



BIOHIILEN VAIKUTUS PELLON KASVUSTOON

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Tieto- ja viestintäteknikka, biotalouden koulutus
Kevät 2024
Jemina Henriksson

Koulutuksen nimi Tieto- ja viestintätekniikka, biotalouden koulutus Tiivistelmä
Tekijä Jemina Henriksson Vuosi 2024
Työn nimi Biohiilen vaikutus pellon kasvustoon
Ohjaaja Johanna Salmia

Toiminnallisen opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää biohiilen vaikutusta pellon kasvustoon, toimeksiantajan koepellolla kesän 2023 aikana. Datankeruussa hyödynnettiin kahta dronea sekä Pix4DFields ohjelmistoa datan purkuun.

Tutkimus oli osa Lapinjärven Lyckan-hanketta, jossa kehitettiin biokiertoaloutta ja luotiin uusia liiketoimintamahdollisuuksia paikallisille yrittäjille sivuvirtojen avulla. Lapinjärven Lyckan-hankkeessa kehitettiin kestävää maaseutuyrittäjyyttä innovatiivisten yrityspilottien avulla. Projektiin sisältyi biotalouden pilottihanke, joka toteutettiin Nygårdin tilalla peltoalakokeena. Tässä kokeessa tutkittiin biohiilen vaikutusta pellon kasvustoon.

Dronejen yleistyessä niitä hyödynnetään myös maatiloilla. Dronejen tehokkaat kamerat sekä vakaa liikkuvuus pystyvät tuottamaan paljon hyödyllistä dataa pellon kasvustosta sekä pellon kunnosta asiakkaalle, Nygårdin tilalle.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kaurapellon kasvustoa DJI Mini 2 sekä DJI Matrice 210 droneilla, Altum Multispectral kameraa hyödyntäen. Kuvauskertojen tavoitteena oli kuvata kasvustoa kaikkina kesäkuukausina kasvuston eri aikoina ja sen jälkeen purkaa pellostaan saatujen kuvien data Pics4DFields ohjelman avulla.

Vuoden 2023 kesä oli poikkeuksellinen säähän liittyvien olosuhteiden suhteen; alkukesä oli kuiva ja keskikesä sateinen. Sääolosuhteet asettivat äärimmäiset vaatimukset kaurapellon kasvulle, ja tämä on otettava huomioon tutkimustuloksia tarkasteltaessa.

Biohiili pysyy maaperässä kymmeniä, ellei jopa satoja vuosia. Tutkimuksen tulos on, että yhden kauden jälkeen on liian aikaista sanoa, onko biohiili edistänyt kaurapellon kasvua.

Avainsanat Biohiili, Drone, Pix4DFields
Sivut 41 sivua ja liitteitä 1 sivu

The purpose of this functional thesis was to investigate the impact of biochar on crop growth in the commissioner's, Nygårdin tila (Nygård's farm), and their experimental field during summer 2023. Two drones and Pix4DFields software were used for data collection and processing. The research was part of the Lapinjärvi Lyckan project, which aims to develop bioeconomy and create new business opportunities for local entrepreneurs through by-products. The project focuses on sustainable rural entrepreneurship through innovative business pilots. One of the project's components is a bioeconomy pilot, implemented as a field trial on the Nygård Farm to study the effect of biochar on the arable crop growth.

Within the increasing prevalence of drones, drones are utilized on farms. Their efficient cameras and stable mobility provide valuable data on crop growth and field condition for the commissioner. Therefore, another objective of this thesis was to study oat field growth using DJI Mini 2 and DJI Matrice 210 drones equipped with Altum Multispectral camera. Three flight sessions were scheduled to capture the growth stages of the crop during all summer months, followed by data processing using the Pix4Dfields software.

The summer 2023 was exceptional in terms of weather conditions; the early summer was dry, and the midsummer was rainy. The weather imposed extreme conditions on the growth of the oat field, and this needs to be taken into account in the research results.

Biochar remains in the soil for decades, if not hundreds of years. The result of the study was that it is too early to say whether biochar has contributed to the oat field growth after just one season.

Keywords Biochar, Drone, Pix4DFields

Pages 41 pages and appendices 1 page

Sisällys

1	Johdanto	7
2	Tietoperusta	8
2.1	Dronen käytön mahdollisuudet maataloudessa	8
2.1.1	Erilaiset dronetyypit	8
2.1.2	Dronen kameran ominaisuudet	10
2.1.3	Dronen lennätys sekä lainsäädäntö	11
2.1.4	Ohjelmat	12
2.1.5	Indeksit ja kaavat	12
2.2	Biohiili maanparantajana	14
2.3	Bioliete	16
2.4	Mitä tutkimuksia aiheeseen liittyy	16
3	Työn tarkoitus ja tavoite	17
3.1.1	Hankkeen esittely	17
4	Projektin suunnittelu ja toteutus	19
4.1	Dronen lennätys koepeltoalalla	20
4.2	Kesän 2023 aikataulu	22
4.3	Biohiilen vaikutuksen analysointia	23
4.4	Cropsat	24
4.4.1	TGI-indeksi	26
4.4.2	NDVI-indeksi	29
4.4.3	NDRE-indeksi	31
4.4.4	VARI-indeksi	32
5	Johtopäätökset ja pohdinta	33
5.1	Kaurapellon tulevaisuus	34
5.2	Tutkimustyön jatko	35
	Lähteet	36

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1 Harrastuskäyttöön tarkoitettu multikopteri DJI Mini 2	9
Kuva 2 TGI:n laskentakaava	13

Kuva 3. NDVI indeksin laskenta kaava	13
Kuva 4 NDRE-indeksin laskentakaava.....	14
Kuva 5 Pyrolyysitekniikan prosessikaavio.....	15
Kuva 6 Kahden peltokuvauksissa käytettävän dronen ominaisuuksien vertailua.....	18
Kuva 7 Ilmakuva koepeltoalasta	19
Kuva 8 Suunnitellun peltokokeen koekaistojen pinta-alat ja käsittelymenetelmät.....	20
Kuva 9 Drone harmony ohjelmasta valittu reitti: Top Down kaurapellon kuvauksiin. ...	22
Kuva 10 Koealan kasvustoa ensimmäisellä kuvauskerralla 19.6.2023. Dronen lähtöpaikka merkitty laskeutumisalustalla (vilja oraalla). Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
Kuva 11 on esitetty 19.6.2023 DJI Mini 2:lla otetuista kuvista yhdistetty ilmakuva.	24
Kuva 12 CropSat-palvelun satelliittikuvista tuottamaa NDVI-indeksiä Lidenin kasvulohkolla.	25
Kuva 13 Toinen kuvaus, DJI Mini 2 -kopterilla otettu ilmakuva koealasta 30.6.2023. Koealan ja koekaistojen sijainti on merkitty kuvaan.....	26
Kuva 14 TGI-indeksi koealalla 30.6.2023. Koealan ja koekaistojen sijainti on merkitty kuvaan.	27
Kuva 15 TGI-indeksi	28
Kuva 16 Multispektrikameralla 17.7.2023 otettu ortomosaiikki ilmakuva Lidenin kasvulohkosta ja ympäröivästä alueesta. Koealan ja koekaistojen sijainti on merkitty kuvaan.	29
Kuva 17. Multispektrikameralla 17.7.2023 otettu ilmakuva, muutettu Pix4DFields ohjelmiston avulla NDVI-indeksiin.....	30
Kuva 18 NDVI-indeksi.....	31

Kuva 19 Multispektrikameralla 17.7.2023 otettu ilmakekuva, muutettu Pix4DFields ohjelmiston avulla NDRE-indeksiin.	31
Kuva 20 NDRE-indeksi	32
Kuva 21 Multispektrikameralla 17.7.2023 otettu ilmakekuva, muutettu Pix4DFields ohjelmiston avulla VARI-indeksiin.	33
Kuva 22 VARI-indeksi	33

Liitteet

Liite 1.	Aineistonhallintasuunnitelma
----------	------------------------------

Käsitteet

Drone	Miehittämätön ilma-alus
Pix4DFields	Kartoitusohjelma
Cropsat	Satelliittikuvilla toimiva palvelu
VLOS	Suora näköyhteys
PDRA	Ennakkoriskiarvio
SORA-riskiarvio	Riskiarviomenetelmä turvalliseen lentotoimintaan
P-area	Kielletty alue
R-area	Rajoitettu alue
D-area	Vaarallinen alue
RTH	Palaa kotiin toiminto
RGB	Punainen vihreä ja sininen
TGI	Triangular greenness index
NDVI	Normalized difference vegetation index
NDRE	Normalized difference red edge index
VARI	Visible atmospherically resistant index

1 Johdanto

Tämän toiminnallisen opinnäytetyön tarkoituksena on seurata biohiilen vaikutusta kaurapellon kasvustoon kesän 2023 aikana. Koepeltoala sijaitsee Lapinjärvellä ja on osa Lapinjärven kunnan Lyckan-hanketta. Hanke on jaettu neljään eri osa-alueeseen, jotka ovat biokiertoalouden, matkailu, luovat alat sekä living lab. Tämä opinnäytetyö kuuluu biokiertoalouden osa-alueeseen. Hankkeen asiakas sekä maatilayritys on Nygårdin tila, joka kokeilee biohiilen käytön mahdollisuuksia maanparannusaineena kaurapellolla.

Koepeltoala on perustettu Liden-nimiselle peltolohkolle, joka on yhden hehtaarin kokoinen. Koeala on noin 80 m x 125 m ja jokainen kaista on kooltaan noin 27 m x 125 m. Koeala on suorakaiteen muotoinen ja se on jaettu kolmeen samankokoiseen kaistaan, ja sijoitettu paikkaan, jossa olisi kaikille lohkoille yhtä tasa-arvoiset kasvuolosuhteet. Lohkoilla testataan kuivan käsittelemättömän biohiilen, sekä lietelantaan sekoitetun biohiilen vaikutusta pellon kasvustoon. Vertailussa yhdellä lohkolle on pelkällä lietelannalla käsitelty ala, sekä normaalisti ilman lietelantaa tai biohiiltä viljelty ala.

Pellonseuranta tapahtui kesän 2023 ajan, kuvauskertoja on sovittu pellon omistajan kanssa kolme, ne ajoitetaan: kesäkuulle, heinäkuulle sekä elokuulle. Kuvauskerrat on ajoitettu kauran kasvuvaiheiden mukaan, ensin kuvataan orastanutta kauraa, toisella kerralla kauran lippuehtivaihetta ja kolmannella kerralla röyhylle kasvanutta kauraa. Pellonseuranta toteutetaan kahdella eri dronella, DJI Mini 2 sekä DJI Matrice varustettuna multispectral kameralla. Kuvista saatua dataa puretaan Pix4DFields kartoitusohjelmalla. Seurannassa hyödynnetään myös Cropsat-palvelusta saatavilla olevaa satelliittidataa tarvittavin osin.

Opinnäytetyössä tarkasteltavia tutkimuskysymyksiä ovat:

- Voiko biohiiltä hyödyntää muussa kuin maataloudessa?
- Voiko droneja hyödyntää enemmän maataloudessa?
- Auttoiko biohiili pellon kasvustossa?

2 Tietoperusta

Tässä osiossa tarkastellaan dronejen käyttöä tutkimuksessa, niiden ominaisuuksia, ohjelmistoja sekä lainsäädäntöä. Pix4DFields-ohjelmaa voi käyttää kuluttajätietokoneilla, ammattikäytössä olevilla tietokoneilla datan prosessointi on tehokkaampaa. Käsitellyt kuvat vievät paljon tilaa, joten kiintolevyllä tulisi olla vähintään 4 Gt vapaata tilaa. (Pix4D SA, 2023) Datasta saadaan luotua erilaisia kasvillisuutta kuvaavia indeksejä, nämä indeksit kertovat esimerkiksi: pellon biomassasta, kasvillisuudesta sekä kuivuudesta.

