



Digitaalikuvauksen ja vesiherkän paperin käyttö perunan ruiskutustutkimuksessa

Pasi Suomi ja Hannu Haapala



Maa- ja elintarviketalous 4
70 s., 5 liitettä

Digitaalikuvausten ja vesierkän paperin käyttö perunan ruiskutus- tutkimuksessa

Pasi Suomi ja Hannu Haapala

ISBN 951-729-666-5 (Painettu)
ISBN 951-729-667-3 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkkajulkaisu)

<http://www.mtt.fi/met>

Copyright

MTT

Kirjoittajat

Pasi Suomi ja Hannu Haapala

Julkaisija ja kustantaja

MTT/Maatalousteknologian tutkimus (Vakola)

Jakelu ja myynti

MTT/Maatalousteknologian tutkimus (Vakola)

Puhelin (09) 224 251, telekopio (09) 224 6210

[sähköposti: julkaisut@mtt.fi](mailto:julkaisut@mtt.fi)

Julkaisuvuosi

2002

Kannen Kuva

Pasi Suomi

Digitaalikuvausten ja vesierkän paperin käyttö perunan ruiskutustutkimuksissa

Pasi Suomi ja Hannu Haapala¹⁾

¹⁾MTT/Maatalousteknologian tutkimus (Vakola), 03400 Vihti, pasi.suomi@mtt.fi, hannu.haapala@mtt.fi

Tiivistelmä

Tutkimus oli osa MTT:n ja Perunantutkimuslaitoksen (PETLA) yhteistutkimuksesta ”Ruiskutustekniikan parantaminen perunaruton torjunnasta”, jonka kenttäkokeissa selvitettiin eri ruiskutusmenetelmien käyttökelpoisuus perunaruton torjunnassa. Torjunta-aineen tunkeutumista perunakasvustoon mitattiin varsiston joukkoon asetetuilla vesierkillä papereilla. Näiden analysoimiseksi tarvittiin tehokas menetelmä. Tutkimuksen päätavoitteeksi asetettiin kehittää käyttökelpoinen menetelmä vesierkän paperin kuvaukseen ja analysointiin. Tutkimustavoite edellytti digitaalikuvausten ja digitaalisen kuva-analyysin käyttöä. Valittu mittaustapa testattiin ja kalibroitiin kokeissa, joissa vesierkät paperit ja perunan lehdykät ruiskutettiin fluoresoivalla ruiskutusnesteellä. Nestemäärinä käytettiin 40, 100, 200, 300 ja 400 l/ha. Vesierkistä papereista ja perunan lehdyköistä analysoitiin ruiskutusnesteen peittoasteet. Paperit ja lehdykät kuvattiin Olympus C-1400 L TM -digitaalikameralla ja kuvatiedostot analysoitiin Global Lab Image TM -analyysiohjelmalla.

Tutkimustulosten mukaan peittoaste on vesierkällä paperilla suurempi kuin lehdykän ylä- ja alapinnalla. Saadun aineiston avulla luotiin kaksi lineaarista mallia, joissa vesierkän paperin peittoasteen avulla selitetään lehdykän pinnan peittoastetta. Malli A: $y = 0,6246x + 0,2593$ on paperin ja lehdykän yläpinnan peittoasteiden välille ja malli B: $y = 0,7747x - 9,0085$ paperin ja lehdykän alapinnan peittoasteiden välille. Mallit kuvaavat peittoasteita nestemäärillä 100 – 400 l/ha, kun paperin peittoaste on 15 – 75 %.

Kehitetty kuvaus- ja analysointijärjestelmä on käyttökelpoinen. Työpäivän aikana kuvausjärjestelmällä voidaan ottaa 300 – 400 kuvaa tai analyysiohjelmalla voidaan analysoida noin 300 kuvatiedostoa päivässä. Menetelmää voidaan käyttää tulevissa ruiskutustutkimuksissa ja sitä on helppo kehittää päivittämällä kamera uudemmaksi ja tarkemmaksi. Tutkimuksessa havaittiin myös, että kasvinsuojeluaineiden peittoastetta, pisarakokoa ja annosmääriä tulisi selvittää jatkotutkimuksissa. Ruiskutustekniikasta voidaan kehittää ympäristöystävällisempi ja tehokkaampi vasta silloin, kun tiedetään tavoiteltu peittoaste ja pisarakoko.

Asiasanat: digitaalikuvaus, kuva-analyysi, vesierkkäpaperi, peruna ja lehdykkä

Digital photography and water sensitive papers in potato spraying research

Pasi Suomi, Hannu Haapala¹⁾

¹⁾MTT, Agricultural Engineering Research, FIN-03400 Vihti, Finland, pasi.suomi@mtt.fi, hannu.haapala@mtt.fi

Abstract

This research was part of the collaborative study “Improvements in spraying techniques against potato late blight”. The study was a joint project of MTT Agrifood Research Finland and the Potato Research Station (PETLA). Different application techniques were studied to determine the efficacy of chemical blight control in potato canopies. An important aim of the study was to measure the canopy penetration of the spraying liquid. The penetration was measured with a multitude of water-sensitive papers placed among the potato stems. Consequently, an efficient measurement system was needed for the paper analysis. The main aim of this research was to develop a usable method for photographing and analysing water-sensitive paper. This required use of digital photography and digital image processing. The chosen measurement method was tested and calibrated in experiments in which water-sensitive papers and potato leaves were sprayed with a fluorescent spraying liquid at rates of 40, 100, 200, 300, and 400 l/ha. The degrees of coverage were analysed after spraying. Papers and potato leaves were photographed with an Olympus C-1400™ digital camera, and the images were analysed with Global Lab Image™ software. According to the results, water-sensitive paper has a higher degree of coverage than potato leaves. Two linear models were developed to depict the relationship between the degree of coverage of water-sensitive paper and that of potato leaves. Model A relates the degree of coverage of the paper (x) and that of the leaf’s upper side (y): $y = 0,6246x + 0,2593$. Model B relates the degree of coverage of the paper (x) and that of the leaf’s lower side (y): $y = 0,7747x - 9,0085$. The models are valid for paper coverage degrees between 15 and 75 % when the spray rates are 100 – 400 l/ha. The digital photography and analysis system developed in the study is efficient. During normal working hours, it is possible to take 300 – 400 pictures or to analyse about 300 image files. The method is suitable for different spraying applications, and it is easy to improve by replacing the digital camera with a newer and more precise one. Further studies should concentrate on the basics: coverage requirements, droplet size, and dosages of different protective agents. Without question, it is possible to develop more efficient and more environmentally friendly application techniques, but only after we actually know the exact specifications needed.

Index words: spraying, potato, coverage, digital photography, image processing, image analysis, water-sensitive paper

Alkusanat

Käsillä oleva digitaalikuvausmenetelmää koskeva tutkimus tehtiin Vihdissä MTT:n Maatalousteknologian tutkimuksessa (Vakolassa) osana ”Ruiskutus-tekniikan parantaminen perunaruton torjunnassa” –nimistä Vakolan ja Perunantutkimuslaitoksen (PETLA) yhteistutkimusta. Yhteistutkimus oli osaprojekti laajasta MTT:n ”Siemenperunan laadunhallinnan erikoiskysymykset” tutkimuskokonaisuudesta, jossa keskityttiin kehittämään koko siemenperunan tuotantoketjua käyttötarkoituksenmukaisen siemenperunan tuottamiseksi.

Digitaalikuvausta ja kuvankäsittelytekniikoita soveltaen haluttiin kehittää menetelmä, jonka avulla saataisiin entistä helpommin tarkka kuva ruiskutuksen onnistumisesta. Ruiskutuksen peittoasteen mittaaminen on perinteisesti ollut työlästä. Nyt tavoitteena oli saada aikaan menetelmä, joka olisi sekä työnmenekiltään että kustannuksiltaan kohtuullinen. Tässä onnistuttiin varsin hyvin.

Projektin tuloksia on aiemmin raportoitu lyhyesti osana ”Ruiskutustekniikan parantaminen perunaruton torjunnassa” –hankkeen raportteja ja aiheesta on pidetty esityksiä. Lisäksi hankkeen aikana on valmistunut MMM Pasi Suomen Helsingin yliopiston Maa- ja kotitalousteknologian laitokselle tekemä pro gradu –työ.

Projektin rahoitukseen saatiin tutkimusrahoitusta Maa- ja metsätalousministeriöstä sekä MTT:n budjettivaroista.

Hankkeen valmistuttua haluan kiittää kaikkia osallisia hyvin sujuneesta yhteistyöstä.

Vihti 6.6.2002

prof. Hannu Haapala
MTT/Vakola
hankkeen johtaja

Sisällysluettelo

| | |
|---|----|
| 1 Johdanto | 8 |
| 2 Ruiskutus tulokseen vaikuttavat tekijät | 9 |
| 2.1 Ruiskutusnesteen peittoaste | 9 |
| 2.2 Optimaalinen pisarakoko ja torjunta-ajankohta | 10 |
| 2.3 Torjunta-aineen annostus | 12 |
| 3 Tutkimuksessa käytetyt ruiskutustekniikat | 12 |
| 3.1 Viuhka-, lisäilma- ja pyörrekammiosuutin..... | 13 |
| 3.2 Danfoil -puhallinruisku | 14 |
| 3.3 Hardi Twin – ilma-avusteinen ruisku..... | 14 |
| 3.4 Ruiskutustekniikan valinta kohteen mukaisesti | 16 |
| 4 Vesiherkän paperin digitaalikuvausmenetelmä | 16 |
| 4.1 Soveltuvat kuvausmenetelmät..... | 17 |
| 4.2 Digitaalikuva..... | 18 |
| 4.2.1 Digitaalikamerat..... | 19 |
| 4.2.2 Värimallit | 20 |
| 4.2.3 Kuvatiedostojen pakkaaminen | 22 |
| 4.3 Kuvausmenetelmän valintaan vaikuttaneet tekijät..... | 22 |
| 4.3.1 Pisanan käyttäytyminen vesiherkän paperin ja perunan lehdyn pinnalla | 23 |
| 4.3.2 Peittoasteeseen otettava pienin pisarakoko | 25 |
| 4.3.3 Kuva-analyysiohjelman havaitsema pienin partikkelikoko | 25 |
| 4.4 Tutkimuksessa käytetty kuvausmenetelmä | 26 |
| 5 Digitaalikuva-analysointimenetelmä..... | 28 |
| 5.1 Digitaalikuva-analysointitarve..... | 28 |
| 5.2 Analysointi Global Lab Image -ohjelmalla | 29 |
| 5.3 Analyysiohjelman testaus..... | 33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.4 | Analyysiohjelman testaustulokset..... | 34 |
| 6 | Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän vertailu..... | 36 |
| 6.1 | Koejärjestely | 37 |
| 6.2 | Esikokeet ruiskutusnesteillä..... | 39 |
| 6.2.1 | Fluoresoivan aineen haihtuminen ja imeytyminen perunan lehdykällä | 39 |
| 6.2.2 | Nesteen käyttäytyminen vesiherkän paperin pinnalla..... | 42 |
| 6.3 | Vertailukoe..... | 42 |
| 6.3.1 | Levitystasaisuusmittaus | 42 |
| 6.3.2 | Vertailukokeen ruiskutusparametrit..... | 44 |
| 6.3.3 | Ruiskujen kalibrointi..... | 44 |
| 6.3.4 | Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän kuvaus..... | 46 |
| 6.3.5 | Analyysiohjelman parametrit vesiherkän paperin analysoinnissa..... | 47 |
| 6.3.6 | Perunan lehdyköistä otettujen digitaalikuvioiden editointi | 49 |
| 6.3.7 | Analyysiohjelman parametrit perunan lehdykän analysoinnissa..... | 49 |
| 6.3.8 | Vertailukokeen tulokset | 52 |
| 6.3.9 | Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän ala- ja yläpinnan väliset matemaattiset mallit | 58 |
| 7 | Tulosten tarkastelu..... | 62 |
| 7.1 | Vertailukokeen ruiskutusparametrien vaikutus tuloksiin..... | 62 |
| 7.2 | Perunan lehdyköiden pinnan epätasaisuuden aiheuttama epävarmuus tutkimustuloksiin | 63 |
| 7.3 | Kuvausjärjestelmän toiminta..... | 63 |
| 7.4 | Kuvatiedostojen muokkaaminen..... | 64 |
| 7.5 | Analyysiohjelman parametrien vaikutus tutkimustuloksiin..... | 64 |
| 7.6 | Tulosten yleistettävyys..... | 65 |
| 7.7 | Johtopäätökset ja kehittämistarpeet | 66 |
| 8 | Kirjallisuus..... | 68 |
| 9 | Liitteet..... | 71 |

1 Johdanto

Perunakasvustoissa ilmentynyt rutto on muuttunut aggressiivisemmäksi ja se ilmestyy kasvustoihin yhä aikaisemmassa vaiheessa ruttokantojen muuntelun myötä. Hankalina ruttovuosina on ruton kehittyminen ollut vaikea pysäyttää toistuvista käsittelyistä huolimatta. Yhdeksi syyksi on epäilty puutteellista ruiskutustekniikkaa, join torjunta-aine ei saavuta kasvuston vaikeimpia kohteita kuten lehtien alapintoja ja varsia. Nykytietämyksen mukaan ruton munaitiot voivat tartuttaa ruton missä kasvukauden vaiheessa tahansa ja perunan alalehdet ovat suurimmassa vaarassa.

Kaikki markkinoilla olevat torjunta-aineet ovat joko puhtaasti kosketusvaikutteisia tai kosketus- ja sisävaikutteisen aineen seoksia. Seosaineissakin kosketusvaikutteinen osa vaatii tehotakseen hyvää peittoastetta kohteessaan. Sisävaikutteinen aineosa liikkuu pääasiassa kasvissa ylöspäin ja lehtien reunoille päin. Tällaisessa tilanteessa torjunta-aine olisi saatava tunkeutumaan tasaisesti tiheäänkin kasvustoon ja asettumaan myös varsiin ja lehtien alapinnoille.

