

**Lämpökamerakuvausten käyttö kasvuturvetuotannon  
laadunvalvonnassa**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö  
Kestävän kehityksen koulutusohjelma, Forssa

Kevät 2021

Riikka Koivisto

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää lämpökameralla varustetun dronen toimivuutta kasvuturvetuotannon laadunvalvonnassa. Mahdolliset korkeat lämpötilat kasvuturveaumoissa muuttavat turpeen ominaisuuksia merkittävästi. Tämän vuoksi haluttiin selvittää olisiko dronekuvaus luotettava ja taloudellisesti kannattava apuväline lämpötilamittauksissa. Työn tilaajana toimi Vapo Oy.

Lämpökamerakuvaukset suoritettiin Vapon turvetuotantoalueella Huittisissa, Industrial Drone Vision Oy:n toimesta. Työssä pohditaan lämpökamerakuvien hyödyllisyyttä yritykselle ja vertaillaan dronella saatuja lämpötiloja käsikäyttöisen aumalämpömittarin lukemiin. Lisäksi työssä perehdytään erilaisiin turvelajeihin, turpeen itsestäänsyttymisreaktioon, ja turvetuotantoalueilla tapahtuviin palotilanteisiin, ja näiden ehkäisyyn.

Tulokset osoittavat, että turveaumojen lämpökamerakuvaus ei tuota tarpeeksi luotettavaa dataa auman sisälämpötilasta. Lämpötilaerot olivat suurimmillaan useita kymmeniä asteita verrattuna käsikäyttöiseen aumalämpömittarin lukemiin. Lämpökamerakuvausta ei tämän tutkimuksen perusteella kannata käyttää kasvuturvetuotannon sisälämpötilan mittauksessa laadunvalvonnassa. Erityisesti kannattaisi pohtia lämpökameraan investoimista tuotantoalueilla tapahtuvien palojen varalle. Lämpökameralla saisi havaittua tuotantokentällä mahdolliset palopesäkkeet ja tarkistettua lähimaaston palopesäkkeiden varalta.

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to examine the suitability of thermal imaging drones with a thermal camera for the quality control in white peat production. Since the possible high temperatures of peat can significantly alter the peat's characteristics, the objective was to investigate whether the thermal imaging of stockpiles is a reliable and cost-efficient method in measuring temperatures. The thesis was commissioned by Vapo Oy.

The thermal imaging was conducted by Industrial Drone Vision Oy in Vapo's peat production area in Huittinen. The results were based on the drone thermal images and they were compared with regular thermal measurements taken from the same stockpiles. In addition, the study discussed different types of peat, its self-exothermic properties and fire accidents in the production areas.

The results indicate that thermal imaging by drones is not very reliable for measuring stockpiles temperatures. The results from using a thermal imaging or a regular thermal meter were quite far from each other; the range varying from 20 °C to over 60 °C. Furthermore, using drones with thermal imaging for quality controlling purposes were not found reliable or cost-efficient. However, it is recommended to use thermal imaging drones for finding fire pockets and thus for detecting fire accidents in the surroundings.

Keywords drone, thermal camera, thermal imaging, white peat

Pages 35 pages

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Kasvuturpeet yleisesti .....	1
2.1	Kasvuturvetuotanto Vapossa .....	2
2.2	Kasvuturpeiden luokittelu, ominaisuudet ja käyttö .....	3
2.2.1	Turpeen maatuneisuusaste .....	3
2.2.2	Turpeen ominaisuudet kasvualustana .....	5
2.2.3	Kasvuturpeiden käyttö .....	5
2.3	RHP-sertifikaatti .....	6
3	Turpeen itsekuumeneminen aumassa .....	6
3.1	Turpeen itsekuumenemiseen vaikuttavat tekijät .....	7
3.2	Hajoamisprosessi .....	8
3.3	Kuumenemisen vaikutus kasvuturpeeseen .....	8
3.4	Turpeen itsekuumenemisen- ja syttymisen ehkäisy .....	9
3.4.1	Itsesyttymisen valvonta .....	12
3.4.2	Drone turvetuotannon valvonnassa .....	13
3.5	Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset .....	15
4	Aineisto ja menetelmät .....	16
4.1	Koejärjestelyt .....	16
4.2	Kuvauksessa käytetty kopteri ja varusteet .....	18
4.2.1	Drone .....	18
4.2.2	Lämpökamera .....	18
4.2.3	Kuvaukseen vaikuttavat tekijät .....	19
4.3	Lämpötilamittaus lämpömittarilla aumasta .....	19
4.4	Mittausten analysointi .....	20
5	Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	21
5.1	Lämpökuvaksen tulokset .....	21
5.2	Kahden eri auman lämpökuvauksen tulokset .....	24
5.3	Lämpökuvauksen taloudellinen kannattavuus .....	25
6	Johtopäätökset .....	26
6.1	Lämpökuvauksen käytettävyys ja kannattavuus auman lämpötilan mittauksessa 26	
6.2	Aikaisempien tutkimusten vertailu opinnäytetyöhön .....	28
7	Pohdinta .....	30



## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää lämpökameralla varustetun dronen käytön toimivuutta kasvuturvetuotannon laadunvalvonnassa. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Vapo Oy eli nykyinen Neova Group.

Kasvualustoissa eniten käytetty raaka-aine on turve. Orgaanisena materiaalina turve lämpenee luonnostaan siinä tapahtuvan hajotustoiminnan myötä. Turpeen varastoinnin aikainen itsekuumeneminen ja -syttyminen aiheuttaa materiaalihävikkiä. Kuumenemisen seurauksena turpeen rakenne ja ominaisuuden voivat muuttua, mikä voi tehdä turpeesta käyttötarkoitukseensa kelpaamatonta. Tästä syystä ympäristöturveaumojen lämpötiloja seurataan säännöllisesti käsikäyttöisillä aumalämpömittareilla. Opinnäytetyötä varten saatiin idea testata dronella varustettua lämpökameraa auman lämpötilamittaukseen. Lämpökamera mittaa kuvatun kohteen lähettämää infrapunasäteilyä. Vapossa dronea on hyödynnetty muun muassa ympäristötarkastuksiin, vesienkäsittelyrakenteiden tarkastamiseen, inventointiin, kasvillisuuden kartoittamiseen ja viestinnän tukemiseen. Dronella tehdyllä ilmakuvauksella voidaan kartoittaa nopeasti ongelmakohtia ja mahdollisesti saada kustannussäästöjä.

Koekuvaus tehtiin lämpökameralla varustetulla dronella Vapon tuotantoalueella Nanhiansuolla Huittisissa marraskuussa 2019. Kuvauksen suoritti dronepalveluita tarjoava Industrial Drone Vision Oy. Tässä tutkimuksessa selvitettiin onko dronella tehtävä auman lämpökamerakuvaus luotettava keino mitata auman lämpötilaa. Dronella tehdyn kuvauksen tuloksia verrattiin käsikäyttöisellä aumalämpömittarilla tehtyjen mittausten tuloksiin. Kokeessa käytettiin kahta vierekkäistä aumaa.

## 2 Kasvuturpeet yleisesti

Suomessa turpeen yleisin käyttömuoto on sen polttaminen energiantuotannossa. Turpeen ominaisuuksien vuoksi sitä voidaan hyödyntää moniin eri käyttötarkoituksiin. Energiaturpeiden eli jyrsinpolttoturpeen ja palaturpeen lisäksi Suomessa nostetaan ympäristöturpeita, joita ovat kasvu-, kuivike-, imeytys- ja kompostiturpeet. (Iivonen, 2008) Turpeen energiakäyttö Suomessa on tällä hetkellä kovassa vastatulessa. Tulevaisuudessa Vapo Oy suuntaa toimintaa enemmän viheralan

tuotteisiin ja muihin korkean jalostusasteen turvetuotteisiin, kuten aktiivihiilen valmistukseen (GTK, 2020)

## 2.1 Kasvuturvetuotanto Vapossa

Vapon toimintamaita ovat Suomi, Ruotsi, Viro, Hollanti, Espanja, Portugali, Meksiko, Yhdysvallat, Kiina, Saksa ja Australia. Vapo- konsernin yhtiöihin kuuluvat Vapo Oy, Kekkilä Oy, Kekkilä-BVB Oy, BVB Substrates B.V., G&C Materials Oy, Hasselfors Garden AB, Kekkilä Iberia S.L., Ou Kekkilä Eesti, Neova AB ja AS Tootsi Turvas. Nämä yhtiöt muodostavat kansainvälisen monialakonsernin. (Neova Group, 2021a) Vapo Oy:n 24.1.2020 järjestetyssä 80- vuotisjuhlassa esitetyssä Vapon historiikissa avattiin yhtiön historiaa. Yhtiö perustettiin, kun valtion polttopuuhanhinta keskitettiin vuonna 1940 Rautatiehallituksen Puutavaratoimistolle. Vuonna 1945 nimi muutettiin Valtion Polttoainetoimistoksi eli lyhyemmin Vapo Oy:ksi. Vapo OY osti vuonna 1968 IVO:n omistaman Suo Oy:n osakkeet, jonka päätuotteena oli kasvuturpeet. Kekkilä Oy aloitti toimintansa 1924 kaupallisten lannoitteiden myynnillä. Kekkilä-konserni ja vuonna 1608 perustettu ruotsalainen Hasselfors Garden yhdistyivät vuonna 2000. Hasselfors Garden aloitti kasvuturpeen myynnin kotitalouksille vuonna 1940. (Vapo Oy, henkilökohtainen tiedonanto, 24.1.2020)

Vuonna 2018 Vapon Grow&Care- divisioona yhdistyi hollantilaisen BVB Substratesin kanssa Euroopan johtavaksi ammatti- ja harrasteviljelyn kasvualustojen valmistajaksi, Kekkilä-BVB Oy:ksi. BVB Substrates on vuonna 1908 perustettu perheyriutus, joka aloitti toimintansa ammattiviljelyyn tarkoitetuilla kasvualustoilla. Vuonna 1980 yritys aloitti myös kuluttajatuotteiden valmistuksen. Yhtiöllä on vientiä yli 80 maahan. Kekkilä-BVB Oy:n brändi Kekkilä Professional myy ammattiviljelykäyttöön tarkoitettuja kasvualustoja taimikasvatukseen, ruukkukasveille, metsätaimille, vihanneksille, marjoille sekä yrteille. Kekkilä Garden myy kotikasvattajille viherrakentamiseen tarkoitettua kasvualustoja erilaisia puutarhamultia. Yhtiön tavoitteena on tarjota ratkaisuja kasvavaan ruoantarpeeseen sekä makean veden pulaan (Kekkilä Oy, 2020)

Toukokuussa 2021 Vapo Oy muutti nimensä Neova Groupiksi. Vapo Oy miellettiin profiloituvan voimakkaasti energiaturpeen tuotantoon, vaikka yhtiön liiketoiminnan pääpaino on siirtynyt viheralan tuotteiden ja korkeamman jalostusasteen turvetuotteiden valmistukseen. (Neova Group, 2021b)

## **2.2 Kasvuturpeiden luokittelu, ominaisuudet ja käyttö**

Turve on muodostunut kerrostuneeksi maatumalla kuolleista suolla kasvaneiden kasvien osista kosteissa olosuhteissa. Turpeessa on vaihteleva määrä maatuneita tai huonosti maatuneita kasvilajikkeita, mitkä määrittävät turvelajin ja sen ominaisuudet. Turpeet luokitellaan kasvijäännöskoostumuksen perusteella sara-, rahka- ja puuturpeisiin. Suomessa rahkaturpeet muodostavat noin 50 prosenttia Suomen turvevaroista. (Iivonen, 2008)

### **2.2.1 Turpeen maatuneisuusaste**

Turpeen ominaisuuksia määrittelevät sen maatuneisuus ja kasvilajikoostumus. Turpeesta suurin osa on hiiltä, jonka määrä kasvaa maatuessa. Kasvinosat sisältävät selluloosaa, hemiselluloosaa, ligniiniä, proteiineja, bitumia sekä humusaineita, joiden pitoisuudet laskevat turpeen maatuessa. Turpeen maatuneisuusaste määritellään von Postin- menetelmällä asteikolla H1 – H10 taulukossa 1. Maatuneisuusaste perustuu kädessä puristetun turpeesta lähtevän veden väriin, sormien välistä valuvaan turpeen määrään, kasvilajikkeiden tunnistettavuuteen ja puristeen kimmoisuuteen. Kasvuturpeet määritellään maatuneisuusasteen mukaan vaaleaksi, ruskeaksi tai tummaksi sekä mustaksi kasvuturpeeksi. Heikosti maatunut rahkaturve, von Postin asteikolla H1 – 3, luokitellaan vaaleiksi kasvuturpeiksi. Maatumisasteella H3 – 6 turve luokitellaan tummaksi tai ruskeaksi kasvuturpeeksi. Musta kasvuturve on maatumisasteeltaan H6 – 10. (Iivonen, 2008)

Taulukko 1. Turpeen maatumaisuuden määrittäminen von Postin menetelmällä (Iivonen 2008).