2.1 Dronen käytön mahdollisuudet maataloudessa

Dronet yleistyivät maataloudessa 2010-luvulla, tätä ennen niitä valmistettiin vain pieniä erinä tilaustuotteena maatalouksille. Dronejen yleistymisen vuoksi Yhdysvaltain ilmailuhallinto, (eng. Federal Aviation Administration, lyh. FAA) laativat lainsäädännön sekä ohjeistuksen dronejen käytölle maataloudessa. Laaditut säädökset sekä lait mahdollistivat dronejen kaupallistumisen sekä kasvavan käytön maataloudessa. (Your drone charging solution, 2023) Dronen hyödyllisyys perustuu niiden helppokäyttöisyyteen miehittämättöminä ilma-aluksina, jotka pystyvät nopeasti ja laajalti kuvaamaan peltoa tai metsää ilmasta käsin. Dronejen kamerat kykenevät tallentamaan eri valon spektrejä, ja nämä spektrit tarjoavat lisätietoa pellon tilasta. Dronejen ottamat kuvat mahdollistavat tehdä kattavan analyysin pellon kunnosta, ja niistä voi erottaa haitalliset rikkakasvit, arvioida maaperän kuntoa tai ravinteisuutta, havaita tuholaiset ja levittää torjunta-ainetta tuholaisien valtaamalle alueelle. Dronen ottamilla kuvilla voi maatalouteen räätälöidyillä ohjelmilla laskea karjan määrän laitumella. (DJI, 2021) Dronen kuvista voi analysoida sadon terveyden sekä maaperän olosuhteet. Näiden tulosten perusteella viljelijä osaa vähentää resursseja, lisätä vettä ja lannoitteita, niille alueille missä niitä tarvitaan. (Mogili, Rao; L, Deepak, 2018, s. 6)

2.1.1 Erilaiset dronetyypit

Dronejen monipuolisuuden sekä tehokkuuden vuoksi, niitä on laajalti erilaisia ja ne on suunniteltu harrastus- sekä ammattilaisempaan käyttöön. Kuluttajien ja harrastajien keskuudessa suosituimmat dronet ovat moniroottoreita/ multikoptereita. Nämä dronet nousevat lentoon suoraan ylös, ja roottorien nostovoima perustuu kahteen myötäpäivään ja kahteen vastapäivään pyörivään roottoriin. Multikopterit ovat vakaita, joten niitä käytetään

paljon ilmavalokuvauksessa. Kuvassa 1 on toinen peltokuvauksissa käytetty drone, harrastuskäyttöön soveltuva DJI Mini 2. Tehokkaammat multikopterit sopivat ammattimaiseen käyttöön. Niitä voidaan varustaa tehokkaammilla kameroilla, kestävämmillä akuilla, jotka takaavat pidemmän lentokeston, ja suuremman koon vuoksi ne lentävät vakaimmin jopa voimakkaammissa tuulissa. (Droneinfo, 2023) Viime vuosina Suomessa multikoptereita on otettu ammattimaiseen käyttöön myös mm. rakennusalalla sekä pelastusalalla. Näillä aloilla droneja voi käyttää laadunvarmistamisessa, erilaisten rakenteiden kunnan kunnossapitokartoittamisessa, ihmisten etsinnässä ja tulevaisuudessa jopa ensihoidon kuljetuksessa loukkaantuneen luokse. Droneja hyödynnetään myös sodissa sekä terrorismissa. Dronet pystyvät helposti saavuttamaan paikkoja, joihin sotajoukkojen on turvatonta mennä. (Ilmakuvaajat, n.d.) On myös polttomoottoridroneja, jotka voivat kuvauksen lisäksi ruiskuttaa pellolle ravinteita.

Kuva 1 Harrastuskäyttöön tarkoitettu multikopteri DJI Mini 2



Multikoptereiden lisäksi on myös kiinteäsiipisiä droneja. Ne näyttävät ulkonäöllisesti lentokoneilta kiinteiden siipien takia. Kiinteäsiipisten lentäminenkin on samanlaista kuin lentokoneella ja lentoon lähtöön tarvitaan enemmän tilaa kuin multikopterilla (Droneinfo, 2023). Kiinteäsiipisillä on pidempi lentoaika sekä nopeus, kuin multikoptereilla aerodynaamisen muotoilun ansiosta, tämän muotoilun ansiosta ne pystyvät kantamaan

enemmän kuormaa. Kiinteäsiipiset ovat myös vakaampia tuulisissa olosuhteissa, tämän takia niitä hyödynnetään pitkäkestoisissa valvontatehtävissä. Kiinteäsiipisiä käytetään myös maanmittauksessa, teollisuudessa ja erilaisissa tutkimuksissa. (Droneinfo, 2023)

2.1.2 Dronen kameran ominaisuudet

Dronejen kehittyessä, myös dronejen kamerat ovat monipuolistuneet ja käyttökohde määrittää sen, millaisen kameran lennättäjä tarvitsee. Harrastajille ja kuluttajille riittää pääsääntöisesti RGB kamera. RGB tulee sanoista red, green, blue, joka on suomeksi punainen, vihreä, sininen. Nämä kolme aallonpituutta sekoitetaan eri voimakkuuksilla ja niistä luodaan värimallispektri. RGB:tä käytetään myös televisioissa, älypuhelimissa ja tietokoneen näytöissä. (Mapir, 2024) Tässä opinnäytetyössä suurin osa kuvauksista on toteutettu RGB kameralla varustetusta DJI 2 mini dronesta.

Multispektrikamerat ovat ammattimaisempaan käyttöön, ne ovat erikoiskameroita, joita voi hyödyntää monipuolisesti eri aloilla. ne pystyvät tallentamaan dataa eri aallonpituuksilla ja infrapunalla, jota ihminen ei pysty paljaalla silmällä havaitsemaan.

Toinen drone, jota käytettiin kaurapellon kuvauksissa, on DJI Matrice 210, jossa oli Altum multispektrikamera. Tässä kamerassa on kuusi erillistä kameraa, joista jokainen on suunniteltu tallentamaan kuvia tiettyyn spektrikaistaan. Vihreä kaista tallentaa vihreän valon aaltopituudella, punainen kaista tallentaa punaisen valon aaltopituudella, sininen kaista tallentaa sinisen valon aaltopituudella, infrapuna tallentaa punaisen reunuksen, joka arvioi kasvien ja biomassan terveyden, pitkäaalton infrapuna tallentaa pitkäaikaisen infrapunan valon, joka kertoo lämpötilojen keräämisen ja pankromaattinen valo tallentaa koko spektrin näkyvän valon. (MicaSense, 2020) Multispektrikameroita hyödynnetään paljon eri aloilla, maataloudessa biomassan mittaamiseen ja maaperän kartoitukseen, metsätaloudessa mitataan metsien tilaa ja maa-alueiden muutoksia (Luonnonvarakeskus, n.d.)

Hyperspektrikamerat ovat tehokkaampia kuin multispektrikamerat. Edellä mainittiin multispektrikameran kyky tallentaa väreit eri spektrikaistoihin, joita oli viisi erilaista.

Hyperspektrikamera pystyy kuvantamaan kymmeniä tai jopa satoja kaistoja. Vihreän, punaisen, sinisen ja infrapun lisäksi hyperspektrikamerat kykenevät myös kuvantamaan ultravioletisäteilyn (UV) (MicaSense, 2023). Hyperspektrikameroita hyödynnetään myös eri aloilla: maataloudessa ne tarjoavat analyttisempää tietoa pellon ja kasvuston tilasta, lääketieteessä ne auttavat havaitsemaan biologisen kudoksen muutoksia, mikä helpottaa

sairauksien diagnosointia, teollisuudessa niitä käytetään laadunvalvonnassa ja poliisien rikospaikkatutkinnassa (Maaseudun tulevaisuus, 2019).

2.1.3 Dronen lennätys sekä lainsäädäntö

Vuoden 2024 tammikuu toi muutoksia dronen lennättämiseen, sillä droneasetuksen siirtymäkausi päättyi. EU-alueen yhteinen asetus droneille alkoi 31.12.2020 ja päättyi 1.1.2024, tällöin kaikille uusille droneille tulee saada c-luokitus merkintä, jotta sitä voi käyttää avoimessa luokassa. (Droneinfo, 2023)

Dronejen yleistymisen vuoksi ne pitää asettaa eri luokkiin, koska kaikilla on eri käyttötarkoituksensa ja vaatimustaso vaihtelee laajasti. Näissä luokissa määritellään dronejen paino, lentokorkeus, mahdollinen näköyhteys, mitä saa kuljettaa ja missä saa lennättää. Dronet jaetaan kolmeen eri lentoluokkaan: avoin, erityinen sekä sertifioitu. Kolmen kategorian lisäksi dronet jaetaan myös seitsemään eri C-luokkaan. (Droneinfo, 2023)

Avoimeen luokkaan kuuluu harrastustoiminta sekä ammattitoiminta, tässä luokassa droonien paino saa olla maksimissaan alle 25 kg. Avoimessa luokassa maksimilentokorkeus on alle 120 metriä ja dronen kauko-ohjaajalla tulee olla VLOS eli näköyhteys droneen koko lennon ajan. Väkijoukkojen päällä ei saa lennättää, eikä kuljettaa tai pudottaa vaarallisia aineita tai tavaroita. Avoimessa luokassa riittää rekisteröityminen sekä hyväksytysti suoritettu koe Traficomilta. Avoimeen luokkaan kuuluu kolme alaluokkaa A1-A3, nämä luokat määrittelevät droonien painorajat sekä kauko-ohjaajan vähimmäisiän, 12-vuotta. Dronen käyttäjän tulee olla täysi-ikäinen. Avoimeen luokkaan kuuluu myös C0-C4 luokitukset lennättämisessä. (Droneinfo, 2023)

Erityisessä luokassa toiminta on ammattimaista ja se ei mahdu avoimen luokan vaatimuksiin. Dronen massa on yli 25 kg tai taajamassa 4 kg. Lennot suoritetaan yli 120 metrin korkeudessa, eikä kauko-ohjaajalla ole näköyhteyttä droneen. Tämä drone saa kuljettaa tavaroita ja pudottaa niitä. Erityisessä luokassa saa myös lennättää dronea väkijoukon yläpuolella. Tähän luokkaan voi toimintalupaa hakea EASA:n julkaiseman ennakkoriskiarvion (PDRA) tai oman SORA-riskiarvion pohjalta. (Droneinfo, 2023)

Sertifioidussa luokassa saa kuljettaa ihmisiä sekä vaarallisia aineita. Ihmisjoukkojen yllä saa lentää, kunhan dronen siipienväli on yli 3 metriä. Tämän luokan luvat ja pätevyyydet on verrattavissa miehitettyyn ilmailuun. C5 sekä C6 luokitukset kuuluvat sertifioidun ja ammattimaisen lennättämisen alle. (Droneinfo, 2023)

2.1.4 Ohjelmat

Tähän tutkimukseen tarvittiin kartoitusohjelmaa, joka pystyy analysoimaan kaurapellosta saatuja kuvia. Ohjelmistojen valikoima on laaja ja kaikissa on käyttökielenä englanti. Tarkastelun kohteena olivat seuraavat ohjelmistot datan purkua varten: Dronedeploy, Agisoft, Pix4DFields ja AgEagle.

DroneDeploy on pilvipohjainen kartoitusohjelmisto, joka tuottaa kuvista 2 D- ja 3 D-mallinnuksia sekä ortomosaiikkeja. (Dronedeploy, 2024) Agisoft on erikoistunut fotogrammetriaan ja kykenee myös luomaan kuvista 3D-versioita. Agisoft sopii kuitenkin paremmin arkeologiaan tai elokuvatuotantoon. (Agisoft, 2023) AgEagle analysoi maaperää ja tarjoaa ratkaisuja maatalouteen. AgEagle RX48 ja AgEagle EDGE on suunniteltu keräämään tarkkaa tietoa maaperästä ja ovat suosittuja maanviljelijöiden keskuudessa. (AgEagle Aerial Systems Inc, 2024) Pix4DFields on suunniteltu maaperän ja viljelykasvien analysointiin, ja se pystyy myös luomaan kuvista ortomosaiikkeja sekä mallintamaan 2 D- ja 3 D-versioita kuvista. (Pix4DFields, 2023). Tämän tutkimuksen käyttöön valittiin Pix4DFields -ohjelmisto, sillä Hämeen ammattikorkeakoululla oli käytettävissään olemassa oleva lisenssi tähän ohjelmistoon.

Datan analysoinnissa päätettiin käyttää Pix4DFields kartoitusohjelmaa. Tämä ohjelmisto yhdistää dronella otetut RGB-tai multispektrikuvat yhdeksi ortomosaiikkikuvaksi pellosta. Lisäksi ohjelmisto mallintaa kuvat 2 D- että 3 D-muotoon. Kartoitusohjelman avulla voidaan suorittaa erilaisia mittauksia, kuten yksittäisen muodon pituuden, pinta-alan ja erilaisten tilavuuksien mittaamisen. Pellon kartoituksissa voidaan luoda kasvillisuusindeksejä ja arvioida kasvuston terveyttä näiden perusteella. Ohjelma tehostaa viljelyä, koska viljelijä voi kuvien avulla tunnistaa jopa suuret rikkaruohot kasvuston joukosta ja tarjota ruiskutuskarttoja viljelijöille, mikä vähentää torjunta-aineiden käyttöä (Pix4DFields, 2023) Pix4DFieldsin avulla voidaan kartoittaa joko laajempia alueita tai useita pienempiä alueita: ohjelmasta löytyy mosaiikkityökalu, jonka avulla haluttu alue voidaan helposti rajata ja tutkia tarkemmin. Mikäli pellolla on häiritseviä kohteita, kuten suuria kiviä tai puita, ne voidaan rajata pois ohjelman avulla.

