

Kevätvehnän lisälannoitustarpeen määrittäminen

kuvauskopterilla

Lehtivihreän määrän toteaminen kuvauskopterilla



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Biotalousliiketoiminnan kehittäminen

2019-2020, 2020

Lauri Eerola

Biotalousliiketoiminnan kehittäminen
Visamäki

Tekijä	Lauri Eerola	Vuosi 2020
Työn nimi	Kevätvehnän lisälannoitustarpeen määrittäminen kuvauskopterilla	
Työn ohjaaja/t	Ilpo Pölönen	

TIIVISTELMÄ

Kevätvehnän viljelyssä kaikkea typpilannoitusta ei yleisesti anneta kylvön yhteydessä vaan se jaetaan lannoitettavaksi kasvukauden aikana tarpeen mukaan. Tällä menetelmällä voidaan saavuttaa parempia satotasoja ja laadukkaampaa myllyviljaa.

Dronea eli kuvauskopteria käytetään nykyään apuna monella alalla. Tässä tutkimuksessa on pyritty selvittämään, voidaanko dronea ja sen RGB-kameraa hyödyntämällä selvittää kevätkvehnän lisälannoitustarve. Yleisesti lisälannoitustarve määritetään lehtivihreämittarin avulla mittaamalla kasvustosta yksittäisiä kasveja. Silloin ei saada kattavaa tulosta koko kasvustosta. Dronella puolestaan saa kuvattua koko kasvuston nopeasti ja kattavasti.

Tutkimuksessa mitattiin kolmen eri koealan koealaruuduista lehtivihreäpi-toisuus lehtivihreämittarilla. Samat koealat kuvattiin dronen RGB-kameralla. Dronen kuvat analysoitiin Dronedeploy-ohjelmalla muodostaen kuvista Plant Health-teemakartta. Teemakartan arvoja verrattiin lehtivihreämittarin SPAD-arvoihin JMP-tilastointiohjelmistolla.

Tutkimus osoitti, että dronella saadaan kuvattua kasvusto kattavasti. Jo ilmakuvasta voidaan tehdä tärkeitä havaintoja kasvustosta. RGB-kameran kuvista muodostetusta Plant Health-teemakartasta ei kuitenkaan voida tehdä suoraan johtopäätöksiä lisälannoitustarpeesta. Varsinkin harvasta kasvustosta ei saatu todenmukaista tietoa olemassa olevien kasvien kun-nosta Plant Health-teemakartasta.

Tutkimuksen toimeksiantajana oli Keski-Uudenmaan koulutuskuntayhtymän, Saaren kartanon yksikkö, jossa toimii opetusmaatila.

Avainsanat Kevätvehnä, lehtivihreä, kuvauskooperi, drone, lisälannoitus

Sivut 49 sivua

Business development in the bioeconomy
Visamäki

Author	Lauri Eerola	Year 2020
Subject	Determining the need for additional fertilization of spring wheat with a drone	
Supervisors	Ilpo Pölönen	

ABSTRACT

In the cultivation of spring wheat, it is common to use distributed fertilization. By doing so you can achieve a better quality and a higher amount of grain crop.

A drone is often used in various sectors including agriculture. The aim of this research was to determine if you can figure out the need for additional fertilization of spring wheat by the drone RGB-camera pictures. Usually the need for fertilization is determined with a chlorophyll meter but the method doesn't give a comprehensive picture of the whole field. With drone pictures you can easily research the whole field.

There were three different experimental areas in the study, and the chlorophyll content was measured in each of them. Pictures were taken from the same areas with a drone. The images were analyzed with a Dronedeploy software, where you can make a defined Plant Health thematic map. All the results were analyzed with statistical JMP software.

The study showed that a drone can be used to describe the crop comprehensively. Important observations of the health of the vegetation can be made from the aerial view. You cannot make decisions for additional fertilization from the pictures taken with a drone and an RGB-camera. Especially when examining a sparse vegetation, no realistic information was obtained on the condition of the existing plants from the Plant Health thematic map.

The study was commissioned by the unit of the Keski-Uudenmaan koulutuskuntayhtymä, Saaren kartano.

Keywords Spring wheat, chlorophyll content, drone, additional fertilization

Pages 49 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TUTKIMUSASETELMA	2
2.1	Lannoituksen jakaminen	3
2.1.1	Mitä on lannoituksen jakaminen.....	3
2.1.2	Mihin halutaan vaikuttaa	4
2.1.3	Lisälannoituksen tarpeen määrittäminen	4
2.1.4	Jaetun lannoituksen kannattavuus.....	5
2.1.5	Lannoituksen jakamisen muut hyödyt	5
2.2	KUVAUSKOPTERI	6
2.2.1	Kuvauskopterin määritelmä	6
2.2.2	Rakenne ja toiminta.....	7
2.2.3	Lainsäädäntö.....	7
2.3	Ilmakuvaus dronella peltoviljelyssä	9
2.4	RGB-kamera.....	10
2.5	NDVI- ja VARI-indeksi	10
2.5.1	NDVI-indeksi	10
2.5.2	VARI-indeksi.....	12
3	TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TUTKIMUSONGELMAT / -KYSYMYKSET	13
4	TIETOPERUSTA.....	14
4.1	Lehtivihreämittari.....	14
4.2	DroneDeploy	15
5	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	18
5.1	Aineiston kerääminen	18
5.2	Koealat.....	19
5.2.1	Koeala 1	19
5.2.2	Koealat 2 ja 3	23
5.3	Kerätty tutkimusaineisto	23
6	TUTKIMUKSEN TULOKSET JA ANALYSOINTI	25
6.1	Sääolosuhteet.....	25
6.2	Koealan 1 testit ja analyysit	26
6.2.1	Tutkittavat arvojoukot ja sarakkeet	26
6.2.2	SPAD-arvojen vastaavuus Lannoitustasoon	26
6.2.3	Plant Health 1.7. arvojen vastaavuus Plant Health 5.7. arvoihin	29
6.2.4	Plant Health-arvojen vastaavuus Lannoitustasoon	32
6.2.5	Plant Health-arvojen vastaavuus SPAD-arvoihin.....	35
6.3	Koealojen 2 ja 3 testit ja analyysit.....	36
6.3.1	Plant Health ja SPAD tunnusluvut koealoilta 2 ja 3	36
6.3.2	Plant Health-arvojen vastaavuus SPAD-arvoihin koealoilla 2 ja 3.....	37
6.4	Kolmen koealan tulosten vertailu	37

7	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ.....	39
7.1	Koealan 1 johtopäätökset	39
7.1.1	SPAD-arvon ja Lannoitustason vastaavuus	39
7.1.2	Plant Health	39
7.1.3	Plant Health-arvojen ja Lannoitustason vastaavuus	40
7.1.4	Plant Health-arvojen ja SPAD-arvojen vastaavuus.....	41
7.2	Koealojen 2 ja 3 johtopäätökset	42
7.3	Kaikkien koealojen tulosten vertailu toisiinsa.....	43
8	POHDINTA.....	44
8.1	Vastaukset tutkimusongelmiin.....	44
8.2	Mietteitä.....	45
	LÄHTEET	46

1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena oli tutkia ja selvittää, onko kuvauskohterin avulla mahdollista selvittää keväthehnäkasvuston lisälannoitustarvetta. Yleinen käytäntö on, että lisälannoitustarve määritetään mittaamalla kasvuston lehtivihreäpitoisuutta käsikäyttöisellä lehtivihreämittarilla. Se on kuitenkin aikaa vievää, eikä anna varmuudella kattavaa kokonaiskuvaa koko pellon kasvuston kunnosta. Jos kasvusto on lisälannoituksen tarpeessa, sillä voidaan nostaa satotasoa ja parantaa sadon laatua.

Nykyään on kehitteillä uusia teknologioita ja palveluita lisälannoitustarpeen määrittämiseen mutta ne ovat usein monelle maataloudenharjoittajalle liian kalliita käyttää, verrattuna saatuun kokonaishyötyyn. Tämä tutkimus tehtiin peruslaitteistolla, jonka hankkimiseen ei tarvinnut tehdä suuria investointeja.

Kuvauskohterin eli dronen käyttö kasvuston kuvaamisessa on nopeaa ja kattavaa. Tämän tutkimuksen keskeinen kysymys oli, että saadaanko dronen avulla kerättyä luotettavaa tietoa kasvuston kunnosta lisälannoituksen määrittämiseen. Apuna käytettiin erityistä Dronedeploy-ohjelmistoa, jossa kuvausmateriaalista voidaan muodostaa Plant Health-teemakartta. Tutkimuksessa vertailtiin teemakartan ja käsikäyttöisen lehtivihreämittarin mittaustuloksia ja pohdittiin niiden korrelaatiota.

2 TUTKIMUSASETELMA

Uudet teknologiat mullistavat yhteiskunnan usein vähiten ennakoiduilla alueilla. Digitalisaatio, massadata ja asioiden internet mahdollistavat hyvinkin perinteisten toimialojen muuttamisen. Vasta nyt ollaan heräämässä näiden teknologioiden mahdollisuuksiin uudistaa maataloutta ja ruoantuotantoa. (Ruuskanen, 2017)

Kasvinviljelyn raaka-aineet ovat kallistuneet ja viljan hinta on ollut monena vuonna niin alhainen, että viljan viljely on ollut tappiollista. Tämän vuoksi raaka-aineiden käyttöä on kehitettävä niin, että niitä ei käytetä liikaa eikä turhaan. Hyvän sadon saamiseksi, tavanomaisessa viljelyssä, lannoittaminen on yksi tärkeimmistä vaiheista. Optimaalisella lannoituksella saadaan hyvä sato, eikä liikalannoituksesta johtuvaa ympäristön räsitystä pääse tapahtumaan.

Viljan kasvuston, varsinkin kevätvehnän, lannoituksessa on yleistynyt menetelmä, jossa kasvukauden koko lannoitemäärää ei anneta kylvön yhteydessä vaan se jaetaan ja levitetään kasvustoon tietyissä kasvuvaiheissa. Jaetussa lannoituksessa on tärkeää tietää milloin ja mihin lannoitetta tarvitsee lisätä.

Dronen eli kauko-ohjattavan kuvauskopterin käyttö havainto ja mittausvälineenä on yleistynyt ja sitä hyödynnetään myös kasvinviljelyssä. Dronen avulla viljelijä saa yksityiskohtaisen ja monipuolisen kuvan pelloistaan ja miten niitä tulisi viljellä parhaan tuloksen saavuttamiseksi. (Azoulay, 2018)

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) on kasvillisuusindeksi, joka määritetään kaukokartoituksen, vaikka satelliittikuvauksen, avulla saatavan materiaalin perusteella (Wikipedia, 2019). Kasvillisuusindeksi ilmoittaa vihreän kasvillisuuden määrän kuvattavalla alueella.

Tavallisen kuvauskopterin kameran kuvasta voidaan määrittää VARI-indeksi esimerkiksi Dronedeploy-ohjelmiston avulla (Dronedeploy, 2019). VARI-indeksi (Visible Atmospherically Resistant Index) perustuu ainoastaan näkyvän valon hyödyntämiseen. Indeksillä vahvistetaan ihmismielen nähtävää informaatiota. Se ei varsinaisesti anna mitään uutta informaatiota kasvustosta. Indeksillä määritellään, että kuinka vihreä kuva on. (Gitelson, Kaufman, Stark & Rundquist, 2002)

Tällä tutkimuksella pyritään selvittämään voiko kuvauskopterilla ja VARI-indeksiä hyväksi käyttäen määrittää luotettavasti kasvuston lannoitustarvetta.

2.1 Lannoituksen jakaminen

2.1.1 Mitä on lannoituksen jakaminen

Lannoituksen jakaminen tarkoittaa sitä, että kasvulohkolle suunniteltu kokonaislannoitus jaetaan useampaan lannoituskertaan. Eli kylvön yhteydessä ei annetakaan kasville koko typpimäärää vaan tarpeen mukaan eri kasvuvaiheissa. Jakamalla lannoitus useampaan osaan voidaan varmistua siitä, että kasvukauden lannoitus on oikealla tasolla tulossa olevaan sato-tasoon nähden. Kertalannoitus keväällä ei tuota parasta taloudellista tulosta, eikä ravinteista saada täyttä hyötyä sadon tai ympäristön näkökulmasta. Kevätlannoituksessa pyritään rehevän ja tasapainoisen kasvuston aikaansaamiseen. Keväällä kylvön yhteydessä annetaan 2/3 typen ja rikin kokonaismäärästä ja kaikki fosfori ja kalium sekä tarvittavat hivenravinteet. (Yara, 2019; K-maatalous, 2015)

Jotta typpilannoituksen jakaminen onnistuisi, viljelijän on tehtävä useita päätöksiä jo viljelyä suunniteltaessa ja edelleen arvioitava ja päivitettävä suunnitelmaa kasvukauden aikana. Suunnittelussa pitää huomioida mitä lannoitetta käytetään ja miten paljon, kuinka monta lisälannoitusta mahdollisesti tehdään ja mitä lannoitetta lannoituksiin käytetään. Lisäksi on hyvä suunnitella mahdolliset lannoitusajankohdat. Mitä vähemmän tyypeä annetaan kasville kylvön yhteydessä, sitä enemmän on pelivaraa kasvukaudella. (Kaasinen, S., Rasa, K. & Heikkinen, J., 2010)

Jakamalla lannoitusta kasvukaudelle voidaan pienentää riskiä ja varmistaa, että viljelykasvin käytössä on tyypeä silloin, kun kasvi sitä eniten tarvitsee (YMPPI, nro 2/9, 2018). Kasvukauden lisälannoituksessa keskitytään pääasiassa typpeen. Kasvi ottaa typen joko ammonium- tai nitraattitypen muodossa. Näitä typen kasveille käyttökelpoisia muotoja kutsutaan liukoiseksi mineraalitypeksi. Liukoista mineraalityppeä on maaperässä vähän. Rikin ja hivenravinteiden riittävyys kasville täytyy myös varmistaa, mutta myös kaliumia voi olla tarpeen antaa. (Yara, 2019)

Ruiskuttamalla lisäfosforia oraalle voidaan kasvia auttaa selviytymään viileistä jaksoista. Lisälannoituksen oikea aika on tärkeää määrittää. Ajan kohta riippuu keväällä annetusta ravinnemäärästä ja siitä, mihin lannoituksella halutaan vaikuttaa. Ravinteiden riittävyyttä ja typen vapautumista maasta voidaan seurata esimerkiksi tekemällä muutamalle lohkolle lannoituksen minimi- ja maksimiruudut (Yara, 2019). Yleensä jaetussa lannoituksessa suositellaan tyypestä annettavaksi 2/3 osaa kylvön yhteydessä, mutta fosfori kokonaisuudessaan, koska se on tärkeä juuriston rakennusaine (YMPPI, nro 2/9, 2018).

2.1.2 Mihin halutaan vaikuttaa

Kasveissa typpilannoitus vaikuttaa erityisesti satomäärään sekä valkuaispitoisuuteen (Juntti 2003). Kasvit käyttävät maassa olevat ravinteet korsien ja lehtien muodostamiseen niin, että suuri kasvimassa tuottaa suuren siemensadon. Kun tähkä tulee esille, viljan ottama typpimäärä ennustaa hyvin tulossa olevaa satoa. Siemenet kasvavat kukinnan jälkeen ja riittävä typpimäärä kasvattaa jyvää. Lisälannoituksessa satotasoa voidaan nostaa pensomisvaiheesta tähkän esilletuloon asti. (Yara, 2019)

Jos sadon valkuaispitoisuutta halutaan nostaa, tulee osa tyypestä ja rikistä säästää jyvän täyttymisvaiheeseen. Lisätyypeä tulee lisälannoituksessa antaa yli 20 kg/ha, jotta valkuaispitoisuus nousee. Nestemäisellä typpilannoitteella voidaan vielä vaikuttaa valkuaisen nostoon viljan maitotuleentumisvaiheessa. (Yara, 2019)

2.1.3 Lisälannoituksen tarpeen määrittäminen

Jos muut kasvutekijät ja kasvusto näyttävät siltä, että lisätyypen antaminen hyödyttäisi kasvia ja sen myötä voidaan odottaa hyvää satoa, kannattaa lisätyypeä antaa. Niin sanotun lannoitusikkunan avulla voidaan arvioida, onko lisätyypelle tarvetta. Kasvulohkolle maaperän tasalaatuihin kohtiin perustetaan niin sanottu ylilannoitusruutu, jolle annetaan kylvön yhteydessä tyyppiä 30 - 50 kg/ha enemmän kuin normaalisti. Toinen vaihtoehto on perustaa alilannoitusruutu, jolle levitetään tyyppiä 30 kg/ha vähemmän kuin normaalisti. Tyyppiä on hyvä käyttää vähintään 20 kg/ha, jotta maaperän omien typpivarojen hyväksikäyttö alkaa samaan aikaan kuin ruudun ulkopuolella. (Mäntylähti, V., Jaakkola, A. & Kari, M., 2009)

Lannoitusikkunan toimintaperiaate on yksinkertaista, että ylilannoitettu ruutu ei kärsi tyyppipuutteesta. Ruutua ympäröivän lohkon kasvuston vaaleampi väri kertoo, että lehtivihreän määrä on vähempi. Näin ollen tehdään johtopäätös, että ympäröivän lohkon kasvusto alkaa kärsiä tyyppipuutteesta. Alilannoitettu ruutu puolestaan kertoo, että jos se alkaa erottua muusta kasvustosta vaaleampana, niin kasveille käyttökelpoiset maanomat typpivarat alkavat muutamien päivien kuluttua loppua myös muulta viljelykseltä. (Mäntylähti, V., Jaakkola, A. & Kari, M., 2009)

Tarkempi arvo lehtivihreän määrästä ja sitä kautta typpilannoituksen tarpeesta, saadaan lehtivihreämittaria käyttämällä. Sadontuottokyky riippuu hyvin paljon lehtien lehtivihreäpitoisuudesta, mikä kuvastaa kasvin typpipitoisuutta. Mitä tummemman vihreä kasvi on, sitä enemmän kasvissa on tyyppiä. Lehtivihreämittarilla voidaan mitata epäsuorasti viljakasvuston typpipitoisuutta 1-solmuasteelta tähkälle tuloon saakka. Lehtivihreäpitoisuuden mittaustuloksia verrataan taulukkoarvoihin, mutta jos käytössä on lannoitusikkuna, antaa omien vertailunäytteiden mittaus aina tarkemman tuloksen. (K-maatalous, 2015)

2.1.4 Jaetun lannoituksen kannattavuus

Jos kaikki typpi annetaan kylvön yhteydessä kerralla, niin täydennyslannoitusta ei voida tehdä enää myöhemmin, vaikka satonäkymät suurelle sadolle olisivat lisälannoituksen myötä hyvät. Jos kasvukauden alussa todetaan kasvuston ja satopotentialin olevan huono sääolosuhteista tai muista syistä johtuen, ei kasvulohkolle kannata enää uhrata lisää typpeä sateiden huuhdottavaksi. (Kaasinen, S., Rasa, K. & Heikkinen, J., 2010)

Tarpeenmukainen lannoitus parantaa kannattavuutta. Jos kasvua rajoittaa jokin muu tekijä kuin typpi, voidaan tämä kasvukaudenaikaisessa lannoituksessa säästää. Sääolot, pellon maalaji ja maan kasvukunto yleensä sekä esikasvi vaikuttavat typpilannoituksen hyötysuhteeseen. Typpi ei korjaa niitä ongelmia, jotka johtuvat muista kasvutekijöistä. Jakamalla lannoitus, samat ravinteet voidaan ostaa halvemmalla, vuoden 2018 hintojen mukaan (ks. Taulukko 1.). Pelkän typpilannoitteen hinta oli 50-150 € tonnilta halvempaa, kuin moniravinnelannokset. NPKS-lannosten hinta ei taas yleensä nouse niin nopeasti ravinnepitoisuuksien noustessa, joten ravinnerikkaalla lannoksella saadaan samat ravinnemäärät edullisemmin hehtaarille. (YMPPI, nro 2/9, 2018)

Taulukko 1. Lannoitekustannukset jakamattomassa ja jaetussa lannoituksessa (YMPPI, nro 2/9, 2018).