Maatumisaste	Maatumisasteen määrite (von Post)	Suomessa yleisesti käytössä oleva maatumisasteen määrite	Havainnoinnin kriteerit
H1	Täysin maatumaton	Vähän maatonut	Turvetta kädessä puristettaessa lähtee sormien välistä väritöntä, kirkasta vettä. Kasvinosat ovat täysin tunnistettavissa, sitkeitä ja kimmoisia.
H2	Melkein maatumaton		Puristettaessa lähtee melkein kirkasta, kellertävää vettä. Kasvinosat melkein muuttumattomia.
H3	Hyvin heikosti maatonut		Puristettaessa lähtee selvästi sameaa vettä, mutta ei turveainetta. Puristeneste ei ole puuromaista. Jäänökset ovat osittain tummuneita, mutta edelleen tunnettavissa.
H4	Heikosti maatonut	Keskimaatonut / Keskimääräisesti maatonut. (Joskus tähän luokkaan luetaan vain maatumisasteeltaan H4 olevat turpeet.)	Puristettaessa lähtee hyvin sameaa vettä. Osa jäänöksistä hajaantuu amorfiseksi massaksi, minkä vuoksi puriste on jo jonkin verran puuromaista. Käteen jäävä puristejäänös kimmoaa hieman takaisin.
H5	Jonkin verran maatonut		Kasvirakenne pääosiltaan vielä tunnistettavissa. Puristettaessa turve hajoaa osittain puuromaiseksi massaksi. Puristeneste on hyvin sameata, siinä on selvästi havaittavissa amorfista massaa. Puristejäänös jää sormien avaamisen jälkeen entiselleen eikä kimmoa enää takaisin.
H6	Kohtalaisesti maatonut	Pitkälle maatonut	Kasvirakenne epäselvä. Puristettaessa noin 1/3 turveaineesta menee sormien lomitse, jäänös vahvasti puuromaista. Jäänöksen kasvirakenne selvempi kuin puristamattoman turpeen.
H7	Vahvanlaisesti maatonut		Kasvirakenne hyvin epäselvästi näkyvää. Pääosa on amorfista massaa. Puristettaessa menee noin 1/2 turveaineesta sormien lomitse. Jos vettä erottuu, se on vellimäistä ja hyvin tummaa.
H8	Vahvasti maatonut		Kasvirakenne hyvin epäselvästi näkyvää. Pääosa amorfista massaa. Puristettaessa noin 2/3 turveaineesta menee sormien lomitse. Vellimäistä vettä voi erkaantua. Jäänöksen muodostavat juuret ym. hyvin säilyvät kasvinosat.
H9	Melkein maatonut		Tuskin mitään kasvirakennetta voi erottaa. Puristettaessa melkein koko turvemäärä menee samankaltaisena puurona sormien lomitse.
H10	Täysin maatonut	Mitään kasvirakennetta ei voi erottaa. Puristettaessa menee koko turvemäärä sormien lomitse, eikä vapaata vettä erkane ollenkaan.	

### 2.2.2 Turpeen ominaisuudet kasvualustana

Vaalean rahkaturpeen korkean huokostilavuuden vuoksi turpeella on kasvualustana hyvä vedenpidätyskyky. Turve pidättää myös hyvin ravinteita. Korkea ilmatilavuus mahdollistaa kasvin juuristolle hyvän ilmanvaihdon ja juurtumisen. Turve ei luontaisesti sisällä kasvitauteja, tuholaisia eikä rikkakasvien siemeniä. Luontaisesti alhainen pH on turpeen etu havupuiden taimituotannossa. Turpeen tasalaatuisuuden takia turpeen käyttö kasvihuoneilla on yleistä, jotta sato kasvaa mahdollisimman tasaisesti. Käytön jälkeen turve voidaan kierrättää maanparannusaineena tai kompostoimalla, toisin kuin esimerkiksi kivivillaa. (Iivonen, 2008)

### 2.2.3 Kasvuturpeiden käyttö

Turve on maailman eniten käytetty kasvualusta ja Euroopassa noin 80 prosenttia ammattiviljelyssä käytetyistä kasvualustoista on tehty turpeesta (Tahvonen, 2020). Erilaiset kasvit vaativat erilaiset kasvualustat. Käytettävän turvetyypin valintaan vaikuttaa käytetäänkö turvetta ulkona vai sisätiloissa, kasvatettava lajike, kasvin koko, kasvuajan pituus ja ympäristöolosuhteet. Kasvualustan ominaisuuksia voidaan muokata käyttötarkoituksen mukaan lisäämällä esimerkiksi eri turveseoksia, hiekkaa, lannoitteita, kalkkia, kompostia ja muita kasvualustan rakennetta ja kasvin kasvua parantavia aineita. Kasvuturpeesta valmistetaan kasvualustoja ammatti- ja harrasteviljelyyn puutarhoille ja kasvihuoneille ja multaa sekä viherrakennustuotteita maisemointiin kotitalouksiin ja julkisiin kohteisiin. Vaalea kasvuturve soveltuu esimerkiksi taimien, ruukkuvihannesten ja -kasvien sekä marjojen kasvualustojen valmistukseen. Ruskeita ja mustia kasvuturpeita käytetään viheralan rakentamisen kasvualustoihin ja taimituotantoon sekä mullan valmistukseen. (Iivonen, 2008)

Kasvualustat määritellään lannoitevalmisteiksi, joiden valmistusta säädellään Suomessa Lannoitevalmistelaissa. Ympäristöturpeiden laadun määrittelyssä sovelletaan Turveteollisuus ry:n, Kauppapuutarhaliitto ry:n ja Viherympäristöliitto ry:n lannoitelain pohjalta vuonna 2010 laatimaa Kasvuturpeen laatuohjetta. Laatuohje määrittelee muun muassa haitallisten metallien ja epäpuhtauksien enimmäismäärät sekä tuoteryhmäkohtaisen laadun ja pakkauksen tuoteselosteen sisällön. (Kauppapuutarhaliitto ym., 2010.)

### 2.3 RHP-sertifikaatti

RHP-sertifikaatti on hollantilainen kasvuturpeiden laatusertifikaatti. Asiakkaille RHP-sertifioitu turvetuote takaa tuotteen puhtauden ja turvallisuuden eli tuotteessa ei saa olla tuholaisia eikä tauteja. Lisäksi pyritään siihen, että jokainen asiakkaalle toimitettu tuote on yhtä laadukasta kuin edellinen toimitus ja tuote täyttää siitä ilmoitetut vaatimukset. (RHP, 2016a) Sertifikaatilla valvotaan kasvuturpeen koko tuotantoketjua eli raaka-aineen tuotantoa, varastointia, kuljetusta, prosessointia ja valmistusta. RHP-alueet ja -tuotteet tarkastaa säännöllisesti riippumaton tarkastaja. RHP-sertifioidut tuotteet edesauttavat pääsyä laajemmille markkinoille, koska asiakkaita kiinnostaa sertifioidut turvalliset tuotteet. (RHP, 2016b) Vapo Oy:n intranetistä (Vapo Oy, henkilökohtainen tiedonanto, 2020) löytyvistä sisäisistä ohjeista koskien RHP-alueita ilmenee, että yli 45 asteinen varastoitu turve ei enää kelpaa RHP-sertifikaattiin. Lämpötilaseurannan tulokset pitää rekisteröidä kirjallisesti. Lämpötilamittausta tehdään RHP-alueilla kahden viikon välein. RHP-sertifikaattia haetaan yleensä tietylle tuotantoalueen lohkolle eikä koko tuotantoalueelle. (Vapo Oy, henkilökohtainen tiedonanto, 2020)

### 3 Turpeen itsekuumeneminen aumassa

PowerPoint-esityksessään G&C Materials Oy:n tuotepäällikkö Timo Niura (henkilökohtainen tiedonanto 2016) selostaa turpeen itselämpenemisen teoriaa ja käytäntöä. Turve on orgaanista materiaalia, joka lämpenee luonnollisesti otollisissa olosuhteissa. Turvevarastossa eli aumassa turpeen kuumeneminen johtuu turpeessa tapahtuvasta kemiallisista reaktioista ja mikrobitoiminnasta, kun hajotustoiminnasta syntyy lämpöä. Perusedellytykset turpeen lämpenemiselle on riittävä lämpötila, riittävästi happea ja ravintoa sekä sopiva kosteus. Turpeen kuumenemiseen vaikuttavia tekijöitä on paljon, että tuotantoa ja urakoitsijaa voitaisiin ohjeistaa yhtenäisesti. Muuttuvat olosuhteet tuotantokausittain ja tuotantoalueiden kenttien pinnan kulumisen vaikuttavat eri tavalla joka vuosi. Itselämpenemistä ehkäistään parhaiten hyvällä työmaakohtaisella tuntemisella ja yrittämisen sekä erehdyksen kautta. Itselämpenemisen ehkäisyllä varmistetaan turpeen säilyminen aumassa ja asiakkaalle toimitettavan turpeen laatu. Turvepaloista aiheutuu aina taloudellista tappiota yritykselle. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2016)

### 3.1 Turpeen itsekuumenemiseen vaikuttavat tekijät

Turpeen itselämpenemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat turpeen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, ulkoiset tekijät sekä tuotannon aikaiset vaiheet ja varastointi. Fysikaalisia vaikuttavia ominaisuuksia ovat turpeen kasvilajikoostumus, lämmönjohtokyky, maatuneisuusaste, ilmanläpäisevyys sekä kaasujenjohtokyky. Kemiallisia vaikuttavia ominaisuuksia ovat pH-arvo, sokerit ja muut orgaaniset yhdisteet sekä alkuainepitoisuudet. Ulkoisia vaikuttajia ovat ilmanlämpötila, ilmankosteus, UV-säteily ja mikrobitoiminta. Tuotannon aikana turpeen lämpenemiseen vaikuttavat keräysmenetelmä- ja ajankohta, sekä turpeen karkeus ja kosteus. Aumausmenetelmä, auman koko, auman peittäminen, auman tasalaatuisuus sekä varastoinnin kesto vaikuttavat turpeen lämpenemiseen varastoinnin aikana. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2016)

Turpeen tuotantoaika on keskimäärin toukokuun alusta elokuun loppuun. Turpeen noston päävaiheet ovat jyrshintä, kääntäminen, karheaminen ja kokoaminen. Jyrshinnässä tuotantokentälle jyrshitään ohut kerros turvetta kentän pinnalle kuivumaan. Jyrshintävaiheessa turpeen kosteus on noin 70 – 80 prosenttia. Jyrshös käännetään noin 1 – 3 kertaa, jotta turve kuivuu nopeammin. Kääntäminen lisää ilmaa jyrshöksessä, mikä pienentää turpeen lämmönjohtumista. Kuivunut jyrshös karhetaan tuotantokentälle saran keskelle pitkittäin. Karheelta turve kerätään ja ajetaan aumaan. Kuivatun turpeen kosteus vaihtelee 30 – 50 prosentin välillä. Eri tuotantomenetelmillä nostetun turpeen lämpötila on vaihteleva. Alle 25 °C on sopiva lämpötila kasvuturveaumassa (Alakangas ym., 2011)