2.1.5 Indeksit ja kaavat

Pix4DFields muuntaa dronella otetut kuvat erilaisiksi malleiksi ja indekseiksi. Jokaisella mallilla on omat kaavansa niiden laskemiseen, mikä helpottaa tutkimustyötä ja kuvien

analysointia. Tässä tutkimuksessa tutkitaan indeksejä TGI, NDVI, NDRE, sekä VARI. Indeksien analyysit löytyvät osiosta numero 4.

TGI (Triangular greenness index) tutkii kasvillisuuden vihreyttä, kasvuvaiheita sekä kasvuston terveyttä. TGI käyttää RGB kuvien värejä, määrittääkseen kasvuston vaiheet. (Pix4D SA, 2023) TGI:n arvo vaihtelee välillä -1 ja +1. Kuvassa 2 on esitetty TGI:n laskentakaava.

Kuva 2 TGI:n laskentakaava. (GIS resources, 2022)

$$TGI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Red + Blue)}$$

NDVI (Normalized Difference Vegetation) on normalisoitu kasvillisuusindeksi. Käytetään maataloudessa biomassan mittaamiseen sekä tarkkuusviljelyyn, kuvista näkyy rikkaruohot sekä kuivat kohdat. (Eerola, 2020, s. 10) Metsätaloudessa NDVI:tä käytetään lehtipinta-alan mittaamiseen. Lisäksi tätä indeksiä hyödynnetään kuivuuden mittaamiseen. NDVI indeksi soveltuu hyvin mittaamaan nuorempaa kasvustoa. Indeksini asteikko menee punaisesta keltaiseen ja lopuksi vihreään siten, että punaisella alueella on vähiten lehtivihreää. NDVI voi saada arvoja väliltä -1 ja +1. Kuvassa 3 on esitetty NDVI:n laskentakaava.

Kuva 3. NDVI-indeksin laskenta kaava (GISgeography, 2023)

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

NDVI-indeksi perustuu aallonpituusalueiden väliseen suhteeseen $(NIR-RED) / (NIR+RED)$. (SYKE, 2006)

NDRE (Normalized difference red edge) on NDRE on parempi pitkälle kehittyneen kasvuston seuraamisessa. NDRE indeksin kuvista voi erottaa onko kasvusto tervettä vai ei. NDRE

indeksi käyttää lähi-infrapunaa ja punaisen reunan suhdetta. (EOS data analytics, 2024)
Kuvassa 4 on esitetty NDRE:n laskentakaava. Näihin tarvitsee multispektrikuvia.

Kuva 4 NDRE-indeksin laskentakaava. (AxelGlobe, 2021)

$$\frac{(NIR - Red\ Edge)}{(NIR + Red\ Edge)}$$

NDVI:n ja NDRE:n laskentakaavat näyttävät samanlaisilta, NDRE mittaa infrapunaa sijaan red edge kaistan 712-723nm. (AgriTech Tomorrow, 2024)

VARI indeksi (Visible atmospherically resistant index) käytetään RGB-kuvien analysoimiseen. VARI-indeksi vähentää kuvissa olevia valaistuseroja ja kuvaa kuvan vihreyttä. Indeksistä esittävästä kuvasta suodatetaan eri aallonpituuksia ja tarkastellaan, ovatko mahdolliset kasvuston erot havaittavissa tällä tavoin. VARI lasketaan samoin kuin NDVI, suurempi arvo kertoo terveellisestä kasvustosta ja pienempi arvo kuivemmasta kasvustosta. VARI korjaa muiden indeksien puutteita, jotka voivat johtua esimerkiksi pilvisyydestä. (EOS data analytics, 2024)

VARI indeksin kaava lasketaan:

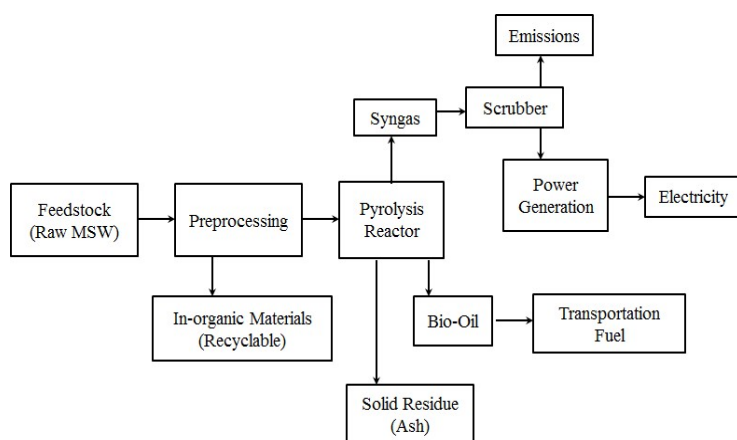
$$(\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue}) \text{ (ArcGIS Pro, n.d)}$$

2.2 Biohiili maanparantajana

Kasvunsa tueksi kasvi tarvitsee valoa, vettä, ravinteita ja ravinteikasta maaperää. Ihmiskunta on käyttänyt lannoitteita pelloillaan jo tuhansien vuosien ajan. Teollinen vallankumous 1800-luvulla muutti myös maataloutta ja teki lannoitteiden käytöstä tehokkaampaa (Binogi, 2024). Maatalousyrittäjät ja eri alojen tutkijat pyrkivät jatkuvasti kehittämään maaperän ravitsemiseen tarkoitettuja lannoitteita, jotka edistäisivät kasvien kasvua ja johtaisivat parempaan satoon. Tämän vuoksi tutkitaan biohiilen käyttöä ja sen mahdollisuuksia maanparannusaineena. Viime vuosina biohiili on saanut huomiota ja sen kysyntä ylittää tarjonnan. Biohiiltä voidaan valmistaa erilaisilla menetelmillä ja sitä voidaan käyttää moniin eri tarkoituksiin, kuten vaateteollisuudessa, kosmetiikassa sekä äänen- ja lämmöneristeenä. (Springer nature, 2024) Tässä opinnäytetyössä keskitytään biohiilen käyttöön pellon

kasvustossa. Biohiili valmistetaan yleisesti pyrolyysitekniikalla, jossa materiaali altistetaan korkeille ja vähähappisille lämpötiloille (300-700 °C). Kuvassa 5 esitetään pyrolyysitekniikan prosessikaavio. Pyrolyysissä materiaali hajoaa ilman hapen reaktiota, mikä estää sen täydellisen palamisen. Tätä tekniikkaa kutsutaan myös kuivatislaukseksi. Tuloksena syntyy hiiltä, öljyä tai kaasuja riippuen siitä, mitä materiaalia käytetään. Tämä tekniikka auttaa vähentämään orgaanisen jätteen määrää, tuottaa sivutuotteita ja alentaa kasvihuonekaasupäästöjä. (Chowdhury & ym., 2017 ss. 6-13)

Kuva 5 Pyrolyysitekniikan prosessikaavio. (Researchgate, 2015)



Ensimmäisenä laitteeseen syötetään biomassamateriaalia, joka tässä tutkimuksessa on puujäte. Biomassa kuivataan, minkä jälkeen se altistetaan korkeille ja vähähappisille lämpötiloille (300-700 °C). Pyrolyysissä puujäte ei pala kokonaan, vaan muuttuu hiilimäiseksi vähähappisessa tilassa. Prosessissa vapautuva lämpöenergia voidaan hyödyntää lämmitykseen tai energiantuotantoon. (Emis, 2010)

Biohiili valmistetaan biomassasta, joka on peräisin puusta, kuten koivusta, lepästä ja haavasta. Biomassa on biologista materiaalia, jota voidaan hyödyntää energianlähteenä. Lisäksi puun biomassaan voi kuulua kasveja tai orgaanista jätettä. (U.S Energy information administration, 2023) Biohiilen valmistaminen on sekä ympäristöystävällistä että kustannustehokasta, ja sitä voidaan valmistaa myös kotitalouksissa. Biohiilen maine maanparantajana perustuu sen huokoiseen ominaisuuteen, jonka ansiosta se kykenee sitomaan paljon vettä ja ravinteita. Tämän kyvyn ansiosta biohiili lisää maaperän kosteutta ja vaikuttaa myönteisesti maaperän mikrobistoon. Biohiilen monipuolisten ominaisuuksien

vuoksi se vähentää vesistöihin pääseviä ravinnevalumia ja voi säilyä maaperässä satoja tai jopa tuhansia vuosia, toimien siten pitkäaikaisena hiilivarastona. (Carbons Finland Oy, 2021)

2.3 Bioliete

Bioliete on sian lietelantaan sekoitettua biohiiltä. Lietelantaa lisätään ominaisuuksiltaan huokoiseen biohiileen, jotta lannan sisältämät ravinteet varastoituisivat sen pinnalle. Lietelanta sisältää orgaanista ainesta, joka lisää maaperän hedelmällisyyttä. Huokoset varastoivat itseensä haihtuvat sekä pintavesien mukana karkaavat ravinteet. Bioliete edistää kasvuston kasvua, sillä kasvien juuret saavat käyttöönsä huokosiin varastoituneet ja liuenneet ravinteet käyttöönsä. (Henriksson & Juva, 2023)

2.4 Mitä tutkimuksia aiheeseen liittyy

Biohiilen edistämistä kasvustoissa on tutkittu jo aiemminkin, biohiilessä nähdään potentiaalia. Biohiilen tutkimustyö ei rajoitu pelkästään maatalouteen tai käyttöä maanparannusaineena. Biohiilen käyttöä on tutkittu myös vaateteollisuudessa, se voisi korvata puuvillan käytön, jota viljellään alueilla, jossa kärsitään jo valmiiksi kuivuudesta, näin ollen vaateteollisuudessa saataisi vähennettyä hiilijalanjälkeä. Biohiiltä käytetään kankaissa ennen värjäystä, tämä prosessi vähentää kemikaalien käyttöä. Vaatteita voi valmistaa maatalouden jätteistä, mikä edistää kiertotaloutta ja vähentää luonnonvarojen käyttöä. (Jord, 2023)

Biohiilen käyttö vaateteollisuudessa on vielä verraten vähäistä, samoin kuin sen käyttö talojen rakenteissa. Biohiiltä voidaan käyttää kosteuden hallintaan, mikä vähentää homeen ja kosteusvaurioiden riskiä. Sitä voidaan hyödyntää myös lämpö- ja äänieristeenä, ja se edistää rakenteiden hengittävyttä, mikä takaa paremman sisäilman laadun. (Jord, 2023)

Biohiilen tutkimustyön merkitys on ympäristöystävällisten vaihtoehtojen kehittämisessä, jotka pienentävät hiilijalanjälkeä ja vähentävät haitallisten kemikaalien käyttöä monilla aloilla, kuten maataloudessa, vaateteollisuudessa, rakennusallalla, vedenpuhdistuksessa ja energiantuotannossa. Biohiilen käyttö edistää kiertotaloutta, ilmastonmuutoksen torjuntaa, energiatehokkuutta sekä luonnon monimuotoisuuden säilymistä, samalla hyödyntäen biomassaa tehokkaasti. (Regeneration International, 2014) Tämä vastaa tutkimuskysymykseen, voiko biohiiltä hyödyntää muilla aloilla kuin maataloudessa. Biohiiltä

voidaan soveltaa monipuolisesti eri aloilla, ja sen tutkimus- ja kehitystyötä tulisi jatkaa, jotta se olisi kaikkien saatavilla. Tällä hetkellä kysyntää on biohiilelle, mutta tarjonta ei vastaa kiinnostusta. Biohiilen edut vastaavat globaaleja kestäväen kehityksen haasteita, ja siitä voisi hyötyä monin eri tavoin. Esimerkiksi yksittäinen kuluttaja voi käyttää sitä kotonaan kasvualustana, kun taas vaateteollisuus voisi vähentää puuvillan käyttöä, mikä olisi merkittävä ratkaisu maailmanlaajuisesti. (International Biochar Initiative, 2022)

3 Työn tarkoitus ja tavoite

Tässä toiminnallisessa opinnäytetyössä tutkimusmenetelmänä käytetään datan analysointia sekä kuva-analyysiä. Data-analyysi on prosessi, jossa kerättyä tietoa tutkitaan ja muunnetaan hyödylliseksi tiedoksi. Yleensä data-analyysiä käytetään ongelmanratkaisuun tai tehokkuuden lisäämiseksi, prosessi kattaa yleensä monia vaiheita ja työkaluja. Data-analyysi on monivaiheinen prosessi, jossa keskeiset vaiheet ovat: tiedonkeruu, kerätyn tiedon valmistelu, erilaisten analyysimenetelmien valinta ja soveltaminen. Lopuksi on tulosten tulkinta sekä raportin valmistelu ja visualisointi. Data-analyysissä kaikki työvaiheet ovat yhtä tärkeitä. (Provost & Fawcett, 2013, kappale 1) Kuva-analyysi on prosessi, jossa varmojen tulosten aikaansaaminen edellyttää tavoitteellista sekä loogista työskentelyä, kuva-analyysiä on perinteisesti käytetty taiteen tutkimuksessa. (Muotio, 2022)