Fosforiluokka: tyydyttävä		Kasvi Kevätvehnä				Ei satotasokorjausta				02.11.2018		
Ympäristökorvauksen raja 110 kg N/ha + 16 kg P/ha						Hinnat Beloragro.fi tilauslomake						
		Pitoisuudet				Ravinteita/ha						
Jakamaton lannoitus		N	P	K	S	kg/ha	N	P	K	S	Hinta €/tn	Hinta €/ha
Kylvö	Belor Premium	27	1,3	3	1	385	104	5	10	4	317	122
	Premium Startti P	12	23	0	0	48	6	11	0	0	515	25
						Yhteensä	110	16	10	4		147
Jaettu lannoitus		N	P	K	S							
Kylvö	Belor Premium	26	5	5	2	266	69	13	13	5	361	96
	Premium Startti P	12	23	0	0	10	1	2	0	0	515	5
Kasvustoon	Belor Premium typpi	27	0	0	0	145	39	0	0	0	245	36
						Yhteensä	110	16	13	5		137
						Erotus	0	0	3,7	1,5		-11

2.1.5 Lannoituksen jakamisen muut hyödyt

Typpilannoituksen tarkentamisesta on hyötyä myös maatalouden vesien-suojelun kannalta. Hyvänä satovuotena typpilannoituksen oikea määrä ja optimaalinen ajoitus tuottavat hyvän ja laadukkaan sadon. Samalla sadon mukana pelloilta poistuu myös muita ravinteita. Runsaiden sateiden sattuessa juuri kylvön yhteydessä tehtävän typpilannoituksen jälkeen, on riskinä, että suuri määrä typpeä huuhtoutuu kasvien ulottumattomiin ja edelleen vesistöihin. (Kaasinen, S., Rasa, K. & Heikkinen, J., 2010)

Työmäärä, mitä typpilannoitukseen tehdään, voidaan nähdä myös osana laajempaa kokonaisuutta. Lannoituksen ajankohdan ja määrän selvittäminen vaatii kasvuston tarkkailua. Samassa yhteydessä voidaan samalla tavalla arvioida myös esimerkiksi kasvinsuojelutarvetta lohkoakohtaisesti. Toisaalta kasvuston seuranta sekä lisälannoitteen levittäminen lisää työmäärää ja jokainen uusi levityskerta lisää myös itse levittämisestä aiheutuvia kuluja. (Kaasinen, S., Rasa, K. & Heikkinen, J., 2010)

2.2 KUVAUSKOPTERI

2.2.1 Kuvauskohterin määritelmä

Kuvauskohterien yleistyessä, niille on muodostunut puhekielessä useita nimityksiä, kuten esimerkiksi drone ja multikopteri. Kotimaisten kielten keskus (2016) määrittelee kuvauskohterin seuraavasti: ”kuvauskohteri, ilmakuvia ottava pienikokoinen kauko-ohjattava multikopteri”. Wikipedia (2019) puolestaan kertoo multikopterin olevan pyöriväsiipinen ilma-alus, jossa on kaksi tai useampia roottoreita.

Dronesta puhuttaessa tarkoitetaan kaikkia miehittämättömiä laitteita maalla, merellä ja ilmassa. Se on lentämään tarkoitettu laite, jonka mukana ei ole ohjaajaa. Dronea käytetään harraste- tai urheilutarkoitukseen ja yhä useammin ammattikäyttöön (Turkula, 2017). Yleiskielessä dronet ja lennokit tarkoittavat samaa asiaa, mutta lakiteknisesti ne ovat eri asioita. Liikenne- ja viestintäviraston määritelmän mukaan lennokki, drone ja kauko-ohjattu ilma-alus tarkoittavat kaikki eri asioita. Drone on näiden yleiskäsite. Se pitää sisällään, sekä harrastajien että ammattilaisten laitteet. Lennokki tarkoittaa harrastuskäytössä olevaa laitetta ja kauko-ohjattu ilma-alus on ammattikäyttäjään viittaava termi. (Lehto, 2017)

Ammattitermeihin kuuluu myös RPAS. Se on lyhenne sanoista Remotely Piloted Aircraft System, joka puolestaan tarkoittaa kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmää. Siihen sisältyy: kauko-ohjattu ilma-alus, sen kauko-ohjauspaikat, tarvittavat ohjaus- ja seurantayhteydet ja muut erikseen määrätyt käytön edellyttämät järjestelmän osat. (Turkula, 2017)

Tammikuussa 2018 kielitoimisto järjesti äänestyksen siitä, mikä sana sopisi kuvaamaan esimerkiksi kuvaustehtävissä käytettävää pienoislentolaitetta. Äänestyksen voitti sana ”pionoiskopteri” mutta äänestystuloksesta huolimatta ”drone” lienee käytössä yleisin kuvaus pienoislentolaitteesta puhuttaessa. ”Drone” sijoittuikin toiseksi kyseisessä äänestyksessä. (Kielikello, 2018) Tässä tutkimuksessa kauko-ohjatusta ilma-aluksesta käytetään muun muassa ilmaisuja drone, kuvauskohteri ja multikopteri.

2.2.2 Rakenne ja toiminta

Tarkasteltaessa multikoptereiden rakenteellista näkökulmaa, ne ovat erittäin yksinkertaisia ilma-aluksia, sillä niissä käytetään lähes poikkeuksetta kiinteälapakulmaisia potkureita. Silloin ilma-aluksen ohjaus tapahtuu moottorien kierroslukuja muuttamalla. (Wikipedia, 2019) Dronen tärkeimmät osat ovat runko, propellit, kamera, gimbaali sekä akku (Kamerakopterit, 2017).

Rungon sisällä on gyroskoopit sekä anturit, jotka säätelevät kopterin kaltevuutta, nopeutta, pyörimistä sekä muuta liikkumista. Nämä myös mahdollistavat dronen leijumisen paikallaan. Usein rungon sisältä löytyy myös sensorit, mitkä auttavat sitä tunnistamaan ympäristöä siten, että se ei törmää ympärillä oleviin esteisiin kovinkaan helposti. (Kamerakopterit, 2017)

2.2.3 Lainsäädäntö

Liikenteen turvallisuusvirasto on määräyksillään rajoittanut kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättämistä yleisen turvallisuuden vuoksi. Droneinfo.fi-sivustolta löytyy ohjeita ja tietoa koskien dronen lennättämistä. Taulukossa kaksi on kerrottu Trafin määräyksiä lennättämisestä.

Taulukko 2. Ohjeita turvalliseen lennättämiseen, (Liikenne- ja viestintävirasto, 2018)

Muista nämä

• Droneen on oltava suora näköyhteys ja sen on oltava koko ajan ohjattavissa.
• Lähempänä kuin 1 km lentoasemasta lennättäminen ei ole sallittua ilman lennonjohdon lupaa.
• Kun etäisyys on yli 1 km mutta alle 3 km lentoaseman kiitotiestä niin voi lennättää esteiden tasalla. Esteen välittömässä läheisyydessä voi lennättää 15 m esteen yläpuolella esteen omistajan luvalla.
• Lennätyskorkeuden on oltava alle 150 m. Lentoaseman lähialueella (yli 3 km etäisyydellä kiitoteistä) lennätyskorkeus enintään 50 m, suurempi korkeus vain lennonjohdon luvalla. Esteen välittömässä läheisyydessä voi lennättää 15 m esteen yläpuolella esteen omistajan luvalla.
• Dronen lennättäminen ulkosalle kokoontuneen väkijoukon yläpuolella ei ole sallittua. Minimietäisyys väkijoukkoon tulee olla vähintään 50 metriä.
• Lennätykset eivät saa vaarantaa, haitata eikä estää pelastushelikopterin toimintaa.
• Pienten lentokenttien ja helikopteripaikkojen, esim. Nummela ja Meilahti, läheisyydessä lennättämisessä on oltava erityisen varovainen. Alle kilometrin etäisyydellä valvomattomasta lentokentästä saa lennättää vain lentokentän pitäjän antamalla luvalla tai lentokentän pitäjän julkaisemien paikallisten ohjeiden mukaisesti.
• Lennättäminen asutuskeskuksen yllä ei ole sallittua lentoonlähdomassaltaan yli 3 kg dronella. Lentoonlähdomassaltaan enintään 3 kg dronon lennättäminen asutuskeskuksen yllä on sallittua vain silloin, kun lennättäjä on tutustunut alueeseen, varmistunut laitteen teknisestä kunnosta ja arvioinut, että lennättäminen voidaan suorittaa turvallisesti.
• Lennokin suurin sallittu lentoonlähdomassa on 25 kg. Lentoonlähdomassaan ei lasketa lennokkiin kiinnitettävää pelastuslaitetta, esimerkiksi laskuvarjoa.
• Lennätykset eivät saa aiheuttaa vaaraa tai meluhaittaa ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen.
• Lennokin on aina väistettävä kaikkia ilma-aluksia.
• Dronesta on käytävä ilmi sen käyttäjän nimi ja yhteystiedot.
• Vastuuvakuutuksen ottaminen on erittäin suositeltavaa. Kotivakuutukset yleensä kattavat vain laitteen vauriot, jos niitäkään.

Myös seuraavat lait ja määräykset koskevat dronen lennättäjiä:

- Ilmailumääräys OPS M1-32, Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin käyttäminen ilmailuun
- Ilmailumääräys OPS M1-17, Radiovyöhykkeet
- Ilmailulaki (864/2014)
- ASM-toimintakäsikirja
- Valtioneuvoston asetus ilmailulta rajoitetuista alueista (Air Navigation Services Finland, 2019)

Miehittämättömän ilma-aluksen lennättäjä on aina velvollinen tarkkailemaan ilmatilaa, jossa lennokkia lennätetään sekä väistämään muuta ilmailiikennettä. Vaikka lennättäjällä olisi lennonvarmistusyksikön antama lennätyslupa, se ei poista väistamisvelvollisuutta lennättäjältä. On huomioitava myös, että samalla lennätysalueella voi toimia useita lennättäjiä. Lennonvarmistusyksiköllä ei kuitenkaan ole velvollisuutta tiedottaa lennättäjiä muista alueella toimivista droneista. Tällöin yhteentörmäysten välttämisen on lennättäjien omalla vastuulla. (Air Navigation Services Finland, 2019)

2.3 Ilmakuvaus dronella peltoviljelyssä

Täsmäviljelyn toteuttamisessa ilmakuvaus on tärkeä apuväline. Kasvukauden aikana voidaan ilmakuvausella hahmottaa pelloilla esiintyviä paikka-kohtaisia vaihteluja. Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa on ilmakuvausta ja täsmäviljelyä kehitetty yliopistojen, tutkimuslaitosten ja kaupallisten toimijoiden toimesta hyvin paljon. Uusia sovelluksia ja laitteita kehitellään koko ajan lisää ja niitä tulee markkinoille jatkuvasti. (Oesch, 2015)

Peltojen kasvustojen kuvaus dronella antaa maanviljelijöille paikkakohtaista tietoa peltolohkoista. Kuvauksella saadaan tietoa maaperän olosuhteista, kasvuston kunnosta, kasvitaudeista, ravinnepuutoksista, maan tiivistymisongelmista ja salaojien paikoista. Pellon yläpuolelta otetusta kuvasta havaitaan asioita, joita maanpinnalta viljelijä ei ole ennen huomannut. Dronen kuvien tarkkuus on senttiluokkaa, jatkotoimenpiteitä varten on helppo paikantaa epäkohdat. (VILKKU, 2017)

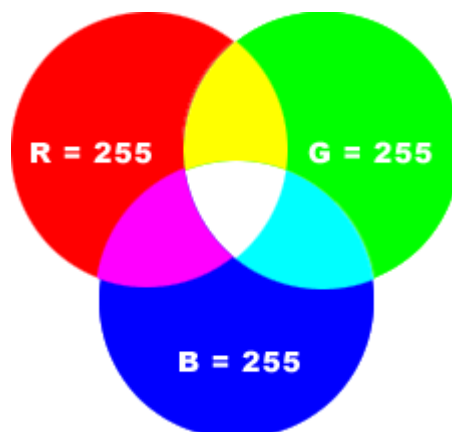
Lintuperspektiivistä otettuja kuvia voidaan tarkastella eri indeksien avulla, jolloin samasta kuvasta nähdään useita eri asioita ongelmakohtien löytämiseksi. Kuvasajankohta pitää määritellä sen mukaan, mitä kuvilla halutaan havainnoida. Dronea voidaan hyödyntää peltujen kosteusolosuhteiden, kuten vanhojen salaojien toimivuuden tarkkailuun. Liete- ja kuivalannoituksen suunnittelussa ja levitystasaisuuden seurannassa ilmakuvat ovat hyvä apuväline. Dronesta on myös hyötyä kylvöjen onnistumisen seurannassa ja edelleen kasvuston kehittymisen ja kasvinsuojelun tarpeen seurannassa. Muita havaintoja mitä dronella on mahdollisuus tehdä: hallatuhojen ja lakoontumisen laajuuksien havaitseminen, uusintakylvön

tarpeessa olevien alueiden määrittäminen sekä työjäljen tarkkuuden seuraaminen. (VILKKU, 2017)

2.4 RGB-kamera

RGB-lyhenne tulee englanninkielen sanoista red, green, ja blue. Ne ovat päävärejä, joilla muodostetaan väritila, jossa eri värejä muodostetaan sekoittamalla keskenään punaisen, vihreän ja sinisen väristä valoa. RGB-värimallin väritilaa käyttävät kaikki sellaiset laitteet, jotka lähettävät valoa. Niitä ovat muun muassa tietokoneet ja televisiovastaanottimet. Myös laitteet, jotka mittaavat valon väriä ja voimakkuutta käyttävät RGB-värimallia, kuten esimerkiksi skannerit ja digitaalikamerat. Niiden näyttölaitteiden pikselit muodostuvat punaisen, vihreän ja sinisen värisistä valonlähteistä. (Wikipedia, 2020; Haaga-helia, 2020)

RGB värijärjestelmä on additiivinen eli lisäävä valon järjestelmä. Se tarkoittaa, että mitä enemmän värejä on, sitä vaaleammaksi väri tulee. Jokaisella värillä (punainen, vihreä ja sininen) on 256 erilaista vahvuutta välillä 0-255.



Kuva 1. RGB-värimalli (Edu.fi, 2020)

RGB-värit toimivat silmään verrattuna käänteisesti. Ne heijastavat punaista, vihreää ja sinistä valoa. Jos painossa painetaan kaikki painovärit päällekkäin yhteen kohtaan, saadaan lopputulokseksi musta väri. RGB-värimaailmassa, jos esimerkiksi tietokoneen näytöllä, käytetään pääkanavien huippuarvoja päällekkäin, saadaan puhdas valkoinen. (Edu.fi, 2020)

2.5 NDVI- ja VARI-indeksi

2.5.1 NDVI-indeksi

Normalized Difference Vegetation Index eli normalisoitu kasvillisuusindeksi. NDVI-indeksiä käytetään hyödyksi maailmalla muun muassa kuivuuden seuraamiseen, maataloustuotannossa ennusteiden tekemiseen, pölyvyöhykkeiden kartoittamisessa ja autiomaakarttojen tekemiseen.