Turpeen kosteus vaikuttaa turpeen säilymiseen aumassa ja sen lämmönjohtavuuteen sekä lämpökapasiteettiin. Kosteus voi hidastaa tai nopeuttaa turpeen kuumenemistä. Mikrobitoiminta on aktiivisinta turpeen kosteuden ollessa noin 60 – 70 prosenttia. Tätä kosteammassa turpeessa ja alle 30 kosteusprosentissa mikrobitoiminta vähenee. Liian kuiva turve kuumenee aumassa nopeammin eikä tiivisty aumauksessa. Kosteuserot aumassa nopeuttavat lämpötilan nousua. Tiivis auma ja kosteampi turve edistävät lämmön poistumista. Tiivistyessä myös hapensaanti pienenee, mikä laskee lämpenemisriskiä. Kosteuden ollessa yli 60 prosenttia turpeen lämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus kasvavat, jolloin aumat eivät kuumene niin herkästi. Luontaisesti turpeella on alhainen lämmönjohtokyky, jonka vuoksi lämpö kerääntyy hitaasti auman sisällä. Matalan lämmönjohtokyvyn vuoksi turve on hyvin eristävä materiaali. (Lappi, 1983)

### 3.2 Hajoamisprosessi

Turpeen lämpeneminen johtuu siinä tapahtuvasta aerobisesta mikrobitoinnasta ja kemiallisesta reaktioista, kun suotuisissa oloissa bakteerit ja muut mikro-organismit hajottavat eloperäistä ainetta. Tässä hajotustoiminnassa syntyy lämpöä. Mikrobitoinninta on aktiivisinta, kun aumassa on sopiva kosteus, riittävästi happea, sopiva lämpötila ja riittävästi ravintoa. Eri mikrobilajeilla on ihannelämpötila, jossa hajotustoiminta on aktiivisinta. Turpeen eristävyuden vuoksi lämpö jää aumaan. Mikrobitoinninta aiheuttaa lämmön nousua noin 60 °C asteeseen saakka, jonka jälkeen kemialliset reaktiot tuottavat osan lämmöstä lämpötilan nousemaan riittävän korkeaksi. Kemiallisessa reaktiossa syntyvät yhdisteet ovat syttymisherkkiä päästessään kosketukseen hapen kanssa. (Lappi, 1983)

### 3.3 Kuumenemisen vaikutus kasvuturpeeseen

Lämpötilan nousu ei yksinään pilaa turvetta vaan sen vaikutusaika. Vähemmän maatuneilla rahkaturpeilla on korkeampi kuumenemisriski kuin enemmän maatuneilla turpeilla. Yli 70 °C lämpötila aumassa aiheuttaa raaka-ainehävikkiä noin 0,5 prosenttia varastointikuukautta kohti. Yli 75 – 80 °C hävikki on noin 1 – 2 prosenttia varastointikuukautta kohti. Yhteensä orgaanisen aineen häviöt voivat olla noin 10 – 20 prosenttia vuodessa. Kuumenevat aumat menettävät myös tilavuuttaan. (Lappi, 1983) Hajotustoiminnan myötä muodostuvat yhdisteet ja mahdolliset turpeen fysikaalisten ominaisuuksien muutokset tekevät turpeesta kasvuturpeeksi kelpaamatonta. Lämpötilan nousua 35 – 45 °C mikrobitoinnassa syntyy orgaanisia happoja, jotka laskevat turpeen pH:ta ja vaikuttavat kasvien kasvuun negatiivisesti. Turpeen johtokyky nousee. Lämpötilan nousua 45 – 65 °C turve alkaa hajoamaan ja sen maatuneisuusaste muuttuu. Esimerkiksi vaalea kuiviketurve alkaa muistuttamaan jyrsinpolttoturvetta. Kuumennut turve on ylikuivaa ja sen vedenottokyky pienenee. Lämpötilan noustessa yli 80 °C auma tarvitsee enää happea syttyäkseen. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2016)

Vapo Oy:n toimitusketjupäällikkö Riku Viitanen kertoo sähköpostiviestissään (henkilökohtainen tiedonanto 16.4.2021), että kunkin turvetyypin tuotantomäärät suunnitellaan ennen tuotantokauden alkua. Jyrsinpolttoturpeen käytön vähentyessä tuotantomäärät vähenevät ja asiakkaalle pyritään toimittamaan ensisijaisesti vanhemmat jyrsinpolttoturveaumat. Pilaantunut kasvuturveauma voidaan toimittaa polttoon lämpövoimalaitokselle. Jos jyrsinturpeelle ei ole

kysyntää voidaan turve toimintaa myös kompostointiin. Jyrsinpolttoturpeen ja kasvuturpeen hinta on vaikeasti vertailtavissa. Auman lähtöhinta molemmilla tuotteilla on likimäärin sama, kasvuturve on hieman kalliimpaa. Jyrsinpolttoturve myydään MWh-kaupalla. Kasvuturpeen hinnan määrittely on hankalampaa, sillä markkinahinnat vaihtelevat kovasti. Käytännössä hintaero tuotteilla ei ole suuri ja siihen vaikuttavat pitkälti laatu, asiakas, kuljetusmatka ja kasvuturpeen kohdalla mahdollinen satamakäsittely. (R. Viitanen, henkilökohtainen tiedonanto, 2021)

### **3.4 Turpeen itsekuumenemisen- ja syttymisen ehkäisy**

Turpeen itselämpenemiseen vaikuttaviin fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin ei voida vaikuttaa. Ulkoisten tekijöiden vaikutusta turpeen itsekuumenemiseen voidaan minimoida. Parhaiten kuumenemista voidaan estää minimoimalla tuotannollisten tekijöiden vaikutusta. Oikealla turpeen aumausmenetelmällä varmistetaan turpeen säilyminen ja ehkäistään itsekuumenemista aumassa. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2016)

Turve on nostettava päivän viileimpänä ajankohtana, kuten aamulla tai illalla, jolloin turpeen lämpötila on alhaisimmillaan. Tuotanto keskeytetään paloturvallisuussyistä tuulen nopeuden ylittäessä 10 m/s. Turvetuotannossa käytetyt koneet on huollettava sekä puhdistettava säännöllisesti kipinöinnin ja pölyräjähdysten ehkäisemiseksi. Pölyräjähdys voi aiheuttaa turpeen syttymisen myös kuljetuksen aikana tai asiakkaalla voimalaitoksella. Iskukipinät kivikkoisilla alueilla voivat aiheuttaa nopeasti leviävän kenttäpalon. Auman syttyessä vaarana on palon leviäminen turvekentälle ja mahdollisesti lähellä olevaan metsään. Tuotantoalueella on oltava ehtymätön vesipiste. (Pelastusopisto & Turveteollisuusliitto, 2009)

Vanhat aumanpohjat on tasoitettava ja puhdistettava, sillä vanhan toimitetun auman pohjalle jää lämmennyttä turvetta. Vanhan auman mikrobikanta siirtyy uuteen aumaan ja tämän vuoksi auma lämpenee huomattavasti nopeammin. Edellisvuotisella jyrityllä turpeella on kuivatuksen aikana sopiva kosteuspitoisuus ja lämpötila sekä riittävästi happea, jolloin mikrobit lisääntyvät nopeasti. Aumauksen yhteydessä aumaan saattaa joutua myös kasvinosia, kuten ruohoa ja puiden juuria, jotka kiihdyttävät mikrobiaktiivisuutta ja kuumenemista. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2016)

Aumaustapa on valittava työmaa- ja laatukohtaisesti. Kuvassa 1 esiintyvät harja-aumat soveltuvat vaaleille kasvuturpeille, koska sen muoto edistää lämmön johtumista pois. Kuvassa 2 näkyvät päälleajoaumat soveltuvat pitkälle maatuneille tummille kasvuturpeille ja jyrsinpolttoturpeelle. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2016) Harja-auma tehdään pyöräkuormaajalla tai traktorilla auman sivusta puskemalla. Päälleajoauma muodostetaan ajamalla kuorma auman päälle ja tyhjentämällä kuorma ajaessa. Harja-auma on yleensä kooltaan pienempi kuin päälleajoauma. Molemmat aumat muotoillaan ja tiivistetään lopuksi kaivinkoneella. (Alakangas ym., 2011)

Kuva 1. Harja-aumoja Nanhiansuolla Huittisissa (Koivisto, 2019).

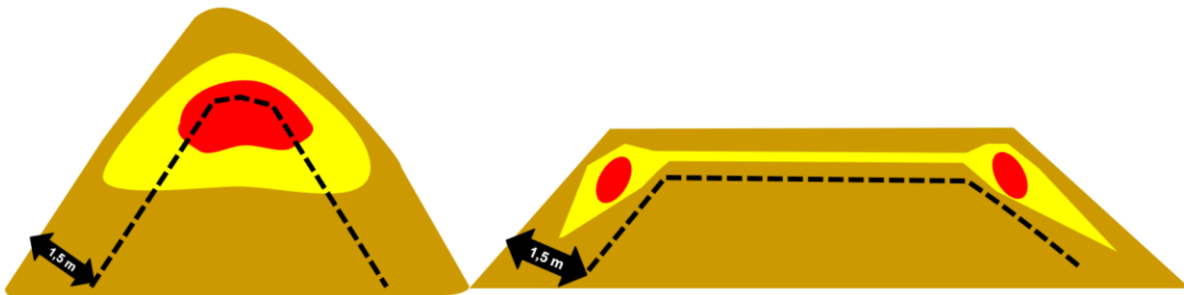


Kuva 2. Päälleajoaumoja Pirttinevalla Kihniössä (Koivisto, 2019).



Kuvasta 3 näkyy auman muodon vaikutus kuumimman alueen sijaintiin harja-aumassa kuvassa oikealla ja päälleajoaumassa kuvassa vasemmalla. Päälleajoauma tiivistyy hyvin keskeltä, mutta ilmavaksi jäävät reunat lämpenevät herkästi. Harja-aumassa kuumin lämpötila voidaan mitata kokomitaltaan auman harjasta. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2016)

Kuva 3. Auman muoto vaikuttaa kuumimman pisteen sijaintiin (Niura, 2016).



Maatumisasteeltaan erilaiset turpeet varastoidaan omiin aumoihinsa, koska laadultaan erilaiset turpeet kuivuvat eri tahdilla. Aumaamisen aikana aumaan voi muodostua kostean ja kuivan turpeen rajapinta, joka on sopiva alusta mikro-organismien lisääntymiselle. Myös sarkaojien ruoppauksen myötä maatuneempaa turvetta sekoittuu kentän pintaan, jolloin turpeen lämpenemisherkyys kasvaa eri maatuneisuusasteiden sekoittuessa. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2016)

Auma on tiivistettävä huolellisesti aumauksen jälkeen, jotta ilman osuus aumassa jää pieneksi. Auma tiivistyy jo alussa päältä ajattaessa purkuhetkellä tai lopuksi painelemalla kaivinkoneella. Kaikki aumat on peiteltävä aumamuovilla, koska se estää hapen pääsyn aumaan. Muovilla peitetyn auman päälle on ajettava märkää turvetta painoksi, jotta löysälle jäänyt muovi ei pääse lepattamaan ja pumppaamaan ilmaa aumaan. Painoturve estää aumamuovin rikkoutumista. Liian kuiva turve tiivistyy aumassa huonosti ja aumaan voi jäädä ilmaita. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2016)

### **3.4.1 Itsesyttymisen valvonta**

Sähköpostiviesteissään Vapo Oy:n toimitusketjupäällikkö Viitanen (henkilökohtainen tiedonanto 6.5.2021) kertoo, että jyrsinturveaumojen lämpötilaa ei käytännössä mitata tai seurata ollenkaan. Aumaa ruvetaan jäähdyttämään vasta, kun savu nousee aumasta tai huomataan muovin hävinneen auman päältä. Lämpötilojen mittaamisessa käytetään pääasiassa manuaalista aumalämpömittaria. Lähettäviä mittareita yhtiöllä on testikäytössä ympäri Suomea. Vanhemmat laitteet tarvitsevat oman tukiaseman, joissa on mokuksu ja SIM-kortti. Uudemmat mittarit toimivat itsenäisemmin LoRaWan-verkossa. Tiedot tulevat palveluntarjoajan verkkoon, johon on mahdollista saada tunnukset ja päästä lukemaan tuloksia. Portaaliin on mahdollista asettaa hälytysrajan ja tilata hälytys käyttäjän sähköpostiin. Ympäristöturpeiden lämpötilaseuranta tehdään noin neljän viikon välein. RHP-sertifikaatti edellyttää lämpötilamittauksen kahden viikon välein. Mitatuista lämpötiloista ei tehdä kirjanpitoa. RHP-raportointia varten lämpötilat ilmoitetaan tarvittaessa (R. Viitanen, henkilökohtainen tiedonanto, 2021)

Kuumenevat aumat menettävät tilavuuttaan ja ulkoisesti lämpenemisen voi huomata auman sivuille ilmestyneistä kuopista tai painaumista. Auman harjan lähelle voi syntyä halkeamia, joista kylmällä ilmalla nousta höyryä. (Lappi, 1983) Microsoft Teams-viestissään Niura (henkilökohtainen

tiedonanto 25.3.2021) kertoo, että tie aumalle oli auraamatta, koska työmaalta ei ollut toimituksia. Auma on voinut palaa hitaasti sisältä useamman viikon huomaamatta. Turpeen energiakäytön vähenemisen myötä turvetuotanto vähenee monilla alueilla. Tästä syystä tuotantoalueilla henkilöstömäärä tippuu ja urakoitsijalla on yksin paljon valvottavaa. Kuvassa 4 näkyvän auman kyteminen sisältä oli jäänyt huomaamatta. (T. Niura, henkilökohtainen tiedonanto, 2021)

Kuva 4. Aumaan syntyy reikä turpeen palaessa pois (Savilahti, 2021).