Data-analyysi on luotettava menetelmä tutkimuksessa, kunhan sitä käytetään oikein ja asianmukaisesti. Kerätyn datan pitää olla luotettavaa ja analyysimenetelmien valittu tutkimuskysymysten mukaisesti. (Provost & Fawcett, 2013, kappale 4)

Nygårdin tila osallistui biohiilipilottiin, jossa kokeiltiin biohiiltä maanparannusaineena Liden nimisellä peltolohkolla. Osana Lyckan-hanketta järjestettiin biohiilidemopäivä maaliskuussa 2023, jolloin valmistettiin pellolla käytettävää biohiiltä. Puolet biohiilestä valmistettiin Nygårdin tilalla ja puolet toimitti pyrolyysilaitteistoja valmistava Mayt Oy. Työn tavoitteena oli lisätä maaperän ravinteikkuutta biohiilen avulla sekä hyödyntää biohiilen valmistusprosessissa syntyvää lämpöenergiaa, jota voitaisiin myydä eteenpäin. (Arola & ym., 2023, s. 81)

3.1 Hankkeen esittely

Nygårdin tila on osallistunut Lapinjärvellä toimivaan Lyckan hankkeeseen, jonka kehittää biokiertoaloutta ja luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia paikallisille yrittäjille sivuvirtojen

avulla. Lyckan hanke on toteutettu yhdessä Lapinjärven kunnan, Haaga-Helian, Laurean, LAB ammattikorkeakoulun sekä Hämeen ammattikorkeakoulun kanssa. Hankkeen rahoitus on saatu Uudenmaan liiton Euroopan aluekehitysrahastosta, hankkeen toteutusaika on 1.9.2021-31.8.2023 Lyckan hanke jaetaan neljään eri osa-alueeseen, jotka ovat biokierratalous, matkailu, luovat alat sekä living lab. (Lyckanhub, 2023)

Vertailukelpoisen datan saamiseksi käytetään kahta eri dronea peltokuvien ottamiseen ja niistä saadun datan analysointiin kartoitusohjelman avulla. Kuvassa 6 verrataan kahden eri dronen ominaisuuksia. Multispektrikameran kuvista saadaan tutkimukselle hyödyllistä dataa kaurapellon maaperän kunnosta ja biomassan määrästä. Kauko-ohjaimena toimii Nokia 5.4 ja sen ohjelmistona Drone Harmony. Datankäsittelyyn käytetään Pix4DFields-kartoitusohjelmaa.

Kuva 6 Kahden peltokuvauksissa käytettävän dronen ominaisuuksien vertailua. (DJI, 2021)

DJI Mini 2		DJI Matrice 210	
Tuote	Drone	Tuote	Drone
Malli		Malli	
Nelikopteri		Nelikopteri	
Tuettu paristojen lukumäärä	Kaksi	Tuettu paristojen lukumäärä	Kaksi
Akku teknologia polymeeri (LiPo)	Litium	Akku teknologia polymeeri (LiPo)	Litium
Akun kapasiteetti mAh	2250	Akun kapasiteetti mAh	4280
Akun jännite	7.7 V	Akun jännite	22.8 V
Maksimi ilmaannousupaino	249 g	Maksimi ilmaannousupaino	6140 g
Huippunopeus	10 m/s	Huippunopeus	23 m/s
AC-adapterin teho	18 W	AC-adapterin teho	180 W
Käyttölämpötila C	-10-40 °	Käyttölämpötila C	-20-40 °

DJI Mini 2:lla on lyhyempi lentoaika ja kantomatka verrattuna DJI Matrice 210:een. Ammattikäytössä pidempi lentoaika ja kantomatka ovat välttämättömiä. DJI Matricen ilmaannousupaino on myös paljon suurempi, minkä vuoksi se kykenee kantamaan isompia ja tehokkaampia kameroita. Enimmäislatausteho on 18W Mini 2:ssa, kun taas Matricessa se on 180 W. DJI Mini 2 on tehokas harrastuskäyttöön suunniteltu drone, kun taas DJI Matrice 210

on suunniteltu ammattimaiseen käyttöön, jossa tarvitaan enemmän ominaisuuksia ja suorituskykyä.

4 Projektin suunnittelu ja toteutus

Kaikki dronen lennätykset tapahtuvat Lapinjärvellä, Liden nimisellä pellon kasvulohkolla. Kuvassa 7 on pelto lohkottuna kolmeen eri kaistaan. Koepeltoala on 1 ha ja koeala on kooltaan 80 m x 125 m. Kaikki kaistat ovat samankokoisia noin 27 m x 125 m ja kasvuolosuhteiltaan samanarvoiset, maastoon kaistat on merkattu merkkauviitoilla. Maalaji on viljavuustutkimusten mukaan hiesusavi, lohkon keskiosa on kivinen ja yleensä kivisellä alueella kasvusto on huonompi. Lohkon eteläpuolella virtaavan joen lähistöllä kasvu on normaalisti rehevintä. Kuvassa 7 on esitetty kaistat. Koealan itäisimmässä kohdassa kasvuolosuhteet vaikuttavat myös olevan hieman paremmat. (Henriksson & Juva, 2023)

Kuva 7 Ilmakuva koepeltoalasta (Henriksson & Juva, 2023)



Kuvassa 7 on esitetty koepeltoala, joka on jaettu kolmeen kaistaan. Tästä eteenpäin puhutaan Kaista 1, Kaista 2 sekä Kaista 3:sesta. Kaista 1 on tutkimuksen verrokkiala, siihen ei kylvätä mitään muuta kasvua edistävää ravinnettä kuin lietelantaa. Kaista numero kahteen on lisätty biolietettä huhtikuun lopussa ja kaista numero kolmeen on lisätty biohiiltä maaliskuussa. Kaikkiin kaistoihin kylvetään kauraa, sekä noin sata kiloa typpilannoitetta

(Yara Mila Y3) noin 100 kg N/ha. Biohiili on aiemmin valmistettu demopäivänä pyrolyysiteknikalla, ja sen raaka-aineina on käytetty sekapuuklapeja. Koeala kylvettiin 14.5.2023. Koeala oli kynnetty syksyllä, ja äestettiin s-piikkiäkeellä ennen kylvää. Kasvukauden aikana suoritettiin kasvinsuojeluruiskutus 22.6.2023. Kuvassa 8 on tarkemmin esitetty koekaistojen pinta-alat, käsittelytavat, käsittelymenetelmät sekä kaistoille levitetyn biohiilen ja/tai lietelannan määrät.

Kuva 8 Suunnitellun peltokokeen koekaistojen pinta-alat ja käsittelymenetelmät

Koekaistan tunnus	Pinta-ala	Käsittelytapa	Levitysmenetelmä	Biohiilen määrä	Lietelannan määrä
Koekaista 1	0,33 ha	Lietelanta	Lietevaunu, levitys 13.5.2023	-	7 m ³
Koekaista 2	0,33 ha	Lietelantaan sekoitettu biohiili	Lietevaunu, levitys 13.5.2023	3,5 m ³	7 m ³
Koekaista 3	0,33 ha	Kuiva, käsittelemätön biohiili	Hankilevitys kalkkivaunulla 15.3.2023	3,5 m ³	-

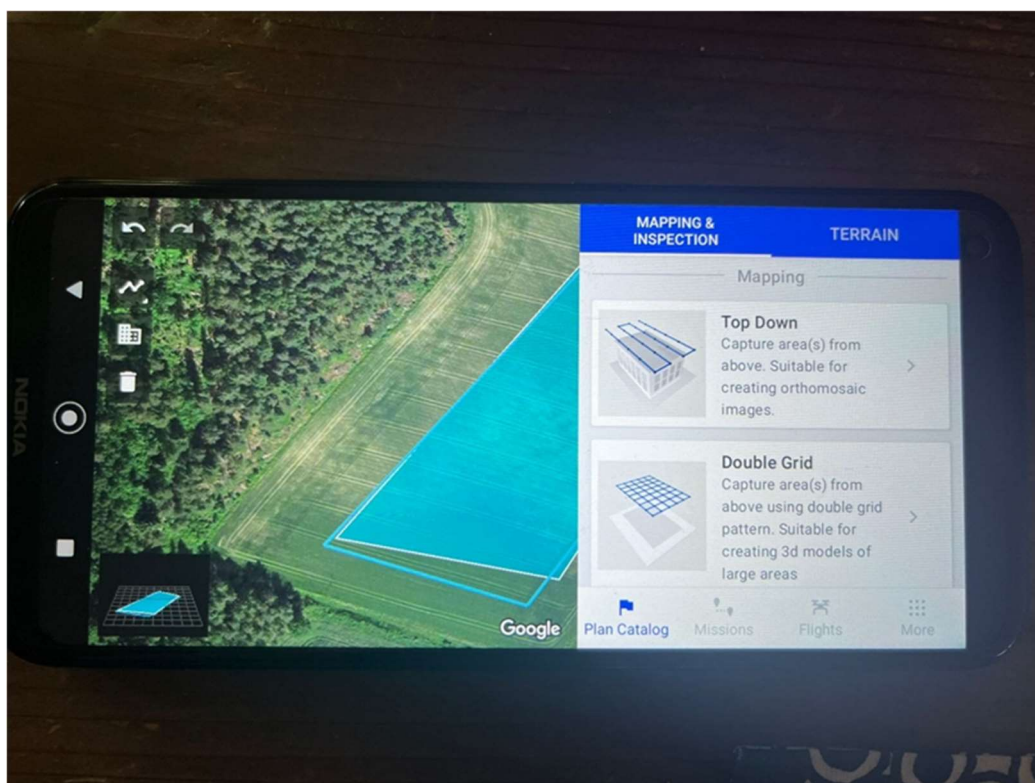
4.1 Dronen lennätys koepeltoalalla

Ennen koepeltoalalle lähtöä, tulee suunnitella tarkoitus lentotehtävälle sekä tavoite ja kuvamateriaalin vaatiman lentoradan suunnittelu. Kohteessa kartoitetaan mahdolliset riskit; GPS häiriöt, lentoesteet, maasto, ympäristö sekä muuttuvat tekijät. Suunnitteluun kuuluu myös ilmatilan kartoitus, määritetään turvallinen lentokorkeus, RTH-korkeuden määrittäminen (Return to home) on toiminto, joka käskää dronen palaamaan lentoonlähtöalustalle takaisin. Aviamapsista tulee tarkastaa ilmatilanrajoitukset ja tarvittaessa olla yhteydessä lennonjohtoon. Aviamaps on online-karttapalvelu, josta lennättäjät voivat tutkia ilmailukarttoja sekä suunnitella lentoreittejä. (Aviamaps, 2023) Ennen lentoon lähtöä tulee myös dronen osien toiminta tarkistaa, tähän kuuluu näytön akun lataus, tässä tutkimuksessa on käytössä Nokia 5.4 ja kiinnitys, kauko-ohjaimen akun riittävä lataus, kopterin ulkoinen kunto, muistikortti droneen sekä kopterin akut ladattuna ja oikealla paikallaan. Nämä alkuvalmistelut on hyvä tehdä autossa, jotta pellolla on kaikki valmiina lennättämistä varten.

Pellolla merkitään lentopaikka lentoonlähtöalustalla. Tämän jälkeen suoritetaan riskikartoitus, tähän kuuluu säätilanteen kartoitus, muut miehittämättömät ilma-alukset, linnut tai voimajohdot. Aviamapsin sivuilta tarkastetaan saako alueella lentää, voi onko se mahdollisesti P-area (Prohibited area), R-area (Restricted area) tai D-area (Danger area). Aviamapsiin voi tehdä oman lentoilmoituksen. Riskianalyysin jälkeen kopterin voi valmistella lentoon lähtöön; jalat auki, akku kiinni, muistikortti omalle paikalleen ja lopuksi gimbaalin suoja pois. Gimbaali vakauttaa dronen kameraa lennätyksen aikana. Sitten kopterin voi asetella lähtöalustalle, akku aina kauko-ohjaajaa päin ja tarkistus että kameralla on tilaa liikkua. Tämän jälkeen käynnistetään kauko-ohjain Nokia 5.4 ja Drone Harmony applikaatio. Lentotilan kytkin tulee aina lentoon lähtiessä olla Normal tilassa. Tämän jälkeen drone käynnistetään lyhyellä sekä pitkällä painalluksella, sitten tarkastetaan, että kauko-ohjain sekä drone ovat yhdistyneet ja tarkistetaan kopterin järjestelmän valmius sekä kotiinpaluun korkeuden säätö (RTH) 40-50 metrin korkeudessa. Maksimi lentokorkeus luokassa Open A1-A3 on 120 metriä. Lopuksi ennen lentoon lähtöä tarkastetaan akun lämpötila battery info kohdasta. Akun lämpö tulee olla 20 astetta, mikäli lämpötila on alhaisempi, pitää dronea pumpata ylös ja alas ennen kuin lähdetään korkeammalle.