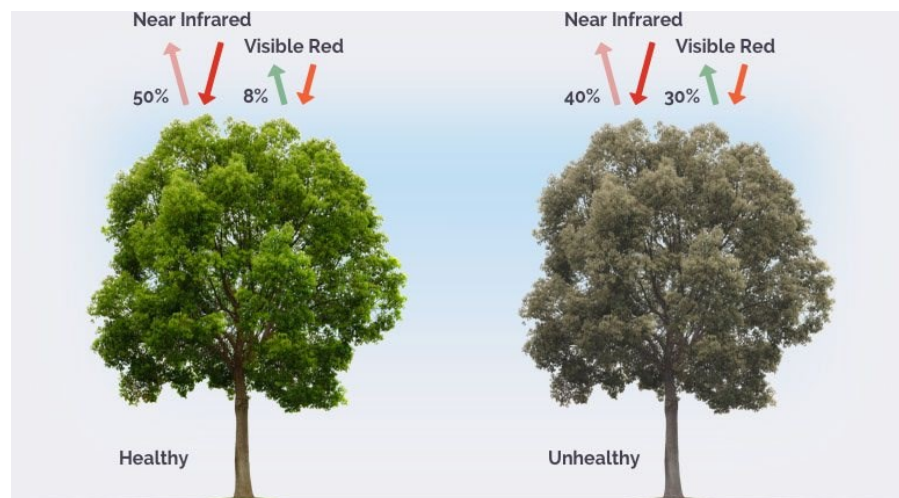
NDVI is calculated in accordance with the formula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR - reflection in the near-infrared spectrum
RED - reflection in the red range of the spectrum

Kuva 2. NDVI-indeksi lasketaan kuvassa olevan kaavan mukaisesti (Earth Observing System, 2020)

Kuvassa 2. NIR tarkoittaa lähi-infrapunavaloa ja RED puolestaan näkyvää valoa eli heijastusta spektrin punaisella alueella. Yksinkertaistettuna NDVI on mittaustapa, joka perustuu siihen, miten kasvi heijastaa valoa tietyillä aallonpituuksilla. Toiset aallonpituudet imeytyvät kasvin lehteen ja toiset heijastustuvat takaisin. (Earth Observing System, 2020)



Kuva 3. Valon imeytyminen ja heijastuminen terveestä ja huonokuntoisesta kasvista (Earth Observing System, 2020)

Klorofylli absorboi suuren osan auringosta heijastuvasta näkyvästä valosta fotosynteesiä varten (Kuva 3.) Lehtien solurakenne puolestaan heijastaa voimakkaasti lähi-infrapunavaloa takaisin. Kun kasvi alkaa jostain syystä olemaan huonokuntainen, se absorboi NIR-valoa enemmän sen sijaan, että heijastaisi sitä takaisin. (Earth Observing System, 2020)

2.5.2 VARI-indeksi

Visible Atmospherically Resistant Index eli lyhyemmin VARI on suunniteltu korostamaan kasvillisuutta spektrin näkyvässä osassa, lieventäen samalla valaistuseroja ja ilmakehän vaikutuksia. Se on ihanteellinen RGB- tai värikuvien analysoimisessa. (ArcGIS, 2020)

VARI-indeksi lasketaan seuraavan kaavan mukaan:

$$\text{VARI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue})$$

Yksinkertaistettuna VARI-indeksi määrittelee ainoastaan sen, että kuinka vihreä kuva on. (Gitelson, Kaufman, Stark & Rundquist, 2002)

Molempien sekä NDVI- sekä VARI-indeksin laskentakaavassa jokainen kaavan kohta saa arvon. Arvo +1 kuvaa suurta säteilyä ja arvo -1 ei säteile ollenkaan. Laskutoimituksen jälkeen arvon ollessa lähellä +1, kysymyksessä on tiheää ja vihreää kasvustoa ja vastaavasti lähellä -1, huonokuntoista ja harvaa kasvustoa. (Gitelson, Kaufman, Stark & Rundquist, 2002)

3 TUTKIMUKSEN TAVOITE JA TUTKIMUSONGELMAT / -KYSYMYKSET

Lehtivihreämittauksella on jo monien vuosien ajan määritetty viljakasvuston lannoitustarvetta. Mittauksen ongelmana on, että jos haluaa kattavan tuloksen koko pellostä, joutuu ottamaan useita näytteitä pellon joka osasta. Tällä tutkimuksella selvitetään voiko lannoitustarpeen määrittää tavallisella kuvauskopterilla RGB-kuvan (red, green and blue light) ja VARI (The Visible Atmospherically Resistant Index) logaritmin avulla kasvustosta nopeasti, kattavasti ja riittävän luotettavasti.

Keskeinen kysymys on, kuinka hyvin kasvuston kuvasta määritetty vihreys korreloi kasvin lehdeltä tehtyyn lehtivihreämittaukseen. Jos poikkeavuudet eivät ole suuria, voisi kuvauksen perusteella suunnitella kasvustoon tehtäviä lannoitustoimenpiteitä. Lisäksi menetelmä toisi mahdollisuuden lannoittaa lohkolta vain ne alueet, jotka kuvan perusteella tarvitsevat lisätyypeä. Näin ollen lannoitus olisi optimaalisempaa, eikä liikalannoitusta tapahtuisi. Samalla säästettäisiin lannoitekustannuksissa ja liikalannoituksesta johtuvaa lannoitteen huuhtoutumista vesistöihin ei pääsisi syntymään.

Kuvauskopterin käyttöön maataloudessa ja metsätaloudessa olevia tutkimuksia on tehty ja julkisesti saatavilla esimerkiksi internetistä. Kuvauskopterilla, RGB-kameralla, tehtävän analysoinnin tulosten korrelointia lehtivihreämittaukseen liittyviä tutkimuksia ei kuitenkaan löydy.

Jotta käsikäyttöisellä, kasvin lehdeltä mittaavalla mittarilla saisi pellostä kattavan tuloksen, olisi näytteitä otettava monesta eri kohdasta peltoa. Tällä tutkimuksella pyritään selvittämään voiko kuvauskopterilla saada luotettavaa tietoa kasvuston lehtivihreän määrästä koko pellon alalta.

Tutkimusongelmat:

1. Saadaanko kuvauskopterilla ja RGB-kameralla kerättyä sellaista aineistoa, josta voidaan määrittää lehtivihreäpitoisuutta pellon kasvustossa?
2. Onko kuvauskopterilla ja RGB-kameralla kerätyt tiedot luotettavia?
3. Voidaanko tuloksia hyödyntää pellolla olevan kasvuston lannoittamisessa?

4 TIETOPERUSTA

4.1 Lehtivihreämittari

Kasvien typpipitoisuus voidaan nopeasti määrittää lehtivihreämittarilla. Lehtivihreää mittaava laite korreloi kasvin yhteyttämiskykyyn, mutta ei suoraan kerro, mistä mahdollinen alhainen lehtivihreätaso johtuu. Usein syynä pidetään typen puutetta. (Tiihonen, 2018)

SPAD-lehtivihreämittari on 1980-luvulla kehitetty anturipohjainen mitausmenetelmä. Lehtivihreämittari lähettää punaista ja infrapunavaloa kasvin lehteen ja mittaa, kuinka suuri osa näistä absorboituu kasviin (van Maarschalkerweerd ja Husted, 2015). Ero aallonpituuksien absorptiossa kuvaa kasvin kykyä yhteyttää ja toisaalta kasvin lehtivihreäpitoisuutta, koska kasvi käyttää punaista (ja sinistä) valoa yhteytykseen, muttei infrapunaa. Koska erot infrapunasäteilyn ja punaisen välillä ovat voimakkaampia kuin erot kasvin vihreydessä, voidaan mittarilla tunnistaa puutosoireita huomattavasti aikaisemmin kuin vain aistinvaraisesti. Lehtivihreämittareita käytetäänkin yleisesti kasvin typpilannoituksen optimointiin (Akhter ym. 2016).

Lehtivihreämittari kertoo mitattaessa SPAD-luvun. SPAD luku on suhteellisen klorofyllipitoisuuden indeksi (Spectrum Technologies, Inc, 2020). Lisätypen tarve voidaan saada selville niin kutsuttujen typpi-ikkunoiden ja normaalisti lannoitetun kasvuston SPAD-lukemien avulla. Typpi-ikkunat ovat kylvön yhteydessä perustettuja ruutuja, joissa typpilannoitus on esimerkiksi 30–50 kg/ha yli lohkolle käytetyn tason. Vaihtoehtoisesti typpi-ikkunoiden puuttuessa voidaan lohkolta etsiä muuta kasvustoa selvästi rehevämpiä ja tummemman vihreitä kohtia, joista mitataan SPAD-arvot peruslannoituksen vertailuarvoksi (Kulmala, 2011).

SPAD-arvojen määrittämiseen kerätään kolmekymmentä lehteä ylimmistä täysin kehittyneistä lehdistä erikseen sekä normaalisti lannoitetusta kasvustosta, että lannoiteikkunoista. Tavoitteena on, että kasvuston SPAD-lukema on vähintään 95 % typpi-ikkunan väriarvosta. (Petla, n.d.)

Täydennystarve (kg N/ha) voidaan laskea kaavalla:

$$\frac{\text{Typpilannoitusten ero (kg/ha)}}{\text{SPADn} - \text{SPADk}} \times (0,95 \times \text{SPADn} - \text{SPADk})$$

jossa

SPADn = typpiruudulta mitattu SPAD

SPADk = kasvustosta mitattu SPAD

(Petla, n.d.)

Taulukko 3. Vehnän kehitysaste ja suositeltavat SPAD-mittarin arvot (Ag-rimarket 2010b).

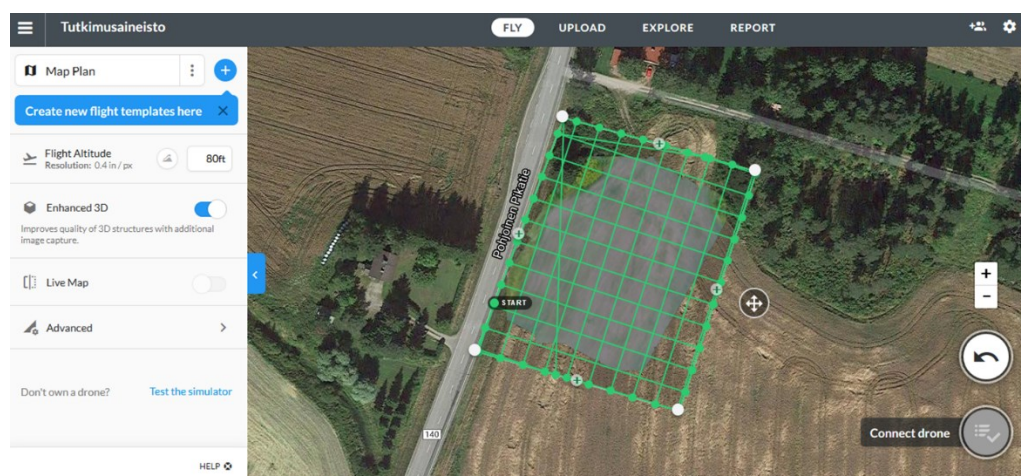
Viljalaji	Kehitysaste	SPAD
Kevätvehnä	Lippulehtiaste 37 - 41	38 - 42
	Tähkälletulo 51 - 57	38 - 41
Syysvehnä	Lippulehtiaste 37 - 41	39 - 42
	Tähkälletulo 51 - 57	40 - 44

Taulukossa 3. on esitetty sekä kevätvehnän että syysvehnän kehitysasteet ja niiden tavoitellut SPAD-arvot. Tämän tutkimuksen mittaukset tehtiin kevätvehnäkasvustoilta, jotka olivat kehitysvaiheessa lippulehtiaste.

4.2 DroneDeploy

Kuvauskohteria voidaan nykyään käyttää hyödyksi monella alalla, niin myös maataloudessa. Tässä tutkimuksessa kuvauskohteria käytettiin erityisen ohjelmiston, Dronedeployn, avulla. Ohjelmalla voi tehdä erilaisia karttoja tutkittavasta kohteesta tarpeen mukaan. Voidaan esimerkiksi kuvata kuvauskohterilla peltolohko ja tämän jälkeen muodostaa lohkoista erityinen teemakartta, josta voidaan tutkia muun muassa kasvuston kuntoa. (DroneDeploy, n.d.)

Tehdäkseen DroneDeploylla oman tutkittavan kartan, täytyy ensin suunnitella kuvauslento samalla ohjelmalla. Tämän jälkeen lennätetään kuvauskohteria ohjelmiston avulla. Kopterit lentää kuvauslennon suunnitelman mukaisesti ennalta määrättyjen asetusten, kuten kuvauskorkeus ja lento-reitti, mukaan. Kopterin kamera ottaa automaattisesti kuvauskohteesta riittävän määrän kuvia, jotta alueesta saadaan kuvattua kattava peitto. Lennon jälkeen kuvat tarkistetaan ja ladataan ohjelmistoon. Ohjelmisto prosessoi kuvista yhtenäisen ilmakuvakartan, jota voidaan tutkia. (DroneDeploy, n.d.)



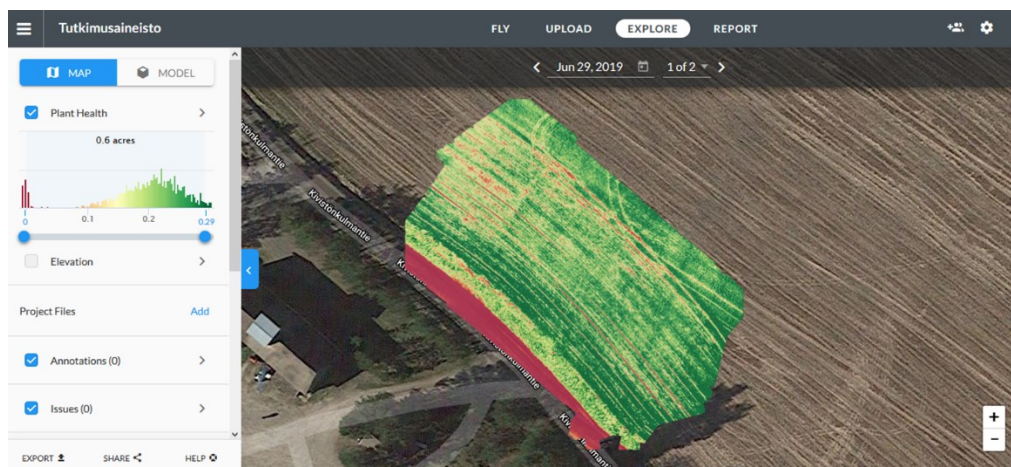
Kuva 4. Dronedeploy-ohjelmalla tehty lentosuunnitelma kuvauskohterille koealan kuvaamista varten (DroneDeploy, 2019)



Kuva 5. Lentosuunnitelman lento voidaan simuloida ennen varsinaista lentoa (DroneDeploy, 2019)

Kun ohjelma on prosessoinut kuvat yhtenäiseksi ilmakuvakartaksi, voidaan karttaa tutkia erilaisilla toiminnoilla. Tässä tutkimuksessa käytettiin Plant Health-toimintoa, joka kuvaa kasvuston kuntoa.

Plant Health- toiminto muuntaa tavallisen RGB-kuvan VARI-indeksiksi niin, että siitä voidaan tulkita kasvuston kunto samanlailla kuin NDVI-kuvasta. Plant Health algoritmi mahdollistaa maanviljelijöiden havaita kasvuston kunnon vaihtelun peltolohkolla. Mitä tummemman vihreältä kasvusto näyttää, sitä suurempi Plant Health-arvo on ja sitä terveempi kasvusto on. (DroneDeploy, n.d.)



Kuva 6. Dronedeploy-ohjelmistolla saatu Plant Health-kuva koealalta 2. (DroneDeploy, 2019)

Yllä olevassa kuvassa on Plant Health kuva yhdeltä tutkimuksen koealalta. Koealan vasemmassa reunassa näkyy punainen viivamainen alue, joka Kuvan 7. mukaan on kuollutta materiaalia. Kuvan 6. punaisessa kohdassa

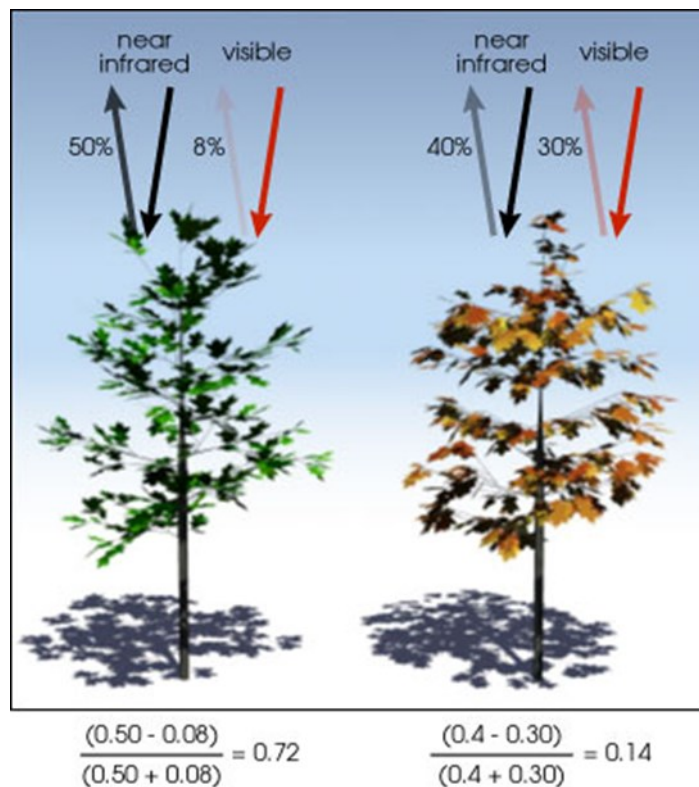
menee todellisuudessa hiekkapäälysteinen tie, joten siinä ei kasva mitään. Vihreät alueet Kuvassa 6. ovat puolestaan kevätvehnäkasvustoa.