"Siemenperunan laadunhallinnan erikoiskysymykset" tutkimuskokonaisuuden perustettiin ruiskutustekninen osio nimeltä "Ruiskutustekniikan parantaminen perunaruton torjunnassa", jonka tavoitteiksi asetettiin selvittää, voidaanko ruiskutusteknisillä ratkaisuilla parantaa ruiskutusnesteen peittoastetta kasvustossa, tehostaa pisaroiden tunkeutumista kasvustoon ja erityisesti niiden asettumista kasvuston vaikeasti saavutettaviin osiin. Lisäksi tavoitteena oli selvittää eri tekniikoiden antamaa biologista tehoa eri tyyppisillä torjunta-aineilla ja eri kehitysvaiheissa olevissa kasvustoissa.

Tavoitteet edellyttivät kenttäkokeita, joissa perunakasvusto ruiskutettiin eri ruiskutustekniikoilla. Ruiskutusnesteen tunkeutumista tutkittiin vesiherkkien papereiden avulla. Lisäksi kenttäkokeessa selvitettiin eri ruiskutustekniikoiden biologista tehoa ja kerättiin ruiskutuksen jälkeen näytteitä varsiston eri osista, jotka sen jälkeen altistettiin rutolle laboratoriossa.

Jotta ruiskutusnesteen tunkeutuvuutta oltaisiin voitu tutkia tehokkaasti, oli vesiherkkien papereiden analysointiin kehitettävä menetelmä. Tämän julkaisun painopiste on tähän tarkoitukseen kehitetyssä menetelmässä, jonka ytimen muodostavat digitaalikuvaus ja kuva-analyysimenetelmä.

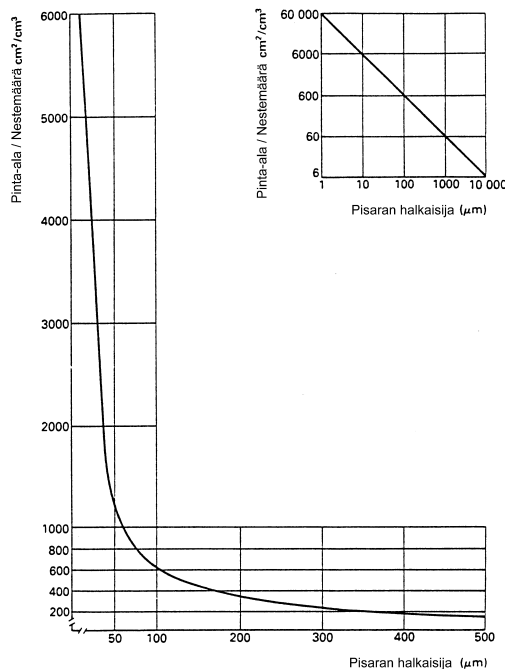
Koska kirjallisuudesta ei pystytty osoittamaan tarkkaa yhteyttä paperin ja lehdykän peittoasteiden välille, päätettiin tutkimuksessa tehdä vertailukoe. Vertailukokeessa koejäsenet (paperi ja lehdykkä) ruiskutettiin eri nestemäärillä, jolloin niiden pinnalle saatiin eri peittoasteita. Tulosten perusteella luotiin mallit vesiherkän paperin ja lehdykän ala- sekä yläpinnan peittoasteiden välille.

2 Ruiskutustulokseen vaikuttavat tekijät

Ruiskutustuloksen mittaamiseksi on perehdyttävä kasvinsuojeluruiskutukseen vaikuttaviin tekijöihin sekä ruiskutustekniikoiden teknisiin ominaisuuksiin ja toimintaperiaatteisiin. Tehokas ja ympäristöä säästävä kasvinsuojelu edellyttää, että ruiskuttajan on tiedettävä sää- ja ympäristöolosuhteiden lisäksi kohteeseen parhaiten tehoava torjunta-aine, sen määrä ja optimaalinen torjunta-ajankohta. Kasvinsuojelun tavoitteena on torjua kasvustosta kasvitauteja, rikkakasveja sekä tuhohyönteisiä. Näille kaikille tarvitaan hieman erilainen ruiskutustapa.

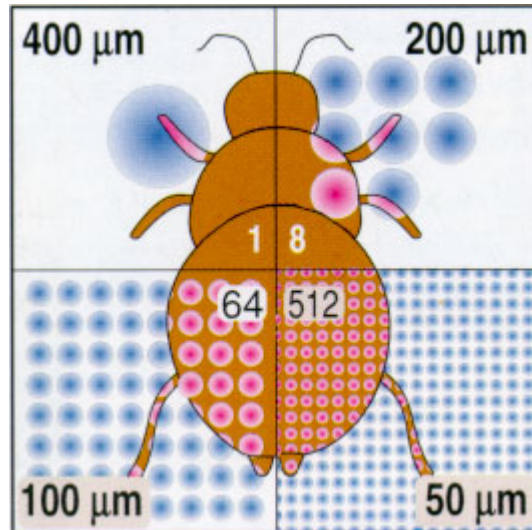
2.1 Ruiskutusnesteen peittoaste

Suuttimen koolla ja ruiskutusnesteen paineella on tunnetusti suuri vaikutus nesteen pisarakokoon ja saavutettavaan peittoasteeseen. Matthews (1992) mukaan ruiskutuksessa pisarakoko vaihtelee 10 - 1000 μm :iin. Nestesuihku on hienojakoisempi, kun suutinkokoa pienennetään tai ruiskutuspainetta nostetaan. Pienillä pisaroilla (alle 100 μm) saadaan kohteesta käsitellyksi huomattavasti suurempi pinta-ala kuin suurilla pisaroilla, vaikka nestemäärä olisi sama (kuva 1, Matthews 1992).



Kuva 1. Pisarakoon vaikutus pisaroiden yhteispinta-alaan (Matthews 1992).
Figure 1. The specific surface area and reduction of droplet diameter.

Pienemmällä pisarakoolla saadaan käsitellyksi kohteesta huomattavasti suurempi kokonaispinta-ala. Pisarakoon pienetessä myös kohteeseen saatavien osumien lukumäärä kasvaa (kuva 2, Hardi 1999).



Kuva 2. Pisarakoon vaikutus peittoasteeseen. Kussakin neliössä on sama nestemäärä (Hardi 1999).

Figure 2. Effect of droplet size on coverage. Each square represents equal water quantity.

2.2 Optimaalinen pisarakoko ja torjunta-ajankohta

Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus vaikuttavat pisaran elinikään. Lämpimällä ilmalla pisaran elinikä ja sen kulkema matka lyhenevät huomattavasti (taulukko 1, Hagenvall 1987, Matthews 1992). Keskellä päivää ruiskutettaessa ilman lämpötila on korkeimmillaan ja suhteellinen kosteus alimmillaan, joten ruiskutusnesteen pienimmät pisarat saattavat haihtua ilmaan, ennen kuin ne päätyvät tavoiteltuun kohteeseen.

Kasvinsuojeluruiskutuksessa sopiva pisarakoko pitää säätää ruiskutuskohteen mukaan. Kun torjuntakohteina ovat hyönteiset, optimaalinen pisarakoko on 10 – 50 μm . Kasvuston lehdille optimaalinen pisarakoko on 40 – 100 μm . Kun kasvinsuojeluaine halutaan ruiskuttaa maan pinnalle, voidaan pisarakoko suurentaa 200 μm :iin, koska silloin estetään ruiskutusnesteen kulkeutuminen kohteen ulkopuolelle, eivätkä pisarat jää kasvuston lehdille. (Matthews 1992, taulukko 1)

Taulukko 1. Optimaalinen pisarakoko eri torjuntakohteille ja vastaava pisaran elinikä ja kulkema matka eri ruiskutuslämpötiloissa ja ilmankosteuksissa. Oletuksena tyyni ilma (Hagenvallia 1987, Matthewsia 1992 mukailten). *Table 1. Optimum droplet size for selected targets and corresponding lifetime and fall distance of water droplets at different temperatures and humidity. Calm weather is assumed.*

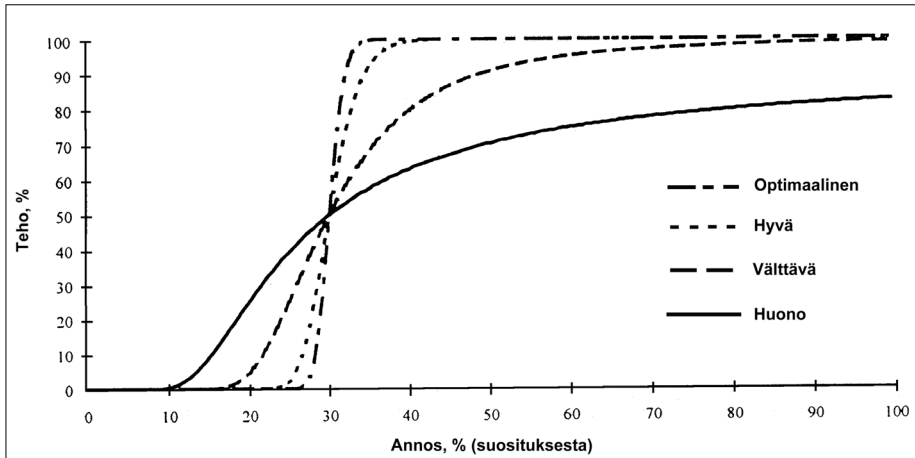
| Ruiskutus- kohde <i>Targets</i> | Pisara optimaalinen halkaisija <i>Optimum droplet diameter</i> | Ilman lämpötila 20 °C Ilman suhteellinen kosteus 30 % <i>Air temperature 20 °C Relative humidity 30%</i> | | Ilman lämpötila 30 °C Ilman suhteellinen kosteus 50 % <i>Air temperature 30 °C Relative humidity 50%</i> | |
|--|---|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| | µm | Elinäika s <i>Lifetime s</i> | Matka m <i>Fall distance m</i> | Elinäika s <i>Lifetime s</i> | Matka m <i>Fall distance m</i> |
| Lentävät hyönteiset <i>Flying insects</i> | 10 – 50 | - | - | - | - |
| Hyönteiset lehdillä <i>Insects on leaves</i> | 30 – 50 | 12,5 | 0,1 | 3,5 | 0,03 |
| Kasvusto <i>Crop stand</i> | 40 – 100 | 50 | 6,7 | 14 | 1,8 |
| Maaperä <i>Soil</i> | > 200 | 200 | 81,7 | 56 | 21 |

Peittoasteen vuoksi kasvinsuojeluruiskutus kannattaisi tehdä mahdollisimman pienillä pisaroilla (ks. ed. kuva 1), jolloin tarvittavaa nestemäärää voitaisiin alentaa. Alhaisempi nestemäärä vähentäisi ruiskun täyttökertoja ja ruiskutukseen käytettävä aika lisääntyisi. Pisaroiden tuulikulkeuma saattaa kuitenkin muodostua rajoittavaksi tekijäksi. Tuulisissa olosuhteissa pienimmät pisarat kulkeutuvat helposti kauas halutusta kohteesta, jolloin ruiskutus saattaa epäonnistua. Myös ilman lämpötilalla ja suhteellisella kosteudella on suuri vaikutus pisaroiden elinikään (ks. ed. taulukko 1).

Torjunta-ajankohdalla on suuri merkitys ruiskutustulokseen. Rikkakasvien ja tautien torjunta kannattaa tehdä varhain aamulla, koska päivällä tehtävä ruiskutus saattaa epäonnistua liian korkean lämpötilan ja tuulennopeuden takia. Poikkeuksena on tuhohyönteisten torjunta, joka kannattaa tehdä silloin, kun hyönteiset ovat tehokkaasti torjuttavissa.

2.3 Torjunta-aineen annostus

Alnessin ja Hagenvallin (1994) mukaan torjunta-aineen annostusta voidaan pienentää, kun ruiskutusolosuhteet ovat optimaaliset (kuva 3). Kun olosuhteet huononevat, annosmäärän pienentäminen heikentää torjuntatulosta. Huonoissa olosuhteissa ruiskutus epäonnistuu, vaikka torjunta-aineen annos olisi valmistajan suosittelema.



Kuva 3. Torjunta-aineen annoksen ja ympäristöolosuhteiden vaikutus torjuntatulokseen (Alness ja Hagenvall 1994).

Figure 3. The effect of dose and weather conditions on spraying result.

Monesti kasvitautitorjunta kannattaa jakaa kahteen ruiskutuskertaan. Jos kasvustossa havaitaan kasvitautoja rikkakasvien torjunta-ajankohtana, suosittelevat monet torjunta-aineiden valmistajat kasvitautien torjuntaa saman aikaisesti. Torjunta-aineen kokonaisannos pitää tällaisissa tapauksissa jakaa puoliksi. Loput torjunta-aineesta ruiskutetaan jälkimmäisessä käsittelyssä, jos tarve sitä vaatii.