### 3.4.2 Drone turvetuotannon valvonnassa

Dronea voidaan hyödyntää turvetuotantoalueella moneen eri kohteeseen. Drone on tunnetumpi termi miehittämättömälle ilma-alukselle UAV tai miehittämättömälle ilma-alusjärjestelmälle UAS, jota ohjataan kauko-ohjauksella. Lentotoimintaa säätelee ilmailulaki. Uudistuneen lain myötä kaikkien dronea käyttävien tulee rekisteröityä dronelennättäjäksi ja suorittaa verkossa teoriakoe. Rekisteröityminen maksaa vuodessa 30 euroa. EU:n yhtenäiset drone-säännöt koskevat 31.12.2020 alkaen myös huvikseen lentäviä sekä lentotyötä harjoittavia. Kun yritys käyttää liiketoiminnassaan dronea, se luokitellaan lentotyöksi. Lentotyötoiminta RPAS tarkoittaa harraste- ja urheilutoiminnan ulkopuolelle jäävää toimintaa. Lentotyötoimintaa harjoittavan on tehtävä

toimijailmoitus. Laitteita on kaupan moneen eri tarkoitukseen eri kokoluokissa. (Droneinfo.fi, 2021)

Vapon henkilöstölehdessä Vapolaisessa 4/2018 julkaistiin ympäristötarkastaja Kalle Ryyminin kirjoittama Ilmavalvonta käyttöön -artikkeli dronen käytöstä yhtiössä. Dronea on käytetty esimerkiksi kausityöntekijöiden omaavalvonnassa, vesienkäsittelyrakenteiden tarkastamisessa ja mahdollisten vuotojen paikallistamisessa. Dronella on myös mitattu aumojen kokoa ja tehty tilavuuslaskentaa varten 3D-malleja. (Ryymin, 2018, s. 27) Kesäkuussa 2018 Tammelassa Rinnansuon tuotantoalueen palolla käytettiin dronea kartoittamaan palon aiheuttamaa vahinkoa kuvassa 5 etualalla näkyvän kosteikon kasvillisuudelle ja laskeutusaltaille.

Kuva 5. Rinnansuon paloalue (Koivisto, 2018).



Lämpökameralla varustetulla dronella voidaan havaita mahdolliset palopesäkkeet kentältä sekä lähimetsästä ja näin rajata paloaluetta sekä mahdollisesti lyhentää palotilanteen kestoja. Turvepalolla Eurajoella Kahalansuolla Pelastuslaitoksella oli mukanaan drone, jolla kartoitettiin kenttäpalon leviämistä. Paloalue erottuu selkeästi keltaisella värillä kuvassa 6.

Kuva 6. Dronella otettua lämpökuvaa palavan tuotantokentän pinnasta (Hongisto, 2020).



### 3.5 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Opinnäytetyön tutkimusongelmana on, onko lämpökamerakuvaus dronella kannattavaa kasvuturpeen laadunvalvonnassa toiminnallisesti ja taloudellisesti. Vapolla on hyödynnetty dronea toiminnassa jo muutaman vuoden, joten niiden mahdollisuuksia haluttiin selvittää lisää. Ongelmana on itsestään syttyvät turveaumat, jotka aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia yritykselle. Päätettiin tutkia lämpökameralla varustetun dronen soveltuvuutta auman lämpötilamittaukseen. Tutkimus kohdistettiin ympäristöturpeisiin, sillä kuumeneminen voi vaikuttaa turpeen ominaisuuksiin niin, että turve ei kelpaa käyttötarkoitukseensa. Tutkimusongelma pyritään ratkaisemaan vastaamalla pienempiin tutkimuskysymyksiin.

1. Kuinka luotettavia dronella saadut tulokset ovat suhteessa nykyisiin mittausmenetelmiin?

2. Kuinka vertailtavia dronella mitatut lämpötilat ovat kahden samanlaisen auman osalta?
3. Onko lämpökuvaukseen dronella taloudellisesti kannattavaa?

Auman lämpötila mitataan normaalisti käsikäyttöisellä aumalämpömittarilla. Ensimmäistä tutkimuskysymystä varten auma piti mitata dronen lisäksi käsikäyttöisellä aumalämpömittarilla, jotta voidaan saada auman todelliset lämpötilat. Kuvattavat kaksi vierekkäistä aumaa olivat laadultaan samanlaiset. Vain toiseen aumaan laitettiin metalliputket lämpöä johtamaan syvältä aumasta ja sama auma mitattiin vertailuksi aumalämpömittarilla. Toisesta aumasta ei ole muuta dataa kuin dronella saadut lämpökuvien tulokset. Vertailemalla kahden auman lämpökuvia voidaan vastata tutkimuskysymykseen kaksi.

Dronen käyttö lämpömittauksessa kannattaa arvioida myös taloudellisesti, jos drone olisi mittauksessa yhtä luotettava kuin perinteiset mittarit. Eri menetelmien kustannusarvioita vertailemalla selvitetään vastaus kolmanteen tutkimuskysymykseen: Onko kannattavampaa hankkia oma drone vai käyttää ulkopuolisia kuvauspalveluita; tuleeko oman dronen hankkiminen edullisemmaksi kuin se, mitä urakoitsijalle maksetaan lämpötilojen mittaamisesta?

## **4 Aineisto ja menetelmät**

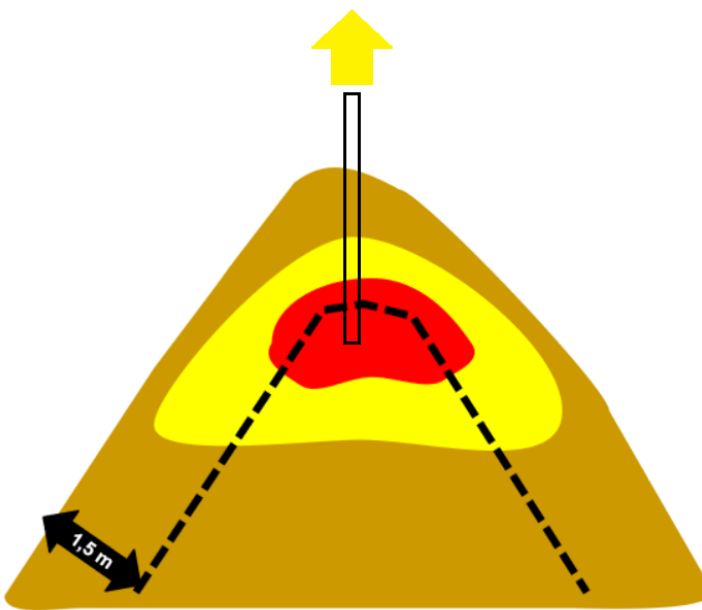
Lämpökamerakuvauksessa käytetään lämpökameraa, joka mittaa kuvattavan kohteen pinnan lähettämän lämpösäteilyn voimakkuutta eli infrapunasäteilyä. Lämpökamerakuvauksen voi toteuttaa maasta käsikäyttöisellä lämpökameralla tai ilma-aluksessa kiinni olevalla lämpökameralla ilmasta. Tässä tutkimuksessa selvitettiin onko dronella suoritettava auman lämpökamerakuvaus luotettava tapa mitata auman lämpötilaa. Dronella tehdystä lämpökamerakuvauksesta saatuja tuloksia verrattiin käsikäyttöisen aumalämpömittarin tuloksiin. Kokeessa käytettiin kahta laadultaan samanlaista vierekkäistä aumaa.

### **4.1 Koejärjestelyt**

Lämpökamerakuvauksen kohteeksi valittiin Huittisissa oleva Nanhiansuon tuotantoalue. Nanhiansuolla nostetaan enimmäkseen ympäristöturpeita. Nanhiansuolle ollaan hankkimassa RHP-sertifikaattia yhdelle tuotantolohkolle. Kuvattavaksi aumoiksi valittiin kaksi vierekkäistä

turveaumaa, A ja B, jotka tiedettiin lämpimiksi. Molemmat aumat on nostettu vuonna 2019. Turpeen eristävyys takasi kaksi päivää ennen kuvausta aumaan A asetettiin neljä metalliputkea alla olevan kuvan 7 mukaisesti, joista lämmön oletetaan nousevan ylös. Putkista nousevan lämmön oletettiin nousevan pintaan. Aumasta A mitattiin lämpötilan vertailua varten käsikäyttöisellä lämpötilamittarilla kahdesti kahdella eri pituisella aumalämpömittarilla. Aumaan B tehtiin vain lämpökamerakuvaus dronella.

Kuva 7. Havainnekuva aumaan sijoitetuista metalliputkista (Niura, 2019).



Lämpökuvauksista varten pyydettiin tarjous erilaisia dronepalveluita tarjoavalta Industrial Drone Vision Oy:lta, mikä hyväksyttiin. Hinta sisälsi lämpökuvauksen, matkakulut ja kuvausraportin. Lämpökuvauksia sovittiin säiden vuoksi nopealla aikataululla.

Kuvaukset aloitettiin 5.11.2019 aamulla noin kello 5.00. Lämpökamerakuvaus ja raportoinnin suoritti ITC-Level1-sertifioitu lämpökuvaja. Ensimmäinen lämpökamerakuvaus epäonnistui, mikä huomattiin vasta kuvia käsiteltäessä. Yritys kävi kuvaamassa aumat uudelleen 23.11 kello 2.20. Sääolosuhteet eivät muuttuneet merkittävästi kuvausten välillä. Tuulen nopeus oli onnistuneena kuvauspäivänä 5 m/s, -1°C pakkasta ja pilvipeite oli tasainen. Auma A, johon kepit oli asetettu, oli avattu ennen toista kuvausta. Tämä vaikutti todennäköisesti lämpökuvauksen tuloksiin.

## 4.2 Kuvauksessa käytetty kopteri ja varusteet

Lämpökuvauksessa käytetyt laitteet omistaa MultiCopterService MCS Oy. Marraskuussa 2020 yritys vaihtoi nimekseen Industrial Drone Vision Oy eli IDV. Yritys tekee tilavuusmittauksia, lämpökuvauksia, kartoituskuvauksia, ilmakuvaus ja teollisuuden tarkastuskuvauksia.