Value	Indication
< 0	Inanimate / dead material, e.g. roads, buildings, soil or dead plants
0 -> 0.33	Unhealthy plant material
0.33 -> 0.66	Healthy plant material
-> 0.66	Very healthy plant material



Kuva 7. Muodostetussa kartassa DroneDeploy-ohjelma laskee VARI-indeksin avulla NDVI arvon joka pikselille. Arvo annetaan väliltä -1 ja 1. (DroneDeploy2, n.d.)

Kuvassa 8. on esitetty miten eri aallonpituudet heijastuvat terveestä ja huonokuntoisesta kasvista. Kuvan alla on myös laskentakaava, miten Plant Health-arvo lasketaan.



Kuva 8. Vasemmalla terve kasvusto ja oikealla huonossa kunnossa oleva kasvusto NDVI heijastusalgorithmien mukaan (DroneDeploy2, n.d.)

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

5.1 Aineiston kerääminen

Tutkimus oli määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus, koska tutkimusaineistoksi kerättiin numeerista, laskennallista mittaustietoa. Tutkimuksen aineiston keräämiseen käytettiin kuvauskohteria, DroneDeploy-ohjelmaa ja käsikäyttöistä lehtivihreämittaria.

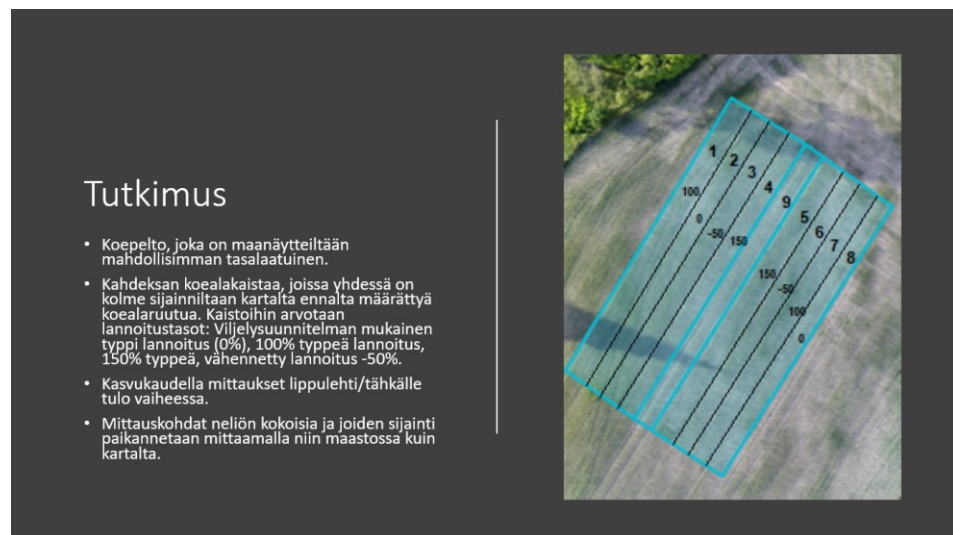
Tutkimukseen valittiin tarkoituksellisesti kasvulohko, jossa on mahdollisimman tasalaatuinen maaperä, jotta kasveilla olisi mahdollisimman samanlaiset kasvuolosuhteet. Jotta lehtivihreän määriin saataisiin vaihtelua, lohko jaettiin typpilannoitemääriä varten koealakaistoihin.



Kuva 9. Kylvön yhteydessä kaistoja lannoitettiin eri typpimäärillä.

Jokaisesta koealakaistasta otettiin kolme koealaruutua tutkittavaksi. Koealaruuduista määritettiin lehtivihreäarvot (SPAD-arvo) käsikäyttöisellä mittarilla kasvien lehdistä ja kuvauskohterilla tehtiin kaksi kuvauslentoa. Kuvauskohterin kuvaustiedot vietiin analysointiohjelmaan, jolla määritettiin vihreän määrä kuvassa. Samasta kasvulohkon kohdasta käsikäyttöisellä mittarilla otettuja mittausarvoja, verrattiin kuvauskohterilla otettuihin arvoihin samasta kasvulohkon kohdasta.

Koealaruutujen paikat määritettiin ennalta mittaamalla kartalta mittauslinjat. Linjojen avulla koealaruutujen paikat voitiin paikantaa tarkasti itse koealalta ilman fyysisiä merkintöjä pellolla. Fyysiset koealaruutumerkinnot olisivat voineet vaikuttaa Plant Health-toiminnon tuloksiin.



Kuva 10. Suunnitelma koealakaistoista (Lauri Eerola, 2019)

Aineisto kerättiin vuoden 2019 kasvukaudella Keski-Uudenmaan koulutus-kuntayhtymän, Saaren kartanon opetusmaatilan pellolle määritetystä koe-alasta. Opetusmaatila sijaitsee Mäntsälän kunnassa.

Lisäksi aineistoa kerättiin verrokkina noin 30 kilometrin päästä varsinaisesta koealasta maatilayhtymä Mäki-Hemmilän pellolta kahdelta koe-alalta. Verrokkikoealat lannoitettiin kokonaisuudessaan viljelysuunnitelman mukaisesti.

5.2 Koealat

5.2.1 Koeala 1

Koeala 1 oli kooltaan 27 metriä leveä ja 50 metriä pitkä eli 13,5 aaria. Koealalle tehtiin kahdeksan kolmen metrin levyistä kaistaa Väderstad Rapid 300 kylvölannoittimella. Yhdeksäs, keskelle jäävä kaista, ei ollut mukana koealassa vaan siihen tehtiin ruiskutusurat mahdollisia kasvinsuojelutoimia varten.



Kuva 11. Koeala 1 kaistat numeroituna. Jokaiselle kaistalle arvottiin lannoitustaso.

Koealalle perustettavien kaistojen tarkoituksena oli saada vaihtelua koealan kasvuston lehtivihreän määrään eri kaistoilla. Kaistojen lannoitustasot arvottiin, jonka tuloksena kaistoihin laitettiin kylvön yhteydessä joko 150%, 100%, -50% tai 0% typpeä siitä määrästä mitä viljelysuunnitelmaan oli suunniteltu. Lannoitustasot jakoutuivat arvonnassa seuraavasti:

Kaista 1. 100%

Kaista 2. 0%

Kaista 3. -50%

Kaista 4. 150%

Kaista 5. 150%

Kaista 6. -50%

Kaista 7. 100%

Kaista 8. 0%

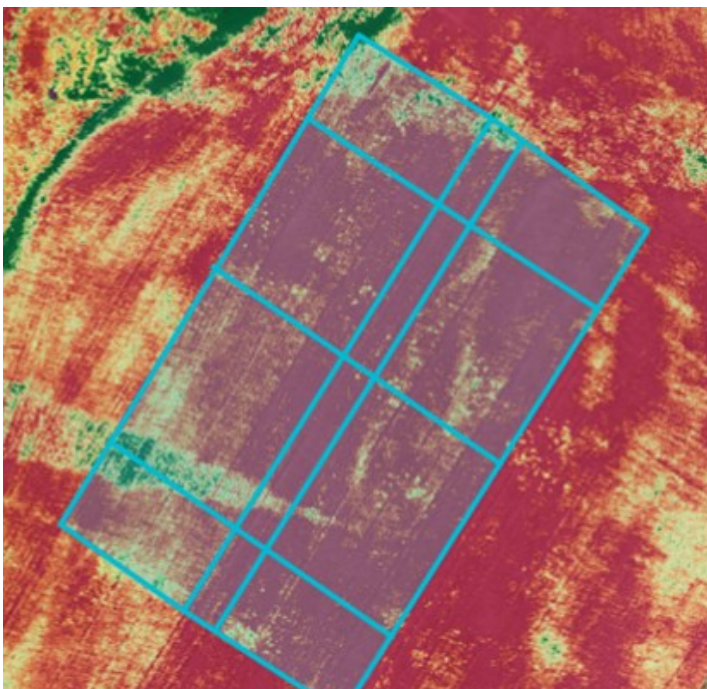
Kaistojen väliin jätettiin kylvön yhteydessä noin 30 senttimetrin kylvämätön kaista, jotta lannoitetasokaistat erottuivat toisistaan. Koko koealan rajat merkittiin aurasviitoilla.



Kuva 12. Koealan rajat merkittiin aurasviitoilla. Dronella otetusta ilmakuvasta viitta erottuu, kun kuvaa suurentaa riittävästi.

Dronella tehtiin kaksi eri mittauskuvausta, 1.7 ja 5.7.2019. Ensimmäisen kuvauksen aikaan sää oli puolipilvinen ja toisen kuvauksen aikaan pilvinen. Molemmat kuvaukset tehtiin kello 15.00 aikaan.

Ilmakuvaus dronella toteutettiin Dronedeploy-ohjelman avulla. Ohjelmaan pystyi laatimaan lentosuunnitelman, jolloin kuvattavan kohteen, tässä tapauksessa koealan, kuvauspeitto oli hyvin kattava. Yhdestä koealasta otettiin keskimäärin 70 kuvaa yhdellä kuvauslennolla. Lentosuunnitelman mukaisen kuvauksen kuvamateriaalit yhdistettiin Dronedeploy-ohjelmistolla, jolloin saatiin muodostettua tutkimuksen koealojen tutkittavat ilmakuvat ja teemakartat.



Kuva 13. Dronella kuvattu Plant Health-teemakartta, jossa näkyvät myös määritetyt mittauslinjat.

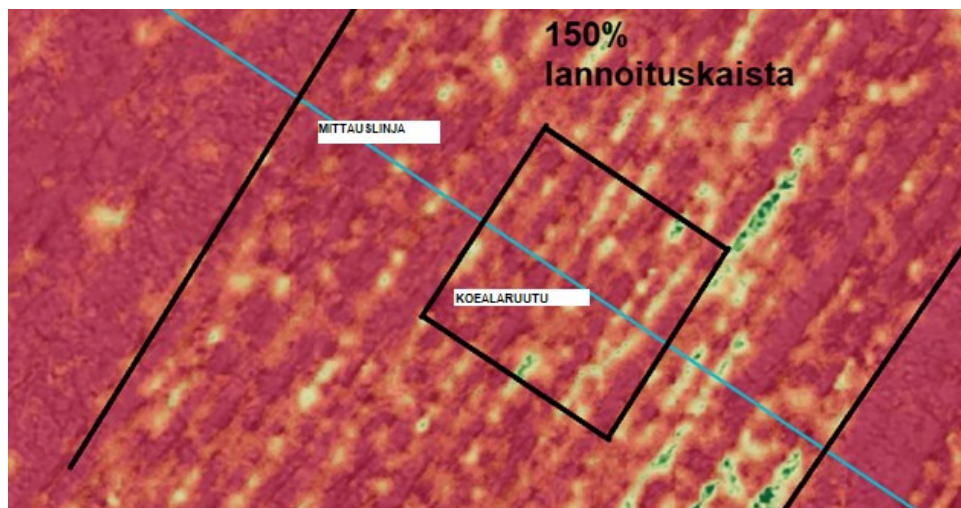
Välittömästi dronekuvausten jälkeen, lehtivihreämittarilla mitattiin koealaruudut käsin 1.7.2019. Koealaruutujen paikka määritettiin mittaamalla sen sijainti koealalta mittaussuorien avulla (ks. Kuva 13.). Näin pystyttiin löytämään koealaruudun sijainti myös dronen ottamasta ilmakuvasta. Tällä menetelmällä välttyttiin laittamasta fyysisiä koealaruutujen sijaintimerkkejä kasvustoon. Kasvustoon laitettut merkit olisivat voineet vääristää dronen ottamaa ilmakuvaa ja varsinkin kuvasta määritettyä Plant Health-tulkintaa.



Kuva 14. Koealaruuduilta kasvien lehdistä mitattiin lehtivihreäpitoisuuden SPAD-arvo Minoltan valmistamalla lehtivihreämittarilla.

Lehtivihreämittarilla mittaus tapahtui kuvan 14. mukaisesti laittamalla kasvin lehti mittarin "pihtien" väliin. Mittari mittasi lehdestä lehtivihreäpitoisuuden ja antoi SPAD-lukeman digitaalinäytölle.

Jokaiselta kahdeksalta lannoitekaistalta mitattiin kolmesta eri koealaruudusta lehtivihreän keskiarvo mittaussuorien mukaan. Koealaruutujen määrä koko koealalla 1 oli siis 24 kappaletta.



Kuva 15. Havainnekuva koealaruudusta koealalla 1 Mittauslinjan avulla koealaruutujen paikat mitattiin niin ruudulla kuin pellollakin.

Yhden neliön kokoiselta koealaruudulta otettiin eri kasveista 30 mittausta, jonka jälkeen mittari näytti ruudun tulosten keskiarvon. Tämä koealaruudun mittausten keskiarvo merkattiin ylös tulosten analysointia varten. Näin ollen koealalta 1 tehtiin yhteensä 720 eri kasvista lehtivihreämittaus.

5.2.2 Koealat 2 ja 3

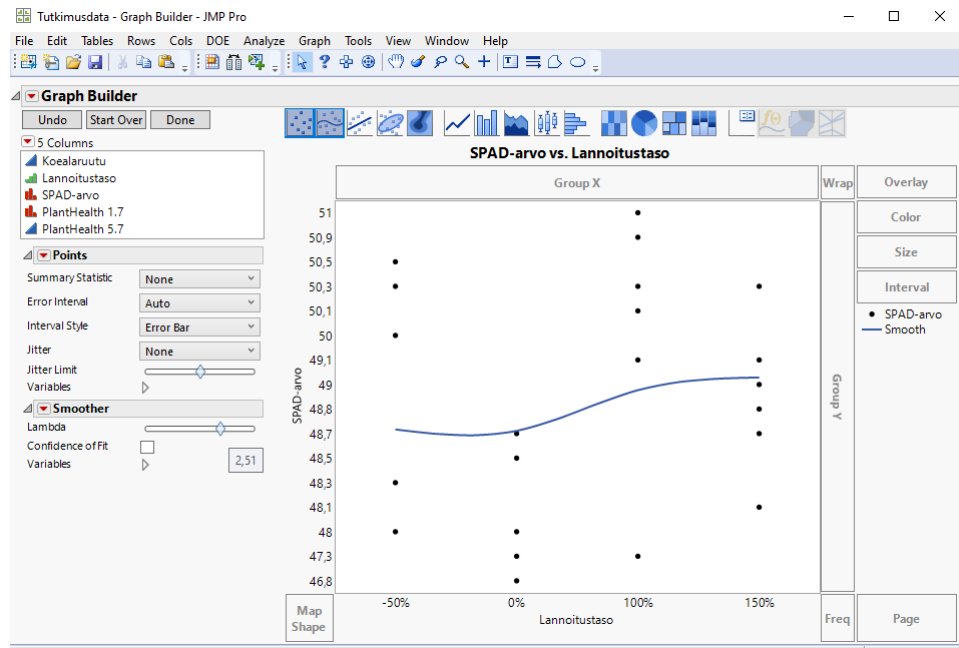
Vertauskoealojen 2 ja 3 sijainnit määritettiin mahdollisimman tasalaatuisten kasvuolosuhteiden mukaan Mty Mäki-Hemmilän peltolohkolta Mäki-Hemmilä V. Etäisyyttä näillä kahdella koealalla oli toisiinsa nähden noin 200 metriä. Koealat olivat kooltaan saman kokoisia, kuin koeala 1 eli noin 13,5 aaria.

Molemmat vertauskoealat kuvattiin dronella 29.6.2019 klo 11.30-11.45. Sää kuvaushetkellä oli puolipilvinen. Välittömästi kuvauksen jälkeen tehtiin lehtivihreämittaus lehtien pinnasta mittarilla.

Koealoilla 2 ja 3 ei ollut eri lannoitekaistoja vaan koealat oli lannoitettu viljelysuunnitelman mukaisesti. Tästä syystä molemmilta koealoilta otettiin viidestä eri koealaruudusta lehtivihreämittaus. Ruutujen paikat määritettiin kartalta ennakkoon ja paikannettiin koealalla mittaamalla.

5.3 Kerätty tutkimusaineisto

Koealaloilta kerätty aineisto kirjattiin taulukkolaskentaohjelmaan, josta ne vietiin edelleen JMP-ohjelmistoon. Se on JMP:n kehittämä tietokoneohjelma tilastollista analyysiä varten (JMP, 2020).



Kuva 16. Esimerkinäkymä JMP-tilastoanalyysiohjelmasta, jonka avulla aineisto käsiteltiin. Kuvassa on osoitettu, miten lannoitekaistojen SPAD-arvojen mittaustulokset sijoittuvat lannoitekaistan sisällä.

JMP-ohjelman avulla tutkimusdataa analysoitiin erilaisten kuvaajien avulla ja vertaamalla tuloksia keskenään. Koealariudut numeroitiin omaksi sarakkeekseen. Niitä oli kaikilta koealoilta yhteensä 34 kappaletta. Lannoitustasot muodostivat oman sarakkeensa mutta koealojen 1 ja 2 lannoitustaso oli 0%, koska ne viljeltiin viljelysuunnitelman mukaisesti. Lehtivihreämittarilla tehdyistä mittauksista saadut SPAD-arvot kerättiin omaan sarakkeeseensa. Lisäksi eri päivinä tehdyt drone-kuvauksien Plant Health-arvot laitettiin omiin sarakkeisiinsa.