3 Tutkimuksessa käytetyt ruiskutustekniikat

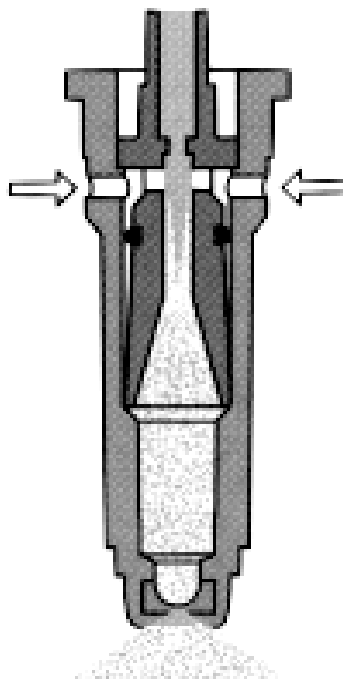
Markkinoilla oleville suuttimille on yhteistä, että niiden avulla ruiskutusneste pyritään saamaan tavoiteltuun kohteeseen tietyn kokoisina pisaroina koko ruiskun työlevydeillä. Ilma-avusteiset ruiskutustekniikat tehostavat pisaroiden kulkeutumista tavoiteltuihin kohteisiin ja vähentävät myös pisaroiden tuulikulkeumaa, jolloin ruiskutus voidaan tehdä tuulisemmissä olosuhteissa. Seuraavissa kappaleissa käsitellään tässä tutkimuksessa käytettyjä ruiskutustekniikoita.

3.1 Viuhka-, lisäilma- ja pyörrekammiosuutin

Yleisin kasvinsuojeluruiskutuksissa käytetty suutin on viuhkasuutin, joka soveltuu erityisesti matalille kasvustoille. Viuhkasuutinta käytetään laajasti perinteisten ruiskujen lisäksi myös ilma-avusteisissa ruiskutuspuomeissa, koska suuttimien levitystasaisuus on hyvä. Suuttimet ovat 5°:n kulmassa puomiin nähden, jotta vältetään nestekuvioiden osumiselta toisiinsa. Näin saadaan hyvä levitystasaisuus koko työleveydellä.

Lisäilmasuuttimen, jota myös Injet-suuttimeksi kutsutaan, muodostama nestesuihku on saman muotoinen kuin viuhkasuuttimen. Testauksissa suuttimien levitystasaisuudet ovat samaa tasoa, kuin viuhkasuuttimilla (ks. 6.3.1). Lisäilmasuuttimen toiminta perustuu siihen, että se imee ympäristöstä ilmaa suutinrunkoon ja sekoittaa sen nesteeseen muodostaen pisaroita, jotka sisältävät ilmakuplia (kuva 4).

Lisäilmasuuttimen käyttöpaine (0,3 – 0,8 MPa) on suurempi kuin viuhkasuuttimen (0,2 – 0,5 MPa). Tästä huolimatta nestesuihku on pisarakooltaan suurempi kuin vastaavan kokoisen viuhkasuuttimen. Suurempi pisarakoko, ruiskutuspain ja nesteen sisältämät ilmakuplat antavat pisaroille suuremman liike-energian, joten ruiskutus todennäköisesti voidaan tehdä tuulisemmissä olosuhteissa. Pisan liike-energian kasvu auttaa myös pisaraa tunkeutumaan tiheään kasvustoon paremmin. Suuremmat ilmaa sisältävät pisarat hajoavat pienemmiksi osues- saan kohteeseen. Tämän oletetaan osaltaan parantavan nesteen peittoastetta kohteen pinnalla verrattuna vastaavan kokoi- siin ilmatto- miin pisaroihin.

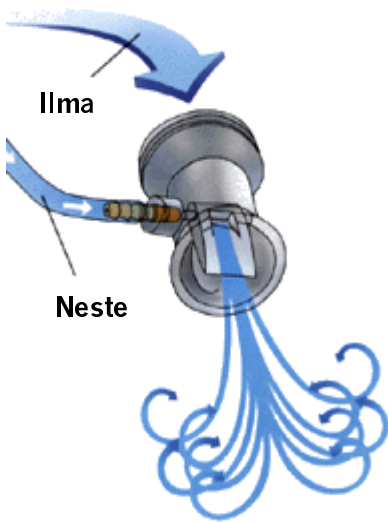


Kuva 4. Injet-suuttimen toimintaperiaate.
Figure 4. Operating principle of an Injet nozzle

Pyörrekammiosuuttimen toimintaperiaate on samanlainen kuin viuhkasuuttimen, mutta suihkukuvio on pyöreä. Testit ovat osoittaneet, että pyörrekammiosuuttimen levitystasaisuus on huomattavasti huonompi kuin viuhka- tai lisäilmasuuttimella. Koska pyörrekammiosuutin ei täytä Suomen maatalouden ympäristötuen vaatimaa levitystasaisuusvaatimusta, sen käyttö kasvinsuojeluruiskun

puomissa ei ole sallittua. Huonosta levitystasaisuudesta huolimatta pyörrekammiosuuttimella on myös hyvät puolensa. Viuhkasuutinta leveämmin aukeavan ruiskutuskuviosta ruiskutusneste saadaan levitetyksi tehokkaammin tiheään kasvuston sekaan.

3.2 Danfoil -puhallinruisku



Kuva 5. Danfoil-suuttimen toimintaperiaate. (Danfoil 1999)

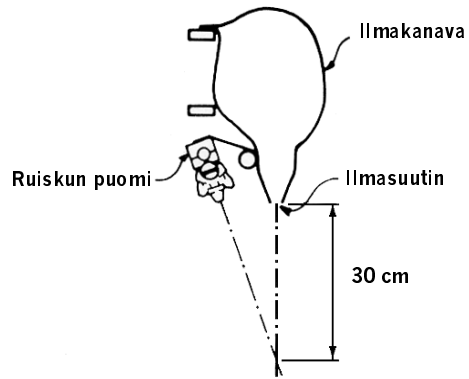
Figure 5. Operating principle of a Danfoil nozzle.

Danfoil-puhallinruiskussa ilmavirtaa käytetään hyväksi yksittäisissä suuttimissa, joita kutsutaan paineilmasuuttimiksi. Paineilmasuuttimissa ruiskutusneste hajoaa pisaroiksi ilmavirran ansiosta. Ilmavirta tuotetaan puhaltimella, josta se johdetaan suuttimelle ilmakanavaa pitkin. Matalapaineinen ruiskutusneste johdetaan suuttimen sisällä olevan siiven yläosaan, josta se kulkeutuu siipeä pitkin alaspäin. Ilma puhalletaan suuttimen lävitse, jolloin neste sekoittuu ilmavirtaan (kuva 5). Nesteen sumuuntuu siiven terävässä reunassa. Ilmapuhallus lisää nestesuihkun pisaroiden liike-energiaa, minkä on osoitettu vähentävän tuulikulkeumaa. Danfoil-tekniikalla ruiskutetaan erittäin pieniä ruiskutusnestemääriä. Tyypillinen nestemäärä hehtaarille on noin 30 - 70 litraa. (Danfoil 1999)

3.3 Hardi Twin – ilma-avusteinen ruisku

Hardi Twin -tekniikalla pisarat muodostetaan samalla tapaa viuhkasuuttimilla kuin tavanomaisessa ruiskussa. Twin-tekniikka eroaa tavanomaisesta kasvinsuojeluruiskusta siten, että pisaroiden tunkeutumista kasvuun tehostetaan ilmavirralla. Puhaltimen tuottama ilma ohjataan kanavaa pitkin erillisille ilmasuuttimille, jotka sijaitsevat nestesuuttimien takapuolella. Suuttimien välinen kulma on kiinteä 20 astetta, ja ilma ja vesi kohtaavat noin 30 sentin päässä suuttimista (kuva 6). Ilmapuhallus lisää pisaroiden liike-energiaa, joten tuulikulkeuma vähenee ja ruiskutusaineen tunkeutuminen kasvuun tehostuu. Suuttimien ruiskutuskulma maahan nähden on säädettävissä portaattomasti 30 astetta pystysuoran molemmin puolin. Säädöllä pystytään vähentämään tuulikulkeumaa ja tehostamaan ruiskutusnesteen tunkeutumista kohteeseen.

Ilman puhalluksella saadaan myös tiheä kasvusto aukeamaan ja liikehtimään, jolloin osa nesteestä saadaan lehdyköiden alapinnalle ja kasvuston alaosiin. Paremman tunkeutumiskyvyn ansiosta tekniikalla pystytään pienentämään pisarakokoa ja nestemäärää, joten työn tehokkuus kasvaa. Pisarakoko saadaan tarvittavan pieneksi valitsemalla pienemmät suuttimet. (Hardi 1999)



Kuva 6. Hardi Twin -tekniikka (Hagenvall ja Arvidsson 1995)
Figure 6. Operating principle of Hardi Twin

Kuvassa 7 on Hardi 363 LA 1200 EC/4 16 HAB kasvinsuojeluruisku tutkimuksen vuoden 2000 kenttäkokeessa Lammilla.



Kuva 7. Hardi 363 LA 1200 EC/4 16 HAB kasvinsuojeluruisku.
Figure 7. Hardi 363 LA 1200 EC/4 16 HAB sprayer.

3.4 Ruiskutustekniikan valinta kohteen mukaisesti

Valinta viuhkasuuttimen ja lisäilmasuuttimen välillä on ristiriitainen. Viuhkasuuttimella tuotetut pisarat ovat kooltaan pienempiä kuin lisäilmasuuttimella tuotetut. Näin ollen viuhkasuuttimilla saataisiin suurempi peittoaste. Toisaalta tuulikulkeuma on vähäisempää lisäilmasuuttimilla, joten ruiskutusneste saadaan kasvustoon tehokkaammin kuin viuhkasuuttimella. Jos ruiskutusolosuhteet ovat optimaaliset, lienee viuhkasuutinten käyttö perusteltua paremman peittoasteen vuoksi. Lisäilmasuutinta kannattanee käyttää silloin, kun olosuhteet ovat tuuliset ja vaara pisaroiden tuulikulkeumalle on suuri. Jos ruiskutuksen kohteena ovat esimerkiksi tuhohyönteiset, kannattanee suuttimiksi valita tavanomaiset viuhkasuuttimet lisäilmasuuttimien sijasta. Lisäilmasuuttimien suuret pisarat eivät todennäköisesti osu tavoiteltuun kohteeseen niin tehokkaasti kuin viuhkasuuttimien pienemmät pisarat (ks.ed. kuva 2).

Monasti tuulen nopeus on rajoittava tekijä kasvinsuojelussa ja kasvinsuojeluun käytettävä työaika vuorokaudessa saattaa jäädä vähäiseksi. Viuhkasuuttimilla ruiskutettaessa tuulen nopeuden olisi oltava alle 3 m/s, lisäilmasuuttimilla vastaavasti alle 4 m/s. Ilma-avusteisella ruiskutustekniikalla voidaan työaikaa lisätä huomattavasti, koska ruiskutus on mahdollista jopa tuulennopeudella 8 m/s.

4 Vesiherkän paperin digitaalikuvausmenetelmä

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä mittausmenetelmää käyttäen ruttoruiskutukseen käytetyt ruiskutustekniikat voitaisiin testata tehokkaasti ja tarpeellisella tarkkuudella. Päättökäytöksessä (”Ruiskutustekniikan parantaminen perunaruton torjunnassa”, ks. johdanto) tarvittiin tehokas menetelmä, jonka avulla kenttäkokeissa käytetyistä vesiherkistä papereista voitaisiin analysoida ruiskutusnesteen peittoaste.

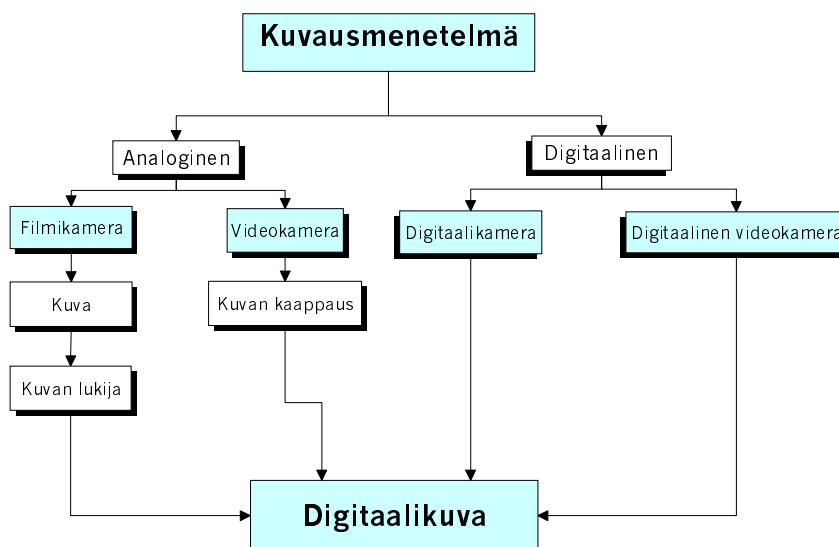
Koska tulos haluttiin laskea tehokkaasti, päädyttiin digitaalikuvaukseen. Tavoitteeksi asetettiin selvittää vesiherkän paperin digitaalikuvausta ja analysointia sekä kehittää analysointivaihe sellaiseksi, että vesiherkästä paperista analysoitava peittoaste kuvaisi mahdollisimman oikein perunalehdykällä olevaa ruiskutusnesteen todellista peittoastetta.

Kuvaus- ja analysointimenetelmän kehittämiseksi perehdyttiin digitaalikuvaukseen ja tehtiin empiirinen vertailukoe, jossa vesiherkät paperit ja perunan lehdykät ruiskutettiin fluoresoivalla ruiskutusnesteellä. Kokeen papereista ja perunan lehdykoista analysoitiin digitaalikuvauksen ja analyysiohjelmiston avulla ruiskutusnesteen peittoasteet. Peittoasteista saadun aineiston perusteella tehtiin lopullinen valinta analyysiohjelman parametreiksi sekä malli pape-

rin ja lehdykän peittoasteiden välille. Lisäksi tutkittiin fluoresoivan aineen haihtumista ja imeytymistä perunanlehdykältä. Osiossa selvitettiin myös ruiskutusnesteen imeytymistä vesierkkään paperiin. Kirjallisuuden ja empiirisen kokeen lisäksi analyysiohjelma testattiin kuvankäsittelyohjelmiston avulla tehdyillä kuvilla. Kuvista analysoitiin tunnettu peittoaste, jota voitiin verrata analyysiohjelman ilmoittamaan peittoasteeseen.

