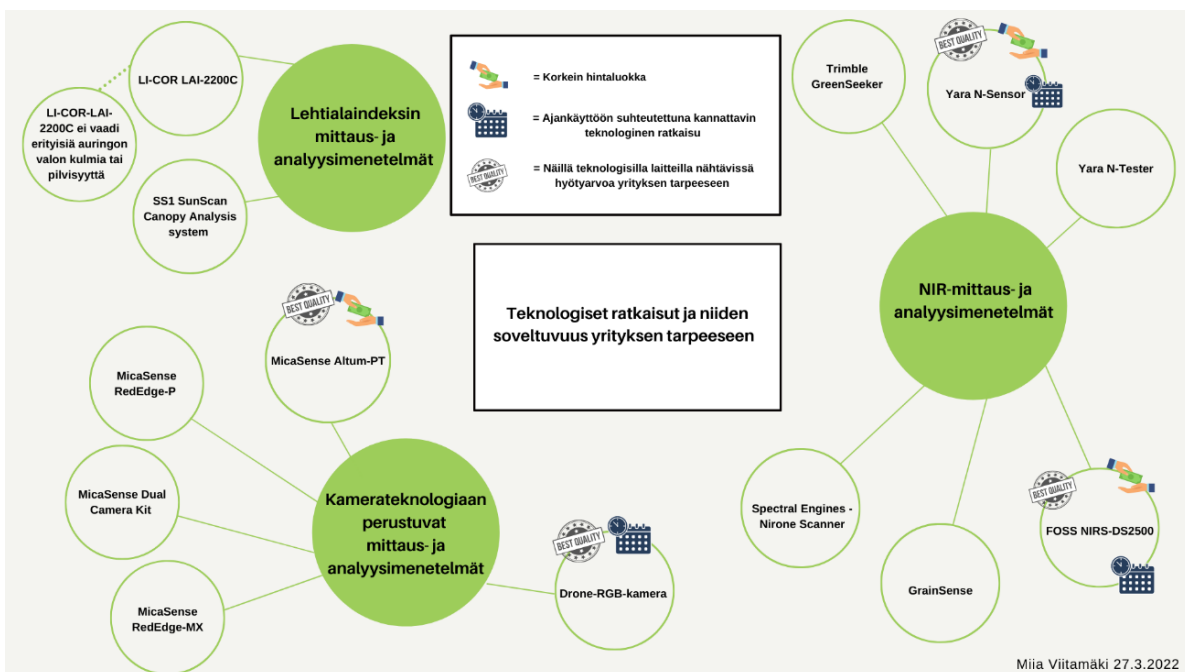
Teknologia kehittyy jatkuvasti, joten viljelyn tukena käytettäviä potentiaalisia teknologisia mittaus- ja analyysimenetelmiä on tulossa varmasti lisää, erityisesti yrityksen kasvinjalostustoiminnan soveltuvuuden kannalta. Myös opinnäytetyössä käsitellyt mittaus- ja analyysimenetelmät saattavat päivittyä. Esimerkiksi teoriaosuudessa käsitelty NIR-analyysimenetelmään perustuva Spectral Engines -yrityksen kehittämä Nirone Scanner on teknologinen laite, jolla voi olla potentiaalisempaa hyötyä vasta myöhemmin yrityksen tarpeisiin nähden. Kyseisestä mittauslaitteesta saattaa löytyä paremmin tietoa myöhemmin sen

käytön mahdollisesti yleistyessä. Opinnäytetyössä käsitellyt mobiilisovellukset ovat esimerkki kamerateknologian potentiaalisuudesta, mutta niillä ei ole nähtävissä niin suurta hyötyarvoa yrityksen tarpeiden ja käyttöalueen kannalta.

Lopuksi opinnäytetyö kokoaa vaihtoehdot yhteenvedoksi pohtien teknologioiden kannattavuutta lähinnä yleisesti (Kuva 21). Syventävä teknologioiden arviointi ja käyttöönoton harkinta vaatii jatkoa opinnäytetyölle kokonaisvaltaisemman lopputuloksen saavuttamiseksi. Esimerkiksi käyttökokemus ja mittauslaitteeseen perehtyminen yksityiskohtaisemmin edesauttaisi kannattavuuden arviointia sekä käyttöönoton harkintaa.