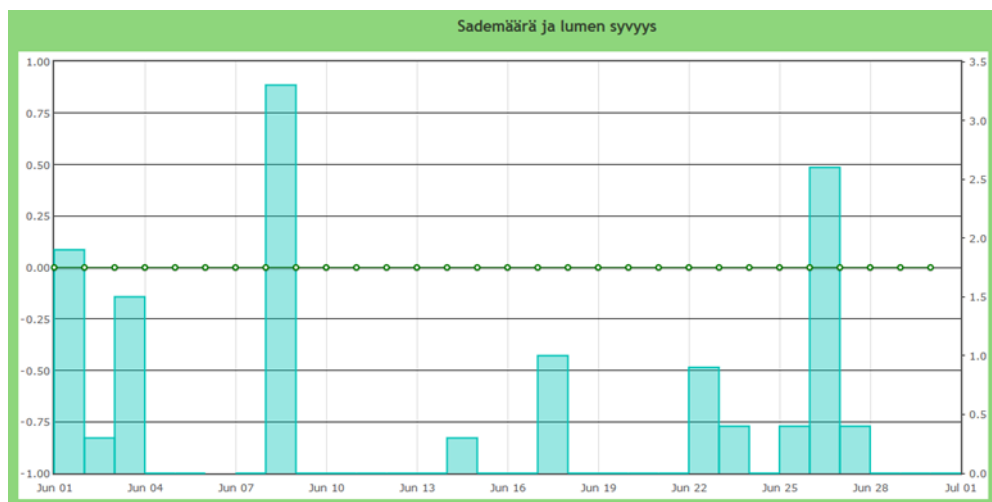
6 TUTKIMUKSEN TULOKSET JA ANALYSOINTI

Tutkimusaineisto pyrittiin keräämään niin, että niistä saadut tulokset olisivat mahdollisimman luotettavia. Muuttuja, jota ei tässä tutkimuksessa voinut stabiloida, oli sää. Lämpö- ja kosteusolot ovat merkittäviä muuttujia viljakasvuston kasvun kannalta.

Vuoden 2019 kevään ja kesän kuivat kasvuolot vaikuttivat selkeästi kasvuston tiheyteen. Kasvusto kärsi kuivuudesta ja oli stressaantunut. Koealan 1 kasvustosta pystyi silmämääräisesti havaitsemaan, että se oli normaalia harvempi. Koealojen 2 ja 3 kasvustot puolestaan näyttivät selvästi tiheimmiltä kuin koealan 1. Myös kovat tuulet aiheuttivat hankaluuksia sopivien kuvauslento-olosuhteiden löytämiseksi. Näin ollen tutkimuksen olosuhteet eivät olleet ihanteelliset vaan jopa haastavat. Tuloksia verrattiin ja analysoitiin erilaisilla testeillä JMP tilastointiohjelmistolla.

6.1 Sääolosuhteet

Vuosi 2019 oli maailmanlaajuisesti mittaushistorian toiseksi lämpimin. Se oli noin 0,9 celsiusastetta jakson 1981-2010 keskiarvoa lämpimämpi. Lisäksi Etelä-Suomessa oli selvästi tavanomaista lämpimämpää. Helmikuussa, huhtikuussa ja kesäkuussa keskilämpötila oli koko maan tasolla tarkasteltuna selvästi korkeampi, kuin normaalisti. (Lehtonen, 2020)



Kuva 17. Sademäärä vuoden 2019 kesäkuussa Mäntsälän Hirvihaarassa (Sääarkisto, 2020)

Vuoden 2019 kesä oli tavallista kuivempi ja myös huhtikuu oli erittäin kuiva. Kesäkuun aikana maan eteläosassa satoi alle puolet normaalista, mutta paikalliset erot sademäärissä olivat suuria. Kuvasta 17. voimme todeta, että Mäntsälässä, jossa koealat sijaitsivat, satoi kesäkuun aikana vain 13 mm. Heinäkuun alku puolestaan oli hyvin kolea ja loppu helteinen.

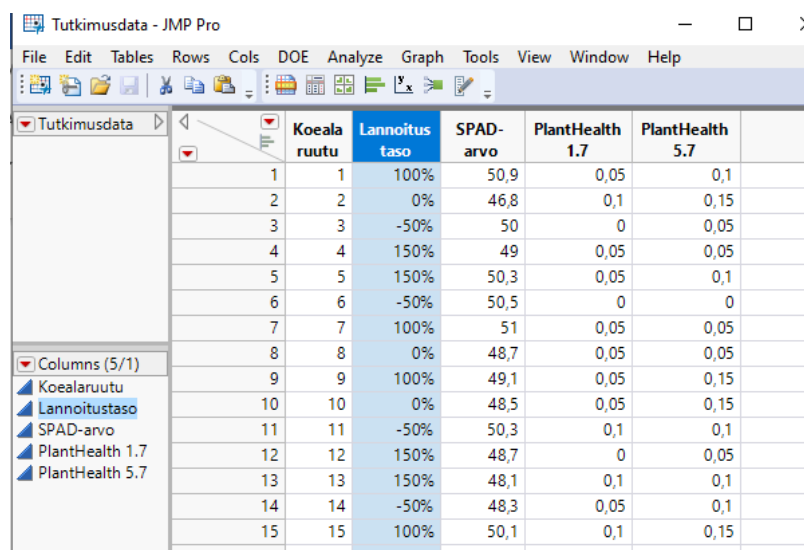
Heinäkuu oli myös suurimmassa osassa Suomea erittäin kuiva. (Lehtonen, 2020) Paikalliset vaihtelut sademäärissä olivat myös suuria. Mäntsälässä rankkoja kuuroja satoi hyvinkin paikallisesti, kun taas toisille alueilla ei kuuroja osunut laisinkaan.

6.2 Koealan 1 testit ja analyysit

Koealan 1 tutkimustuloksia analysoitiin eri muuttujien suhdetta tarkastelemalla, korrelaatiolla ja keskiarvojen vertailulla. Sekä SPAD-arvoja että Plant Health-arvoja verrattiin Lannoitustasoihin. Näitä arvojoukkoja verrattiin myös toisiinsa.

6.2.1 Tutkittavat arvojoukot ja sarakkeet

JMP-tilastointiohjelmaan luotiin tutkimusdatasta taulukko. Alla olevasta kuvassa näkyy, miten data jaoteltiin omiin sarakkeisiinsa, jotta arvojoukkojen vertailua voitiin suorittaa.



	Koeala ruutu	Lannoitus taso	SPAD-arvo	PlantHealth 1.7	PlantHealth 5.7
1	1	100%	50,9	0,05	0,1
2	2	0%	46,8	0,1	0,15
3	3	-50%	50	0	0,05
4	4	150%	49	0,05	0,05
5	5	150%	50,3	0,05	0,1
6	6	-50%	50,5	0	0
7	7	100%	51	0,05	0,05
8	8	0%	48,7	0,05	0,05
9	9	100%	49,1	0,05	0,15
10	10	0%	48,5	0,05	0,15
11	11	-50%	50,3	0,1	0,1
12	12	150%	48,7	0	0,05
13	13	150%	48,1	0,1	0,1
14	14	-50%	48,3	0,05	0,1
15	15	100%	50,1	0,1	0,15

Kuva 18. Koealan 1 tutkimusdata viety JMP-tilastointiohjelmaan.

Koealaruuduista tehtiin oma sarakkeensa, jotta mittaustuloksia voitiin tarkastella ruutukohtaisesti vertailussa. Lannoitustasot ovat omassa sarakkeessaan kuten myös SPAD-arvot. Kahden eri kuvauslennon mukaiset Dronedeploy-ohjelmalla määritetyt Plant Health-arvot laitettiin omiin sarakkeisiinsa.

6.2.2 SPAD-arvojen vastaavuus Lannoitustasoon

SPAD-arvojen tunnusluvut on esitetty kuvassa 19. Maksimi arvo on 51, mediaani 48,75 ja minimi 46,8. Keskiarvo arvojoukolle on noin 48,99 ja keskihajonta noin 1,19.

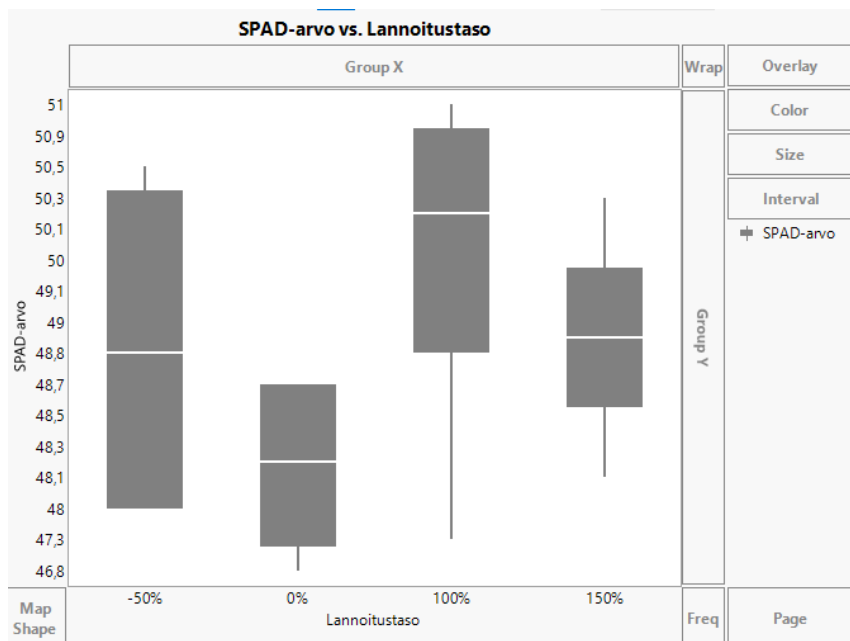
Quantiles		
100.0%	maximum	51
99.5%		51
97.5%		51
90.0%		50,7
75.0%	quartile	50,25
50.0%	median	48,75
25.0%	quartile	48,025
10.0%		47,3
2.5%		46,8
0.5%		46,8
0.0%	minimum	46,8

Summary Statistics	
Mean	48,991667
Std Dev	1,1912422
Std Err Mean	0,2431613
Upper 95% Mean	49,494684
Lower 95% Mean	48,488649
N	24

Kuva 19. SPAD-arvojen tunnuslukuja koealalta 1.

Kuvassa 16. on koealan 1 koealaruutujen lehtivihreämittaustuloksia tarkasteltu suhteessa lannoitustasoihin. X-akselilla on koealan eri kaistojen lannoitustasot ja y-akselilla lehtivihreämittauksen SPAD-arvot.

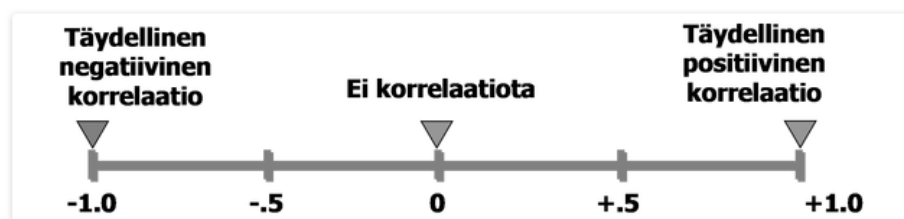
Kun oletetaan, että jos suurempi typpimäärä lannoituksessa tarkoittaa myös korkeampaa SPAD-arvoa lehtivihreämittauksessa, kuvaaja antaa viitteitä, että näin voisi olla. Pelkästä kuvaajasta arvioiminen on kuitenkin epätarkkaa, joten asia tarvitsee tarkempaa tarkastelua.



Kuva 20. Koealan 1 SPAD-arvojen vastaavuus Lannoitustasoihin. Boxplot kaaviosta voidaan havaita, kuinka hajonta on aika suurta lannoitekaistan sisällä.

Yllä oleva kuva osoittaa SPAD-arvojen hajonnan lannoituskaistojen sisällä. Hajonta on aika suurta, varsinkin -50% kaistalla ja 100% kaistalla.

Kuvassa 22. on tutkittu edellä mainittujen muuttujien korrelaatiota. Korrelaatiolla voidaan arvioida kahden muuttujan riippuvuutta (Tilastokeskus, 2020). Korrelaatiokerroin on puolestaan tunnusluku, joka kertoo suoraviivaisen riippuvuuden voimakkuuden (Taanila, 2020).

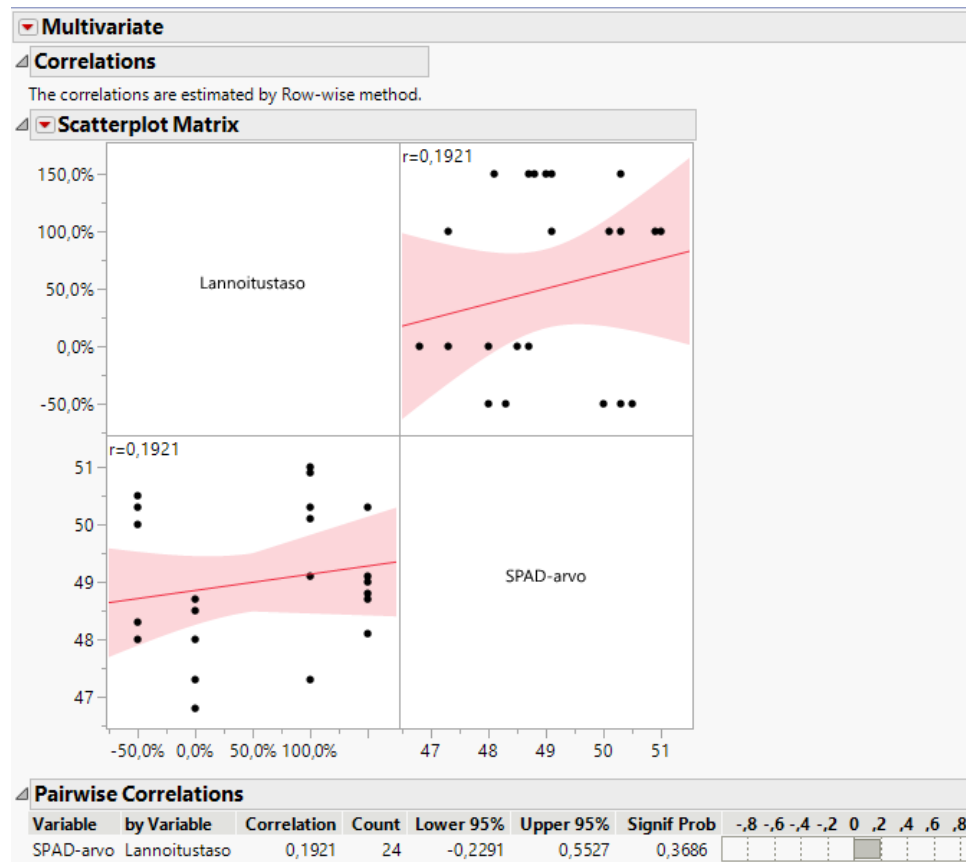


Kuva 21. Korrelaatiokerroin

Korrelaatiokertoimen arvo sijoittuu välille -1 ja +1. Jos kerroin on lähellä nollaa, ei muuttujilla ole suoraviivaista riippuvuutta toisiinsa. Lähellä +1 olevat kertoimet puolestaan viittaavat positiiviseen riippuvuuteen. Lähellä -1 olevat kertoimet viittaavat negatiiviseen riippuvuuteen. (Taanila, 2020)

Kuvasta 22. voimme todeta, että muuttujien hajontakaavion havaintopisteet ovat melko satunnaisesti levittäytyneet. Kuitenkin pisteiden perusteella piirretty kuvaaja on positiivisesti nousujohteinen. Korrelaatiokerroin muuttujilla on 0,1921. Eli kerroin on lähempänä nollaa kuin +1 tai -1, joten

lannoitustasolla ja lehtivihreämittarin SPAD-arvolla ei ole voimakasta korrelaatiota.



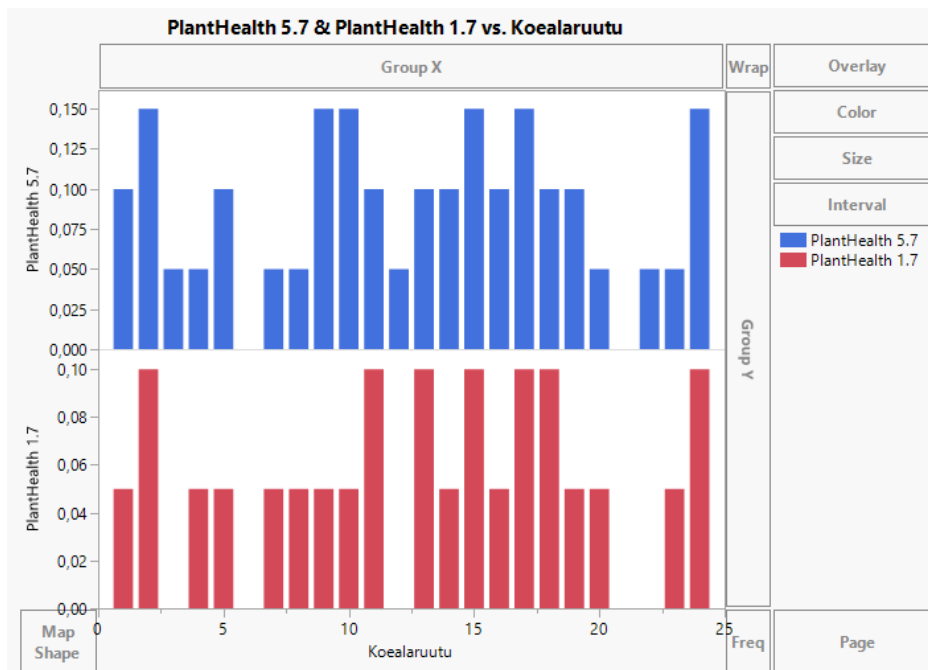
Kuva 22. SPAD-arvon ja lannoitustason korrelaatio ja Signif Prob eli p-arvo.