4.1 Soveltuvat kuvausmenetelmät

Digitaalikuva voidaan tuottaa joko analogisesta tai digitaalisesta originaalista. Digitaalikameralla tai digitaalisella videokameralla saadaan helposti formaaltiltaan haluttu digitaalikuva. Jos kamerassa ei ole haluttua tiedostomuotoa, on se helppo muuttaa kuvankäsittelyohjelmalla. Analoginen kuvaustekniikka käsittää tavanomaisen filmikameran tai videokameran. Filmikameralla otettu kuva on muutettava haluttuun digitaaliseen muotoon esim. kuvanlukijan eli skannerin avulla. Se on työläämpi ja huomattavasti kalliimpi vaihtoehto. Skannaus tuo myös lisätyövaiheita, jotka lisäävät virhemahdollisuuksia. Analogisella videokameralla otetusta kuvasta on mahdollista kaapata otos erillisen kuvankaappausohjelman avulla tietokoneelle, jolloin kuvattava kohde saadaan haluttuun digitaaliseen muotoon.



Kuva 8. Digitaalisen kuvan tuottaminen eri kuvausmenetelmillä.
Figure 8. Different photographic methods to produce a digital image.

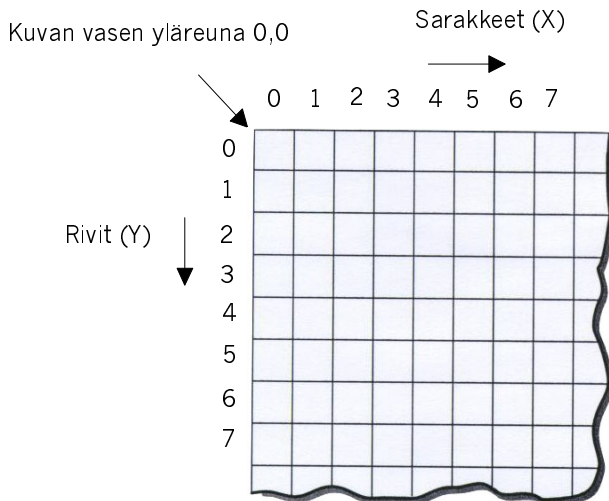
Koska analogisen kuvan saaminen digitaaliseen muotoon on työlästä ja mm. kuvan skannaus sisältää epävarmuustekijöitä, oli paperista järkevää ottaa digitaalikuva suoraan digitaalisin menetelmin. Digitaaliseksi kuvausmenetelmäksi valittiin digitaalikamera, joka on yksinkertainen ja tehokas.

4.2 Digitaalikuva

Digitaalinen valokuvaustekniikka valtaa nopeasti alaa perinteisiltä valokuvausprosesseilta ja tulee johtavaksi useimmilla sovellusalueilla (Miinalainen 2000). Kuva ei ole enää kertaluontoinen otos vaan lähtökohta, josta muokataan uusia kuvia (Sawyer ja Pronk 1997). Vesiherkän paperin kuvaus ja analysointi on ollut mahdollista jo vuosia, mutta nykyisellä digitaalitekniikalla analysoinnista on tullut tarkempaa ja halvempaa.

Tietokoneella käsiteltävä ja esitettävä grafiikka jakautuu kolmeen pääryhmään, joita ovat bittikarttagrafiikka, vektorigrafiikka ja hybridigrafiikka. Bittikarttagrafiikka, eli rasterikuvat, liittyvät digitaalisten valokuvien käsittelyyn tietokoneella. Vektorigrafiikka kuuluu CAD-ohjelmistojen (Computer Assisted Desing) sekä piirto-ohjelmien kuvien esitystekniikkaan. Tietokoneavusteisessa suunnittelussa ja eräissä grafiikkaohjelmissa käytetään hybridigrafiikkaa, jossa on yhdistetty vektori- ja bittikarttagrafiikka. (Pihlanko 1998) Seuraavassa keskitytään ainoastaan bittikarttagrafiikan ominaisuuksiin, jotka liittyvät oleellisesti digitaalikuviin käsittelyyn ja analysointiin.

Tavanomainen kuva koostuu värisävyjen ja värien vaihteluista. Sävyt vaihtelevat kirkkaasta tummaan ja värit punaisesta keltaisen kautta siniseen. Digitaalikuva koostuu pikseleistä, joiden väri ja värisävy vaihtelevat. Pikseli eli kuvapiste on bittikarttakuvan pienin osa. Pikselit sijaitsevat toisiinsa nähden esim. samalla tavalla kuin ruutupaperin ruudut. Kuvassa 9 on esitetty digitaalikuvaan rakenne, jossa kuvan vasemman yläreunan koordinaatti on $(0, 0)$. Kuva on jaettu korkeussuunnassa riveihin ja leveysuunnassa sarakkeisiin. Jokaisen pikselin tiedot tallennetaan kuvatiedostoon, jossa on tiedot siitä, mikä värinen ja sävyinen pikseli on. (Baxes 1994)



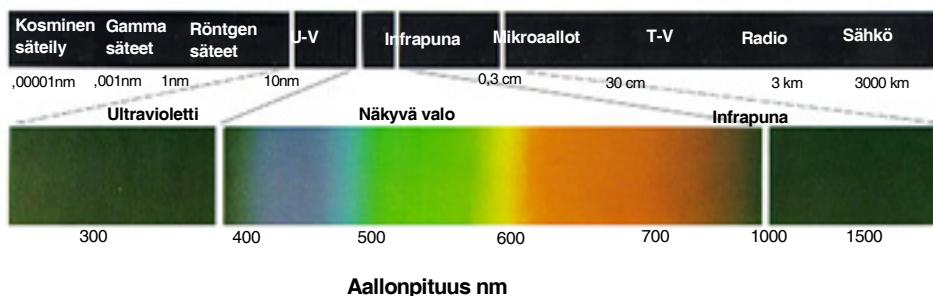
Kuva 9. Digitaalikuvaan pikselien numerointi (Baxes 1994).
Figure 9. Pixel numbering of a digital image.

Digitaalisen bittikarttakuvan koko ilmaistaan pikselien lukumääränä kuvan leveys- ja korkeussuunnassa. Esimerkiksi 640 * 480 pikselin kokoinen kuva sisältää yhteensä 307 200 kuvapistettä. Digitaalikuvan resoluutio (erottelukyky) ilmaistaan yleensä suurella pikseliä tuumalle (ppi = pixels per inch). Jos kuvan resoluutio on 200 ppi, niin yhden neliötuuman (25,4 * 25,4 mm) kuvan koko tällöin on pikselinä 200 * 200 ja tällä alueella silloin on 40 000 pikseliä. Kuvan resoluutio vaikuttaa kuvan laatuun ratkaisevasti. Mitä suurempi resoluutio on, sitä tarkempi kuvasta on mahdollista tehdä.

4.2.1 Digitaalikamerat

Joissakin vanhemmissa digitaalikameroissa linssijärjestelmässä on kiinteä polttoväli. Nykyiset mallit on varustettu zoom-objektiveilla niin, että tele- ja laajakulmakuvaus sujuvat vaivattomasti. Digitaalikameran toiminta perustuu himmenninaukon takana olevaan CCD-siruun (Charge-Coupled-Device), joka on periaatteeltaan samanlainen kuin ihmisen silmä. CCD-kennon pienet anturit erottavat valon sisältämien värien eri aallonpituudet kuten ihmisen silmän näkösolut.

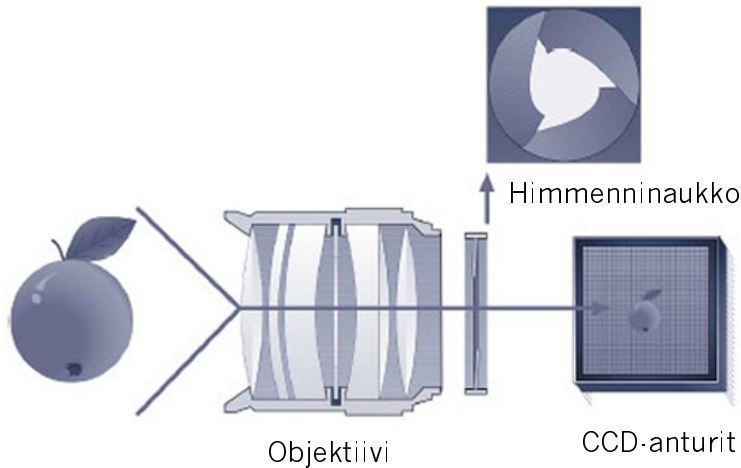
Näkyvän valon aallot ovat ainoita sähkömagneettisia aaltoja, joita ihmisen silmä näkee. Punaisella on pisin ja violetilla lyhyin aallonpituus. Väri, jonka ihminen havaitsee luonnossa, heijastuu jonkin esineen pinnalta. Esimerkiksi vihreä esine heijastaa näkyvän valon aallonpituudet 500 – 570 nm takaisin ja absorboi muut aallonpituudet. (kuva 10)



Kuva 10. Sähkömagneettinen spektri. Piirretty Gonzalesin ja Woodsin (1992) mukaan.

Figure 10. The electromagnetic spectrum.

Digitaalikameran CCD-siru on noin yhden neliösenttimetrin kokoinen. Uu- sissa digitaalikameroissa tällä alueella on yli kaksi miljoonaa valoherkkää anturia. Rivejä sirussa on tällä hetkellä vähintään 1300 ja sarakkeita ainakin 1700. Koska tekniikka kehittyy huimaa vauhtia, voidaan olettaa, että saman kokoiselle CCD-sirulle saadaan yhä enemmän antureita tulevaisuudessa. (kuva 11)



Kuva 11. Digitaalikameran toimintaperiaate (Olympus 2000).
Figure 11. Operating principle of a digital camera.

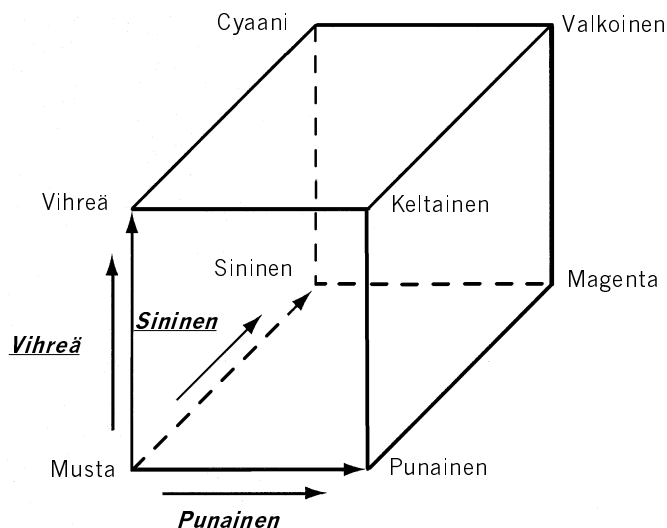
Digitaalikuvan datatiedosto muodostuu CCD-sirun valoherkkien diodien mittaustuloksista. Kun valo osuu diodiin, muuttuu diodin varaus. Koska digitaalikameralla pystytään ottamaan värikuvia, joutuu se rekisteröimään kolme RGB-osakuvaa. CCD-sirun jokaisen anturin päälle on kerrostettu pienet värisuodimet. R-suodin päästää läpi punertavaa valoa, G-suodin vihreää ja B-suodin sinistä valoa. Esimerkiksi B-suodimen avulla mitataan, kuinka paljon valo sisältää sinisen valon aallonpituuksia. Suodinten muodostama tieto kootaan yhteen ja analogia-digitaalimuunnoksen jälkeen data tallennetaan kuvatiedostoon. (Karjalainen 2000)

4.2.2 Värimallit

Digitaalikamerat käyttävät 24-bittisiä värejä, mikä vastaa näytössä noin 16,7 miljoonaa väriä. Digitaalikameran CCD-kennon mittaustulokset, eli kuvatie-dosto, siirretään kameran muistista tietokoneeseen. Kun tiedostossa oleva kuva ladataan tietokoneen näytölle, voidaan kuvan värit luoda kolmella pääväriillä punaisella (red), vihreällä (green) ja sinisellä (blue). Tätä kutsutaan summaavaksi eli additiiviseksi RGB värijärjestelmäksi. Halutut värit saadaan muodostetuksi sekoittamalla näitä kolmea pääväriä erilaisissa suhteissa ja kirkkausasteissa.

RGB-värimallissa (kuva 12) ilmoitetaan, kuinka paljon kukin väri sisältää punaista, vihreää ja sinistä. Nämä päävärit voidaan jakaa esimerkiksi 256 eri sävyyn (jos 8 bittia/sävy). Tällöin päävärit arvolla 255 muodostavat yhdessä valkoisen värin ja jos jokainen pääväri saa arvon 0, saadaan muodostetuksi

musta väri. Eri sävyinen punainen saadaan vaihtamalla punaisen kirkkausasetusta tummasta vaaleaan. Jos punainen ja vihreä palavat kirkkaasti, saadaan keltainen väri. (Baxes 1994, Sawyer ja Pronk 1997, Pihlanko 1998)



Kuva 12. RGB-väriavaruutta kuvaava kuutio (Piirretty Baxes:n 1994 mukaan).
Figure 12. The RGB colour space cube.