Lämpökuvauksella yritys voi kartoittaa rakennusten lämpövuotoja, kaukolämpöverkkojen vuotoja, aurinkovoimaloiden kuntoa, voimalaitosten polttoainekasojen lämpötilaa sekä paikantaa palopesäkkeitä tulipalotilanteessa. (Industrial Drone Vision Oy, 2020)

### 4.2.1 Drone

Kuvaukseen käytettiin DJI:n valmistamaa ammattikäyttöön tarkoitettua Matrice 100-nelikopteria. Matrice 100 on alusta, jonka käyttäjä voi koota omaan tarpeeseen soveltuvaksi. Alusta on monipuolisin drone DJI:n valikoimasta ja soveltuu hyvin kaupallisiin tarkoituksiin. Laajennusalusta mahdollistaa käyttäjän lisätä haluamiaan komponentteja. (DJI, 2021) Sähköpostiviesteissään IDV Oy:n kuvaaja Ville Vanhatalo (henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2019) kertoi mittauksessa käytetyn dronen varusteista. Kuvauksessa käytetyssä kopterissa oli varusteina kaksoisakkujärjestelmä, A3-autopilotti sekä itsenäisesti toimiva hätävarjo ja lämpökamera. Kuvauksen aikana kameran liikettä seurattiin ohjaimeen liitetystä tabletista (Vanhatalo, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2019). Kaksoisakku mahdollistaa noin 40 minuutin lentoajan ilman kuormaa. Täydellä kuormalla lentoaika dronella on noin 24 minuuttia. (Paajanen, 2019, s. 20)

### 4.2.2 Lämpökamera

Lämpökamerana käytettiin DJI:n Zenmuse XT 640 x 512 resoluutiolla ja 19 mm linssillä. Lämpökameran on valmistanut Flir Systems, joka on yksi maailman suurimmista lämpökameravalmistajista. Lämpökamera on varustettu DJI:n sisäänrakennetulla gimbaalilla. Gimbaali on kuvanvakain, joka estää kameran värinän ja mahdollistaa vakaan kuvan liikkeessä. (DJI, 2020) Zenmuse XT:n mittaava lämpötilaväli on -40 °C – 550 °C ja toimintalämpötila -10 °C – 40 °C. (Paajanen, 2019, s. 37)

### 4.2.3 Kuvaukseen vaikuttavat tekijät

Kuvattavan kohteen lähettämän lämpösäteilyn lisäksi kamera ottaa vastaan myös ympäristön lähettävää lämpösäteilyä, mikä vaikuttaa kuvien tulkintaan. Auringon heijastuminen kuvattavasta pinnassa ja auringon lämmittämä pinta vääristävät kuvien tuloksia. Tämän vuoksi kuvaus suoritettiin aikaisin aamulla. Lämpökuvauksen onnistumiseen vaikuttaa kuvattavan pinnan emissiivisyys, kuvauskulma ja -etäisyys sekä sääolosuhteet. (Paajanen, 2019, s. 7) Emissiivisyydellä tarkoitetaan kappaleen lähettämää säteilyn määrää. Emissiivisyys ja lämpötila laskee, kun kohdetta kuvataan vinossa kulmassa. Ilman kosteus, tuuli, lumi, pöly, savu ja sade vaikuttavat mittatuloksiin. (Laine, 2018, s. 16) Emissiivisyydeksi laskettiin kuvaushetkellä 0,95, mikä tarkoittaa sitä, että kuvattava materiaali lähettää 95 prosenttisesti omaa lämpöään ja loput 5 prosenttia on taustan lämpötilan heijastusta. (IDV, 2019)

Alhaisen lämmönjohtokyvyn vuoksi turve on eristävä materiaali, mikä vaikeuttaa lämpökuvauksista. Aumauksen jälkeen lämpenemistä tapahtuu koko aumassa. Aumaan syntyy harjan alapuolelle korkea lämpötilavyöhyke, kun ilmanvaihto-, kaasunmuodostus- ja kosteusolosuhteet muuttuvat auman eri kerroksissa. Kuumimman vyöhykkeen etäisyys auman pinnasta riippuu vuoden ajasta. Talvella, jolloin kuvaus suoritettiin, kuumen vyöhykkeen etäisyys voi olla noin 0,8 – 1,5 metriä pinnasta. Turve on eristävää noin metrin verran. Vyöhykkeeltä siirryttäessä auman pintaa kohti, lämpötila laskee 2 – 10 astetta jokaista 10 sentin paksuista turvekerrosta kohti. (Lappi, 1983)

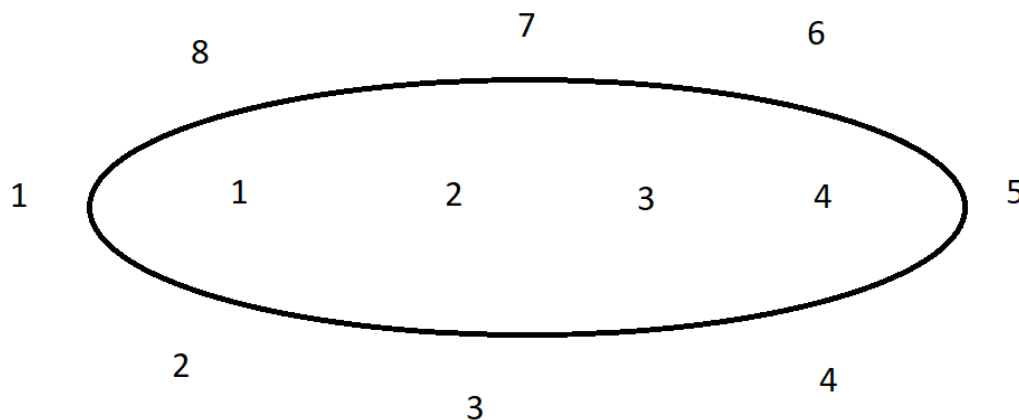
### 4.3 Lämpötilamittaus lämpömittarilla aumasta

Dronella tehdyn lämpökamerakuvausten tulosten luotettavuuden selvittämisen tueksi aumaan A tehtiin kaksi lämpötilamittausta 1 ja 1,5 metrin mittaisilla TEMPPI-aumalämpömittareilla. Lämpömittarit ovat Kasvutaito Oy:n valmistamia lämpömittareita turvetuotantoa ja kompostointia harjoittaville yrityksille. Lämpömittari toimii 1,5 V LR6 AA-kokoisella paristolla, joka kestää noin 5 vuotta. Standardi mittayksikkö mittarissa on °C. Aumalämpömittari toimii yhden °C tarkkuudella 0 – 100 °C välillä. (Kasvutaito Oy, 2014)

Aumasta A mitattiin lämpötilat mittapisteistä 1 – 4 auman päältä sekä mittapisteistä 1 – 8 auman sivulta kyljestä, jotka on esitetty kuvassa 8. Lämpötilat mitattiin mittapisteistä 1 – 4

epäonnistuneen ensimmäisen lämpökuvauksen jälkeisenä päivänä 1,5 metrin mittaisella TEMPPI-aumalämpömittarilla. Lämpötila mitattiin auman päältä aumaan laitettujen neljän metalliputken vierestä. Mittapisteistä 1 – 8 lämpötila mitattiin heti lämpökuvauksen jälkeen. Mittapisteistä 1 – 4 saadut tulokset kertovat auman todellisen lämpötilan. Tästä saatuja tuloksia verrattiin lämpökuvauksesta saatuihin tuloksiin. Mittapisteistä 1 – 8 saadut tulokset kuvaavat lämmön jakaantumista aumassa ja havainnollistavat turpeen eristävyttä. Lämpötilamittaus on suositeltavaa auman päältä, sillä harja-aumassa lämpimimmät kohdat löytyvät auman harjasta. Lämpömittarit työnnettiin aumaan koko pituudeltaan aumamuovin lävitse. Lämpötilan vakiintumisessa kesti muutamia minutteja. Tuloksen vakiintuminen varmistettiin vielä muutaman minuutin odottamisella. Aamun pimeys ja tuotantoalueella aikaisemmin havaitut sudet vaikuttivat tuloksen vakiintumisen odottamisen keston.

Kuva 8. Havainnekuva auman A mittauspisteistä (Koivisto, 2021).



#### 4.4 Mittausten analysointi

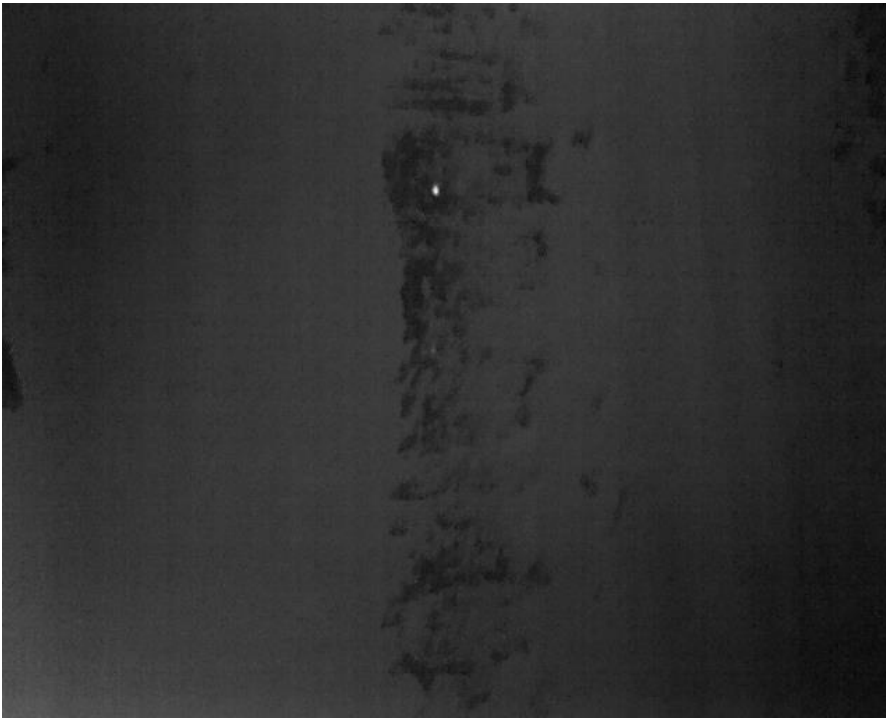
Lämpökuvauksen suorittanut Industrial Drone Vision Oy käsitteli kuvaamansa materiaalin lämpökuvien käsittelyyn tarkoitetulla ohjelmistolla. Käsitellyistä kuvista tehtiin Vapo Oy:lle lähetetty lämpökuvausraportti (IDV, henkilökohtainen tiedonanto, 2019). Käsikäyttöisen aumalämpömittarin tulokset kirjattiin ylös ja sijoitettiin vertailtavaksi Excel-taulukkaan. Dronen lämpökameralla mitattuja lämpötiloja verrattiin taulukossa TEMPPI- aumalämpömittarilla

saatuihin tuloksiin. Toiseen taulukkoon sijoitettiin vertailtavaksi pelkästään dronella saadut tulokset aumasta A ja aumasta B.

## 5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kuvaushetkellä aumasta A voitiin havaita selkeä lämpöpiikki. Kirkas valopiste tulee aumassa olevasta metalliputkesta. Alla olevasta käsittelemättömästä kuvasta 9 ei voida vielä määrittää auman lämpötilaa. Tummemmat alueet auman päällä mittapisteen lähellä ovat painoturpeen alta erottuvaa aumamuovia.

Kuva 9. Metalliputken pää näkyy kirkkaana kuvassa (IDV, 2019).

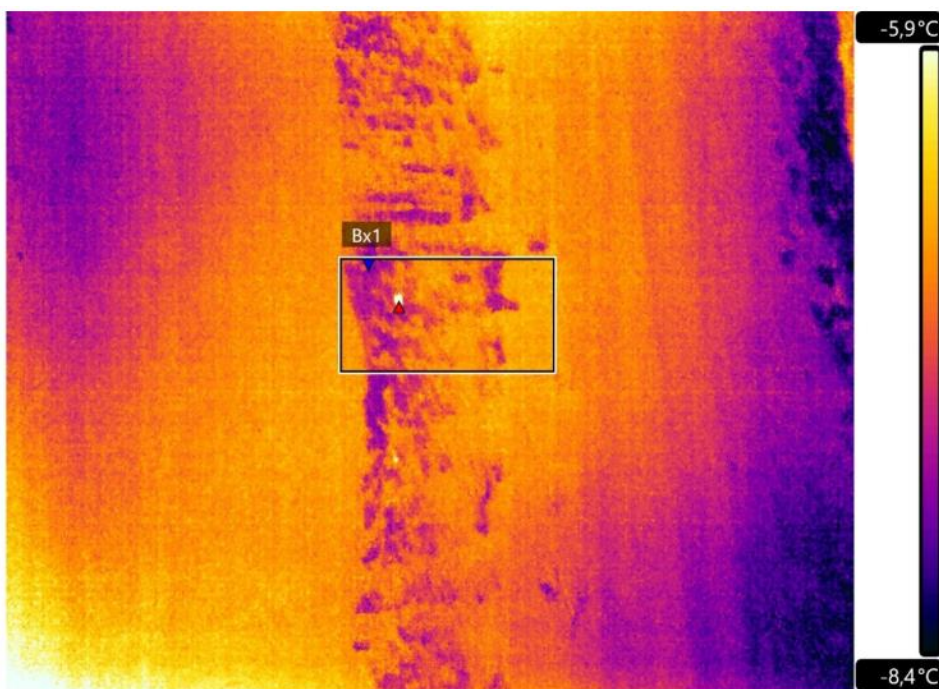


### 5.1 Lämpökuvaksen tulokset

Lämpökuvauksen tulokset voidaan lukea lämpökuvan oikeassa reunassa olevasta väripalkista. Palkin molemmissa päissä on ilmoitettu korkein ja matalin lämpökuvista havaittava lämpötila. Tumma violetti väri ilmaisee matalampaa ja kirkas keltainen korkeampaa lämpötilaa. Lämpökuvassa 11 näkyy selvänä pisteenä aumassa A olevasta metalliputkesta nouseva lämpö. Lämpökuvassa erottuu 3. mittauspiste. Lämpökuvan alapuolella olevaan taulukkoon on esitetty

korkein havaittu lämpötila (Bx1 Maximum) ja matalin havaittu lämpötila (Bx1 Minimum). Lämpökuvassa Bx1 Maximum ilmaistaan punaisella kolmiolla ja Bx1 Minimum sinisellä kolmiolla. Bx1 on lyhenne Box1 eli kuvaan on määritelty suorakaiteen mallinen alue, jonka sisälle on määritelty kuumin ja kylmin piste. Bx1 suorakaide poistaa reuna-alueelta virheellisiä arvoja. Lämpökuvauksessa kuvattava kohde halutaan pitää mahdollisimman keskellä kuvaa reunojen saturoitumisen takia. Saturoitumisen vuoksi kuvan reuna-alueen tulokset eivät välttämättä ole yhtä luotettavia kuin kuvan keskellä. (V. Vanhatalo, henkilökohtainen tiedonanto, 2021)

Kuva 11. Metalliputki johtaa lämpöä pintaan aumassa (IDV, 2019).