Lisäksi voimme todeta kuvasta 22, että korrelaatiokertoimen merkitsevyyden testaamiseksi on laskettu p-arvo. Kuvassa 22 se on 0,3686. Taanila selittää p-arvon seuraavasti: ”Korrelaatiokertoimen merkitsevyyden testaamiseksi lasketaan niin kutsuttu p-arvo, joka vastaa seuraavaan kysymykseen: kuinka todennäköistä on saada havaitun suuruinen tai vielä kauempana nolasta oleva korrelaatiokertoimen arvo ilman että korrelaatiota on perusjoukossa? Mitä pienempi p-arvo on sitä enemmän korrelaation yleistäminen perusjoukkoon saa tukea.” Tilastotieteessä on vakiintunut, että alle 0,05 (5 %) suuruista p-arvoa pidetään riittävänä näyttönä perusjoukossa esiintyvän korrelaation puolesta. (Taanila, 2020) SPAD-arvon ja lannoitustason korrelaatiokertoimen merkitsevyys on p-arvon mukaan erittäin pieni. Sattuman osuus sille, että syntyy ylipäättään nousujohteinen suora, on erittäin suuri. Hajontaa on niin paljon, että jo muutaman pisteen poistaminen aineistosta vaikuttaa korrelaatiokertoimeen merkittävästi.

6.2.3 Plant Health 1.7. arvojen vastaavuus Plant Health 5.7. arvoihin

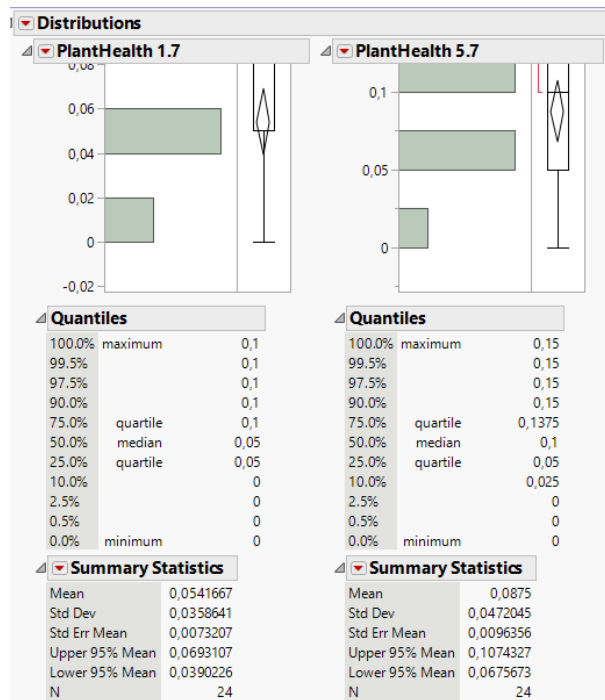
Koealalta 1 otettiin dronekuvauksella kaksi eri mittausta. Seuraavassa verrataan kahden eri Plant Health-arvojoukon suhdetta. Oletuksena oli, että

vaikka mittaukset oli tehty eri päivinä ja eri sääoloissa, arvot olisivat lähellä toisiaan. Mittauspäivien välissä ei tehty lannoituksia eikä ollut sadetta, joten suuria muutoksia arvoissa ei pitäisi olla. Kasvusto on 5.7. tuloksissa muutaman päivän vanhempi kuin 1.7. Siitä syystä arvoissa pitäisi olla vähäisiä muutoksia.



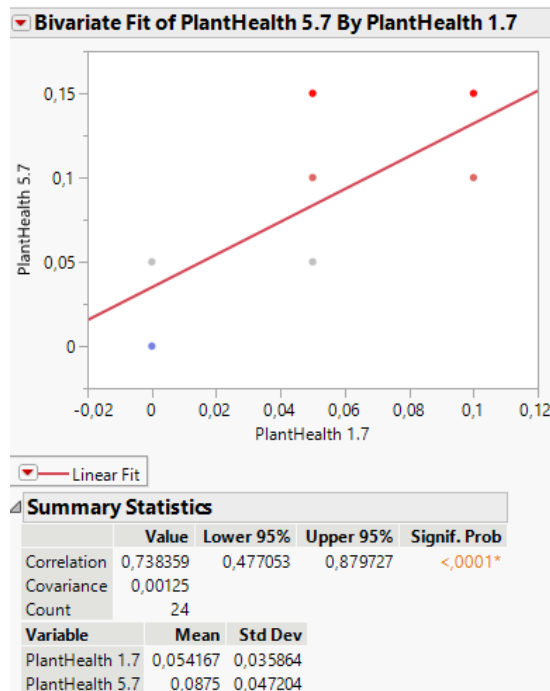
Kuva 23. Molempien kuvauspäivien Plant Health-arvot koealaruuduittain koealalta 1.

Yllä olevassa kuvassa on esitetty Plant Health-arvot koealaruuduittain. Diagrammista voidaan todeta, että arvot jakaantuvat molempina päivinä suhteellisen samalla tavalla. 5.7. mitatut arvot ovat kaiken kaikkiaan hieman korkeampia.



Kuva 24. Plant Health-arvojen tunnuslukuja Koealalta 1 molemmilta kuvauskerroilta.

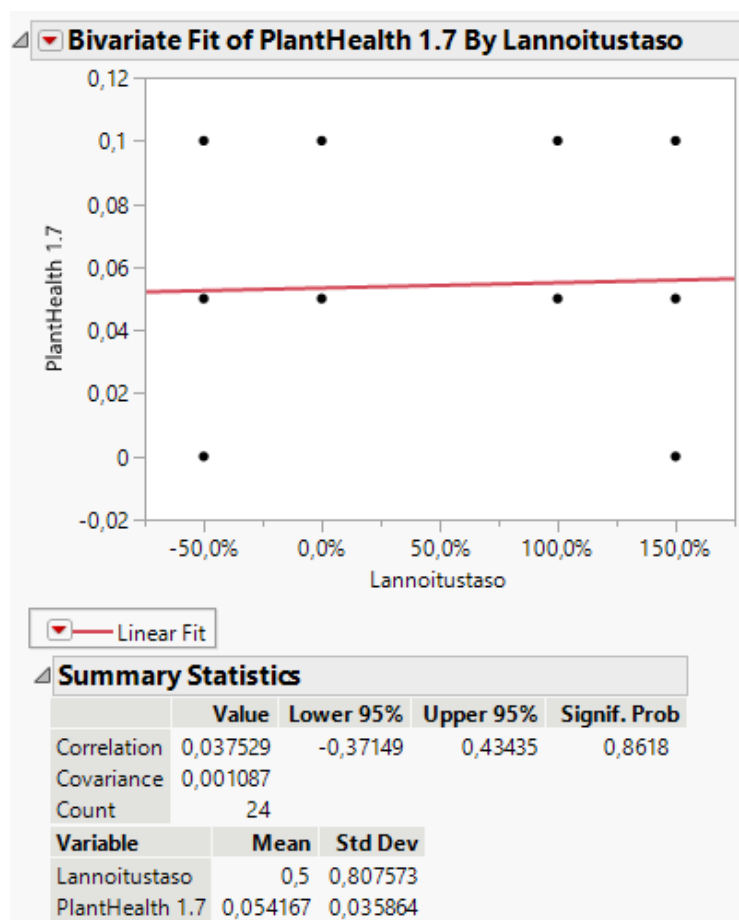
Kuvassa 24. puolestaan on Plant Health-arvojen tunnuslukuja. Heinäkuun ensimmäinen päivä maksimiarvo 0,1, kun viides päivä se on 0,15. Mediaani on ensimmäisenä päivänä 0,05 ja viidentenä päivänä 0,1. Keskiarvo on ensimmäisessä mittauksessa 0,0541667 ja toisessa 0,0875 eli hieman korkeampi. Keskihajonta mittauksilla oli $\approx 0,0359$ ja $\approx 0,0472$.



Kuva 25. Plant Health 1.7. by 5.7. kuvaaja kertoo positiivisesta korrelaatiosta arvojoukkojen suhteessa.

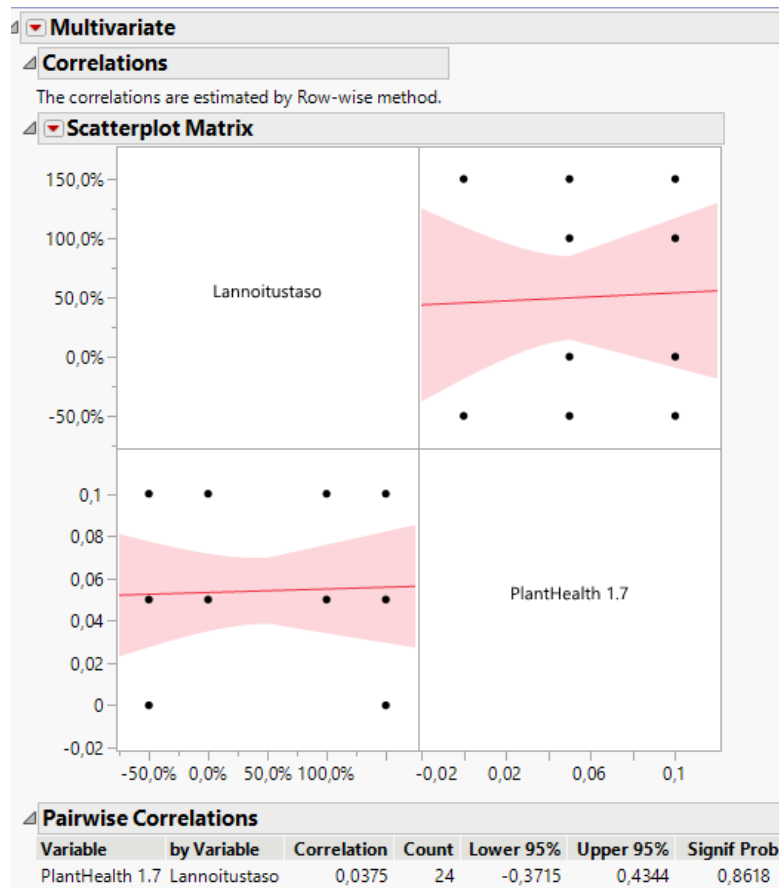
Kun verrataan Plant Health-arvojoukkojen suhdetta toisiinsa, ne muodostavat kuvan 25. mukaisen kuvaajan. Suoraviivaisen riippuvuuden voimakkuudesta kertova korrelaatiokerroin on yli 0,7 ja lähenee näin lukua 1, jolloin riippuvuus on voimakasta. Tätä tukee myös p-arvo, joka on laskettu pienemmäksi kuin 0,0001 ja osoittaa korrelaation merkitseväksi.

6.2.4 Plant Health-arvojen vastaavuus Lannoitustasoon



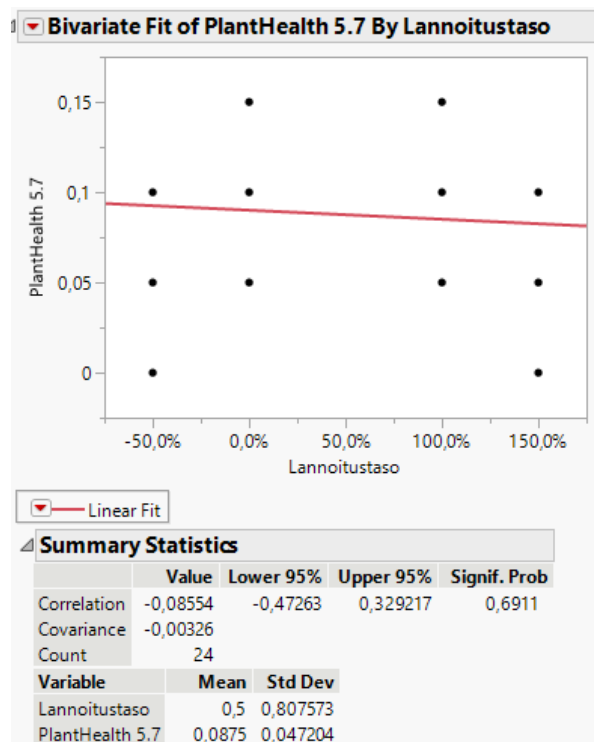
Kuva 26. Dronekuvauksen Plant Health-arvojen (1.7.) vastaavuus Lannoitustasoon.

Kuva 26. mallintaa Plant Health-arvojen ja lannoitustasojen suhdetta. Kuvaaja osoittaa muuttujien suhteen olevan hieman positiivinen. Suhde ei kuitenkaan ole merkitsevä, koska merkitsevyydestä kertova p-arvo (Signif. Prob) on 0,8618 eli reilusti enemmän kuin 0,05.



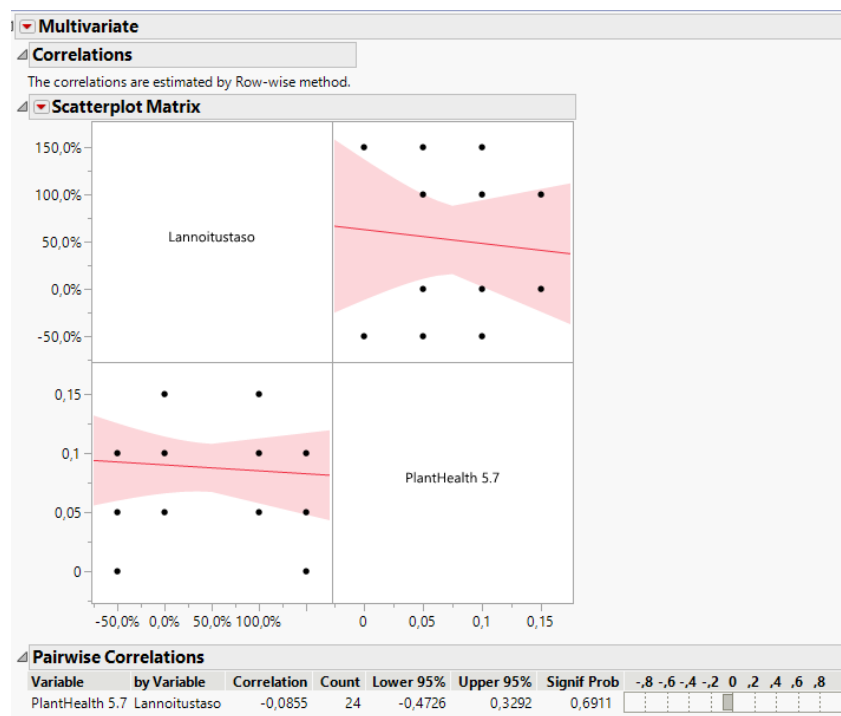
Kuva 27. Dronekuvauksen Plant Health-arvojen (1.7.) ja lannoitustason korrelaatio.

Yllä olevassa kuvassa on korreloitu 1.7. tehdyn dronekuvauksen tietoja lannoitustasoon. Korrelaatiokertoimen mukaan lannoitustason ja Plant Health-arvojen riippuvuus ei ole voimakasta. Kerroin on lähellä nollaa ja tilastollinen merkitsevyys, $p=0,8618$, eli ei merkitsevä.



Kuva 28. Dronekuvauksen Plant Health-arvojen (5.7.) vastaavuus lannoitustasoon.

Samoin kuin 1.7. kuvattu data myös 5.7. saadut tiedot kertovat samaa (ks. kuva 28.). Muuttujien suhde ei ole voimakas eikä merkitsevä, koska merkitsevyydestä kertova p-arvo (Signif. Prob) on enemmän kuin 0,05.

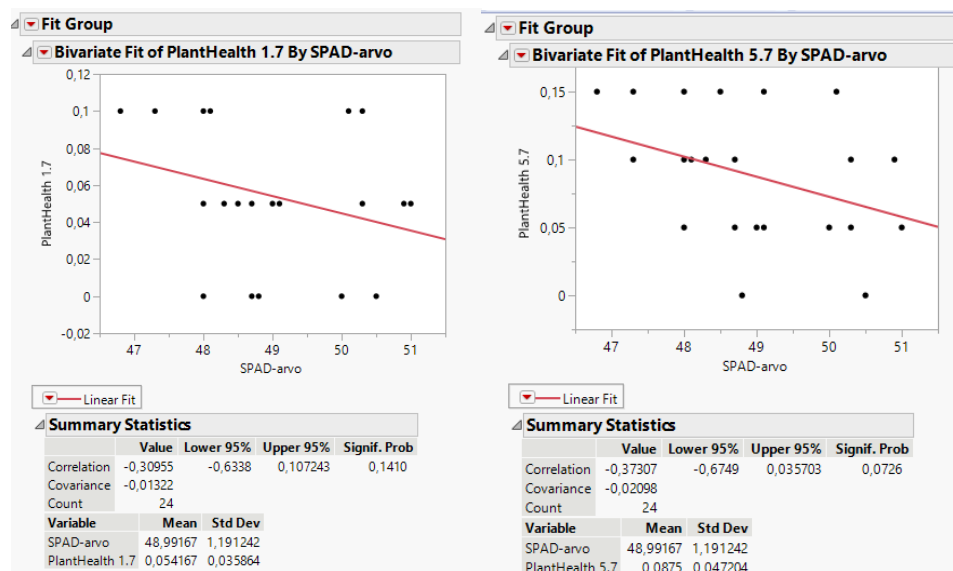


Kuva 29. Dronekuvauksen Plant Health-arvojen (5.7.) ja lannoitustason korrelaatio.

Korrelaatiokuvaajat kuvassa 29. näyttävät trendiltään jopa negatiivisilta, vaikka oletuksena oli, että muuttujat olisivat positiivisessa yhteydessä toisiinsa. Korrelaatiokertoimen p-arvo kuitenkin osoittaa, että yhteys ei ole merkitsevä.

6.2.5 Plant Health-arvojen vastaavuus SPAD-arvoihin

Tutkimuksessa haluttiin saada erityisesti selville se, vastaavatko dronekuvan Plant Health-toiminnolla saadut mittaustulokset lehtivihreämittarilla saatuja tuloksia. Vaikka eri menetelmillä saadut tulokset ovat eri asteikolta, voidaan niitä kuitenkin verrata sillä perusteella, että mittaukset tehtiin samoilta koealaruuduilta. Oletuksena oli, että mitä suurempi koealaruudun SPAD-arvo on, sitä suurempi pitäisi olla myös sen Plant Health-arvo, jos ne molemmat kuvaavat oikein lehtivihreän määrää kasvissa.