Lentoon lähtiessä tulee huomioida esteettömyys ja ettei alueella ole ulkopuolisia. Kopterin lentovalmiudessa tulee ottaa huomioon akunvirta, signaaleiden riittävyys ja satelliittien lukumäärä. Dronen ollessa lentovalmiudessa, tulee yläreunassa lukea teksti: Takeoff permitted, kotipiste näkyy kartalla siinä, missä kauko-ohjaaja on. Sitten valitaan reitti, mitä drone lähtee suorittamaan, peltoa kuvatessa valitaan Top down toiminto, joka on esitetty kuvassa 9. lentokorkeus 50 metriä sekä lentonopeus on 3.0 m/s. Gimbaalin korkeuden ohjaus on -90 astetta. Nämä asetukset tulevat olemaan samat kaikilla lennoilla. Lopuksi suoritetaan lento. Lennot menivät muuten odotetusti, mutta ensimmäisellä lennolla drone jäi lentoreittinsä jälkeen paikalleen 50 metrin korkeuteen, eikä ottanut käskyjä vastaan. Tällöin piti ottaa käyttöön RTH -toiminto, joka asetetaan kauko-ohjaimesta ennen lentoa. Kotiinpaluun aktivoiminen on helppoa, ohjaajan tulee painaa kaksi kertaa Return to home-nappia ja odottaa että drone palaa takaisin lähtöpaikalle.

Kuva 9 Drone harmony ohjelmasta valittu reitti: Top Down kaurapellon kuvauksiin.



Muut lennot ja laskeutumiset sujuivat samalla tavalla kuin lähdötkin: akku suunnattiin ohjaajaa päin ja gimbaali osoitti eteenpäin. Lennättäminen päättyi aina, kun sammuttaa virran dronesta, näytöstä sekä kauko-ohjaimesta. Tämän jälkeen tarkistetaan kopterin ulkoinen kunto ja kootaan se kasaan. Gimbaalin suoja kiinnittäessä on oltava erityisen varovainen, sillä se on dronen herkin osa. Lopuksi lähtöalusta pakataan salkkuun.

4.2 Kesän 2023 aikataulu

Peltoalan omistaja Robin Nygård esitti toiveen kolmesta kuvauskerrasta kesän aikana. Biohiili sekä bioliete on laitettu koepellon kaistoihin maaliskuussa 2023. Kaikki lennot ajoitetaan kauran eri kasvuvaiheisiin, kesäkuussa kuvataan kauran orastusvaihetta, toinen kuvauskerta ajoitetaan kauran lippulehtivaiheeseen heinäkuussa, ja kolmannella kuvauskerralla tutkitaan kauran röyhyvaihetta elokuussa. Lentojen jälkeen kuvat laitetaan kartoitushjelma Pix4DFieldsin läpi ja päätetään mitä indeksejä analysoidaan. Tähän tutkimukseen valikoitui tutkittavaksi TGI-indeksi, joka tutkii kasvillisuuden vihreyttä. Muita tutkittavia indeksejä ovat NDVI, tämä indeksi tutkii myös vihreyttä sekä kasvien terveyttä.

NDRE-indeksi analysoi vihreyttä sekä lehtien klorofyllipitoisuutta. VARI-indeksi tutkii myös kasvillisuuden vihreyttä sekä terveyttä, lisäksi se korjaa NDVI-indeksin hajontaa vastaan.

4.3 Biohiilen vaikutuksen analysointia

Ensimmäinen kuvauspäivä oli 19.06.2023 Lapinjärvellä. Ensimmäisessä kuvauksessa kuvataan kauran orastusvaihetta. Kauran orastusvaihe on ensimmäinen tärkeä jakso heti kylvön jälkeen. Erittäin kuivan alkukesän takia oraat olivat vielä juhannusviikolla matalia, ja kasvusto oli harvahko (kuva 10). Kasvustossa oli havaittavissa jonkin verran peltosauniota, joka luokitellaan rikkakasviksi.

Kuvauksissa käytettiin JDI Mini2 dronea, se ohjelmoitiin ottamaan kuvia 140 kappaletta, teknisten hankaluuksien takia kamera ottikin vain 33 kuvaa. Kuvien vähäisyydelle ei löydetty syytä, sillä ohjelma on ohjelmoitu ottamaan sama määrä kuvia jokaisella kuvauskerralla. Kuvien siirrossa on voinut tapahtua joku virhe, mikä selittäisi kuvien määrän vähyden. Vähäisten kuvien takia, kartoitusohjelma Pix4DFields ei pystynyt tekemään kuvista yhtään kuva karttaa, josta pystyisi purkamaan dataa.

Kuva 10 Koealan kasvustoa ensimmäisellä kuvauskerralla 19.6.2023. Dronen lähtöpaikka merkitty laskeutumisalustalla (vilja oraalla).



4.4 Cropsat

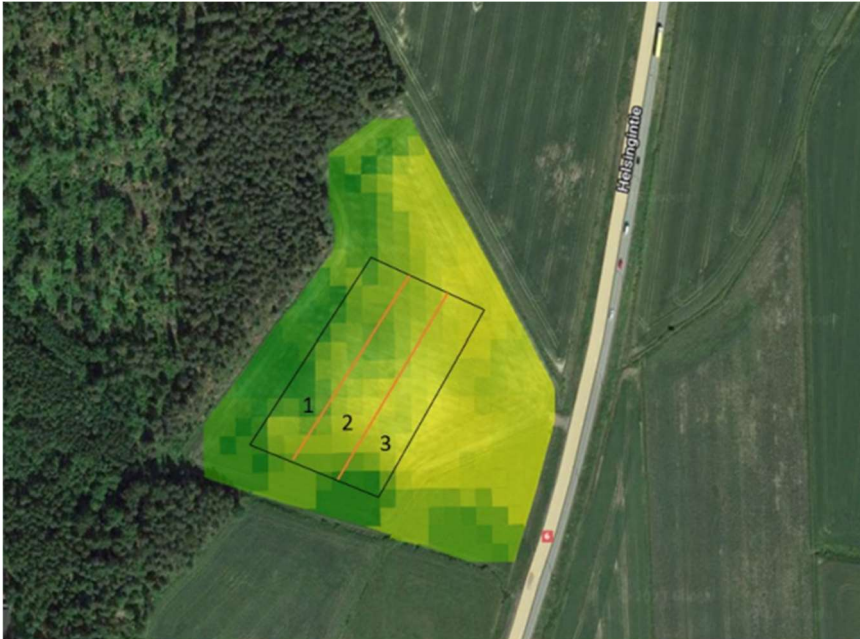
Jotta ensimmäisen kuvauksen tuloksista voitaisiin saada hyödyllistä kuvausdataa, jota pystyisi analysoimaan, hyödynnettiin Cropsat-sivustoa. Kyseessä on helppokäyttöinen verkkopalvelu, jota voi käyttää ilman lisenssejä tai rekisteröitymistä. Cropsat toimii satelliittikuvien avulla ja tarjoaa karttapalvelun, jonka avulla käyttäjä voi nähdä, miten biomassa vaihtelee pellolla. Palvelun avulla on myös mahdollista tarkastella esimerkiksi peltolohkoja ja luoda niistä karttoja. Satelliittikuvien tuottamasta datasta voidaan nähdä kasvuston määrä NDVI-indeksin avulla, ja sitä voidaan käyttää lannoituksen tarpeen määrittämiseen. Satelliittikuvat päivittyvät 1-2 päivän välein, joten data on erittäin ajantasaista. Ajoittainen pilvisuus saattaa vaikeuttaa kuvien ottamista, mikä voi johtaa vanhempaan tietoon, dronejen hyöty onkin kuvien saatavuus silloin kun niitä tarvitaan. Pix4Dfields-ohjelmiston tuottamien kuvien ja indeksien avulla voidaan tarkkailla pellon kuntoa ja lannoitetarvetta, ja samankaltaisia havaintoja voi tehdä myös Cropsatissa. (Dataväxt, 2024) Kuvassa 11 on esitetty dronen ottama kuva koepellosta, kuvassa 12 on Cropsat sivuston kautta otettu kuva koepellosta päivää ennen lennätystä.

Kuva 11 on esitetty 19.6.2023 DJI Mini 2:lla otetuista kuvista yhdistetty ilmakekuva.



Kuvassa 11 on esitetty 19.6.2023 otetuista kuvista yhdistetty ilmakuva. Kuten kuvasta havaitaan ei drone kuvannut koko kuvausalaa, vaan on ottanut kuvat reitin kääntöpisteistä, jolloin keskiosa lohkosta on jäänyt kokonaan kuvaamatta. Lähes koko koeala puuttuu kuvasta, koska teknisten ongelmien takia drone otti kuvauskerralla liian vähän kuvia.

Kuva 12 CropSat-palvelun satelliittikuvista tuottamaa NDVI-indeksiä Lidenin kasvulohkolla. (Cropsat, 2023)



Cropsat sivustolta haettiin Lidenin peltokuva, kuvan päivämäärä on 18.06.2023, eli päivä ennen dronen lennätystä. Kuvasta numero 12 näkyy koepeltoalan biomassaa. Kaista numero 1 on vihrein ja kaista numero 2:ssa ja 3:ssa on havaittavissa enemmän keltaisuutta, mikä viittaa siihen, että kaista numero 1:ssä on eniten kasvustoa ja biomassaa. Keltaiseen taittuvassa alueessa on vähiten lehtivihreää. Cropsatin kautta ei saa NDVI indeksiin arvoja, joten satelliittikuvasta päättelyminen on hyvin pintapuolinen arvio pellon kasvustosta.

Toinen kuvaus oli 30.06.2023. Tämä kuvaus on suoritettu kauran lippulehtivaiheessa, tässä vaiheessa kauran lehti, on saanut maksimipituutensa ja täysin avautunut. Lippulehtivaihe on tärkeä kasvukehityksessä ja siihen liittyy kasvin kukinnan alkaminen. (Suomen Viljava Oy, 2017) Toinen kuvaus piti toteuttaa suunniteltua aikataulua aiemmin, sillä kasvusto olikin kasvanut etujassa. Silmämääräisesti suurta eroa ensimmäisiin kuvauksiin ei ollut. Kuivan ilmaston vuoksi ei ole oletettavissa suuria kasvueroja ensimmäisen kasvuvuoden aikana.

Kuva 13 Toinen kuvaus, DJI Mini 2 -kopterilla otettu ilmakuva koealasta 30.6.2023. Koealan ja koekaistojen sijainti on merkitty kuvaan.