Opinnäytetyö perustuu lähinnä kirjallisiin lähteisiin, joten sen avulla ei voi suoranaisesti muodostaa johtopäätöksiä kyseessä olevien teknologisten mittaus- ja analyysimenetelmien hyötyarvosta. Opinnäytetyö sisältää kirjallisiin lähteisiin perustuvan teoriapohjaisen tutkimuksen, joten vasta teknologisten mittaus- ja analyysimenetelmien varsinaisen käyttökokemuksen avulla pystyy muodostamaan todellisen arvion käyttöönoton kannattavuudesta yrityksen tarpeisiin. Usein teknologisia ratkaisuja valmistavat yritykset markkinoivat tuotettaan tavalla, mikä poissulkee varsinaisen käytön aikana huomioitavia käyttökokemukseen liittyviä ongelmakohtia.

Kuva 21. Teknologiset ratkaisut ja niiden soveltuvuus yrityksen tarpeeseen (Viitamäki, 2022).



Lähteet

Antognelli, S. (29.05.2018). *Agricolus. NDVI and NDMI vegetation indices: instructions for use* [kuva]. Haettu 01.10.2021 osoitteesta <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/>

Alasaari, K. (09.03.2018). *Täsmälannoitusteknologiat ja kasvustosensorit* [PDF] Haettu 29.09.2021 osoitteesta <https://repo.epedu.fi/ReportronicJulkaisu/Webservice/GetDocument.aspx?c=Seamk&d=ecea194a-5053-4941-bcc2-0d237ea0faea>

Ata-Ul-Karim, S-T., Cao, Q., Cao, W., Liu, X., Tian, Y., Yuan, Z., Zhang, K. & Zhu, Y. (26.05.2016). *frontiers. Optimal Leaf Positions for SPAD Meter Measurement in Rice*. Haettu 04.02.2022 osoitteesta <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00719/full>

Berner. (n.d.). *FOSS NIRS DS2500* [kuva]. Haettu 07.12.2021 osoitteesta <https://www.berner.fi/pro/tuote/foss-nirs-ds-2500-jauhoanalysaattori/>

Boreal. (n.d.-a) *Koetoiminta - testaus takaa laadun*. Haettu 11.02.2021 osoitteesta <https://boreal.fi/osaaminen/koetoiminta/>

Boreal. (n.d.-b) *Kasvinjalostus on työtä suomalaisen viljelijän parhaaksi*. Haettu 08.02.2021 osoitteesta <https://boreal.fi/osaaminen/jalostus/>

Boreal. (n.d.-c) *Teknologia ja osaajat*. Haettu 10.02.2021 osoitteesta <https://boreal.fi/osaaminen/teknologia-ja-osaajat/>

Boreal. (08.08.2019) *Kasvinjalostus tarvitsee täsmätyökaluja ilmastonmuutokseen sopeutumisessa*. Haettu 24.01.2021 osoitteesta <https://boreal.fi/5575-2/>

Boreal Kasvinjalostus. (15.08.2014). *Boreal Kasvinjalostus: Kasvua pohjoisiin oloihin* [video]. YouTube. Haettu 21.02.2021 osoitteesta <https://youtu.be/StuqknvB5LE>

Boreal Kasvinjalostus Oy. (30.06.2021). *RGBA-kuva viljelyalueen koeruuduista*. [kuva]

Boreal Kasvinjalostus Oy. (30.06.2021). *Orthomosaiikkikuva viljelyalueen koeruuduista*. [kuva]

Crutsinger, G., (13.01.2020). *How to Map High-Value Crops with Drones* [video]. YouTube. Haettu 13.06.2021 osoitteesta <https://youtu.be/lZFnenkeKxk>

Delta-T Devices. (n.d.-a). *Delta-T Devices*. Haettu 30.09.2021 osoitteesta <https://delta-t.co.uk/about-us/>