Kuva 30. Plant Health-arvot molempina kuvauspäivinä. X-akselilla SPAD-arvot.

Kuvassa 30. on verrattu Plant Health-arvoja suhteessa SPAD-arvoihin. Molempien mittauspäivien Plant Health-arvot ovat kuvaajien mukaan sitä pienempiä mitä suurempi on SPAD-arvo. P-arvon mukaan tulos ei kuitenkaan ole kovinkaan merkitsevä vaikkakin 5.7. tehty mittausta lähentyy merkitsevää 0,05 tasoa ollen 0,0726.

Yllä olevien kuvaajien tilastoista näemme myös arvojen korrelaatiokertoimet, jotka ovat -0,30955 (1.7.) ja -0,37307 (5.7.). Kertoimet ovat negatiivisia, mikä viittaa siihen, ettei arvoilla ole nousujohteista yhteyttä. Kertoimet ovat kuitenkin lähempänä nollaa kuin -1, joten yhteyden voimakkuus on tilastollisessa tarkastelussa merkityksetön.

6.3 Koealojen 2 ja 3 testit ja analyysit

Koealat 2 ja 3 olivat vertauskoealoja, joihin ei tehty erillisiä lannoituskaistoja vaan ne viljeltiin viljelysuunnitelman mukaisesti. Ne sijaitsivat samalla peltolohkolla noin 200 metrin etäisyydellä toisistaan. Edellä mainitut koealat sijaitsivat myös noin 30 kilometriä etelämmässä kuin koeala 1, joten sääolosuhteetkin olivat hieman erilaiset.

Koealoilla 2 ja 3 oli molemmissa viisi koealaruutua, joista mittaukset tehtiin. Koealaruutujen sijainnit määritettiin samalla tavalla kuin koeala 1:ssä, mittaamalla. Tuloksia analysoitiin vertauksena myös samaan tapaan kuin koealan 1 tuloksia, pois lukien lannoitustaso, koska eri lannoitustasoja ei ollut.

6.3.1 Plant Health ja SPAD tunnusluvut koealoilta 2 ja 3

Quantiles			Quantiles		
100.0%	maximum	0,3	100.0%	maximum	46,5
99.5%		0,3	99.5%		46,5
97.5%		0,3	97.5%		46,5
90.0%		0,3	90.0%		46,5
75.0%	quartile	0,2625	75.0%	quartile	46,2
50.0%	median	0,225	50.0%	median	45,2
25.0%	quartile	0,2	25.0%	quartile	44,75
10.0%		0,2	10.0%		43,88
2.5%		0,2	2.5%		43,8
0.5%		0,2	0.5%		43,8
0.0%	minimum	0,2	0.0%	minimum	43,8
Summary Statistics			Summary Statistics		
Mean		0,235	Mean		45,35
Std Dev		0,0411636	Std Dev		0,8720984
Std Err Mean		0,0130171	Std Err Mean		0,2757817
Upper 95% Mean		0,2644467	Upper 95% Mean		45,973862
Lower 95% Mean		0,2055533	Lower 95% Mean		44,726138
N		10	N		10

Kuva 31. Koealojen 2 ja 3 mittaustulosten tunnuslukuja. Vasemmalla Plant Health-arvot ja oikealla SPAD-arvot.

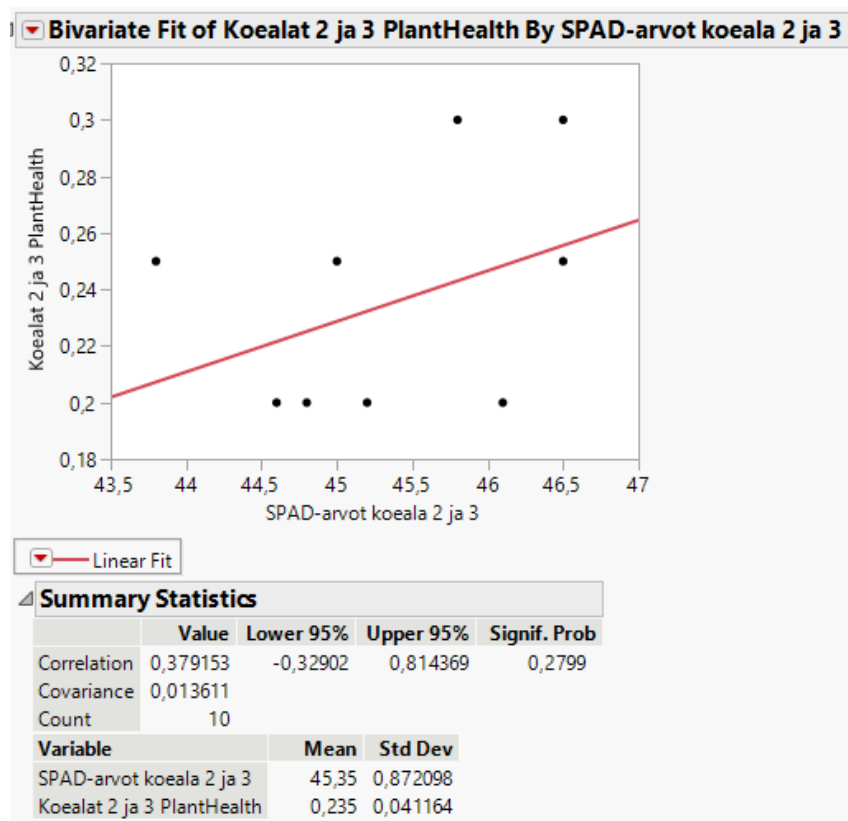
Yllä olevassa kuvassa on esitetty koealojen 2 ja 3 tunnuslukuja. Vasemmalla puolella on Plant Health-arvojen ja oikealla SPAD-arvojen tunnuslukuja. Suurin Plant Health-arvo on 0,3, joka tarkoittaa raja-arvoa terveen ja ei terveen kasvuston välillä. Keskiarvo on 0,235 ja keskihajonta noin 0,0412. Arvojoukon mediaani on 0,225. Variaatiokerroin arvoilla on 17,5%.

Kuvassa 31. on esitetty myös SPAD-arvojen tunnusluvut koealoilta 2. ja 3. Suurin lehtivihreämittarilla mitattu arvo on 46,5. Se on varsin hyvä arvo kevätevehnälle kasvin lippulehti kasvuvaiheessa. Arvojen keskiarvo on 45,35 ja keskihajonta noin 0,872. Mediaani on 45,2 ja variaatiokerroin 1,92%. Arvojoukkojen variaatiokertoimien perusteella Plant Health-arvojen vaihtelu on huomattavasti suurempaa kuin SPAD-arvojen.

6.3.2 Plant Health-arvojen vastaavuus SPAD-arvoihin koealoilla 2 ja 3

Kun verrattiin Plant Health-arvojen suhdetta SPAD-arvoihin, oletettiin, että suhde on positiivisesti nouseva. Eli mitä suurempi SPAD-arvo on, sitä suurempi on myös Plant Health-arvo.

Kuvassa 32. on esitetty kuvaajalla edellä mainittujen arvojoukkojen suhdetta toisiinsa nähden. Lineaarinen kuvaaja osoittaa suhteen olevan positiivisesti nouseva.

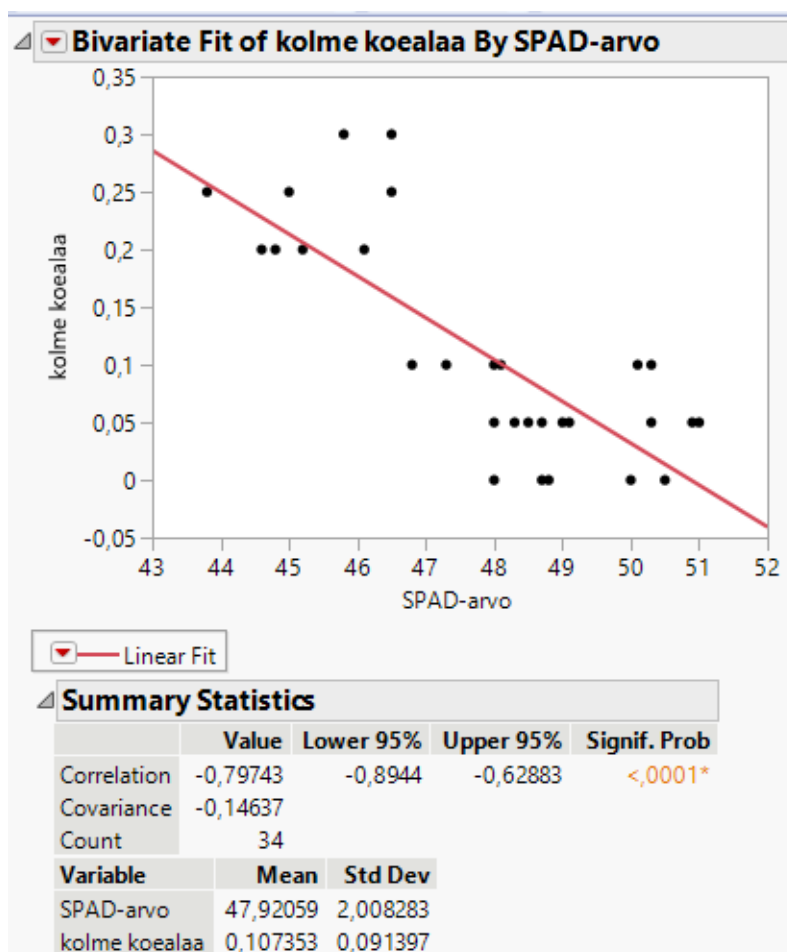


Kuva 32. Koealat 2 ja 3 Plant Health by SPAD-arvot. Kuvaaja osoittaa positiivisen korrelaation arvojen suhteessa.

Yllä olevassa kuvassa näkyy myös arvojoukkojen korrelaatiokerroin ja p-arvo. Korrelaatiokerroin on noin 0,379 ja p-arvo 0,2799. Näin olen arvojoukkojen korrelaatio ei ole voimakasta eikä niiden suhde toisiinsa ole tilastollisesti merkitsevä. Hajonta on niin suurta verrattuna havaintojen määrään, että sattuman todennäköisyys korrelaatiokertoimessa on suuri (n. 30%). Nollahypoteesi pysyy voimassa, eikä korrelaatiota voida vahvistaa.

6.4 Kolmen koealan tulosten vertailu

Seuraavassa tarkastellaan kaikkien kolmen koealan Plant Health-arvoja ja SPAD-arvoja. Kun otetaan mukaan kaikkien koealojen mittaustulokset, saadaan tutkittavaksi lukumäärältään suuremmat arvojoukot.



Kuva 33. Kaikkien koealojen Plant Health-arvojen vastaavuus SPAD-arvoihin.

Kuvassa 33. on verrattu kaikkien koealojen mittaustuloksia samassa kaaviossa. Vaikka oletuksena oli, että tulokset korreloisivat toisiaan positiivisesti, antaa kuvan 33. kuvaaja tulokseksi negatiivisen yhteyden. Sen lisäksi korrelaatiokerroin ja p-arvo määrittelevät yhteyden merkitseväksi.

7 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

7.1 Koealan 1 johtopäätökset

7.1.1 SPAD-arvon ja Lannoitustason vastaavuus

Koealan 1 SPAD-arvojen suhdetta verrattiin lannoitustasoon ja oletus oli, että mitä suurempi typpilannoitus on, sitä suurempi on myös lehtivihreän määrää kertova SPAD-arvo. Kuvan 20. kuvaajassa on viitteitä tämän suuntaiseen tulokseen. Lannoitustason ja SPAD-arvojen välistä korrelaatiota tutkittaessa tuli kuitenkin ilmi, ettei näillä kahdella ollut merkitsevää yhteyttä. Vaikka lannoitustaso oli -50 %, SPAD-arvot olivat kyseisissä koealuruuduissa 48-50,5. Vertailuna todetaan, että 150 % lannoitustason koealuruutujen SPAD-arvot sijoittuivat välille 48,1-50,3, eli lähes samalle vaihteluvälille kuin -50 % koealuruudut.

Kasvusto kärsi tutkimusajankohdan keväänä ja alkukesästä kuivuudesta ja jäi harvaksi. Niille kasveille, jotka kuivuudesta huolimatta kasvoivat, riitti tyyppiä yli tarpeen. Näin lannoituskaistojen välille ei saatu haluttua vaihtelua. Typpi riitti olemassa olevalle kasvustolle liiankin hyvin SPAD-arvojen mukaan. SPAD-arvojen tunnusluvuista (kuva 19.) voi todeta, että lehtivihreämittarin mukaan lannoitus on ollut riittävää. Pienin arvojoukon arvo oli 46,8 ja suurin 51. Taulukosta 1. voi todeta, että kevätvehnän kasvuston kehitysasteen 37-41 (lippulehtivaihe) sopiva SPAD-arvo sijoittuu välille 38-42. Näin ollen koko koealan 1 kasvusto oli tyyppien suhteen yllannoitettua, koska se itä kuivuuden takia huonosti ja jäi harvaksi. Jo silmämääräisesti pystyi havaitsemaan, että kasvusto oli normaalia harvempi. Tästä syystä mittauksia tehdessä vahvistui epäily, ettei kerättävään dataan saada suurta hajontaa typpitasoissa.

7.1.2 Plant Health

Kahden eri mittauskuvauksen Plant Health-tuloksia verrattaessa oli havaittavissa pieniä eroja. Tämä oli kuitenkin odotettavissa, sillä mittausajankohdilla oli muutaman päivän ero. Mittauksien välissä ei satanut, eikä pellolla tehty mitään toimenpiteitä. Tuloksien odotettiin olevan suhteellisen samanlaisia, jotta voidaan ajatella mittauksen olevan luotettava.

Kuva 23. osoittaa, että Plant Health-arvot jakaantuvat suhteellisen samalla lailla molempina kuvauspäivinä. Myöhemmin mitatut arvot olivat hieman suurempia. Tähän vaikuttaa hieman myös kuvausolosuhteet. Pilvisellä säällä Plant Health-toiminto ”näkee” kasvuston tummemman vihreänä, verrattuna pilvettömään aurinkoiseen säähän. Ensimmäisellä kuvauslennolla sää oli puolipilvinen ja toisella lennolla pilvinen.

Plant Health-arvojen tunnusluvuista (kuva 24.) voidaan tarkastella arvojoukkoja tarkemmin. Niistä näemme, että yksikään koealan 1 arvoista ei yltänyt kuvan 7. asteikon mukaan terveen kasvuston tasolle, vaikka lehtivihreämittarin mukaan kasvusto ei ainakaan ollut typen puutteessa. Suurimmat arvot mittauksissa olivat 0,1 ja 0,15, kun terveen kasvuston raja-arvo on 0,33. Tämäkin selittyy sillä, että kasvusto kärsi pahasti kuivuudesta. Harvan kasvuston välistä näkyy ilmakuvassa maata, joka puolestaan Plant Health-teemakartassa kuvataan punaisella. Se tarkoittaa kuollutta materiaalia esimerkiksi maata, rakennuksia ja kuolleita kasveja (ks. kuva 7.). Harvasta kasvustosta ei siis saa todenmukaista Plant Health teemakarttaa.

Kun viikon välein mitattuja Plant Health-arvoja verrattiin toisiinsa, saatiin selville, että niillä on suoraviivainen positiivinen riippuvuus. Se osoittaa, että dronemittaus sinänsä toimi aika hyvin. Korrelaatiokerroin ja p-arvo tukivat tätä näkemystä. Eri päivinä mitatut tulokset samoista koealaruuduista eivät siis poikenneet liikaa toisistaan.

7.1.3 Plant Health-arvojen ja Lannoitustason vastaavuus

Plant Health-arvojen ja Lannoitustason vertailussa tutkittiin niiden suhdetta ja riippuvuutta toisiinsa. Oletus oli, että niiden suhde ja riippuvuus kuvastuisi nousevana positiivisena trendinä. Kuvassa 26. näkyy miten pisteet ovat sijoittuneet hajautetusti.

P-arvon mukaan merkitsevää suhdetta ei näillä arvojoukoilla ole ja yhteyden voimakkuudesta kertova korrelaatiokerroin tukee tätä näkemystä. Aiemmin mainitut olosuhteiden ongelmat vaikuttivat myös tässä vertailussa. Kuivuuden vuoksi harvaksi jäänyt kasvusto vaikutti Plant Health-arvoihin, eikä antanut todenmukaista kuvaa kasvuston terveydestä.



Kuva 34. Koealan 1 kasvusto kärsi kuivuudesta ja jäi harvaksi

Yllä olevasta koealan 1 ilmakuvasta voidaan havaita, että kasvusto on harvaa. Kasvien välistä näkyy maata ja tiheämpiä kohtia on vain siellä täällä.

7.1.4 Plant Health-arvojen ja SPAD-arvojen vastaavuus

Tutkimuksen kannalta tärkeimpiä asioita oli selvittää vastaako dronella mitattu Plant Health-arvon tulos SPAD-mittauksen tulosta kasvuston tilasta. Oletuksena oli, että jos lehtivihreämittarin arvo osoittaa, ettei lisälannoitusta tarvita, myös Plant Health-arvo näyttäisi, että kasvusto on terve. Eli käytännössä mitä suurempi SPAD-arvo on, sitä suurempi pitäisi myös Plant Health-arvo olla.

Kuvasta 30. voidaan todeta, ettei odotettua tulosta mittauksista saatu. Tutkittaessa tulosten riippuvuutta toisiinsa korrelaatiokertoimen avulla huomattiin, että ne ovat negatiivisia. Tämä tarkoittaa sitä, että tuloksilla olisi negatiivinen riippuvuus eli kuvaaja on laskeva korrelaatiokertoimien ollessa -0,30955 ja -0,37307. Korrelaatiokertoimet olivat kuitenkin lähempänä nollaa kuin -1.