CMYK-värimallia käytetään painetuissa väreissä, eli kuvan tulostuksessa ja kirjapainoissa. Mallin lyhenne tulee sanoista Cyan (syaani), Magenta, Yellow (keltainen) ja Black (musta). CMYK-kuva muodostetaan originaalista jakamalla värit tasoihin (värierottelu). Tulostuksessa ja kirjapainossa kukin taso tulostetaan tai painetaan paperille omalla värillään. Kun puhutaan värierottelusta tai neliväripainatuksesta, niin kirjapainoon lähetetään kuva neljänä osana, joita yhdistelemällä syntyy valmis värikuva (Baxes 1994, Sawyer ja Pronk 1998)

CMYK-värimalli perustuu siihen, että eriväriset musteet absorboivat kukin tietynväristä valoa. Absorboidut aallonpituudet eivät heijastu paperin pinnasta. esimerkiksi punainen pinta heijastaa vain punaisen valon aallonpituudet takaisin. Tästä tulee nimitys subtraktiiviset eli vähenevät värit. (Baxes 1994, Sawyer ja Pronk 1997)

Digitaalikuvan värimalli on mahdollista muuttaa kuvankäsittelyohjelmassa halutuksi. Tällöin esim. RGB-kuva voidaan tallentaa CMYK-muotoon painatusta tai tulostusta varten.

4.2.3 Kuvatiedostojen pakkaaminen

Useimmat kamerat varastoivat kuvat vähäisestä muistikapasiteetista johtuen pakatussa muodossa kameran sisäiselle muistille, esim. flash-muistikortille. Pakkausalgoritmien avulla tiedot saadaan tallennetuksi tehokkaammin muistiin ilman merkittäviä näkyviä muutoksia kuvassa. Tästä on suuri etu, koska silloin tietokoneen kovalevylle tai digitaalikameran muistikortille voidaan tallentaa enemmän kuvatiedostoja. Pakkaamattoman digitaalikuvan vaatima muistitila voidaan laskea kertomalla kuvan rivien lukumäärä sarakkeiden lukumäärällä. Esimerkiksi kuvalle, jonka koko on 1280 * 1024 saadaan arvoksi 1 310 720 pikseliä. On kuitenkin muistettava, että jokainen pikseli tallentaa valoisuustietojen lisäksi myös kaikki kolme RGB-väriä (punainen, vihreä ja sininen), joten pikselien määrä on kerrottava kolmella. Näin saadaan tarvittava tallennuskapasiteetti 3 932 160 tavua, joka on noin 4 megatavua (Mb).

Digitaalikamerassa olevat kuvat on purettava tietokoneen kovalevylle jatkokäsittelyä varten. Kameran ohjelma pakkaa kuvatiedostot siten, ettei niistä ole hävinnyt informaatiota. Tätä pakkausmuotoa kutsutaan häviöttömäksi pakkaamiseksi. Kun kuvat tallennetaan tietokoneen kovalevylle, voidaan valita monia eri tiedostomuotoja. Eri tiedostomuodot eroavat toisistaan siinä, miten kuvan binäärikoodi tallennetaan kovalevylle. Häviöttömässä pakkauksessa kuvan pakkaava ohjelma tutkii ensin, mitkä kuvan alueet ovat samantyyppiset ja mitkä erilaiset. Pelkistettynä esimerkkinä voidaan käsitellä kuvaa, jossa on samanväristä aluetta kuten pilvetön sininen taivas. Kuvasta tallennetaan ainoastaan taivaan värin alkamis- ja päättymispisteiden sijainnit. Näin säästetään tilaa, kun samaa tietoa ei tarvitse moneen kertaan tallentaa. Kun kuvatiedosto avataan tietokoneen näytölle, ohjelma etsii taivaan alon ja päättymispisteen ja täyttää tämän välin automaattisesti oikealla värillä (Russ 1995 ja Sawyer ja Pronk 1997).

4.3 Kuvausmenetelmän valintaan vaikuttaneet tekijät

Vesiherkistä papereista haluttiin mitata ruiskutusnesteen peittoaste prosentteina. Peruslähtökohdat kuvausjärjestelmän suunnittelussa olivat peittoasteeseen otettava pienin pisarakoko, digitaalikuvan erottelukyky eli resoluutio ja analyysiohjelman havaitsema pienin partikkelikoko. Lisäksi kuvausjärjestelmän valintaan vaikuttivat käytettävissä olleiden kuvauslaitteiden ja analyysiohjelmien ominaisuudet. Näitä aiheita käsitellään kirjallisuuden ja tutkimuksen esikokeiden pohjalta seuraavissa luvuissa.

4.3.1 Pisaran käyttäytyminen vesiherkän paperin ja perunan lehdykän pinnalla

Vesiherkän paperin avulla voidaan tutkia ruiskutuksen levitystasaisuutta, ruiskutusaineen peittoastetta sekä pisarakokoa aina reppuruiskutuksesta lentokoneella tehtäviin ruiskutuksiin (Novartis 1999). Vesiherkkä paperi on alun perin väriltään keltainen. Vesipisaran osuessa siihen paperi värjäytyy veden koskettamalta alueelta siniseksi. Analyysissä paperin sinisen alueen suhteellinen osuus kuvaa peittoastetta. Myös ruiskutusnesteen tunkeutuvuutta kasvuun on paperien avulla tutkittu yleisesti (Lavonen ym. 1993, Salyani ja Fox 1999). Tunkeutuvuus saadaan selville vertaamalla kasvuston eri kohdissa olevien paperien peittoasteita.

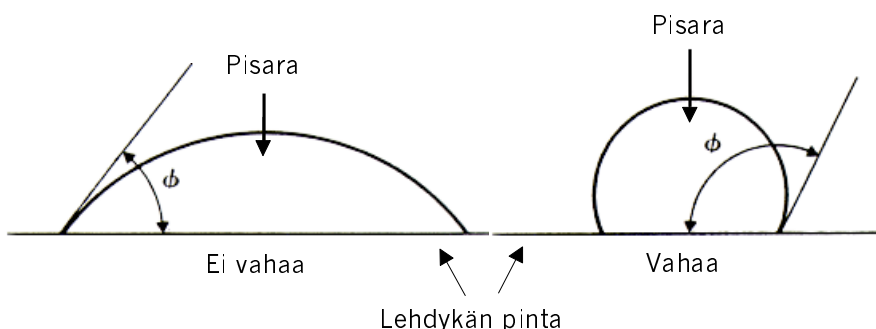
Tässä tutkimuksessa käytettiin Novartis-merkkistä vesiherkkää paperia. Vesiherkät paperit asetettiin perunakasvuston lehdyköihin, joissa ne kuvaavat perunan lehdykän ylä- ja alapintaa (kuva 13).



Kuva 13. Vesiherkät paperit perunakasvustossa. Kuva tutkimuksen kenttäkoikeista 1999.

Figure 13. Water-sensitive papers at potato canopy.

Koska perunan lehdykän ja paperin pinta ovat erilaisia, leviää ruiskutusneste niiden pinnalla eri tavalla. Neste imeytyy paperiin nopeasti, kun taas lehdykän pinnalla oleva vahakerros estää nesteen imeytymistä sen sisälle. Pinnan ominaisuudet voidaan karkeasti jakaa kahteen luokkaan riippuen siitä, mikä on pinnan ja pisaran muodostama tangenttikulma. Jos kasvin lehdykän pinnan päällä ei ole erityistä vahakerrosta, tangenttikulma on alle 90 astetta. Jos kasvin pinnalla on vahakerros, vaikuttaa se tilanteeseen huomattavasti ja tangenttikulma muodostuu 90 ja 110 asteen välille. Yli 110 asteen tangenttikulmakin on mahdollinen, mutta se riippuu lehdykän pinnan muodosta. Kuvassa 14 on esitetty kaksi tilavuudeltaan samankokoista pisaraa erilaisten lehdyköiden pinnoilla. Vasen pisara on lehdykällä, jossa ei ole vahakerrosta. Vastaavasti oikea pisara on lehdykällä, jolla on vahva vahakerros. Yleisesti voidaan sanoa, että pinnan muodolla ei ole suurta merkitystä, jos ruiskutusnestein pisarakoko on alle 150 μm . Kasvinsuojeluaineisiin on lisätty pintajännitystä alentavia lisäaineita, jotka vähentävät vahakerroksen vaikutusta. Tavoitteena on saada mahdollisimman pieni tangenttikulma lehdykän ja pisaran välille. Näin samankokoisilla pisaroilla saadaan käsitellyksi suurempia alueita. (Matthews 1992)



Kuva 14. Pisaran kontaktikulma vahattomalla ja vahatulla pinnalla (Matthews 1992).

Figure 14. The contact angle of a droplet on a non-waxed and waxed surface.

Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän pinnat eroavat huomattavasti toisistaan. Paperi imee nopeasti pinnalleen tulevan pisaran, kun taas lehdykän pinnalla oleva vahakerros ja epätasaisuudet estävät nesteen leviämistä ja imeytymistä. Voidaankin olettaa, että ruiskutettaessa samalla nestemäärällä, paperilta mitattu peittoaste on suurempi kuin lehdykältä mitattu. Mielenkiintoista tutkimuksen aikana olikin, voidaanko vesiherkän paperin ja lehdykän peittoasteiden välille tehdä luotettava matemaattinen malli.

4.3.2 Peittoasteeseen otettava pienin pisarakoko

Koska tutkimuksessa käytettiin vesiherkkää paperia, oli ilman suhteellisen kosteuden ja kasvuston kosteuden oltava kokeiden aikana alle 70 %, jotta vesiherkkä paperi ei olisi värjäytynyt siniseksi. Perunan ruttoruiskutuskokeissa ruiskutuskohteeksi oli perunan lehdykkä ja varret, joten optimaalinen pisarakoko on 40 – 100 µm. Koska koe tehtiin päivällä ilman lämpötilan ollessa noin 20 °C voidaan olettaa, että pienimmät 40 µm:n pisarat haihtuivat ennen haluttua kohdetta (ks. ed. taulukko 1).

Optimaalisen pisarakoon ja pisaran elinajan mukaan peittoastealueeseen otettiin mukaan vain pisarat, jotka ovat halkaisijaltaan yli 50 µm. Tämä 50 µm:n minimi pisarakokokin oli varsin kunnianhimoinen tavoite, koska esimerkiksi Salyanin ja Fox:n (1999) tekemässä tutkimuksessa pienin pisarakoko, jonka he ottivat analyysialueeseen mukaan, oli 80 µm. Lisäksi ruiskutusnestepisaran osuessa kohteeseen se leviää (ks. ed. 4.3.1) ja alunperin halkaisijaltaan 50 µm:n kokoinen pisara kostuttaa vesiherkkään paperiin suuremman alueen.

4.3.3 Kuva-analyysiohjelman havaitsema pienin partikkelikoko

Edellisen kappaleen mukaan analyysin tulkinta-alueeseen otettava pienin pisarakoko oli halkaisijaltaan 50 µm. Tämä oli ensimmäinen vaatimus vesiherkästä paperista otettavalle digitaalikuvasuorituksen resoluutiolle. Toisen vaatimuksen asetti käytetyn analyysiohjelman havaitsema pienin partikkelikoko, joka oli 5 pikseliä. Partikkelin pikselit voivat olla liitettyinä toisiinsa esim. seuraavan kuvan 15 osoittamilla tavoilla (Data Translation 1996).

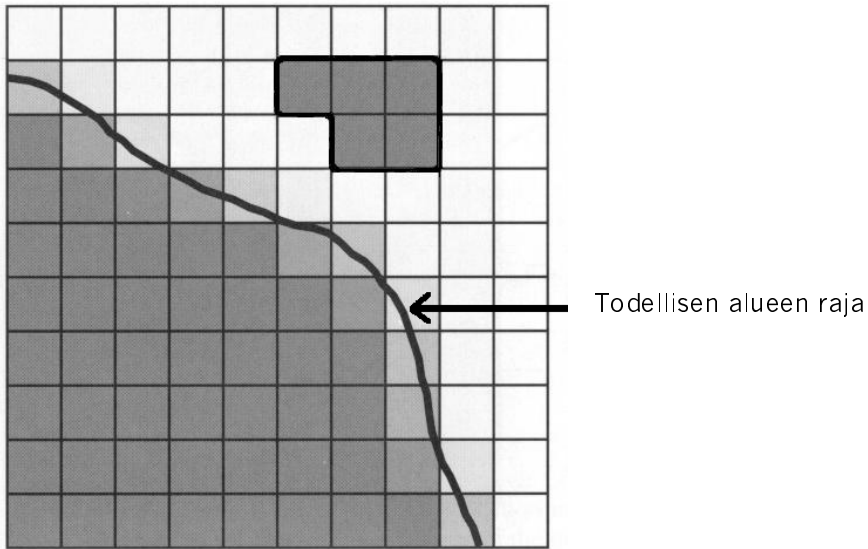


Kuva 15. Pienimpiä analyysiohjelman havaitsemia partikkeleja (Data Translation 1996).

Figure 15. Some smallest particle shapes the image analysis software could detect.

Pienin analyysiohjelman havaitsema partikkeli on viiden pikselin kokoinen, joten seuraavan esimerkkikuvan (kuva 16) pienempikin partikkeli havaitaan. Kukin esimerkkikuvan ruutu on 20 * 20 µm:n kokoinen, joten pienemmän partikkelin korkeus on 40 µm ja leveys 60 µm. Isosta partikkelista voidaan havaita, kuinka sävykuvassa pikselien harmausaste muuttuu kuvion reunalla (Russ 1995).

Edellä esitetyn perusteella $50\ \mu\text{m}$:n partikkeli saadaan peittoasteeseen mukaan, kun vesiherkästä paperista otettavan kuvan pikselikoko on $20\ \mu\text{m}$. Tarvittava kuvan resoluutio on siten vähintään $1270\ \text{ppi}$ ($=25400\ \mu\text{m} / 20\ \mu\text{m}$).