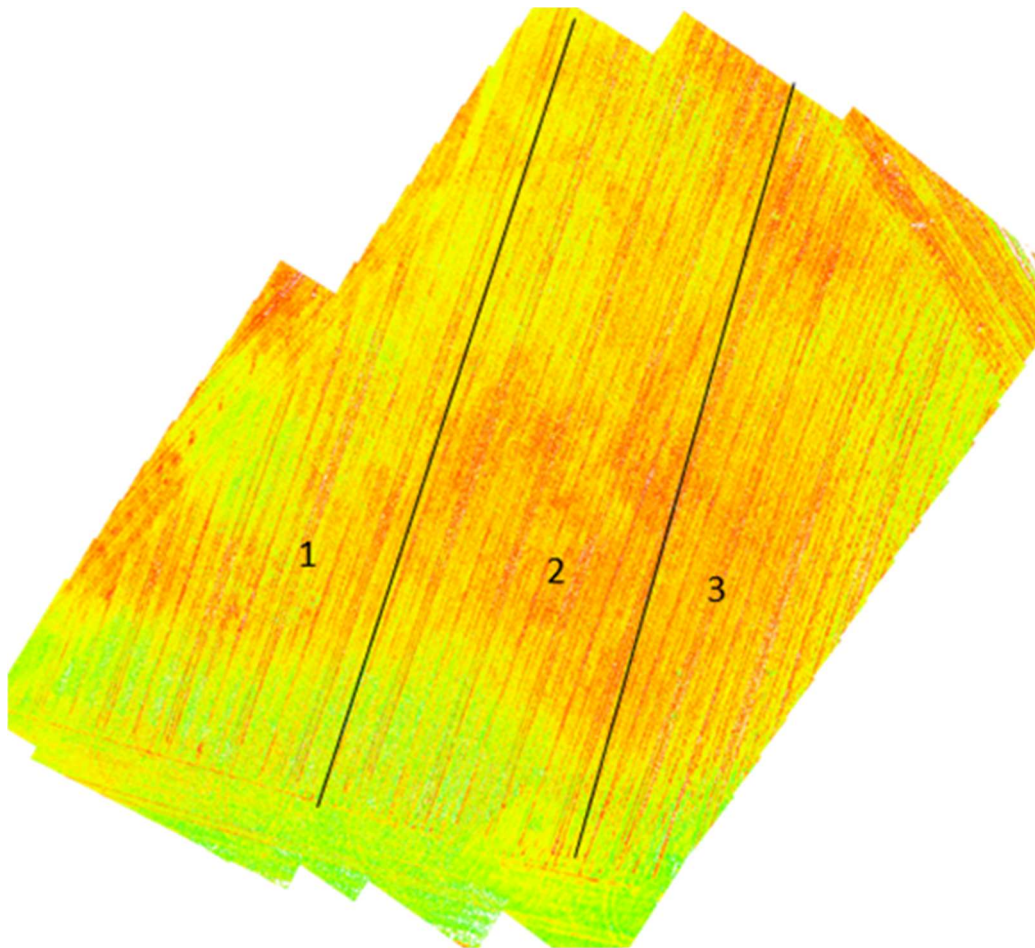
Kuva 12 on Pix4DFieldsin tekemä ortomosaiikkikuva koealasta. Pix 4DFields on yhdistänyt kaikki sadat dronen ottamat ortokuvat, eli kaikki pellostä otetut kuvat toisiinsa ja näin saadaan yksi kokonainen kuva koealasta. Tästä ortomosaiikista on vaikea paljaalla silmällä tehdä analysointia. Kaista numero 1, jonka vieressä virtaa joki voidaan havaita eniten vihreyttä, kaista numero 2 ja 3 ovat keskeemmältä kuivempia, joka voi hyvin johtua kuivasta kesästä. Ortomosaiikista ei pidäkään saada tarkkaa analyysiä, kuvassa 14 tutkitaan TGI-indeksiä, joka antaa myös indeksin arvot.

4.4.1 TGI-indeksi

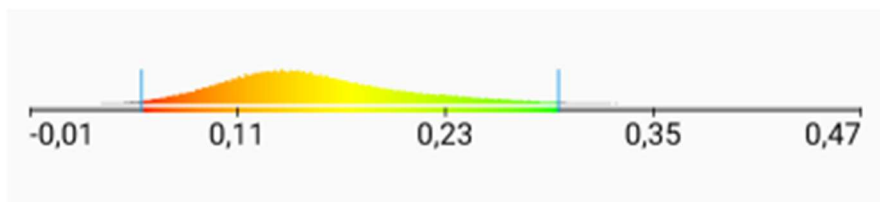
Toinen kuvauskerta sujui suunnitelmien mukaan ja sää oli tyyni sekä aurinkoinen. DJI 2 mini otti tarvittavan määrän kuvia pellon data-analyysiä varten. Toisen kuvauskerran kuvat riittivät Pix4DFieldsiin käsiteltäväksi, sieltä kerättiin analysoitavaksi TGI-indeksillä oleva kuva. Yllä oleva kuva 14 esittää TGI-indeksin. TGI kuvaa RGB:n klorofylli herkkyttä. TGI-indeksi perustuu heijastuskykyjen arvoihin näkyvillä aallonpituuksilla. Tästä kuitenkin puuttuu lähi-

infrapunasensori, joten emme voi saada tarkinta tulosta lehtivihreän määrän vaihtelusta. TGI ja NDVI- indeksien asteikko menee punaisesta keltaiseen ja lopuksi vihreään siten että, punaisella alueella on vähiten lehtivihreää ja vihreällä alueella eniten lehtivihreää. Kuten kuvasta 13 näkyy, alueella on paljon punertavia alueita, lohkossa 1 näkee eniten lehtivihreää. Alkukesän kuivuus vaikuttaa kasvustoon. Kuten koealan perustiedoissa mainittiin, lohkon keskiosa on kivinen ja kivisellä alueella kasvusto on yleensä huonompi. Lohkon eteläpuolella virtaavaa jokea lähempänä oleva kasvusto on normaalisti rehevintä. Kuvassa 15 on TGI-indeksi yksittäisen pikselin arvo on -0,01 -0,47:n välillä. Kuvissa 15 ja 16 on esitetty TGI-indeksin

Kuva 14 TGI-indeksi koealalla 30.6.2023. Koealan ja koekaistojen sijainti on merkitty kuvaan.



Kuva 15 TGI-indeksi

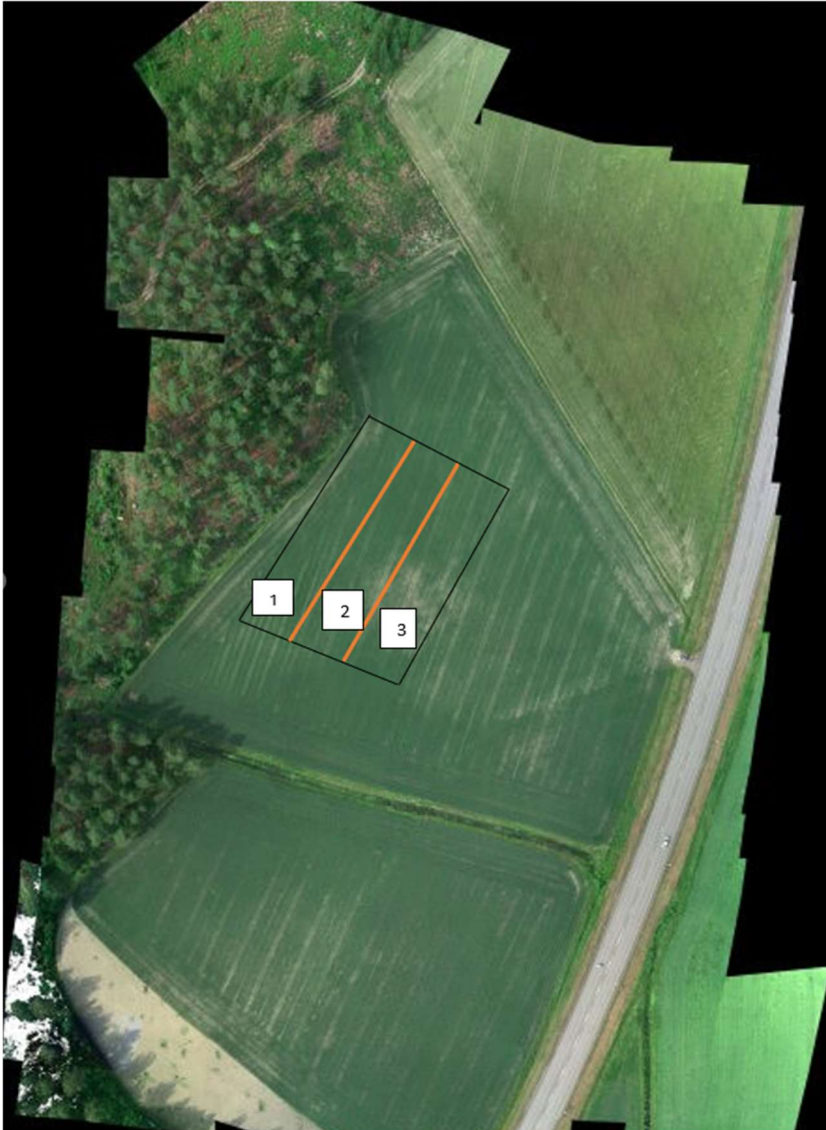


TGI-indeksi vaihtelee välillä -0,05 ja 0,25. Indeksien perusteella voimme päätellä, että alueella on vähän lehtivihreää ja kasvustoa, ja se sisältää myös negatiivisia arvoja. TGI:n tulkinta voi viitata siihen, että alueella on vähän biomassaa.

Kolmannet kuvaukset olivat 17.07.2023 ja tällöin kuvattiin kauran röyhyvaihetta eli kukintoa. Tällä kuvauskerralla näkyy jo silmämääräisesti, miten paljon kasvusto oli kasvanut. Kaura oli jo niin korkea ja tiheää, että dronen sensorit eivät meinanneet antaa lentolupaa. Lähtöalustan ympäristöön piti tehdä enemmän tilaa, jotta lento onnistui. Kuvassa 15 on esitetty 17.7.2023 otetuista kuvista yhdistetty ilmakuva ja kuvassa 16 käsitelty kuva, jossa esitetään lehtivihreän määrää kuvaava TGI-indeksi koelohkolla.

Kuvaukset onnistuivat suunnitellusti, sää oli suotuisa vaikkakin tuulinen ja DJI Mini 2:sta piti vaihtaa akku heti nousun jälkeen, tuuli kuluttaa akun kapasiteettia enemmän kuin tyyni sää. Ensin kuvattiin DJI Minillä ja onnistuneen lennon jälkeen ohjelmoitiin DJI Matrice lentämään sama reitti ja ottamaan enemmän kuvia Altum Multispectral kameralla. DJI Matrice 210 on tehokas drone ja Altum multispectral kameralla saa otettua laadukkaampia kuvia kuin mitä DJI Mini 2:lla. Välimatkaksi asetettiin 150 metriä. Lentonopeus oli 5.0 m/s ja lentokorkeus kuvien ottohetkellä 80 metriä. Altum Multispectral on varustettu kuudella erikoiskameralla, jotka tallentavat eri spektrisiä kuvia mm; punainen, sininen, vihreä ja infrapuna. Näillä spektreillä pystyy hyvin kuvantamaan kasvillisuuden muutoksia, sekä seuraamaan metsien ja peltojen kasvua. (Aonic, 2023) Kuvat ajettiin kartoituspalvelu Pix4DFieldsin kautta, josta saatiin paljon dataa kuvien analysointiin.

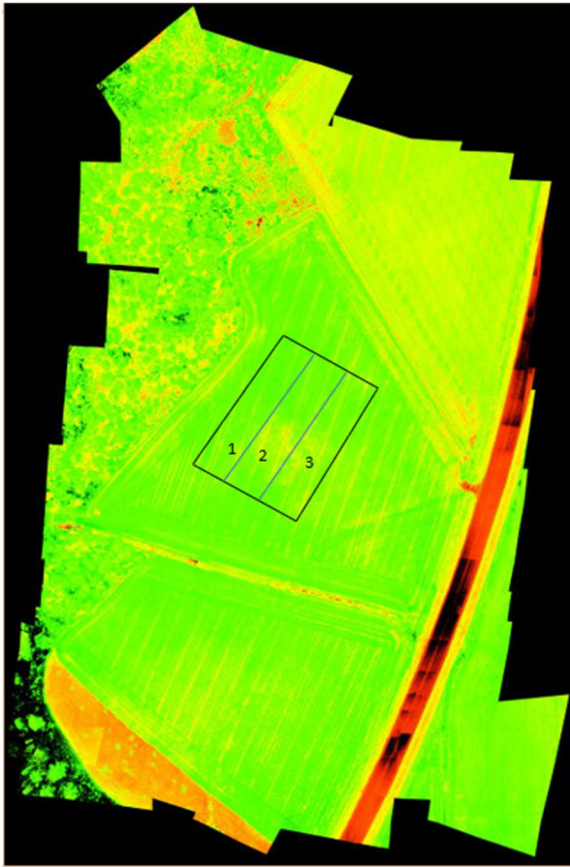
Kuva 16 Multispektrikameralla 17.7.2023 otettu ortomosaiikki ilmakuva Lidenin kasvulohkosta ja ympäröivästä alueesta. Koealan ja koeaistojen sijainti on merkitty kuvaan.



4.4.2 NDVI-indeksi

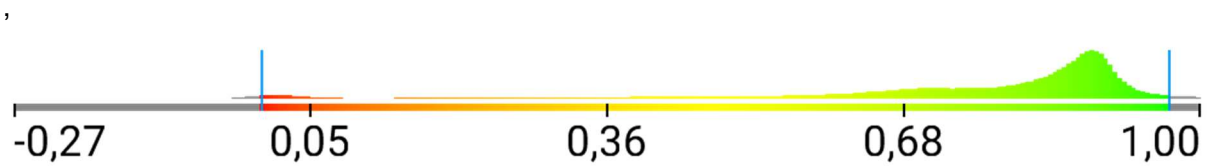
NDVI indeksi soveltuu hyvin mittaamaan nuorempaa kasvustoa. Indeksien asteikko menee punaisesta keltaiseen ja lopuksi vihreään siten, että punaisella alueella on vähiten lehtivihreää. NDVI voi saada arvoja väliltä -1 ja +1. Kuvassa 17 on ilmakuva pellostä NDVI muodossa.

Kuva 17. Multispektrikameralla 17.7.2023 otettu ilmakekuva, muutettu Pix4DFields ohjelmiston avulla NDVI-indeksiin.