Positiivisesti nousujohteisen kuvaajan sijaan, tulos olikin siis laskeva kuvaaja, eli Plant Health-arvo oli sitä pienempi, mitä suurempi oli SPAD-arvo. Tämä toistui molempien mittauspäivien tuloksissa. Tuloksen tilastollisesta merkitsevyydestä kertova p-arvo kuitenkin osoitti, ettei se ole kovin merkitsevä vaikkakin 5.7. tehty mittaus lähentyy merkitsevää 0,05 tasoa ollen 0,0726. Tuloksesta voisi ajatella, että mitä harvempi kasvusto on, sitä

paremmassa kunnossa yksittäinen kasvi SPAD-arvon mukaan on. Harvan kasvuston kasvavalla kasvulla olisi siis ollut enemmän kuin riittävästi typpeä tarjolla.

7.2 Koealojen 2 ja 3 johtopäätökset

Vertauskoealojen mittaustuloksia analysoitiin samalla tavalla kuin koealan 1 tuloksia. Koealat 2 ja 3 sijaitsivat noin 30 kilometriä etelämmässä ja olosuhteet olivat erilaiset kuin koealalla 1. Kuivan kevään ja alkukesän vaikutukset eivät olleet niin rajuja ja pieniä paikallisia sateita osui koealoille. Koealojen tunnuslukuja tarkastellessa tuli ilmi, että kasvustot vaikuttivat paremmilta kuin koealalla 1.

Plant Health-arvoissa suurin lukema oli 0,3, mikä on jo lähellä terveen kasvuston rajaa. Pienin lukema puolestaan oli 0,2, mikä on suurempi kuin koealan 1 suurin arvo. Keskihajonta tällä arvojoukolla oli hyvin pieni, noin 0,04 mutta variaatiokerroin oli 17%. Keskiarvo vertauskoealoilla oli 0,235. Kuvan 7. Plant Health-arvo ohjeistuksen mukaan se tarkoittaa "Unhealthy plant material" eli, että kasvusto ei voi hyvin.

Lehtivihreämittarin SPAD-arvojen suurin arvo oli 46,5 ja pienin arvo 43,8. Kun tavoitearvo SPAD-arvolle kevätvehnän lippulehtivaiheessa on 38-42, voidaan todeta, ettei lisälannoitusta tarvinnut, kun keskiarvokin oli 45,35. Keskihajonta puolestaan oli vain noin 0,87 ja variaatiokerroin 0,19%.

Plant Health-arvojen suhdetta SPAD-arvoihin verrattaessa huomattiin, että suhde oli positiivisesti nouseva. Eli Plant Health-arvo nousi SPAD-arvojen myötä. Korrelaatiokerroin ja p-arvo kuitenkin osoittivat, että arvojoukkojen suhde toisiinsa ei ollut tilastollisesti merkitsevä.



Kuva 35. Myös koealan 2 kasvusto jäi kuivan kevään ja alkukesän vuoksi hieman harvaksi

Yllä olevassa kuvassa on koealan 2 kasvustoa. Jo kuvasta voidaan todeta, että kasvusto on huomattavasti parempi kuin koealalla 1. Kuivuus kuitenkin vaivasi myös vertauskoealojen kasvustoja.

7.3 Kaikkien koealojen tulosten vertailu toisiinsa

Lopuksi verrattiin kaikkien koealojen mittaustuloksia samassa kaaviossa (ks. kuva 33.). Oletuksena oli, että tulokset korreloisivat toisiaan positiivisesti mutta kuvaaja antaa tulokseksi negatiivisen yhteyden. Sen lisäksi korrelaatiokerroin ja p-arvo määrittelevät yhteyden merkitseväksi.

Kuivuuden takia koealojen kasvustojen tiheyksien suuri ero vaikuttaa tulokseen kuvassa 33. SPAD-arvojen mukaan kasvusto on kunnossa mutta lehtivihreämittari ei ota huomioon koko kasvuston tilaa, eikä huomaa tässä tapauksessa, että kasvusto on erittäin harva. Plant Health-toiminto puolestaan huomaa kasvuston harvuuden ja heijastaa kasvien välistä maata, mutta ei huomaa sitä, että yksittäiset kasvit voivat hyvin. Koealoilla 2 ja 3 puolestaan kasvuolot ovat hieman normaalimmat. Kasvusto on kohtalaisen tiheä ja SPAD- arvot ovat normaalilla, hyvällä, tasolla.

Tuloksen mukaan, harvan kasvuston lehtivihreätaso todennäköisesti kasvaa sitä enemmän, mitä harvempaa kasvusto on. Tässä tutkimuksessa siis dronekuvaus antoi alemman Plant Health-arvon ja punaisemman kuvan sen mukaan, mitä harvempi kasvusto oli.

8 POHDINTA

Tutkimuksen päätarkoitus oli saada selville, miten hyvin dronella kuvatusta aineistosta tehdyn teemakartan Plant Health-arvot korreloivat lehtivihreämittarin SPAD-arvoja. Koealan 1 tulokset näyttivät heti, ettei odotettua positiivista korrelaatiota ole. Jo silmin nähtävästi harva kasvusto ei ollut optimaalisin tutkimuskohde tämän tutkimuksen osalta. Koealojen 2 ja 3 tulokset puolestaan näyttivät viitteitä siihen, että positiivista riippuvuutta Plant Health-arvoilla ja lehtivihreämittarin SPAD-arvoilla voisi olla. Tuloksen merkitsevyydestä kertova p-arvo kuitenkin osoitti, että tulos ei ollut merkitsevä.

8.1 Vastaukset tutkimusongelmiin

1. *Saadaanko kuvauskoopterilla ja RGB-kameralla kerättyä sellaista aineistoa, josta voidaan määrittää lehtivihreäpitoisuutta pellon kasvustossa?*

Tutkimus osoitti, että kuvauskoopterilla näkee kasvuston kattavasti ja Plant Health-kuvasta voi saada arvokasta tietoa kasvuston kunnosta. Tämän tutkimuksen mukaan lehtivihreän määrää dronen RGB-kameralla ei kuitenkaan pysty todentamaan edes Plant Health-kuvasta luotettavasti.

2. *Onko kuvauskoopterilla ja RGB-kameralla kerätyt tiedot luotettavia?*

Dronen ilmakuvasta havaitut asiat pellolla ovat luotettavia. Jos kasvusto on normaali (ei harva) voi Plant Health-kuvastakin tehdä suuntaa-antavia johtopäätöksiä. Jo pelkästä ilmakuvasta näkee hyvin kasvuston peruskunnon. Liian harvaan kasvustoon ei kannata uhrata enempää tuotantopanoksia lisälannoittamalla sitä. Matalammalla lentokorkeudella Plant Health-arvoja voisi lukea luotettavammin myös jopa yksittäisistä kasveista. Silloin koko pellon kartoittaminen ei onnistu kovinkaan nopeasti. Myös kuvien tulkitsemiseen menisi enemmän aikaa.

3. *Voidaanko tuloksia hyödyntää pellolla olevan kasvuston lannoittamisessa?*

Jos kasvusto vaikuttaa ilmakuvassa hyvältä, voisi olla kannattavaa tutkia kasvustoa vielä Plant Health-kuvasta alueellisten erojen havaitsemiseksi. Tämän tutkimuksen perusteella suoraa lannoituskarttaa ei RGB-kameralla kuvatusta Plant Health-teemakartasta voi tehdä.

RGB-kameralla kuvatusta kasvuston Plant Health-kuvasta voidaan arvioida kasvuston tiheyttä. Jos kuva ei ole vihreä vaan enemmän keltaisen ja punaisen sävyinen, on kasvusto todennäköisesti harva. Silloin yksittäisten kasvien typpitalous on puolestaan todennäköisesti kunnossa. Koeruutuja mitattaessa olisi ollut hyvä määrittää esimerkiksi visuaalisesti ruudun kasvuston tiheys, jotta edellä mainittu käsitys olisi vahvistunut.

Pellon kasvuston vihreän määrää arvioitaessa voisi kuvauskulma olla hie-
man viistosta sen sijaan, että se kuvataan kohtisuoraan alaspäin. Viistolla
kuvauskulmalla maan näkyminen kasvien välistä ei vaikuttaisi RGB-
kameralla kuvattuun Plant Health-tulokseen niin paljon.

8.2 Mietteitä

Aihe oli erittäin mielenkiintoinen tutkimuksen tekijälle, joka tekee kahta
eri maataloustyötä ja haluaa olla mukana kehittämässä Suomen maata-
loutta. Suurimmat haasteet tutkimuksen toteutuksessa: Dronen lennättä-
misen opettelu, Dronedeploy-ohjelman opettelu sekä JMP-
tilastointiohjelman opettelu sekä lehtivihreämittarin saaminen lainaksi.
Haasteet eivät kuitenkaan olleet ylitsepääsemättömiä ja tutkimus eteni ke-
sän 2019 aineiston keruun jälkeen analysoinnilla ja tulosten kirjaamisella.

Dronen lennättäminen oli erittäin mielenkiintoista. Peltolohkojen katsomi-
nen eri perspektiivistä toi uusia ideoita ja mahdollisuuksia. Plant Health-
arvojen tulkinnan opettelu oli myös antoisaa, vaikka odotettuja tuloksia ei
tutkimuksesta suoraan saatukaan. Dronen lennättämisessä pitää ottaa
monta asiaa huomioon mutta uskon, että jatkossa dronea hyödynnetään
yhä enemmän myös maataloudessa.

Olisi mielenkiintoista tehdä tutkimus uudestaan koealalla, jonka kasvusto
on täystiheä ja ottaa useammasta paikasta mittaustulokset. Silloin Plant
Health-arvojen ja lehtivihreämittarin SPAD-arvojen positiivinen korrelaatio
voisi vahvistua. Se tarkoittaisi sitä, että dronella ja RGB-kameralla olisi
mahdollista tehdä enemmän johtopäätöksiä kasvuston kunnosta.

LÄHTEET

Akhter, M. M., Hossain, A., Timsina, J., Teixeira, J.A. ja M. S. Islam. (2016). *Chlorophyll metera decision-making tool for nitrogen application in wheat under light soils*. International Journal of Plant Production 10 s. 289–302.

ArcGIS, (2020). *Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) Visual*. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=07c126edc77c4e27a09916897c697d02>

Azoulay N. (2018). *Maatalous astuu digiaikaan*, 19.6.2018. Haettu 10.1.2019 osoitteesta <http://nordeafundsmagazine.fi/artikkelit/maatalous-astuu-digiaikaan>

Air Navigation Services Finland, (2019). *Ohjeita dronen lennättäjille*. Haettu 29.1.2019 osoitteesta <https://ansfinland.fi/fi/palvelumme/palvelut-ilmatilan-kayttajille/dronen-lennattajille>

DroneDeploy (2019). *Plant Health*. Haettu 11.9.2019. osoitteesta <https://support.dronedeploy.com/docs/plant-health-2>

Dronedeploy2(2019). *NVDI cameras for drones*. Haettu 15.10.2019 osoitteesta <https://support.dronedeploy.com/docs/ndvi-cameras-for-drones>

Earth Observing System, (2020). *NDVI*. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://eos.com/ndvi/>

Edu.fi, (2020). *Digitaalisen kuvan päätyypit*. Haettu 26.4.2020 osoitteesta http://www03.edu.fi/svenska/laromedel/digital_image/color_en.html

Gitelson, A., Kaufman, Y., Stark, R. & Rundquist, D. (2002). *Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraktion*. University of Nebraska Lincoln. Haettu 12.1.2018 osoitteesta <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.1568&rep=rep1&type=pdf>

Haaga-helia, (2020). *Kuvankäsittelyn teoriaa*. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <http://myy.haaga-helia.fi/~woljo/photoshop/alku/Digikuvan-perusteet.pdf>

JMP (2020). *About JMP*. Haettu 13.3.2020 osoitteesta https://www.jmp.com/en_us/about.html

Juntti, L. (2003). *Typpilannoituksen ja kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutus mallas- ja rehuohranviljelyn taloudelliseen tulokseen*. MTT:n selvityksiä. MTT Taloustutkimus. s.1-51.

Kaasinen, S., Rasa, K. & Heikkinen, J. (2010) *Typpilannoituksen tarkentaminen*, TEHO:n tilakokeilu v. 2009, s.2-7. 10.9.2010.

Kamerakopterit, (2017). *Kamerakopteri–ostajan opas ja vertailu*, 5.12.2017. Haettu 27.1.2019 osoitteesta <https://kamerakopterit.fi/>

Kielikello, (2018). *Drone vai drooni?*, 3/2018. Haettu 17.1.2020 osoitteesta <https://www.kielikello.fi/-/drone-vai-drooni->

Kleemola J. (2013). *Ilmakuvien käyttö viljelysuunnittelussa*, RaHa- hanke, Fakta 3/huhtikuu, 2013.

Kotimaistenkielten keskus. *Sanapoisintoja vuodelta 2016*. Haettu 27.1.2019 osoitteesta https://www.kotus.fi/sanakirjat/kielitoimiston_sanakirja/uudet_sanat/vuoden_sanapoisinnot/sanapoisintoja_2016

Kulmala Airi, (2011). *TEHO-hankkeen raportteja osa 1*. Haettu 20.11.2019 osoitteesta https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94230/TEHO-hankkeen%20raportteja_osa%201.pdf?sequence=2

K-Maatalous, *Viljelyopas 2015*, s.16.

Lehto Tero, (2017). *Lennokkien määräykset tiukentuvat Suomessakin – EU valmistele droneille uusia rajoituksia*, 19.7.2017. Haettu 27.1.2019 osoitteesta https://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/lennokkien-maaraykset-tiukentuvat-suomessakin-eu-valmistele-droneille-uusia-rajoituksia-6663835

Lehtonen Ilari, (2020). *Lämmin vuosi Etelä-Suomessa ja maailmalla*, 21.1.2020. Haettu 14.3.2020 osoitteesta <http://www.ilmastokatsaus.fi/2020/01/21/lammin-vuosi-etela-suomessa-ja-maailmalla/>

Liikenne- ja viestintävirasto, (2018). *Droneinfo.fi*, 13.12.2018. Haettu 27.1.2019 osoitteesta https://www.droneinfo.fi/fi/nain_lennatat_turvalisesti

Maarschalkerweerd, M. ja S. Husted (2015). *Recent developments in fast spectroscopy for plant mineral analysis*. Frontiers in Plant Science 6:169.

Mäntylähti, V., Jaakkola, A. & Kari, M. (2009). *Ravinnetarpeiden määrittäminen*. Teoksessa: Peltonen, J. & Harmoinen, T. (toim.). Ravinteet kasvin tuotannossa. Vantaa, ProAgria Keskusten Liitto. Tieto tuottamaan 127. s. 48-61.

Oesch J. (2015). *Ilmakuvaksen hyödyntäminen peltoviljelyssä*. Ammatti- korkeakoulun opinnäytetyö, Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma, Mustiala, kevät 2015.

Petla (2019). *Lisälannoitus*. Haettu 22.11.2019 osoitteesta <https://petla.fi/viljelyohjeet/lisalannoitus>

Ruuskanen O-P. (2017). *Maaseudun Tulevaisuus*, 13.marraskuu 2017.

Spectrum Technologies, Inc, (2020). *SPAD 502 Plus Chlorophyll Meter*. Haettu 26.4.2020. osoitteesta <https://www.specmeters.com/nutrient-management/chlorophyll-meters/chlorophyll/spad502p/#description>

Sääarkisto (2020). *Sääarkisto: Mäntsälä Hirvihaara 06/2019*. Haettu 14.3.2020 osoitteesta <https://kilotavu.com/asema-kuukausi.php?aika=2019-06-01&asema=103794>

Taanila A. (2020). *Akin menetelmäblogi*. Haettu 2.4.2020 osoitteesta <https://tilastoapu.wordpress.com/2011/11/01/10-korrelaatio-ja-senmerkitsevyys/>

Tiihonen M. (2018). *Miten mitata kasvin ravinnearvetta*. Haettu 31.1.2020 osoitteesta <https://www.proagria.fi/sisalto/miten-mitata-kasvin-ravinnetarvetta-9929>

Tilastokeskus (2020). *Johdatus tilastotieteeseen*. Haettu 2.4.2020 osoitteesta https://tilastokoulu.stat.fi/verkko-koulu_v2.xql?course_id=tkoulu_tilaj&lesson_id=4&subject_id=3&page_type=sisalto

Turkula T., (2017). *Miehittämättömät ilma-alukset – uusi uhka*, 4.3.2017. Haettu 27.1.2019 osoitteesta <https://www.moottori.fi/liikenne/jutut/miehittamattomat-ilma-alukset-uusi-uhka/>

VILKKU (2017). *Peltojen kasvustokuvauksella satotaso ylös ja ravinnehuuhtoumat alas*, 2017. Haettu 17.1.2020 osoitteesta <https://www.vilkku-hanke.fi/peltojen-kasvustokuvauksella-satotaso-ylös-ja-ravinnehuuhtoumat-alas/>

Yara, (2019). *Yaran ohje lisälannoituksesta*. Haettu 18.01.2019 osoitteesta <https://www.yara.fi/lannoitus/lisalannoitus-kasvukaudella/>

YMPPI, nro 2/9, (2018). *Tehoa typpilannoitukseen -jaettu lannoitus*, Pirkanmaan maatalousympäristön haasteet -hanke. s. 1-4.

Wikipedia. (2019). *Multikopteri*. Haettu 27.1.2019 osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Multikopteri>

Wikipedia, 2019. Haettu 13.01.2019 osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/NDVI>

Wikipedia, (2020). *RGB-värimalli*. Haettu 26.4.2020 osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/RGB-v%C3%A4rimalli>