Kuva 16. Esimerkki digitaalisen harmaasävykuvan resoluutiosta. Suuremman partikkelin reunalle piirretty viiva kuvaa todellisen alueen terävää rajaa. Pienikin partikkeli havaitaan analyysiohjelmalla. Piirretty Russin (1995) mukaan. *Figure 16. An example of the resolution of a digital greyscale image. The border of the larger particle is described by tones of grey. Even the smaller particle can be detected by the software.*

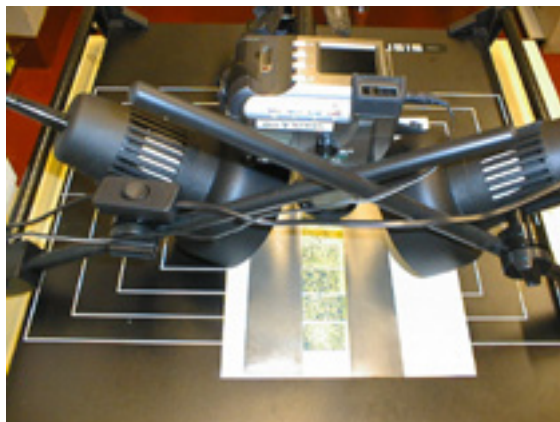
4.4 Tutkimuksessa käytetty kuvausmenetelmä

Kuvausjärjestelmässä haluttiin käyttää, mikäli mahdollista, MTT/Vakolaan aiemmin hankittua Olympus C-1400 L digitaalikameraa. Tämän kameras kuvakoko tarkimmalla asetuksella oli $1280 * 1024$ pikseliä eli noin 1,3 miljoonaa pikseliä kuvaa kohden. Paperista otettavan kuvan oli täytettävä tavoite, jossa kuvan pikselikoko oli enintään $20\ \mu\text{m}$ ja resoluutio $1270\ \text{ppi}$ (ks. ed. luku). Kun kameras ottama $1280 * 1024$ pikselin kokoinen kuva kerrotaan $20\ \mu\text{m}$:llä, saadaan paperista otettavan kuvan maksimikoko. Kuvan maksimileveys oli $20\ \mu\text{m}/\text{pikseli} * 1280\ \text{pikseliä} = 25,6\ \text{mm}$ ja maksimikorkeus vastaavasti $20\ \mu\text{m}/\text{pikseli} * 1024\ \text{pikseliä} = 20,48\ \text{mm}$. Koska Olympus C-1400 L digitaalikameralla ei vakiovarustein pystynyt ottamaan tarvittavan läheltä kuvaa, kameraan hankittiin $+10$ diopterin lähilinssi (B + W 49 ES MACRO $+10$). Tämän avulla voitiin kuvata $25,0 * 20,0\ \text{mm}$:n kokoinen alue kuvattavasta kohteesta. Tämä oli tavoitetta ($25,6 * 20,48\ \text{mm}$) pienempi, joten kameraa voitiin käyttää.

Kuvien analyysin kannalta oli erityisen tärkeää, että kuvauskohte oli tasaisesti valaistu ja valaistus oli sama jokaisella kuvaushetkellä. Tähän pääsemiseksi kamera asennettiin reprokuvaustelineeseen (Susis), jossa oli kaksi lamppua (Philips Photocrescenta 75 W), jotka tuottivat valkoista valoa (kuva 17). Kuvauskokeet tehtiin pimeässä huoneessa vain kuvaustelineen valojen ollessa päällä (kuva 18).

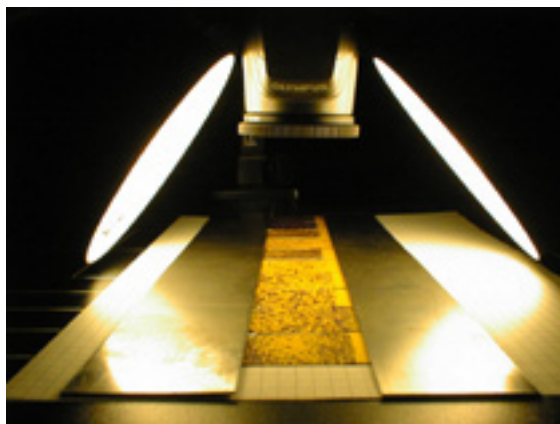
Kuva 17. Kuvauksissa käytetty reprokuvausteline, jossa kamera ja lamput.

Figure 17. The photographic stand used showing the attachment of the digital camera and lighting



Kuva 18. Vesiherkän paperin kuvaus vain kuvaustelineen valot päällä.

Figure 18. Photographing of a water-sensitive paper with only the white-light bulbs on.



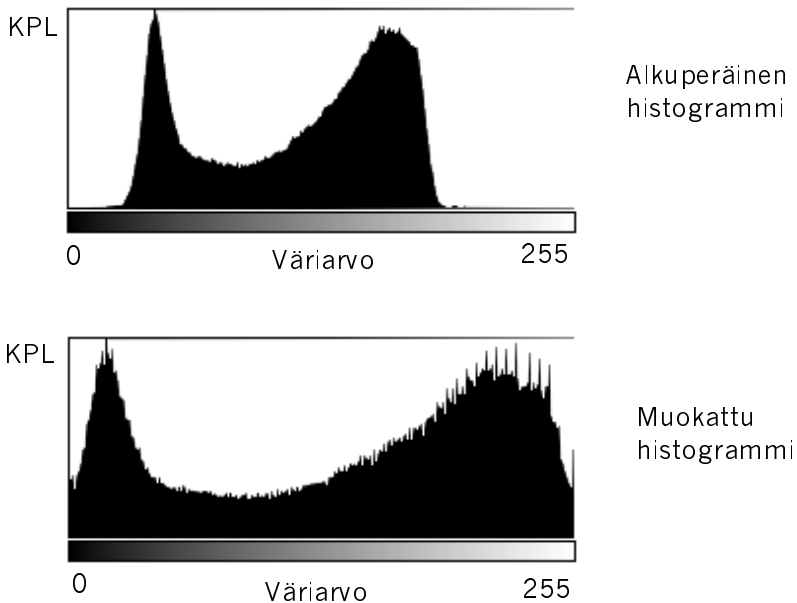
Kamera oli asennettuna samaan asentoon jokaisessa kuvauksessa. Kameran pystysuora asento tarkistettiin vesivaa'alla ja ennen kuvauksen alkua kameralla otettiin tarkennuskuva. Kuvat tallennettiin harmaasävyisinä TIFF-muodossa (*Tagget Image File Format*), koska TIFF-pakkaus ei hävitä tietoa ja kyseinen formaatti on kehitetty harmaasävykuvien tallentamista ja muokkaamista varten (Sawyer ja Pronk 1997). Myös Franz (1993) tallensi tutkimuksessaan vesiherkästä paperista ottamansa kuvat TIFF-muodossa. Lisäksi analyysiohjelma vaati kyseisen kuvaformaatin toimiakseen (Data Translation 1996).

5 Digitaalikuvan analysointimenetelmä

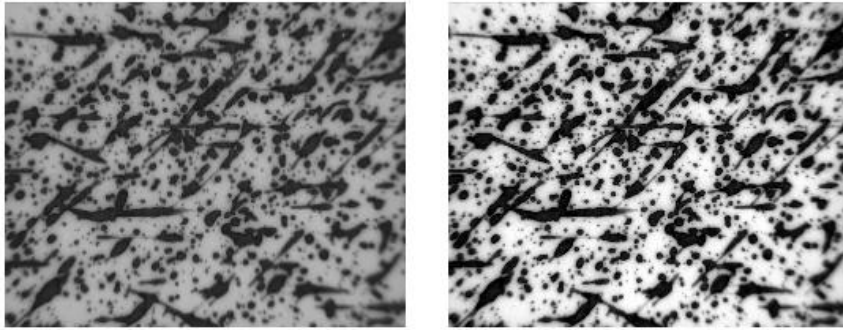
5.1 Digitaalikuvan editointitarve

Esikokeissa havaittiin, että vaikka vesiherkkä paperi oli valaistu reprojektiivisessä mahdollisimman tasaisesti, kameran valotusautomaatti valotti paperin keltaisen taustan eriasteisilla peittoasteilla eri tavoin. Koska tulosten oli oltava vertailukelpoisia, piti kaikki kuvat editoida eli normeerata kuvankäsittelyohjelmalla.

Kuvasta 19 nähdään, että kameran valottaman alkuperäisen kuvan harmaasävyt ovat sijoittuneet vain osaan skaalasta. Kuvan editoinnissa muutettiin alkuperäisen kuvan vaalein kohta, valkoiseksi ja tummin mustaksi. Vaalein kohta paperista on sen keltainen tausta ja tummin ruiskutusnesteen pisara tai pisaramuodostelma. Lineaarisen skaalauksen jälkeen kuvan harmaasävyt käsittivät koko sävyalueen valkoisesta mustaan (kuva 19). Editoinnilla saatiin siten jokaisen vesiherkän paperin tausta valkoiseksi (kuva 20). Muut harmaasävyt ohjelma skaalasi lineaarisesti näiden kahden pisteen välille.



Kuva 19. Digitaalikuvan harmaasävyjen lineaarinen skaalaus.
Figure 19. Linear grey level scaling of a digital greyscale image



Muokkaamaton

Muokattu

Kuva 20. Harmaasävyjen lineaarisen skaalauksen vaikutus väärin valotettuun digitaalikuvaan.

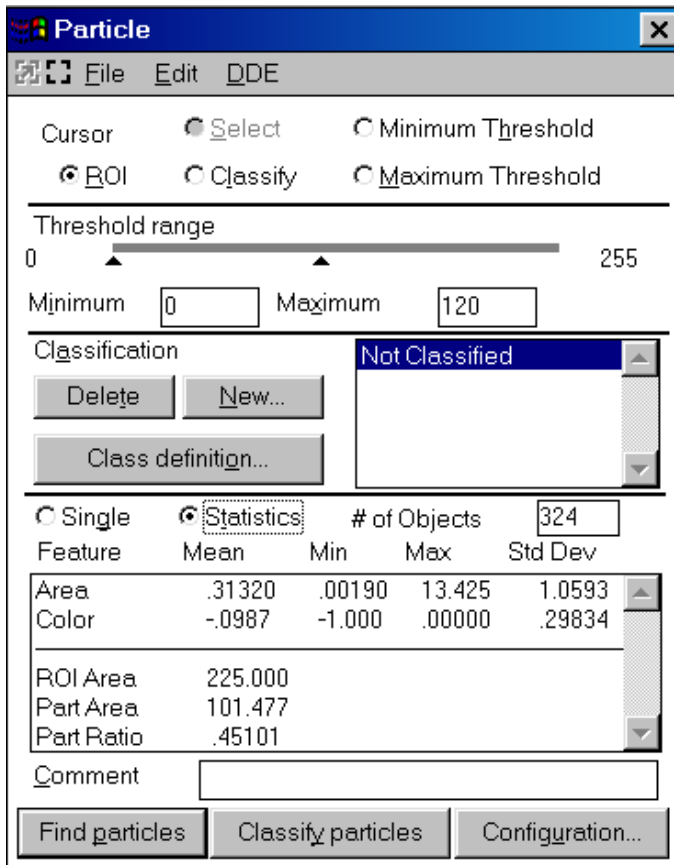
Figure 20. The effect of linear grey level scaling on a falsely exposed image.

5.2 Analysointi Global Lab Image -ohjelmalla

Tutkimuksessa käytettiin digitaalikuviin analysointiin Global Lab Image –ohjelmaa. Analysointiohjelman toiminta perustuu pikselien harmaasävyjen erotteluun. Ohjelma erottaa 256 eri harmaasävyä, eli on 8-bittinen ($2^8 = 256$). Pikselin harmaasävyarvo 0 vastaa mustaa ja sävyarvo 255 valkoista. (Data Translation 1996) Eri sävyisten pikselien avulla voidaan kuvasta rajata haluttu harmaasävyalue ja laskea esimerkiksi ruiskutusnesteen pinta-ala koko analyysialueen pinta-alasta. Jatkossa harmaasävyalueesta puhuttaessa käytetään nimitystä tulkinta-alue. Ohjelmalla voidaan myös laskea yksittäisten kappaleiden määrää tai esimerkiksi ruiskutusnesteen yksittäisen pisaran tai pisaramuodostelman pinta-ala. Kuvioiden muotoa ohjelma ei kuitenkaan pysty mittaamaan.

Analyysiohjelman tulkinta-alueita pystytään muuttamaan Threshold Range -työkalun avulla. Tutkimuksessa tällä välineellä rajattiin ruiskutusnesteen värjäämä alue käsittelemättömästä. Tulkinta-alueen valintaa vaikeutti vesiherkälle paperille ominainen pehmeä nesteraja. Nesterajalla tarkoitetaan ruiskutusnesteen kostuttaman ja käsittelemättä jääneen alueen rajaa. Tulkinta-alueita käsitellään tarkemmin luvussa 6 ”Vesiherkän paperin ja perunan lehdyn vertailu”.

Analyysiohjelman Particle-valikko (kuva 21) on ohjelman keskeisin ikkuna. Particle-valikon avulla käyttäjä pystyy mm. muuttamaan tulkinta-alueita (Threshold Range). Valikosta näkee myös analysoitavan alueen kokonaispinta-alan **ROI** (Region Of Interest) **Area**, tulkinta-alueen partikkelien yhteispinta-alan **Part Area** ja partikkelien pinta-alan suhteen analysoitavaan alueeseen **Part Ration**.