Kuva numero 17 on NDVI muotoon muutettu kuva, jossa on koepeltoalan kaistat rajattuna. Kaista numero 1 on verrokkiala, johon ei ole lisätty mitään kasvua edistävää lannoitetta, pelkästään lietalantaa 7 m^3 . Kaista 1 on kaikista kaistoista vihrein, eli siinä on eniten kasvustoa, tosin kuvasta ei voi analysoida mitä itse kasvusto on. Kaista numero 2:een on lisätty lietalantaa 7 m^3 sekoitettua biohiiltä $3,5 \text{ m}^3$. Kaistan pohjoispuoli on tummempaa ja bioliete on antanut kasteluvaikutusta ravinteiden lisäksi. Kaistassa on havaittavissa maalajimuutosta, tällöin alue kuivuu enemmän. Kaista numero 3:een on lisättykuiva käsittelemätön biohiili $3,5 \text{ m}^3$. Biohiili on kuohkeuttanut maata ja jättänyt maahan ilmarakoja, biohiili on pitkäaikainen, eli se pysyy maassa kauan. Kuvassa 18 on NDVI-indeksin arvot esitettynä.

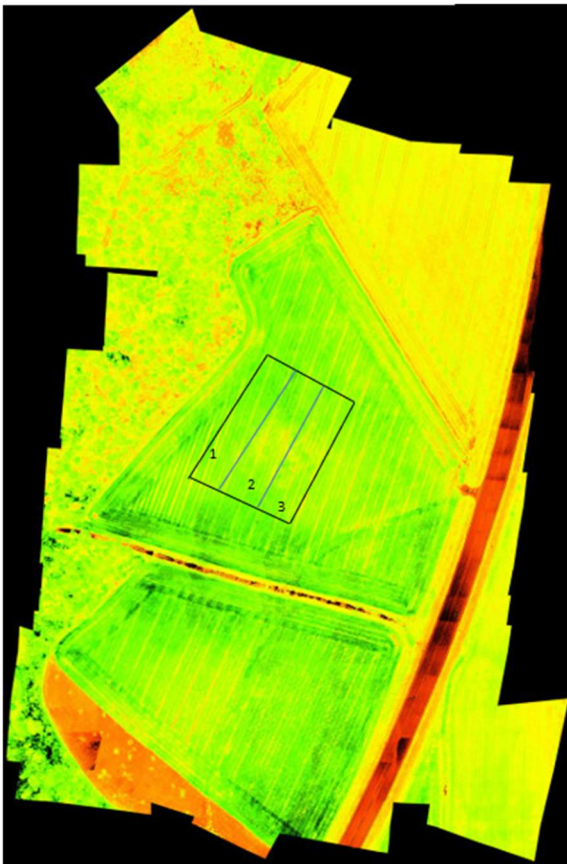
Kuva 18 NDVI-indeksi



4.4.3 NDRE-indeksi

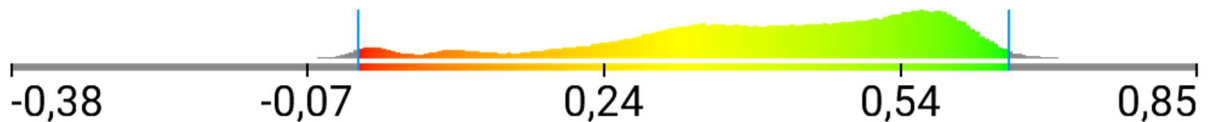
NDRE on hyödyllinen indeksi pitkälle kehittyneen kasvuston seurannassa. NDRE indeksin kuvista voi erottaa onko kasvusto tervettä vai ei. NDRE indeksi käyttää lähi-infrapunaa ja punaisen reunan suhdetta. (EOS data analytics, 2024) Kuva 19 esittää NDRE-indeksin pellostosta ja kuva 20 NDRE-indeksin arvot.

Kuva 19 Multispektrikameralla 17.7.2023 otettu ilmakekuva, muutettu Pix4DFields ohjelmiston avulla NDRE-indeksiin.



Silmämääräisesti NDRE kuva näyttää aivan samalta kuin NDVI, tosin tässä kuvassa keltaisuus korostuu kaistoissa 2 ja 3. Tähän voi olla syynä pellossa oleva hiekkasuoni tai sitten lannoituksen yhteydessä on lannoitusaine loppunut säiliöstä. Poikkeuksellisen kesän vuoksi, emme voi tulkita pellon kuntoa tai kasvillisuutta faktaan perustuen.

Kuva 20 NDRE-indeksin arvot

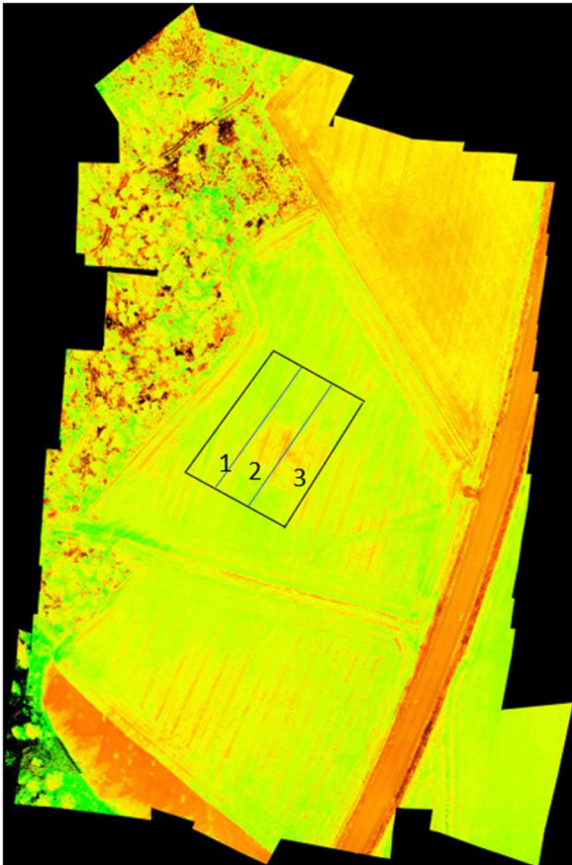


NDRE-indeksi saa myös arvonsa -1 ja +1 välillä. Mikäli arvot ovat välillä -1 ja 0,2 tarkoittaa se paljasta maaperää tai vasta kehittyvää satoa. Arvot välillä 0,2-0,6 kertovat että kyseessä voi olla epäterve kasvi tai vasta kasvava sato. Arvot välillä 0,6-1, voidaan tulkita terveeksi ja kypsäksi sadoksi. (Analytics, 2024) Kuvassa 15 esiintyvät indeksit esiintyvät arvojen 0,07-0,85 välillä, punaisella näkyvä kohta on autotie, eli punaisella oleva indeksi ei ole vertailukelpoinen kertomaan pellon kunnosta. Koealalla näkyvät värit ovat keltainen ja vihreä, eli tutkittavat luvut menevät indekseillä 0,24-0,54. Nämä lukemat menevät suoraan lukemiin, mistä voidaan tulkita sadon olevan vasta kasvuvaiheessa tai siellä voi olla epätervettä kasvustoa.

4.4.4 VARI-indeksi

VARI indeksiä käytetään RGB-kuvien analysoimiseen. VARI-indeksi vähentää kuvissa olevia valaistuseroja ja kuvaa kuvan vihreyttä. Indeksejä esittävästä kuvasta suodatetaan eri aallonpituuksia ja tarkastellaan, ovatko mahdolliset kasvuston erot havaittavissa tällä tavoin. VARI lasketaan samoin kuin NDVI, suurempi arvo kertoo terveellisestä kasvustosta ja pienempi arvo kuivemmasta kasvustosta. VARI korjaa muiden indeksien puutteita, jotka voivat johtua esimerkiksi pilvisyydestä. (EOS data analytics, 2024) Kuva 21 esittää VARI-indeksiin muutetun kuvan, kuva 22 esittää VARI- indeksin arvot.

Kuva 21 Multispektrikameralla 17.7.2023 otettu ilmakuva, muutettu Pix4DFields ohjelmiston avulla VARI-indeksiin.



Kuva 22 VARI-indeksi



VARI indeksi lasketaan samalla tavalla kuin NDVI, eli suurempi arvio kertoo hyvästä kasvustosta. Yllä olevasta indeksin arvoista 0,09-0,39 voidaan analysoida ettei kasvusto ole vehreimmillään. Erikoisen kesän jälkeen tämäkään analyysi ei kerro totuutta kasvuston tilasta.

5 Johtopäätökset ja pohdinta

Kesän 2023 aikana suoritettu kasvuseuranta biohiilen, biolietteen ja verrokkialueiden välillä osoitti, että kasvua oli havaittavissa kaikilla koelaitteilla tutkimuskauden aikana. Kaista 1 toimi verrokkialana, jota ei käsitelty millään kasvua edistävällä aineella sian lietelannan lisäksi.

Kaista 2 oli käsitelty biolietteellä, eli lietelannalla ja biohiilellä, kaista 3 oli käsitelty kuivalla käsittelemättömällä biohiilellä. Datan purun ja analysoinnin jälkeen, lopputuloksena voidaan sanoa kaista 1:ssä, näkyvän eniten biomassaa sekä kasvustoa. Kaistoissa 2 ja 3 näkyi rikkonaisuutta, joka voisi olla kuivuutta tai hiekkaa monen kymmenen senttimetrin syvyydessä pellolla. Kuten koealan perustiedoissa mainittiin, lohkon keskiosa on kivinen, ja kivisellä alueella kasvusto on yleensä heikompa. Lohkon eteläpuolella sijaitsevan joen lähellä kasvusto on normaalisti rehevintä. Kesä 2023 oli erikoinen ilmastoltaan, alkukesä oli kuivaa ja keskikesä sateen täyttämä ajanjakso. Alkukesän kuivuus vaikutti kaurapellon kasvustoon, niin että alkukesän kasvu oli niukkaa, toiselle kuvauskerralle tulikin jo kiire, koska sateiden takia lippulehtivaihe oli tullut ajoissa ja kolmannet kuvauksetkin pidettiin jo heinäkuun keskivaiheilla kauran ollessa röyhylväisvaiheessa.

Dronejen valinnassa olisi pitänyt ottaa DJI Matrice 210 pääasialliseksi kuvauskopteriksi. DJI Mini 2 on erittäin hyvä harrastuskopteri, mutta sen käytössä ja yhteensopivuudessa ohjelmien kanssa ilmeni paljon teknisiä ongelmia. Ensimmäisellä kerralla se otti 140 kuvan sijasta 33, toisella kuvauskerralla kuvia otettiin oikea määrä, mutta Pix4DFields kartoitusohjelma ei aluksi suostunut ajamaan kuvia ohjelman läpi, lopuksi saatiin apua teknisiin ongelmiin ja hyväksytysti kartoitusohjelman läpi. Mikäli alusta asti olisi käytössä ollut DJI Matrice 210, Altum multispectral kameralla, olisi kaurapellosta vertailukelpoista dataa kolmen kuvauskerran verran, ja samaisten indeksien arvoja olisi helppo vertailla ja saada pitäviä tuloksia datasta. Näillä tutkimusmenetelmillä mitä käytettiin, ei voi verrata indeksien arvoja toisiinsa ja analysoida pellon muutoksia kesän 2023 aikana.

5.1 Kaurapellon tulevaisuus

Biohiilen vaikutukset kaurapellolla voivat näkyä vasta jopa viiden vuoden päästä. Kuiva alkukesä, sekä suuret sademäärät myöhemmin kesällä vaikuttivat siihen, ettei vielä onnistuttu saamaan odotettuja tutkimustuloksia. Biohiili voi vaikuttaa maaperässä kymmeniä tai jopa satoja vuosia, eli sen vaikutuksen tuleekin näkyä vasta myöhemmin, kuin muutaman kuukauden päästä kylvöstä. Tästä pääsemmekin tutkimuskysymykseen: Auttoiko biohiili pellon kasvustossa? Kesällä 2023 datan analysoinnin jälkeen, voidaan todeta, ettei biohiili kesän 2023 aikana auttanut pellon kasvustossa, tulevaisuudessa biohiilen vaikutus kaurapellon kasvustoon voi olla havaittavissa. Todettakoon kuitenkin, että tehokkaammalla DJI Matrice 210 dronella olisi saatu enemmän dataa kaurapellon kasvun eri vaiheista, joten ei voida yksiselitteisesti todeta, etteikö se olisi edesauttanut kasvustoa vertailuajanjaksolla.