Delta-T Devices. (10.09.2021). *Delta-T Devices SunScan System - Measures P.A.R and Calculates Leaf Area Index in Plant Canopies*. [video]. YouTube. Haettu 30.09.2021 osoitteesta <https://youtu.be/KA0bYrg3P0c>

Delta-T Devices. (n.d.-b). *Delta-T SS1 SunScan Canopy Analysis System*. Haettu 30.09.2021 osoitteesta <https://delta-t.co.uk/product/sunscan/>

Dredge, K., Holma, U., Huikko, J., Koikkalainen, K., Koskimies, H., Kottila, M-R., Leinonen, P., Mynttinen, R., Piirainen, A., Rajala, J., Schepel, I., Fagerstedt, K., Linden, L., Santanen, A. & Väinölä, A. (2008). *Kasvioppi Siemenestä satoon*. Edita Publishing Oy.

Easy Leaf Area Free. (2015). Version 1.02 [mobiiliapplikaatio]. Google Play Store. Haettu 15.09.2021 osoitteesta <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.heaslon.EasyLeafArea&hl=fi&gl=US>

FOSS Analytical - Service. (17.01.2017). *Instrument Calibration - NIRS™ DS2500* [video]. YouTube. <https://youtu.be/t2UEk3nmUPc>

FOSS. (n.d) *NIRS™ DS3 Flour Analyser. Technical specification*. Haettu 07.12.2021 osoitteesta <https://www.fossanalytics.com/en/products/NIRS-DS3-Flour-Analyser>

GISGeography. (14.06.2021). *What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)?* Haettu 01.10.2021 osoitteesta <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>

Google Play. Canopeo-App. (24.07.2015). *Canopeo*. (Version 1.1.7) [mobiiliapplikaatio]. Google Play Store. Haettu 13.12.2021 osoitteesta

<https://play.google.com/store/apps/details?id=okstate.edu.canopeo&hl=fi&gl=US>

GrainSense (n.d.-a) *Know your grain grow your business*. <https://grainsense.com/>

GrainSense. (13.04.2021.-b). *Track grain quality instantly, anywhere*. Blog.

<https://grainsense.com/blogs/news/track-grain-quality-instantly-anywhere>

GrainSense (n.d.-c). *Introducing your supportive grain advisor*. [kuva] Haettu 03.11.2021 osoitteesta <https://grainsense.com/pages/products>

Hagelberg, E., Hakala, K., Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Heinonsalo, J., Huuskonen, S., Jaakkola, S., Joonas, J., Juga, J., Kainulainen, A., Kari, M., Katajajuuri, J.M., Koivusalo, H., Kokkonen, T., Koppelmäki, K., Korhonen, P., Laiho, R., Lidauer, M., Luostarinen, S., Mattila, I., . . . Venäläinen, A. (2019). *Ilmastoviisas maatalayritys*. ProAgria Keskusten Liitto.

Teinilä T. & Vahtila O. (24.02.20221). *Digitaloutta hyödynnetään Mustialan luomutilalla*. Haettu 06.06.2021 osoitteesta <https://unlimited.hamk.fi/biotalous-ja-luonnonvara-ala/digimaataloutta-hyodynnetaan-mustialan-luomutilalla/#.YL3eKgzaUk>

Herrick S. (14.11.2017) What is the difference between a drone, UAV, and UAS. *Botlink*. Haettu 06.06.2021 osoitteesta <https://botlink.com/blog/whats-the-difference-between-a-drone-uav-and-uas>

Jokela, J. (18.12.2017). *Tulevaisuuden viljavuustutkimuksia kehittämässä*. Farmit.