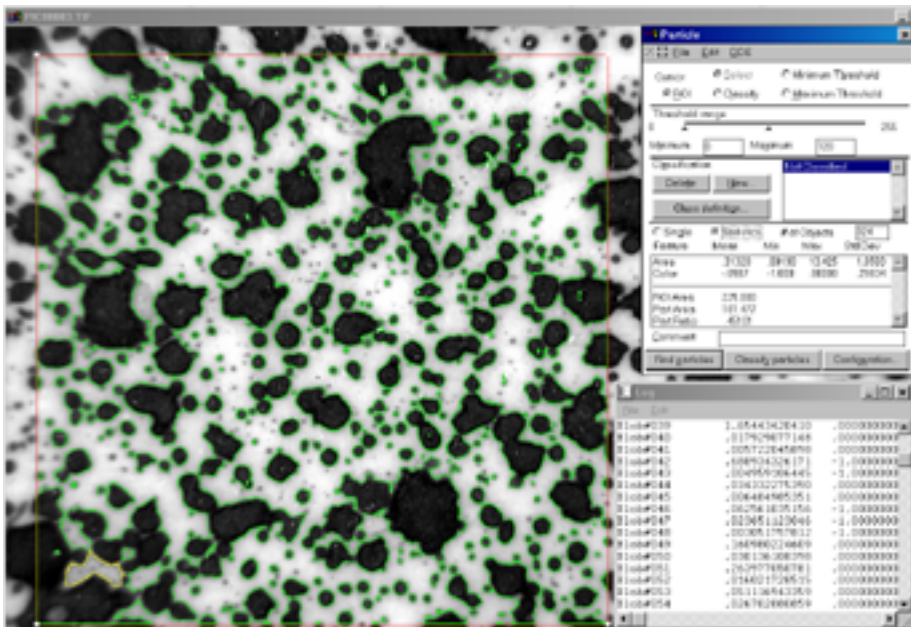


Kuva 21. Global Lab Image –ohjelman Particle-valikko. Kuvankaappaus keksällä 2000 tehdystä kokeesta.

Figure 21. 'Particle' window of the Global Lab Image software.

Kameralla otetuista 25 * 20 mm:n kokoisista kuvista päätettiin analysoida 15 * 15 mm = 225 mm²:n kokoinen alue (kuvassa 21: ROI Area) keskeltä kuvaa, koska +10 diopterin lähilinssi vääristi hieman kuvan reunoja. Kuvan 21 esimerkissä pisaroiden kokonaispinta-ala (Part Area) on 101,477 mm² ja peittoaste (Part Ration) noin 45 %, kun tulkinta-alueena (Threshold Range) on 0 – 120.

Ohjelma näyttää analysoitavan alueen kuvaruudulta punaisen kehyksen avulla. Pisarat tai pisaramuodostelmat, jotka halutaan saada tietyllä tulkinta-alueella peittoasteeseen mukaan, ohjelma erottaa muusta alueesta muodostaen niiden ympärille vihreän reunuksen (kuva 22).



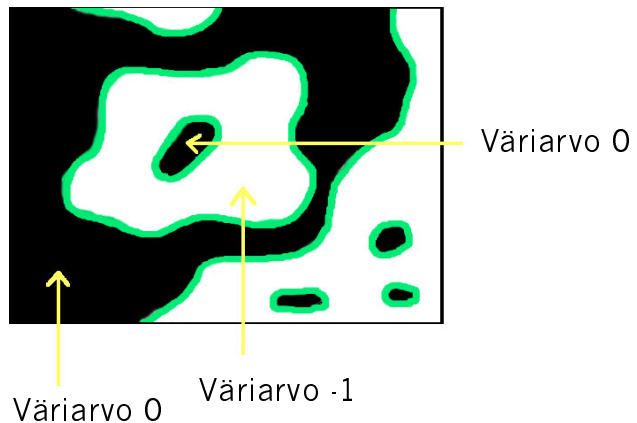
Kuva 22. Global Lab Image -ohjelman analysointi-ikkuna. Analysoitava alue (ROI Area = 225 mm²) erottuu punaisen kehyksen avulla. Kuvan kaappaus kesällä 1999 tehdystä esikokeesta.

Figure 22. The 'Analysis' window of Global Lab Image software. The target area (ROI Area = 225 mm²) is surrounded by a red frame.

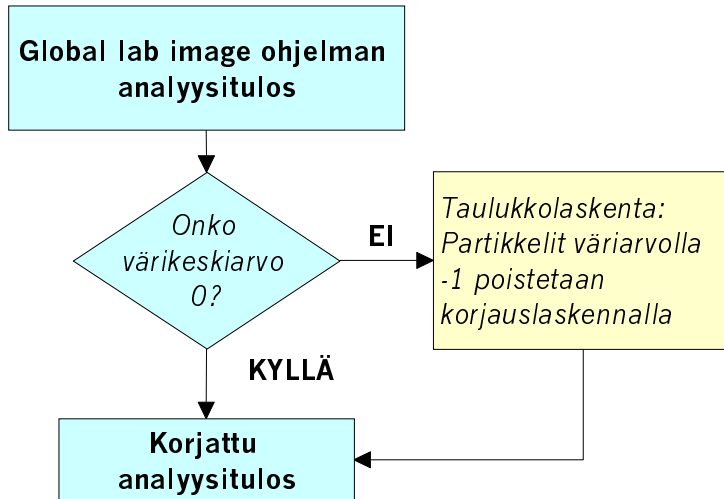
Peittoasteen ollessa suuri saattoi partikkelin sisälle muodostua alue, joka ei kuulunut tulkinta-alueeseen. Ohjelma kuitenkin laski tämän alueen virheellisesti partikkelien kokonaispinta-alaan. Siksi partikkelien pinta-alat päätettiin viedä taulukkolaskentaohjelmaan ja erotella siellä tällaiset sisäkkäiset alueet toisistaan. Erottelu oli mahdollista, koska partikkelit, jotka olivat harmaasävyasteikon sisällä, saivat analyysiohjelmassa väriarvon 0 ja harmaasävyasteikon ulkopuolelle jääneet (valkoiset) partikkelit saivat väriarvon -1 (kuva 23).

Kuva 23. Partikkelien väriarvot analyysiohjelmassa. Ison partikkelin sisällä oleva valkoinen alue saa väriarvon '-1'.

Figure 23. Particles' colour values in Global Lab Image software. The white area inside a large particle gets colour value '-1'.

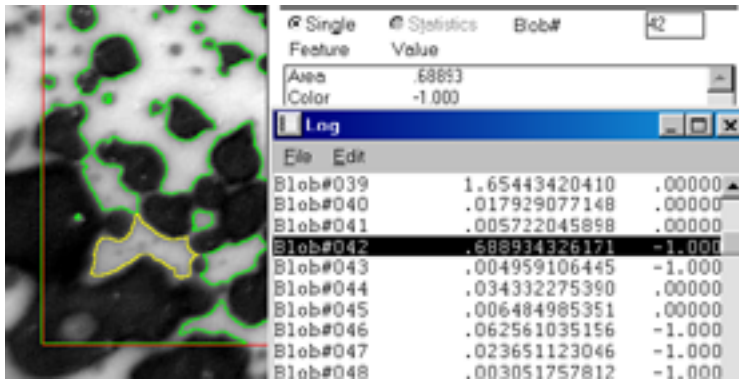


Analyysohjelman laski partikkelien värikeskiarvon. Jos värikeskiarvo poikkesi nolasta, oli partikkelien joukossa tulkinta-alueeseen kuulumattomia partikkeleja (väriarvo -1). Nämä poistettiin aineistosta taulukkolaskentaohjelmaan tehdyn sovelluksen avulla (kuva 24).



Kuva 24. Virheellisten partikkelien erottelu taulukkolaskimen avulla.
 Figure 24. Separation of false particles in a spreadsheet programme.

Esimerkiksi kuvassa 22 (ks. ed.) värin keskiarvo (*Color mean*) on $-0,0987$, joten partikkelien joukossa on tulkinta-alueen ulkopuolella olevia partikkeleja. Kuvasta 22 on suurennettu kuva 25, jossa yksittäisten partikkelien pinta-ala ja väriarvot ovat log-valikossa. Valikosta ne voidaan viedä taulukkolaskentaohjelmaan korjauslaskentaa varten. Esimerkiksi valitun partikkelin 42 (log-valikko Blob#042) reunukset ovat kuvassa keltaiset ja pinta-ala n. $0,69 \text{ mm}^2$. Kuvan 25 perusteella tämä partikkeli ei kuulu todelliseen pinta-alaan ja sen väriarvo on -1 . Kuvasta voidaan havaita myös, että partikkelit 46, 47 ja 48 on poistettava, koska ne eivät kuulu tulkinta-alueeseen väriarvojensa perusteella. Ohjelman mukaan peittoaste on $45,101 \%$, mutta korjauslaskennan jälkeen peittoaste oli $44,51 \%$. Koska joissakin kuvissa peittoaste saattoi vääristyä huomattavasti enemmänkin ($10 - 20 \%$), oli korjaus tehtävä jokaiselle kuvalle, joka sitä vaati.



Kuva 25. Suurennettu Global Lab Image -ohjelman analysointi- ja log-ikkuna. Virheellinen partikkelialue valittuna keltaisella. Kuvan kaappaus kesällä 2000 tehdystä kokeesta.

Figure 25. An enlarged view of 'Analysis' and 'Log' windows. A false particle area is surrounded by yellow colour.

5.3 Analyysiohjelman testaus

Analyysiohjelmaa testattiin kuvatiedostoilla, joista peittoaste-% tiedettiin yksiselitteisesti. Kuvatiedostojen koko (1280 * 1024 pikseliä) ja resoluutio (1300 ppi) olivat samat kuin vesiherkistä papereista otettujen kuvien. Testaukseen tehtiin kolme mustavalkoista kuvatiedostoa (Liite 1, testauskuvat A, B ja C). Kuvatiedostot luotiin siten, että ensin tehtiin kuvan tausta valkoiseksi (koko 1280 * 1024 pikseliä = 1 310 720 pikseliä). Tämän jälkeen kuvaan sijoitettiin neljä mustaa partikkelia (koko 512 * 320 pikseliä = 163 840 pikseliä). Testauskuvan A mustan alueen pinta-alaksi laskettiin seuraavasti:

$$\text{Mustan osuus testauskuvassa A} = \frac{4 * 163\,840}{1\,310\,720} * 100 = 50 \%$$

Testauskuvasta A saatiin kuva B, kun laitettiin mustien alueiden sisälle valkoiset alueet (koko 160 * 128 pikseliä = 20 480). Mustan osuus kuvassa B on laskettu seuraavasti:

Mustan osuus testauskuvassa

$$B = \frac{(4 * 163\,840) - (4 * 20\,480)}{1\,310\,720} * 100 = 43,75 \%$$

Kun lisättiin kuvaan B valkoisen alueen sisään 3 * 3 pikselin kokoiset mustat alueet (A = 9 pikseliä), saatiin kuvan C mustan osuudeksi 43,75275 %, joka on laskettu seuraavasti:

Mustan osuus testauskuvassa

$$C = \frac{((4 * 163\,840) - (4 * 20\,480)) + 4 * 9}{1\,310\,720} * 100 = 43,75275 \%$$

Lisäksi kuvaan C lisättiin viiden ja neljän pikselin kokoiset mustat alueet. Tällä testattiin havaitseeko analyysiohjelma viiden pikselin alueen ja jättääkö se neljän pikselin alueen huomioimatta.

Analyysiohjelma testattiin myös harmaasävyt käsittävällä testauskuva D:llä, joka on myös liitteessä 1. Tiedosto tehtiin Adobe Photoshop -ohjelmalla. Sävyt mustasta valkoiseen saatiin ohjelman työkalulla, jolla kuvan vasemmasta mustasta laidasta skaalattiin harmaasävyt lineaarisesti oikeaan valkoiseen laitaan. Testauskuvia D tehtiin kolme, koska kuvasta piti valita musta ja valkoinen kohta hiiren avulla. Testauskuvia A, B ja C tehtiin kutakin vain yksi kappale. Vaikka tiedostoja olisi tehty useampi, olisivat ne olleet yksiselitteisesti samoja.

Testauskuville A, B ja C testauksessa analysoitiin tiedoston koko 500 mm²:n alue tulkinta-alueella 0 – 120. Kuvilla D analysoitiin myös koko kuvan alue, mutta tulkinta-alue oli 0 – 89. Kuvan D analysoitavan alueen pinta-ala laskettiin harmaasävyjen perusteella. Tulkinta-alueessa 0 – 89 on 90 sävyä mustasta valkoiseen päin. Kun 90 sävyä jaetaan harmaasävyalueen kaikilla 256:lla sävyillä, saadaan kuvasta analysoitavan alueen teoreettinen pinta-ala seuraavasti:

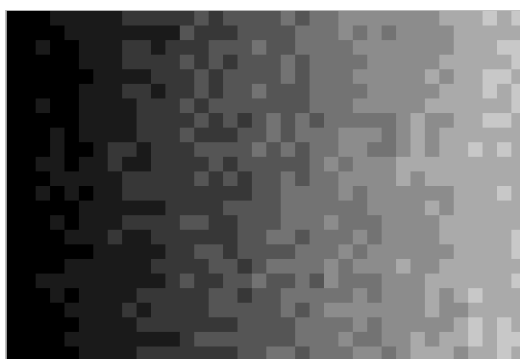
$$\text{Tulkinta - alueen osuus testauskuvassa D} = \frac{90}{256} * 100 = 35,156 \%$$

5.4 Analyysiohjelman testaustulokset

Analyysiohjelman testauksessa käytettyjen kuvatiedostojen todellisia peittoasteita verrattiin ohjelman antamiin peittoasteisiin. Taulukossa 2 on esitetty tehtyjen kuvatiedostojen laskettu todellinen peittoaste ja analyysiohjelman antama tulos. Taulukossa on myös taulukkolaskennalla tehdyn korjauslaskennan jälkeinen peittoaste ja partikkelien lukumäärä. Korjauslaskenta tehtiin vain, jos analyysiohjelman antama väriarvo sitä vaati (ks. ed. luku 5.2).