5.2 Tutkimustyön jatko

Lyckan-hanke on ollut monipuolinen ja tuonut paikallisille yrittäjille runsaasti tietoisuutta sivuvirtojen hyödyntämisestä sekä biohiilen käytöstä maanparannusaineena. Tutkimusta olisi perusteltua jatkaa vielä tulevina vuosina, sillä jo vuoden tai kahden kuluttua tulokset voivat olla merkittäviä kaurapellon biohiilen huokoisuuden ja sen maaperässä pysymisen suhteen. Se, että tämän kesän tutkimustulos jäi odotettua vähäisemmäksi, voidaan tulkita viittaavan siihen, että biohiili on monipuolinen maanparannusaine, jota voidaan hyödyntää myös muilla aloilla kuin maataloudessa. Joka vastaa tutkimuskysymykseen: Voiko biohiiltä hyödyntää muilla aloilla kuin maataloudessa? Biohiiltä voidaan hyödyntää ainakin vaateteollisuudessa, rakennusalalla, kompostoinnissa sekä kosmetiikassa. (Carbons Finland Oy, 2021) Dronejen jatkuva kehitys puoltaa niiden hyödyntämistä pelloilla myös tulevaisuudessa. Uskon dronejen suosion kasvavan viljelijöiden keskuudessa niiden helppokäyttöisyyden, informatiivisuuden ja taloudellisuuden vuoksi. Maanviljelijät voivat tehostaa viljelytoimintoja ja vuosittain säästää merkittäviä määriä lannoitteita, hyönteismyrkkyjä ja vettä kartoitusohjelmien datan avulla. Tämä vastaa tutkimuskysymykseen, voiko droneja hyödyntää enemmän maataloudessa – ehdottomasti, niiden kannattavuuden perusteella. Työskentelyni sujui mielestäni hyvin, ja opin hallitsemaan dronen lennättämistä, tarvittavien ohjelmistojen käyttöä lennättämiseen sekä datan purkamista kartoitusohjelmasta. Aikataulu oli tiukka, ja uusia asioita piti oppia nopeasti. Teknisiä haasteita esiintyi tutkimuksen aikana paljon, mutta aina löysin henkilöitä, jotka osasivat auttaa. Jos tätä tutkimusta jatketaan, suosittelen, että kaikki kuvaukset tehdään dronella, jossa on multispektrikamera. Tällöin saatu data on hyödyllistä ja vertailukelpoista, ja asiakkaalle voidaan tarjota konkreettisia lukuja pellonkasvusta. Asiakkaamme, koepeltoalan omistaja Robin Nygård, oli samaa mieltä siitä, ettei näin nopealla aikataululla ja kesän 2023 sääolosuhteissa voi odottaa parempia tutkimustuloksia.

Lähteet

Arola, N., Aromaa, S., Huhtanen, V., Juva, K., Kylmäläinen, M., Kytö, A., Laatikainen, E., Korvenranta, A., Pöyhönen, T. Risu, E., Salomaa, M. Sitomaniemi, S., Syvälahti, S., Temisevä, S., Turunen, M., (2013) *Tulevaisuuden elävää maaseutua rakentamassa*. Laurea ammattikorkeakoulun erillisjulkaisu.

AgEagleAerialSystems Inc. (2024). *Benefits of drones in agriculture*.
<https://ageagle.com/industries/agriculture/>

Agisoft. (2023). *Core photogrammetry processing workflow*.
<https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>

AgriTech Tomorrow. (2024). *Red edge*.
<https://www.agritechtomorrow.com/article/2018/04/detecting-disease-earlier-the-importance-of-the-red-edge-band/10701>

Analytics, E. D. (2024). *Agriculture* <https://eos.com/industries/agriculture/ndre/>

Aonic. (2023). *Multispectral drones*. <https://www.aonic.com/my/blogs-drone-technology/3-benefits-of-multispectral-drones/>

ArcGIS Pro. (n.d). *VARI-indeksin laskentakaava*. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/arcpy/image-analyst/vari.htm>

Aviamaps. (2023). *Lentoilmoitus*. <https://www.aviamaps.fi/>

AxelGlobe. (2021). *NDRE-indeksin laskentakaava* [kuva].
<https://axelglobe.zendesk.com/hc/en-us/articles/360056839034-Data-Cookbook-Agricultural-Monitoring>

Binogi. (2024). *Teollistuminen ja globalisaatio*. <https://app.binogi.fi/teollistuminen-ja-globalisaatio>

Carbons Finland Oy. (2021a). *Biohiili*. <https://carbons.fi/biohiili/>

- Carbons Finland Oy. (2021b). *Biohiilen käyttö maatalouden lisäksi*. <https://carbons.fi/biohiili/>
- Chowdhury, Z.,Kauhshik, P.,Wageeh, A. , Suresh, S., Syed,S Ganiyu, A., Adebisi, E., Rahman, F.,Rafie,J. (2017) *A Sustainable Way to Generate Energy from Waste*. IntechOpen.
- Cropsat. (2023). *CropSat-palvelun satelliittikuvista tuottamaa NDVI-indeksiä Lidenin kasvulohkolla* [kuva] <https://cropsat.com/fi/>
- Dataväxt. (2024). *Cropsat* <https://datavaxt.com/sv/produkter/cropsat/>
- DJI. (2021a). *Drones in agriculture*. <https://ag.dji.com/about-us>
- DJI. (2021b). *Manual DJI Mini 2*.
https://dl.djicdn.com/downloads/DJI_Mini_2/20210222/DJI_Mini_2_User_Manual_FI.pdf
- DJI. (2021c). *Manual DJI Matrice 210*.
https://dl.djicdn.com/downloads/M200/20170622/M200_User_Manual_v1.0_en.pdf
- Dronedeploy. (2024). *Kartoitusohjelma multispektrikuvien purkuun*.
<https://dronedeploy.com/solutions/agriculture>
- Droneinfo. (2023a). *Erilaiset dronetyypit*. <https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehittamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus>
- Droneinfo. (2023b). *Kiinteäsiipiset dronet*. <https://droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehittamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus?toggle=Mik%C3%A4%20on%20drone%3F>
- Droneinfo. (2023c). *Kiinteäsiipiset dronet*. <https://droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehittamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus?toggle=Drone-j%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20toiminnot%2C%20jotka%20tulee%20hallita>

Droneinfo. (2023d). *Droneasetuksen siirtymäkausi.*

<https://www.droneinfo.fi/fi/ajankohtaista/muutoksia-dronen-lennattamiseen-112024-alkaen>

Droneinfo. (2023e). *Dronen lennättäminen avoimessa kategoriassa.*

<https://droneinfo.fi/fi/lennattaminen-avoimessa-kategoriassa>

Droneinfo. (2023f). *Dronen lennättäminen erityisessä luokassa.*

<https://droneinfo.fi/fi/luvanvarainen-toiminta-erityinen-kategoriassa>

Droneinfo. (2023g). *Dronen lennättäminen sertifioidussa luokassa.*

<https://droneinfo.fi/fi/luvanvarainen-toiminta-erityinen-kategoriassa>

Eerola, L. (2020). *Kevätvehnän lisälannoitustarpeen määrittäminen kuvauskopterilla .*

[ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu].

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343428/Kev%c3%a4tvehn%c3%a4n%20lis%c3%a4lannoitustarpeen%20m%c3%a4%c3%a4ritt%c3%a4minen%20kuvauskopterilla.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Emis. (2010). *Pyrolysis.* <https://emis.vito.be/en/bat/tools-overview/sheets/pyrolysis>

EOS data analytics. (2024a). *NDRE-indeksi.*

<https://eos.com/NDRE>

EOS data analytics. (2024b). *VARI-indeksi.*

<https://eos.com/industries/agriculture/VARI/>

GIS resources. (2022). *TGI-indeksin laskentakaava* [kuva].

<https://gisresources.com/>

GISgeography. (2023). *NDVI-indeksin laskentakaava* [kuva]. [https://gisgeography.com/ndvi-](https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/)

[normalized-difference-vegetation-index/](https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/)

Henriksson, J.;& Juva, K. (2023a). *Biohiilipellon seuranta kesällä 2023.* Hämeenlinnan ammattikorkeakoulu.

Henriksson, J.;& Juva, K. (2023b). *Suunnitellun peltokokeen koekaistojen pinta-alat ja käsittelymenetelmät* [kuva].

International biochar initiative. (2022). *Biochar is a valuable soil amendment*. <https://biochar-international.org/about-biochar/>

Ilmakuvaajat. (n.d). *Etsintä ja pelastuslennot* <https://ilmakuvaajat.com/etsinta-pelastuslennot/>

Jord. (2023a). *Enhancing textiles with biochar*. <https://www.jord.one/blog/enhancing-textiles-with-biochar>

Jord. (2023b). *As a carbon sequestration tool*. <https://www.jord.one/biochar>

Luonnonvarakeskus. (n.d). *Dronet avuksi metsätuhojen kartoitukseen*. <https://www.luke.fi/fi/blogit/dronet-avuksi-metsätuhojen-kartoitukseen>

Lyckanhub. (2023). *Lyckanhanke*. <https://www.lapinjarvi.fi/tyo-ja-elinkeino/hankkeet/paattyneet-hankkeet/lyckan-maaseudun-innovaatio-ja-inspiraatiotoiminnan-tulevaisuushu>

Maaseudun tulevaisuus. (2019). *Hyperspektrikamera* <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/uutiset/58e0997e-85ec-5058-854b-2bf41d1be6b4>

Mapir. (2024). *RGB kamera*. <https://www.mapir.camera/pages/cameras>

MicaSense. (2020). *MicaSense Altum and DLS2*. <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/360010025413-Altum-Integration-Guide>

MicaSense. (2023). *MicaSense hyperspectral*. <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/1500007828482-Comparison-of-MicaSense-Cameras>

Mogili, Rao; L, Deepak. (2018). *Review on application of drone systems in precision agriculture*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918310081>

Muopio, Leena. (2022). *Kuva-analyysi tutkimusmenetelmänä*. <https://www.muotoilu.info/index.php/tutkiva-muotoilu/metodit/kuva-analyysi-tutkimusmenetelmana>

Paikkatietoikkuna. (2023). *Ilmakuva koepeltoalasta* [kuva]. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/#>

Pix4DFields. (2023a). *Collect images using a drone and any standard RGB or select multispectral cameras*. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/203991609-Supported-drones-cameras-and-controllers-PIX4Dcapture>

Pix4DFields. (2023b) *Thermal mapping*. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/360000173463-Processing-thermal-images>

Pix4DFields. (2023c). *Computer requirements*. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/360000889343-Computer-requirements-PIX4Dfields>

Pix4DFields. (2023d). *Researching best practices in agriculture*. <https://www.pix4d.com/blog/research-best-practices-agriculture-pix4dfields/>

Provost, F.;& Tom, F. (2013a). *Data science for business*. O`Reilly Media, Inc.

Provost, F.;& Tom, F. (2013b). *Data science for business*. O`Reilly Media, Inc.

Regeneration international. (2014). *Biochars role*. <https://regenerationinternational.org/2016/03/17/biochars-multifunctional-role-as-a-novel-technology-in-the-agricultural-environmental-and-industrial-sectors/>

Researchgate. (2015). *Pyrolysis process*. [kuva] Waste to energy technology applications for municipal solid waste. https://www.researchgate.net/figure/Pyrolysis-Process-Flow-Diagram-14_fig1_273379114

Springer nature. (2024). *Biochar as construction materials for achieving carbon neutrality*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42773-022-00182-x>

Suomen Viljava Oy. (2017). *Kauran kasvuvaiheet* <https://www.suomenviljava.fi/fi/kasvintuotanto/kasvuston-kasvu-ja-kehitys/kauran-kasvu>

SYKE, S. y. (2006). *NDVI-indeksi*.

https://wwwi4.ymparisto.fi/i4/fin%5Ctietosivut/vacciaRsData_ndvi.html

U.S Energy information administration. (2023). *Biomassa*

<https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>

Your drone charging solution. (2023). *What are drones and how are drones used in agriculture*.

<https://yrdronecharger.com/how-are-drones-used-in-agriculture%EF%BC%9F/>

Liite 1. Aineistonhallintasuunnitelma

Opinnäytetyön nimi: Biohiilen seuranta pellon kasvustossa

Opinnäytetyön tekijä: Jemina Henriksson

Opinnäytetyön tilaajan kanssa sovitut asiat: Yrityksen nimi saa näkyä opinnäytetyössä

Tiedonkeruuprosessissa otettuja peltokuvia sekä niiden tuomaa dataa saa käyttää opinnäytetyössä. Tutkielma ei sisällä yksityistä tietoa yrityksestä. Kaikki opinnäytetyön data on säilytetty opinnäytetyöntekijän henkilökohtaisessa OneDrivessa sekä henkilökohtaisella USB-muistikortilla. Dronea palauttaessa on opinnäytetyöntekijä poistanut kuvat dronen USB-muistikortilta.

Opinnäytetyön dataa säilytetään opinnäytetyöntekijän henkilökohtaisessa OneDrivessa vielä vuosi opinnäytetyön julkaisemisesta.