<https://www.farmit.net/blog/2017/12/18/tulevaisuuden-viljavuustutkimuksia-kehittamassa>

Lantmännen Agro. (n.d.-a). *Luomulannoitteet*. Haettu 16.09.2021 osoitteesta

https://www.lantmannenagro.fi/tuotteet/lannoitteet-ja-kalkit/luomulannoitteet/?gclid=Cj0KCQjw1ouKBhC5ARIsAHXNMI8AcrTm3pggEnrt0n4aqUZBLNBE22d-laFDW5CUM9q9q44qydf5OPMaAIYqEALw_wcB

Lantmännen Agro. (n.d.-b). *Yara N-Tester lehtivihreämittari*. Haettu 27.09.2021 osoitteesta <https://www.lantmannenagro.fi/tuotteet/lannoitteet-ja-kalkit/peltolannoitteet/yara-n-tester-lehtivihreamittari/>

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Droneinfo. (19.01.2022.-a). *Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän suorituskyky lennossa*. Haettu 21.02.2022 osoitteesta <https://droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/miehittamattoman-ilma-alusjarjestelman-suorituskyky-lennossa?toggle=Miten%20drone%20toimii>

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Droneinfo. (25.01.2022.-b). *Lennon suunnittelu ja suoritus – lentotoimintamenetelmät*. Haettu 25.02.2022 osoitteesta <https://droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/lennon-suunnittelu-ja-suoritus-lentotoimintamenetelmat?toggle=Mitk%C3%A4%20ovat%20vastuusi%20kauko-ohjaajana%3F>

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Droneinfo. (15.03.2021.-c). *Usein kysyttyä rekisteröitymisestä ja koulutuksista*. Haettu 25.02.2022 osoitteesta <https://droneinfo.fi/fi/usein-kysyttya-rekisteroitymisesta-ja-koulutuksista>

LI-COR. (n.d.-a) *LAI-2200C Plant Canopy Analyzer*. Haettu 01.10.2021 osoitteesta https://www.licor.com/env/products/leaf_area/LAI-2200C/

LI-COR Biosciences, Environmental. (05.10.2015.-b) *Measuring Leaf Area Index* [video] YouTube. <https://youtu.be/t0KOctgjT8>

LI-COR. (n.d.-c). *Basic Theory* [kuva]. <https://www.licor.com/env/support/LAI-2200C/topics/theory-of-operation.html>

Luke Finland. (06.11.2017). *Boreal Kasvinjalostus* [video]. YouTube. Haettu 21.02.2021 osoitteesta <https://youtu.be/z6Djc0Dhyn0>

Luke. Luonnonvarakeskus. (03.02.2017). *Maatalous ja ilmastonmuutos*. Haettu 22.05.2021 osoitteesta <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/maatalous-ja-maaseutu/maatalous-ja-ilmastonmuutos/>

MicaSense. (2021.-a). Haettu 13.06.2021 osoitteesta <https://micasense.com/agronomist-and-growers/>

MicaSense. (2021.-b). *Sensor comparison*. Haettu 13.06.2021 osoitteesta <https://micasense.com/compare-sensors/>

MicaSense. (n.d.-c). *Explore MicaSense solutions* [kuvat 1.-3.]. Haettu 16.09.2021 osoitteesta <https://micasense.com/>

MicaSense. (n.d.-d). *Shop now*. Haettu 16.09.2021 osoitteesta <https://micasense.com/shop/Altum-Sensor-Kit-with-DJI-SkyPort-p117044525>

MicaSense. (06.09.2021.-e). *Altum-A4-Product-Sheet-Digital-Version-6.9.2021.pdf*. Haettu 16.09.2021 osoitteesta <https://1w2yci3p7wwa1k9jld1jygd-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2021/07/Altum-A4-Product-Sheet-Digital-Version-6.9.2021.pdf>

MicaSense. (n.d.-f). *(Re)Defining agricultural drone sensing*. Haettu 16.09.2021 osoitteesta <https://micasense.com/altum/>

MicaSense. (n.d.-g). *MicaSense Shop*. Haettu 23.02.2022 osoitteesta <https://micasense.com/shop/Altum-PT-Sensor-Kit-p412841480>

Muwex. (27.07.2020). *Drone työkaluna maataloudessa - DroneDeploy - Viljojen tarkastusta* [video]. Youtube. Haettu 05.06.2021 osoitteesta <https://youtu.be/hOyT3DXkoa4>