25.11.2019 8.38.04

DJI\_0250.jpg

**Mittausparametrit:**

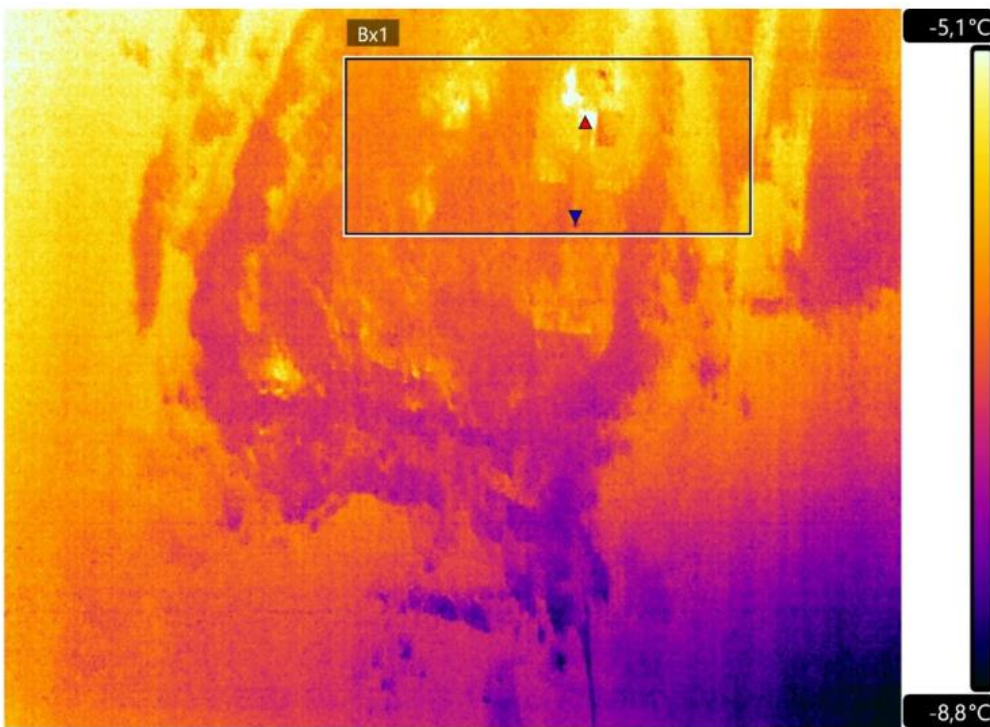
<b>Emissiivisyys:</b>	0,95
<b>Taustan lämpötila:</b>	-7,0 °C
<b>Etäisyys:</b>	68,0 m
<b>Spots</b>	-
<b>Lines</b>	-
<b>Bx1 Maximum</b>	0,8 °C
<b>Bx1 Minimum</b>	-8,1 °C
<b>Ellipses</b>	-
<b>Deltas</b>	-

**Sääolosuhteet:**

<b>Pilvisyys:</b>	Tasainen pilvipeite
<b>Ilman lämpötila:</b>	-1,0 °C
<b>Ilman kosteus:</b>	50 %
<b>Tuulen nopeus:</b>	5m/s

Lämpökuvassa 12 näkyy auman A mittapiste 4. Lämpökuvan epätasaisuudesta voidaan havaita, että auma on avattu. Korkein mitattu lämpötilaksi aumasta on  $-1,2\text{ °C}$ . Käsikäyttöisellä lämpömittarilla mitattiin korkein lämpötila auman päältä mittapisteestä 4.

Kuva 12. Mittapiste 4 avatun auman A päässä (IDV, 2019).



25.11.2019 8.38.04

DJI\_0265.jpg

**Mittausparametrit:**

<b>Emissiivisyys:</b>	0,95
<b>Taustan lämpötila:</b>	$-7,0\text{ °C}$
<b>Etäisyys:</b>	68,0 m
<b>Spots</b>	-
<b>Lines</b>	-
<b>Bx1 Maximum</b>	$-1,2\text{ °C}$
<b>Bx1 Minimum</b>	$-8,4\text{ °C}$
<b>Ellipses</b>	-
<b>Deltas</b>	-

**Sääolosuhteet:**

<b>Pilvisyys:</b>	Tasainen pilvipeite
<b>Ilman lämpötila:</b>	$-1,0\text{ °C}$
<b>Ilman kosteus:</b>	50 %
<b>Tuulen nopeus:</b>	5m/s

Dronella tehdyllä lämpökuvauksella ja lämpömittarilla saadut tulokset sijoitettiin alla olevaan taulukkoon 2 ja laskettiin tulosten erotus. Lämpömittarina mittapisteissä 1 – 4 käytettiin 1,5 metrin mittaista aumalämpömittaria.

Taulukko 2. TEMPPI-aumalämpömittarin 1,5 metrin syvyydestä ja dronen lämpökuvien tulosten vertailu (Koivisto, 2021).

AUMA A	Mittauspiste	°C TEMPPI	°C Drone	Erotus °C
	1	19,4	-6,5	25,9
	2	22,7	-4,7	27,4
	3	26,3	0,8	25,5
	4	67,1	-1,2	68,3

Auma A mitattiin kahdella eri mittaisella aumalämpömittarilla eri pisteistä. Metrin mittaisella TEMPPI- lämpömittarilla lämpötila mitattiin auman kyljestä kahdeksasta mittapisteestä, joista laskettiin keskiarvo verrattavaksi mittapisteisiin 1 – 4. Tulokset molemmista käsimittauksista sijoitettiin alla olevaan taulukkoon 3.

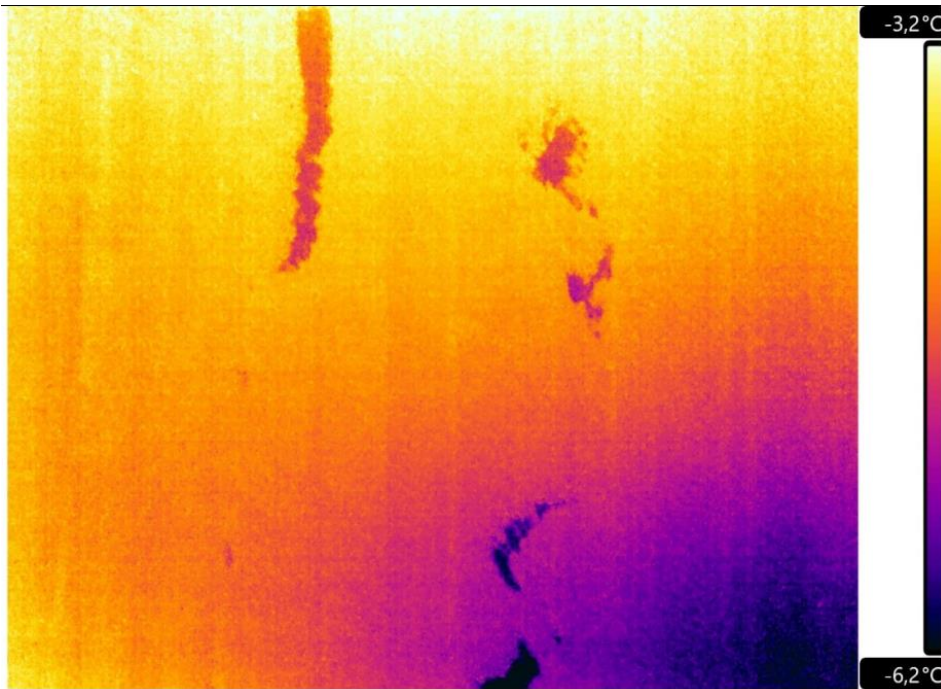
Taulukko 3. Kahden eri pituisen aumalämpömittarin tulokset (Koivisto, 2021).

AUMA A	Mittauspiste	1,5m TEMPPI °C	ka 1m TEMPPI °C	Erotus °C
	1	19,4	10	9,4
	2	22,7	10,95	11,75
	3	26,3	10,7	15,6
	4	67,1	9,53	57,57

## 5.2 Kahden eri auman lämpökuvauksen tulokset

Aumasta B otetut lämpökamerakuvat ovat kaikki melko samanlaisia. Aumaa B on vaikea hahmottaa kuvasta 13, koska aumamuovia on näkyvissä hyvin vähän. Aumassa B ei ollut tiettyjä mittapisteitä vaan tulos saadaan lämpökuvan reunassa olevasta palkista.

Kuva 13. Lämpökamerakuva aumasta B (IDV, 2019).



Lämpökameran mittaamat lämpötilat aumoista A ja B lämpötilat laitettiin taulukkoon 4 vertailtavaksi ja laskettiin tulosten erotus. Taulukon 4 alle laskettiin kunkin auman keskilämpötila lämpökamerakuvauksen tulosten perusteella.

Taulukko 4. Auman A ja auman B lämpökuvauksen tulokset (Koivisto, 2021).

Mittauspiste	°C Auma A	°C Auma B	Erotus °C
1	-6,5	-3,6	-2,9
2	-4,7	-3,2	-1,5
3	0,8	-2,4	3,2
4	-1,2	-2	0,8
	ka -2,9 °C	ka -2,8 °C	

### 5.3 Lämpökuvauksen taloudellinen kannattavuus

Kuvauksien hinnat vaihtelevat paljon riippuen kuvattavan alueen laajuudesta ja kuvattavien kohteiden määrästä. Hinnoittelu on tapauskohtaista, koska kuvattavat kohteet vaihtelevat paljon. Kahden auman lämpökuvaukseen kului noin 400 – 500 euroa. Hintaan sisältyi lämpökuvaukseen, kuvien käsittely ja kilometrikorvaukset. Tarkkaa hintaa kuvauksessa käytetyille laitteistolle ei saatu

selvitettyä, mutta saman valmistajan Matrice 210-drone sekä Zenmuse XT-lämpökameralla varustetun kokonaisuuden hinnan arvioidaan olevan noin 25 000 euroa. (Paajanen, 2019, s. 41)

Nanhiansuon operaatiopäällikön Niko Schlersierin kanssa käydystä sähköpostikeskustelusta (henkilökohtainen tiedonanto, 6.5.2021) selvisi, että urakoitsijalle maksetaan työmaan aumojen lämpötilamittauksesta työhön käytettyjen tuntien ja kilometrien mukaan. Vuodesta 2021 eteenpäin aumojen lämpötilamittaus kuuluu urakointisopimukseen, jolloin siitä ei makseta urakoitsijalle enää erikseen. Opinnäytetyön kohdesuolla Nanhiansuolla urakoitsija oli vuonna 2019 käyttänyt 21 tuntia lämpötilamittaukseen. Lämpömittauksen lisäksi on maksettu kilometrikorvaukset. Vuonna 2019 mittaus tehtiin neljän viikon välein. RHP-sertifikaatin vaatiman kahden viikon mittausvälin vuoksi vuonna 2020 lämpötilan mittaamiseen pelkästään Nanhiansuolla urakoitsijalla kului 72 tuntia. Koko vuoden 2020 lämpömittauksista Nanhiansuolla urakoitsijalle maksettiin 1242,0 € 0% Alv. (N. Schlesier, henkilökohtainen tiedonanto, 6.5.2021)

Jos pelkästään kahden auman lämpökuvaaminen maksaa noin 500 euroa ja kuvaus pitäisi suorittaa kahden viikon välein, lämpömittauksen hinta nousisi korkeaksi. Tämän perusteella kolmen kuvauskerran hinnalla maksettaisiin urakoitsijalle koko vuodesta. Urakoitsijan lämpömittauksessa käyttämä välineistö on myös huomattavasti edullisempi kuin drone ja siihen tarvittava laitteisto. Lähettävät TEMPPI-aumalämpömittarit maksavat noin 200 euroa kappaleelta, kokeessa käytetyt mittarit kustantavat vähemmän.