Northern Tractor & Implement. (n.d.). *2019 Trimble Greenseeker system base*. Haettu 29.09.2021 osoitteesta <https://www.northernti.com/inventory/v1/2019/Trimble/Flow-Application-Control/GreenSeeker-System/Base--Morris-Minnesota---12626981?format=print>

Oivukkamäki, J. (2018). *Kasvin stressin määrittäminen lehtitasolla klorofyllifluoresenssin ja reflektanssi-indeksien avulla* [pro gradu -tutkielma, Helsingin Yliopisto]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-201808303048>

Manninen, O. (05.02.2020). *Drone-kuvaus maanviljelyssä hakee yhä muotoaan: esimerkiksi hukkakaura on kimurantti kuvattava*. Haettu 05.06.2021 osoitteesta <https://www.op->

media.fi/yrittajyys/drone-kuvaus-maanviljelyssa-hakee-yha-muotoaan-esimerkiksi-hukkakauraon-kimurantti-kuvattava/

Palva, R. & Teinilä, T. (20.05.2021). Digimaatalous.fi. *Droonit kasvuston kuvaamisessa*. Haettu 03.11.2021 osoitteesta <https://www.digimaatalous.fi/droonit-kasvuston-kuvaamisessa/>

Partti, K., GrainSense Oy. Biotalous. (28.11.2019). *GrainSense, laite ja pilvipalvelu viljan laadun analysoimiseen nopeasti ja langattomasti*. [kuva] Haettu 03.11.2021 osoitteesta <https://www.biotalous.fi/grainsense-laite-ja-pilvipalvelu-viljan-laadun-analysoimiseen-nopeasti-ja-langattomasti/>

Pesonen, L., Kaivosoja, J. & Suomi, P. (2010). *Täsmäviljely ja ravinteiden käytön tarkentaminen*. Teho. Teho-hankkeen julkaisuja 5/2010. Haettu 04.11.2021 osoitteesta <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94183/T%E4sm%E4viljely%20ja%20ravinteiden%20k%E4yt%E4n%20tarkentaminen.pdf?sequence=2>

Photon Mission. (n.d.). *Nirone Sensor S*. Haettu 08.12.2021 osoitteesta <https://www.photonmission.com/spectral-nir-sensors/>

Photon Mission. (n.d.). *Nirone device* [kuva]. <https://www.photonmission.com/spectral-nir-sensors/>

Pietilä Leena. Boreal Kasvinjalostus Oy. (28.11.2017). *Kotimainen kasvinjalostus: monipuolinen kasvilaji- ja lajiketypypivalikoima. Luomuun soveltuvat lajikkeet*. VYR luomuseminaari. Haettu 25.05.2021 osoitteesta https://www.vyr.fi/document/1/586/7b5235c/luomuv_67508d0_Luomuun_soveltuvat_lajikkeet_28112017.pdf

Perttu, M. & Pura, S. Boreal Kasvinjalostus Oy. (2013). Boreal Kasvinjalostus Oy:n tiedotuslehti (1/2013). *Kasvussa, 5. vuosikerta*. (S. 1–20). Haettu 07.12.2021 osoitteesta https://docplayer.fi/4576664-Kasvussa-1-2013-tervetuloa-uudistuneen-boreal-kasvinjalostus-oy-n-tiedotuslehti.html#show_full_text

Purmonen, J., Saarinen, J. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisu. (2018). *Fotoniikasta valoa Suomen hyvinvointiin. Selvitys alan vaikuttavuudesta ja kasvunäkymistä*. Haettu 08.07.2021 osoitteesta

https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/tuvj_5+2018.pdf

Ruokavirasto. (09.12.2019). *Luomukasvit*. Haettu 24.05.2021 osoitteesta

<https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/luomumaatilat/luomukasvit/>

Ruralia-Instituutti. (16.03.2021). *Miten luomussa suhtaudutaan kasvinjalostukseen?* Haettu 24.05.2021 osoitteesta <https://www2.helsinki.fi/fi/ruralia-instituutti/koulutus/kasvot-luomulle/miten-luomussa-suhtaudutaan-kasvinjalostukseen>

Simola, E. (2020). *Typen lisälannoitustarpeen selvittäminen viljelykasveilla lehtivihreämittauksella* [Opinnäytetyö, Savonia-Ammattikorkeakoulun].

<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202004155100>

Super Reviews. (06.06.2021). *Drone | Best Drone In Budget | Which Drone Have Maximum Range | What is a Drone | WIFI Drone In 2021* [video]. YouTube. Haettu 06.06.2021 osoitteesta

<https://youtu.be/XqT5xMd0g3w>

Spectral Engines. (30.01.2018). *Spectral Engines NIRONE Scanner Platform - Create a future of possibilities*. [video]. Youtube. Haettu 03.11.2021 osoitteesta <https://youtu.be/wFyowKpaTX4>

Technopedia. (n.d). *Resolution. What Does Resolution Mean?* Haettu 13.06.2021 osoitteesta

<https://www.techopedia.com/definition/2743/resolution>

Trimble (n.d, -a). *Agriculture*. Haettu 29.09.2021 osoitteesta

<https://agriculture.trimble.com/product/greenseeker-handheld-crop-sensor/>

Trimble (n.d, -b). *GreenSeeker Handheld Crop Sensor*. [PDF Datasheet] Haettu 29.09.2021 osoitteesta [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-475150/022503-](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-475150/022503-1123A_GreenSeeker_DS_MarketSmart_USL_0415_LR_web.pdf)

[1123A_GreenSeeker_DS_MarketSmart_USL_0415_LR_web.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-475150/022503-1123A_GreenSeeker_DS_MarketSmart_USL_0415_LR_web.pdf)

Trimble, S. (19.11.2019). *NIR Applications in Agriculture - Everything You Need to Know for 2020*. Felix Instruments. Haettu 07.12.2021 osoitteesta <https://felixinstruments.com/blog/nir-applications-in-agriculture-everything-you-need-to-know-for-2020/>

Viljelijän Avena Berner. (08.02.2018. -a). *Viljelijän Berner ja GrainSense luovuttivat maailman ensimmäiset kädessä pidettävät laitteet viljanlaadun analysointiin*. Haettu 16.03.2022 osoitteesta <https://viljelijanberner.fi/ajankohtaista/viljelijan-berner-ja-grainsense-luovuttivat-maailman-ensimmaiset-kadessa-pidettavat-laitteet-viljanlaadun-analysointiin.html>

Viljelijän Avena Berner. (17.07.2018. -b). *GrainSense – laitteen luovutus ja käyttöönotto* [video]. YouTube. <https://youtu.be/6aepYRkJNMM>

Viitamäki, M. (2020). *Yara-N-Tester lehtivihreämittari* [kuva].

Viitamäki, M. (18.03.2022). *Teknologian käyttöönoton harkitseminen yrityksen kasvinjalostus koetoiminnassa*. [kuva].

Viitamäki, M. (22.03.2022). *Yhteenveto teknologisista mittaus- ja analyysimenetelmistä*. [kuva].

Viitamäki, M. (27.03.2022). *Teknologiset ratkaisut ja niiden soveltuvuus yrityksen tarpeeseen*. [kuva].

Yara. (n.d.-a). *Luonnonmukainen viljely. Luomuviljely ja luomulannoitteet*. Haettu 21.02.2022 osoitteesta <https://www.yara.fi/lannoitus/luonnonmukainen-viljely/>

Yara. (n.d.-b). *Rikki*. Haettu 15.09.2020 osoitteesta <https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/rikki/>

Yara. (n.d.-c). *Yara N-Sensor™*. Haettu 15.09.2020 osoitteesta <https://www.yara.fi/lannoitus/tyokalut/yara-n-sensor/>

Yara (n.d.-d). *Lannoiteopas 2015–2016* (s. 4, 65). Hattu 04.11.2021 osoitteesta <https://docplayer.fi/6876875-Lannoiteopas-2015-2016.html>

WWF Suomi. (n.d.). *Ilmastonmuutos*. Haettu 24.05.2021 osoitteesta

<https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>