## **6 Johtopäätökset**

Johtopäätöksissä avataan dronella ja lämpömittarilla saadut tulokset ja vastataan tutkimuskysymyksiin. Lisäksi käydään läpi aiemmin tutkimuksia aiheeseen lämpökuvaukseen liittyen.

### **6.1 Lämpökuvauksen käytettävyys ja kannattavuus auman lämpötilan mittauksessa**

Dronen lämpökameralla ja aumalämpömittarilla saaduilla lämpötilatuloksilla oli merkittäviä eroja. Taulukkoon 2 (s. 24) vertailtavaksi sijoitetuista tuloksista nähdään, että lämpökameralla ja aumalämpömittarilla saatujen lämpötilojen ero oli suurimmillaan 68,3 °C mittapisteessä 4. ja pienemmilläänkin 25,9 °C mittapisteessä 1. Suuri lämpötilaero selittyy sillä, että drone mittaa

auman pintalämpötilaa ja aumalämpömittari auman sisälämpötilaa. Lisäksi auman A mittapisteen 4 pääty oli avattu oletettavasti jäähdyttelyä varten, koska aumasta mitattiin lämpökuvausta ennen käsin korkeat lämpötilalukemat. Lämpökamera olisi todennäköisesti mitannut pisteestä korkeamman lämpötilan ennen auman avaamista. Aumaan A sijoitetut putket autoivat hieman lämmön johtumista pintaan, mutta eivät riittävästi. Metalliputkien asentamisen ja onnistuneen kuvauksen välissä oli paljon aikaa, joten nousutta lämpöä ei välttämättä voitu havaita enää kuvauksen aikana. Lämpökuvauksen tulokset kertovat hyvin turpeen eristävyvyydestä, koska käsin mitattuja korkeita lämpötiloja ei voitu havaita dronen avulla. Turpeen eristävyvyydestä kertoo hyvin myös tulokset taulukossa 3, miten auman lämpötila laskee pintaa kohden. Metrin mittainen TEMPPI-aumalämpömittari on liian lyhyt käytettäväksi auman lämpötilan mittaukseen. Auma on mitattava auman päältä ei auman kyljestä. Auman lämpötila laskee noin 2 – 10 °C jokaista 10 senttimetrin turvekerrosta kohti mitä lähemmäs pintaa tultiin 1,5 ja 1 metrin välillä. Taulukko 3 mukaan esimerkiksi mittauspisteessä 1 auman lämpötila laskee noin 2 °C 10 senttimetrin paksuista turvekerrosta kohti 1,5 ja 1 metrin välillä. Mittapisteessä 4. auman lämpötila laskee yli 10 °C 10 senttimetrin paksuista turvekerrosta kohti 1,5 ja 1 metrin välillä. On oletus, että auman lämpötila laskee tasaisesti joka turvekerroksessa. Mittauksien perusteella drone ei sovellu ainakaan auman sisälämpötilamittaukseen ja laadunvalvontaan eikä dronella voida korvata nykyisiä mittausmenetelmiä.

Lämpötilaeroa kahden samanlaisen auman välillä oli hyvin vähän lämpökamerakuvissa. Molemmat aumat A ja B näyttävät lämpökamerakuvien ja taulukon 4 perusteella hyvin tasalämpöisiltä. Auma B oli aavistuksen lämpimämpi lämpökameralla mitattujen lämpötilojen perusteella, mutta todellisuutta ei voida tietää, koska aumaa B ei mitattu aumalämpömittarilla. Lämpökuvien tulosten perusteella auma B on voinut olla kuumempi sisältä kuin auma A. Tämä olisi pitänyt varmistaa käsimitoituksella. Vaikka lämpökuvien perusteella aumat näyttävät tasalämpöisiltä, auman A sisällä oli suuri lämpötilavaihtelu. Mittapisteillä 1. ja 4. aumalämpömittarilla saatujen tulosten lämpötilaero oli noin 47 °C. Aumasta A saatiin korkein tulos aumalämpömittarilla mittapisteestä 4. 67,1 °C ja alhaisin pisteestä 1. eli 19,4 °C.

Tutkimuskysymystä 3 koskien lämpökameran taloudellista kannattavuutta varten vertailtiin kustannusarvioita kahden eri menetelmän välillä. Urakoitsijan suorittaman lämpötilamittauksen ja ulkopuolisen kuvauspalvelun kustannuksissa oli merkittävä ero. Todennäköisesti kuvauspalvelun hinnan saisi sovittua pakettihinnaksi säännöllisesti tehtävää kuvausta varten. Kuvauspalvelun

hintaan sisältyi lämpökuvaus ja kuvien käsittely. Ammattimainen dronekuvaaja osaa tulkita lämpökuvia paremmin kuin asiaan perehtymätön, jolloin lämpökuvien tulkinnessa voi olla virheitä. Mahdollisella Vapon omalla dronella tehtävään kuvaukseen käytettävää aikaa on vaikea määrittellä. Pitää valita hankittavalle dronelle pääkäyttäjä ja kuinka paljon lämpökuvaus vaatii ajankäyttöä. Dronella lentämisen harjoittelu, varsinainen lentotyö ja mahdolliset laiteviat sekä kuvamateriaalin käsittely vaativat ajallisesti isoa työpanosta. Dronella voidaan työllistää ainakin yksi työntekijä pelkästään kuvaamaan. Näiden tulosten perusteella säännöllinen ulkopuolisen kuvaajan suorittama lämpökuvaus dronella ei ole taloudellisesti kannattavaa verrattuna nykyisiin menetelmiin. Kuvitteellisella omalla dronella suoritettava lämpökuvaus on todennäköisesti myös kustannuksiltaan korkeampaa kuin nykyisin urakoitsijalle maksettu korvaus lämpötilamittauksesta. Kustannusten arviointi oli haastavaa, koska kuvausmenetelmät ovat erilaisia.

## 6.2 Aikaisempien tutkimusten vertailu opinnäytetyöhön

Turvetuotannossa dronella tehtyä vastaavaa tutkimusta ei löydy. Lämpökamerakuvaus käyttä turvetuotannossa on kuitenkin tutkittu Oulun Yliopiston yhteydessä toimivan Pohjois-Suomen tutkimuslaitoksessa vuosina 1987 – 1991. Tutkimuksessa kartoitettiin 1350 aumaa, joista joka neljäs oli lämmennyt. Kartoituksessa käytetty lämpökamera oli kiinnitetty lentokoneeseen. Tutkimuksessa havaittiin, että auringon valon vaikutus vääristää kuvaa saamalla suon pinnan näyttämään tasalämpöiseltä. Pilvisellä säällä lämmin kohta aumassa on muutamaa astetta ympäristöä kuumempaa ja ero ennen auringonnousua voi olla noin 4 astetta. Itsekuumenemiselle altteimmat suot voidaan selvittää tuotantoalueiden jokavuotisella kuvaamisella. (Mainio, 1993) Kartoitukseen osallistunut tutkimuslaitoksen erikoistutkija Matti Tervo on tehnyt kirjat Turvetuotantokentän peruskuivatustason määrittäminen lämpökuvauksella ja aumojen tilavuusmäärittäminen ilmakuvista vuonna 1993, Turveaumojen lentovalvonta lämpökameralla vuonna 1990 ja Ilmakuvauksien käyttömahdollisuudet turvetuotannon apuvälineenä vuonna 1992. (Kansalliskirjasto, n.d.) Tutkimukset olisi kannattanut suorittaa varhain aamulla ennen kuin auringon valo ehti lämmittää auman pintaa. Näin auringon valo ei vääristä kuvaa. Valitettavasti näitä tutkimuksia ei saatu käyttöön tätä opinnäytetyötä varten.

Nanhiansuolla on aikaisemminkin testattu erilaisia lämpötilamittareita. Vapo Oy:n sisäisessä PowerPoint-esityksessä YT-tuotannon kehityksestä (henkilökohtainen tiedonanto 2018) käydään läpi tuotantokauden 2017 kokemuksia lämpötilaseurannasta. Tuotantoalueella toteutettiin kesällä

tuotantokaudella 2017 itselämpenemisen seurantaan Connect Finland-lämpötilamittarilla ja Quanturi Haytech-lämpötila-antureilla. Seurannan tavoitteena oli hillitä itselämpenemistä. Connect Finland-anturit toimivat Sigfox-verkossa eivätkä vaatineet erillisiä lähetinyksiköitä. Isoissa tilauksissa mittareiden hinta oli edullisempi. Anturit eivät kata koko Suomea eivätkä olleet käyttäjäystävällisiä. Quanturin-anturit olivat koesarjaa, joten ne olisivat vaatineet Vapolta sitoutumista kehittämiseen. Anturit tarvitsivat erillisen lähetinyksikön ja vahvistimen. Anturit havaittiin edullisiksi ja käytännöllisiksi, mutta eivät olleet säänkestäviä. Seurannan tuloksena todettiin, että käytettyjen mittareiden hinta- ja laatusuhde ei ollut kunnossa. Käsimittauksen korvaamista ei suositeltu ja käsikäyttöisiä lämpötilamittareita on edelleen kehitettävä. Paikkatiedon yhdistäminen lämpömittariin ei ollut helposti liitettävissä. Seurannassa huomattiin, että kairatuissa kosteuksissa oli suuria vaihteluita auman sisäisesti. Nanhiansuolla itselämpeneminen vuonna 2017 oli maltillista eikä tuotantoalueella ollut yhtään paloa, mikä johtui kylmästä kesästä sekä pienemmästä aumakoosta. Vuosi 2017 oli huono tuotantovuosi sateiden vuoksi, joten mittausaineistoa saatiin rajallisesti. (Vapo, 2018)

Vapolla on testattu lämpökamerakuvausta jyrsinpolttoturveaumaan. Sähköpostiviesteissään Vapo Oy:n hankintapäällikkö Petri Pikkutupa (henkilökohtainen tiedonanto 1.10.2020) kertoi tehneensä lämpökameramittauksen toiselle turvetuotantoyritykselle jyrsinpolttoturveaumaan.

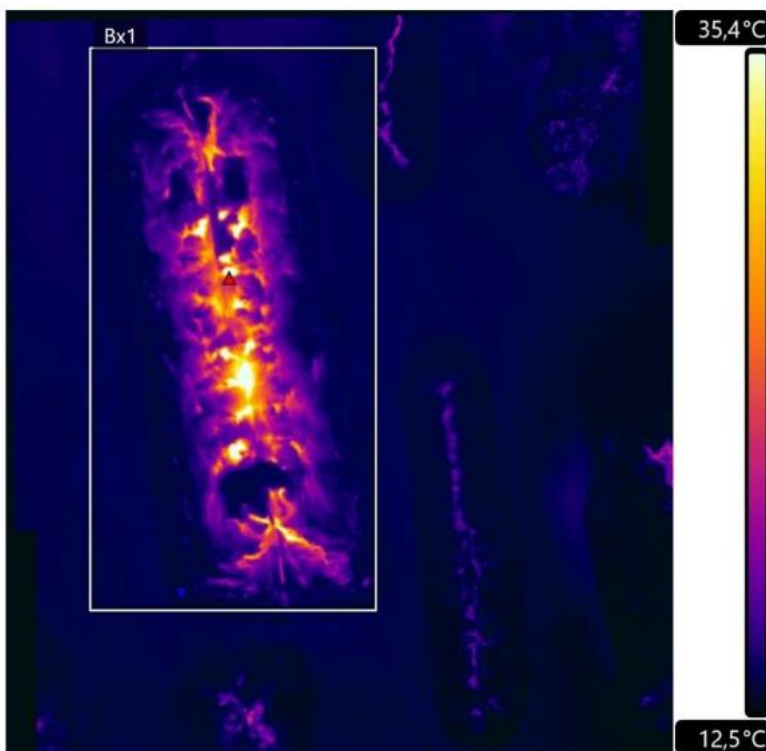
Lämpökamerana käytettiin käsikäyttöistä FLIR-merkkistä infrapunakameraa. Kuvauksessa käytetystä kamerasta ei ollut hyötyä kuumenemisen havaitsemiseen jyrsinpolttoturveaumassa. Vertailun vuoksi tässäkin kokeessa aumasta mitattiin lämpötila käsikäyttöisellä aumalämpömittarilla. Lämpötila oli yli 60 °C, mutta lämpöä ei säteilyt riittävästi eristävän pintakerroksen lävitse. Myöskään opinnäytetyön dronen lämpökamera ei havainnut yli 60 °C lämpötilaa. Käsikäyttöinen lämpökamera näytti aumassa vain auringon lämmittämät paljaat muovikohdat. Kuvaus tehtiin kesällä, joten aurinko oli ehtinyt lämmittämään auman pintaa. Epäiltiin, että talvella tulos voisi olla toinen. (Pikkutupa, henkilökohtainen tiedonanto, 1.10.2020) Tämänkin mittauksen perusteella lämpökuvauksella on tehtävä vuorokauden kylmimpänä hetkenä ennen kuin aurinko lämmittää auman pintaa.

Keränen kartoitti opinnäytetyössään ”Miehittämättömien ilma-alusten käyttö lämpökuvauksessa” lämpökameralla varustettujen dronejen tekniikkaa ja tyypillisiä käyttökohteita. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää dronen soveltuvuutta lämpökuvaukseen ja löytämään tarkoituksenmukainen drone. Opinnäytetyön tuloksena syntyneestä selvityksestä voi olla apua

dronen hankintaa suunnitteleville toimijoille. (Keränen, 2017) Laitteet ovat kehittyneet ja uudistuneet kyseisen opinnäytetyön julkaisun jälkeen. Opinnäytetyöstä voi olla apua, jos Vapo haluaa ostaa lämpökameralla varustettua dronea tai päivittää nykyisiä laitteita.

Myös energialaitosten puupolttoainekasoissa tapahtuu lämpötilan nousua luonnollisen rappeutumisen vuoksi, kun mikro-organismit tuottavat lämpöä. Kasoissa tapahtuva mätänemisprosessi yhdistettynä mahdollisiin kosteusvaihteluihin ja tiiviyseroihin voi johtaa lämpötilan nousuun puupolttoainekasassa. Hake syttyy palamaan, kun ilmaa pääsee kasaan esimerkiksi kuormaamisen aloituksen yhteydessä. Puupolttoaine menettää osan energiasisällöstään hitaan palamisen johdosta. Industrial Drone Vision Oy on kuvannut myös energiapuukasoja lämpökameralla, kuten kuvassa 14 näkyy. (Paajanen, 2019) Lämpökuvasta dronella voitaisiin testata esimerkiksi Vapon puuterminaaleissa oleviin hakekasoihin.

Kuva 14. Hakekasan lämpökuvauus (IDV, 2021).



## 7 Pohdinta

Tutkimusasetelma oli haastava jo ennen kokeita turpeen eristävyiden vuoksi. Kokeen tulos oli melkein ennakoitavissa, koska drone mittaa auman pintalämpötilaa. Dronella otetut

lämpökamerakuvat olivat kuitenkin mielenkiintoisia ja tulokset kuvasivat hyvin turpeen eristävyttä. Turve auma voi olla sisältä erittäin kuuma ja pinnalta viileä.

Tulosten luotettavuuden kannalta auman A lämpötilat olisi voitu mitata käsin uudestaan onnistuneen lämpökuvauksen jälkeen. Lämpökameralla tulisi kuvata useita aumoja, jotta voitaisiin tilastollisesti tehdä tarkempia vertailuja aumojen välillä. Aamulla suoritettuun kuvaukseen ja käsimittaukseen olisi voitu varautua paremmalla taskulampulla tai muulla valonlähteellä. Tulosten vakiintumista olisi odotettu pidempään, jos olisi varauduttu kylmään säähän. Talvella perinteisen käsikäyttöisen aumamittarin tulos voi olla epäluotettava, koska mittatuloksen vakiintumisen odottamiseen kuluu pitkä aika kylmässä. Lämpötila nousi käsikäyttöisellä mittarilla hyvin hitaasti.

Lämpökuvien tulkinta oli melko haasteellista. Ulkopuolinen ja asiasta tietämätön ei välttämättä erota lämpökuvista aumoja. Lämpötilan määrittely sivupalkista on myös hieman epävarmaa ja tulkinnanvaraista. Apua kuvien tulkitsemiseen kysyttiin kuvauksen suorittaneelta yritykseltä.

Kustannusten vertailu eri mittaustapojen välillä on haastavaa, koska mittaustavat ovat erilaisia. Tulosten perusteella dronella suoritettavaan lämpötilamittaukseen ei ole kannattavaa investoida vaan suositellaan tarpeen mukaan kehittämään aumanlämpömittareita. Käsikäyttöisen lämpömittarin pitää ilmaista merkkiäänellä tuloksen vakiintuminen turhan odottelun välttämiseksi. Tehokas tapa seurata aumojen lämpötiloja on aumaan jätettävät lämpömittarit, jotka lähettävät dataa Vapon järjestelmiin tietyn väliajoin. Vaihtoehtoina voi olla liikutettava tai paikallaan oleva langaton mittari. Mahdollisuus syöttää esimerkiksi auman numero on hyvä, jotta dataa voidaan tulkita oikein. Liikutettavassa mittarissa voi olla GPS-paikannus. Hinta ei saa uusissa mittareissa nousta korkeaksi. Toisaalta lähettävät mittarit eivät välttämättä ole tarpeellisia, koska nykyisillä menetelmilläkään ei koeta tarpeelliseksi kirjata aumojen lämpötiloja. Kuitenkin lähettävän mittarin avulla auman kohonneeseen lämpötilaan pystytään reagoimaan nopeammin ja aloittamaan tarvittavat toimenpiteen materiaalihävikin estämiseksi ja laadun säilyttämiseksi. Lähettävien mittarien hankinta voidaan rajata RHP-alueille. Aumaan jätettävät lämpömittarit saattavat unohtua paikoilleen ja vahingossa tulla toimitetuksi turpeen mukana asiakkaalle.

Vapolla dronejen käyttöä jatketaan edelleen. Dronella tehtävästä lämpökuvauksesta voi olla hyötyä tulipalotilanteissa esimerkiksi kytöjen etsimiseen tuotantoalueelta ja lähimetsistä. Omalla lämpökameralla voi paikantaa nopeasti huomaamatta jääneet palopesäkkeet kentältä tai

lähimetsistä ja näin voidaan lyhentää palotilanteen kestoa. DJI:n tuotevalikoimasta löytyy pienempiä yrityskäyttöön soveltuvia droneja kuin opinnäytetyössä käytetty Matrice 100. Esimerkiksi DJI Mavic Enterprise Dual ja Mavic 2 Enterprise Advanced sisältävät kaksoiskameran, jolla pystyy normaalin videokuvauksen lisäksi myös lämpökuvaukseen. Hinta Enterprise Dualille on hieman alle kolme tuhatta, kun taas Enterprise Advanced maksaa noin 7000 euroa. (Fotonordic, n.d.)

## LÄHTEET

Alakangas E., Hölttä P., Juntunen M., Vesisenaho T., (2011). Energiaturpeen tuotantotekniikka : koulutusaineisto. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 120/2011, Jyväskylän ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-830-195-3>

DJI. (2021) *Matrice 100*. Haettu 16.11.2020 osoitteesta <https://www.dji.com/fi/matrice100>

DJI. (2020) *Zenmuse XT*. Haettu 28.9.2020 osoitteesta <https://www.dji.com/fi/zenmuse-xt>

Fotonordic. (n.d.). *DJI Mavic Enterprise Advanced*. <https://www.fotonordic.fi/product/114039/dji-mavic-2-enterprise-advanced>

GTK. (8.10.2020). *Vapo Oy – Uutta teollisuutta tutusta raaka-aineesta*. GTK. <https://www.gtk.fi/vapo-oy-uutta-teollisuutta-tutusta-raaka-aineesta/>

Iivonen, S. (2008) *Ympäristöturpeet ja niiden käyttö*. Ruralia- instituutti Helsingin Yliopisto. <http://hdl.handle.net/10138/225276>

Industrial Drone Vision Oy. (2020) *IDV*. Haettu 16.11.2020 osoitteesta <https://idvnet.fi/>

Kansalliskirjasto. (n.d.). *The National Library of Finland Open Data and Linked Data Service*. <http://data.nationallibrary.fi/au/pn/000060766>

Kasvutaito Oy. (2014) *Manual*. [http://kasvutaito.fi/?page\\_id=2862](http://kasvutaito.fi/?page_id=2862)

Kekkilä Oy. (2020) *Kekkilä-BVB Oy:stä Euroopan johtava kasvualustayhtiö*. <https://www.kekkila.fi/ajankohtaista/kekkila-bvb-oysta-euroopan-johtava-kasvualustayhtio/>

Laine, V. (2018) *Lämpökamerakuvaus kauko-ohjattuja ilma-aluksia hyödyntäen rakennusten kuntotutkimuksissa*. [Opinnäytetyö, Tampereen Ammattikorkeakoulu]. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/145971/Laine\\_Valtteri.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/145971/Laine_Valtteri.pdf?sequence=1)

Lappi, M. (1983). Egenskaper hos industriell torv och dess testningsmetoder. Alaraportti: Jyrsinturpeen itsekuumeneminen. 1983. VTT. Poltto- ja voiteluainelaboratorio.

Mainio, T. (23.10.1993) Lämpökamera etsii kytevät aumat Itsestään kuumenevat turveamat kovertuvat sisältäpäin, ja samalla haihtuu ilmaan lähes 30 miljoonaa markkaa vuodessa. *Helsingin Sanomat*. <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000003277363.html>

Neova Group (2021a) *Konserni*. Haettu 4.5.2021 osoitteesta <https://www.neova-group.com/konserni>

Neova Group. (2021b) *Vapon uusi nimi on Neova*. Haettu 3.5.2021 osoitteesta [https://www.vapo.com/turvetuotantoavastuullisesti/ajankohtaista-2/2839/vapon\\_uusi\\_nimi\\_on\\_neova](https://www.vapo.com/turvetuotantoavastuullisesti/ajankohtaista-2/2839/vapon_uusi_nimi_on_neova)

Paajanen, V. (2019) *Dronelämpökuvaus energia-alalla*. [Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu]. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/167843/Paajanen\\_Vilppu.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/167843/Paajanen_Vilppu.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Pelastusliitto & Turveteollisuusliitto. (2009) *Torjutaan turvepaloja*. Opetusmateriaali. Bioenergia. Haettu 25.11.2020 osoitteesta <https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/02/Torjutaan-turvepaloja-3.4.2009-1.pdf>

RHP. (2016a) *Why RHP substrates? Horticulture*. Haettu 20.11.2020 osoitteesta <https://www.rhp.nl/en/why-rhp-substrates>

RHP. (2016b) *About RHP*. Haettu 20.11.2020 osoitteesta <https://www.rhp.nl/en/about-rhp>

Ryymin, K. (4/2018) Ilmavalvonta käyttöön. *Vapolainen*.

Tahvonon, R. (2020) Korvaamaton kasvuturve. *Puutarha & Kauppa*, 15/2020. <https://kauppapuutarhaliitto.fi/wp-content/uploads/2021/02/Korvaamaton-kasvuturve.pdf>

Turveteollisuusliitto, Kauppapuutarhaliitto & Viherympäristöliitto. (2010) Kasvuturpeen ja turvepohjaisten kasvualustojen laatuohje.

[https://www.vyl.fi/site/assets/files/1499/kasvuturve\\_laatuohje\\_1\\_korjattu\\_versio\\_1\\_10\\_2010.pdf](https://www.vyl.fi/site/assets/files/1499/kasvuturve_laatuohje_1_korjattu_versio_1_10_2010.pdf)