Taulukko 2. Analyysiohjelman testaustulokset.
 Table 2. Test results of Global lab image software.

| Testauskuva Test picture | Todellinen peittoaste, % Real coverage area, % | Analyysiohjelman peittoaste, % Coverage area of software, % | Korjauslaskennan jälkeen peittoaste, % Coverage area after the separation of the particles, % | Todellinen partikkeli määrä, kpl Real number of particle, | Analyysiohjelman partikkelit, kpl Analysis software's particles | Korjauslaskennan partikkelit, kpl Particles number after the separation of the particles |
|-----------------------------|---|--|---|--|--|--|
| A | 50 | 50 | - | 4 | 4 | - |
| B | 43,75 | 50 | 43,75 | 4 | 8 | 4 |
| C | 43,75275 | 50 | 43,75275 | 8 | 12 | 8 |
| D1 | 35,156 | 35,262 | 35,261 | 1 | 3 | 1 |
| D2 | 35,156 | 35,352 | 35,351 | 1 | 4 | 1 |
| D3 | 35,156 | 35,133 | 35,131 | 1 | 6 | 1 |



Kuva 26. Osasuurennos testauskuvasta D
 kontrastin lisäyksen jälkeen. Harmaasävyt
 eivät vaihtuneet tasaisesti.
 Figure 26. Test picture D after enlarging
 and increasing of contrast. Grey tones did
 not change uniformly.

Testauskuvilla A, B ja C (Liite 1) analyysiohjelma toimi kuten ohjelman ohjekirjassakin oli kerrottu. Kuvaa A analysoitaessa ei tarvittu korjauslaskentaa, mutta kuvien B ja C analyysissä korjauslaskenta piti tehdä. Jos korjauslaskentaa ei olisi tehty, olisi peittoaste ollut molemmilla kuvilla 50 % ja partikkelien määrä liian suuri. Korjauksen jälkeen peittoasteet ja partikkelien määrät olivat oikeat. Tämä osoitti myös, että korjauslaskenta toimi oikein.

Testauskuvan D, jossa oli liukuva harmaasävy (Liite 1), analysoinnissa analyysiohjelman antama peittoaste ei enää vastannut ennalta laskettuun arvoon edes korjauslaskennan jälkeen. Myös partikkelien määrä ennen korjausta oli väärä, mutta korjaus muutti sen oikeaksi. Peittoasteita koskeva virhe saattoi muodostua jo kuvan luontivaiheessa, kun tiedostoon valittiin musta ja valkoinen piste, joiden välille harmaasävyt asettuivat lineaarisesti. Toinen, ehkä tärkeämpi, virhettä aiheuttava tekijä oli Photoshopin liukuväriin käsittely. Liukuväri muodostettiin ihmissilmää varten eikä liuku ollut lineaarinen (kuva 26). Jos sävyt olisivat vaihtuneet tasaisesti, olisi sarakkeen jokaisella rivillä ollut saman sävyn omaava pikseli. Näin tulkintalueen rajasta ei tullutkaan oletuksen mukaisesti suora.

Analyysiohjelman antaman tuloksen mukaan myös partikkelien määrä poikkesi tavoitteesta, koska rajaon muodostui alueita, jotka eivät kuuluneen tulkinta-alueeseen. Ohjelma toimi kuitenkin ilmeisen oikein, virheellisen testauskuvan mukaisesti.

6 Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän vertailu

Esikokeiden perusteella kuvausmenetelmä saatiin luotettavaksi, mutta samalla havaittiin tarve tarkentaa analyysiohjelman parametrejä. Myöskään tarkkaa yhteyttä paperin ja lehdykän peittoasteiden välille ei pystytty muodostamaan. Jotta vesiherkkää paperia oltaisiin voitu käyttää tutkimuksessa, oli tärkeää, että vesiherkän paperin ja perunan lehdykän peittoasteiden suhde tiedettiin. Tämän takia tarvittiin empiirinen koe, jossa tavoitteena oli tarkentaa analyysiohjelman parametrejä ja luoda matemaattiset mallit vesiherkän paperin ja perunan lehdykän ylä- ja alapinnan välille.

Vertailussa oletettiin, että kyseessä olisi lineaarinen ilmiö, jossa nestemäärä vaikuttaisi paperin ja lehdykän pinnoilla oleviin peittoasteisiin. Ruiskuttamattomien papereiden ja lehdyköiden peittoasteiden olisi oltava 0 %, mutta ruiskutuksen jälkeen peittoaste lehdykällä oli tuntematon. Seuraavassa esitetään vertailukokeen nolla- ja vastahypoteesit:

Lehdykän yläpinnalle

Nollahypoteesi: Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän yläpinnan peittoasteilla ei ole lineaarista riippuvuutta

Vastahypoteesi: Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän yläpinnan peittoasteilla on lineaarinen riippuvuus

Lehdykän alapinnalle

Nollahypoteesi: Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän alapinnan peittoasteilla ei ole lineaarista riippuvuutta

Vastahypoteesi: Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän alapinnan peittoasteilla on lineaarinen riippuvuus

Ruiskutusnesteenä käytettiin veden ja fluoresoivan aineen liuosta. Ruiskuttamisen jälkeen koejäsenistä analysoitiin ruiskutusnesteen peittoasteet. Peittoasteiden perusteella tehtiin lopullinen valinta analyysiohjelman parametreiksi, kun analysoitavana vesiherkkien paperien lisäksi olivat myös lehdyköiden pinnalta otetut digitaalikuvat. Lisäksi kokeen avulla luotiin mallit, joissa vesiherkän paperin peittoasteen perusteella voitiin määrittää perunan lehdykän ala- ja yläpinnalla oleva peittoaste.

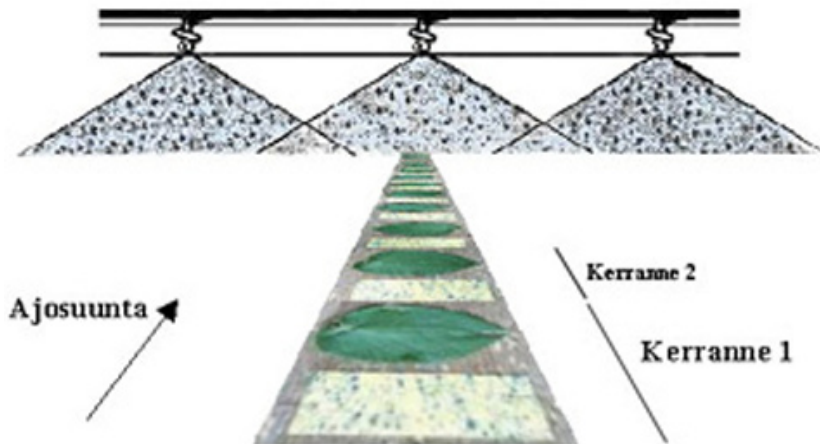
6.1 Koejärjestely

Laboratoriokokeessa käytettiin koeruuturuiskuksi muutettua Eho-kasvinsuojeluruiskua, jolla fluoresoiva ruiskutusneste ruiskutettiin koejäsenten päälle. Fluoresoivan ruiskutusnesteen pisarat ja pisaramuodostelmat saatiin esille UV-lamppujen avulla. Näin lehdykät pystyttiin kuvaamaan digitaalikameralla ja analysoimaan tietokoneella.

Ruiskutusnestemääriä kokeessa oli viisi, jotka on käsitelty myöhemmin (Luku 6.3.2 Vertailukokeen ruiskutusparametrit). Ruiskusta oli poistettu sivulohkot, joten sen työleveys oli 3 m. Ruiskutuskoe tehtiin laboratorio-olosuhteissa MTT/Vakolan hallissa, koska haluttiin varmistaa, etteivät ympäristöolosuhteet vaikuttaneet haitallisesti kokeen lopputulokseen. Oikea ajonopeus saatiin kiihdytetyksi nopeasti, asettamalla tarvittava moottorin kierrosnopeus käsi-kaasulla ennen kytkimen nostoa. Lisäksi koejäsenet laitettiin mahdollisimman kauas traktorin lähtöpaikasta. Näin varmistettiin, että nopeus oli tasainen ja oikea koejäsenten päältä ajettaessa.

Yhtenä nestemääränä vertailukokeessa oli 40 l/ha, joka oli myös Danfoil puhallinruiskun nestemäärä päätutkimuksessa. Tätä nestemäärää ei pystytty tuottamaan koeruuturuiskulla. Siksi tämä koe tehtiin Perunantutkimuslaitoksella Lammilla ulko-olosuhteissa. Laboratoriokokeen aikana mitattiin ilman lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus. Tuulen nopeutta ei tarvinnut kokeen aikana mitata, koska se oli laboratorio-olosuhteissa merkityksettömän pieni. Ulkona tehdyn kokeen aikana myös tuulen nopeus mitattiin.

Vertailukokeissa käytettiin Nicola-perunalajiketta. Kasvusto kasvatettiin MTT:llä Jokioisissa Kasvinsuojelututkimuksen kasvihuoneessa. Vesiherkät paperit ja perunan lehdykät laitettiin laudasta sahattujen palojen päälle, jonka jälkeen ne ruiskutettiin fluoresoivalla nesteellä (kuva 27). Koska päätutkimuksessa analysoitiin myös lehdyköiden alapinnan peittoasteet, asetettiin kokeeseen myös paperi-lehdykkä -pareja, joissa lehdykkä oli alapinta ylöspäin. Kokeessa oli yhteensä kolme koejäsentä, vesiherkkä paperi, lehdykän ylä- ja alapinta. Molemmat paperi-lehdykkä -parit ruiskutettiin samalla ajokerralla. Ruiskutuksen jälkeen papereiden ja lehdyköiden annettiin kuivua noin 5 minuuttia, muutoin ruiskutettu neste olisi saattanut vieriä lehdykän pinnalla. Koejäsenten päälle asetettiin kuivumisen ajaksi pahvilaatikot. Näin estettiin auringon valon pääsy niihin ja fluoresoivan aineen haihdunta pystyttiin minimoimaan. Pahvilaatikot otettiin koejäsenten päältä vasta juuri ennen digitaalikuvausta. Koejäsenet oli kiinnitetty niiteillä lautoihin, joissa ne olivat myös lehdyköiden kuvauksen aikana kiinni. Paperit sen sijaan irrotettiin laudoista ja numeroitiin ennen kuvausta.



Kuva 27. Vesiherkät paperit ja perunan lehdykät vertailukokeessa. Joka ajon aikana käsiteltiin 50 lehdykkä-vesiherkkä paperi -paria. Ympäristöolosuhteet ja ruiskutusparametrit olivat vakiot, joten pareja käsiteltiin kerranteina. Periaatekuva.

Figure 27. Water-sensitive papers and potato leaves in comparison test. There were 50 pairs of leaves and water-sensitive papers in each run. Environmental conditions and spray parameters were kept constant so that the pairs were handled as repetitions. Schematic.

Vertailukokeessa käytettiin mahdollisimman useaa vertailuparia eli kerrannetta, jotta aineisto saataisiin riittävän suureksi tilastollista analysointia varten. Samalla kertaa käsiteltäviä vertailupareja voitiin pitää kerranteina, koska ajonopeus, ruiskutusnestemäärä ja ympäristöolosuhteet vertailukokeessa pidettiin vakioina. Seuraavissa luvuissa käsitellään tarkemmin näitä asioita.

Ennen lehdyköiden irrottamista perunakasvusto oli kasteltava huolellisesti. Näin varmistettiin, että jokaisen vertailukokeen lehdyköissä oli mahdollisimman sama määrä nestettä. Rajoittavan tekijän kerranteiden määrälle asetti se, että lehdykät oli kuvattava mahdollisimman nopeasti ruiskutusnesteen kuivuttua. Muutoin lehdykkä olisi lakastunut ja fluoresoiva neste haihtunut lehdykän pinnalta (Jern 1992). Tehtyjen esikokeiden perusteella lehdyköitä pystyi kuvaamaan korkeintaan kaksi tuntia lehdykän katkaisuhetkestä. Muutoin ne olisivat lakastuneet liiaksi. Käytännössä kuvaukseen jäi aikaa puoli-toista tuntia. Tänä aikana lehdyköistä pystyi ottamaan 100 kuvaa. Paperilehdykän yläpinta -pareja ja paperilehdykän alapinta -pareja vertailukokeeseen voitiin asettaa 50 kappaletta, eli saatiin 50 kerrannetta kerralla. Molemmat koejäsenet oli laitettava samaan ajokertaan, koska ajokertojen välillä olisi saattanut olla eroa, joka olisi lisännyt epävarmuutta vertailtaessa lehdyköiden ylä- ja alapinnan välistä peittoaste-eroa samalla nestemäärällä. Clijmans ym. (2000) tutkivat viuhkasuuttimin varustetun ruiskun puomin heilunnan vaikutusta levitystasaisuuteen. Heidän mukaansa puomin vertikaalinen ja horisontaalinen heilunta vaikutti herkästi levitystasaisuuteen. Siksi traktorilla ajo piti olla mahdollisimman tasaista, jotta puomi ei olisi heilunut

ajon aikana. Parit piti myös ruiskuttaa tarkalleen samalla puomin kohdalla, koska levitystasaisuuden aiheuttama vaihtelu tekisi eri nestemäärillä ajettujen lehdykän ylä- ja alapuoliparien tarkan vertailun mahdottomaksi.

6.2 Esikokeet ruiskutusnesteillä

Vesiherkät paperit ja perunan lehdykät ruiskutettiin vedellä, johon sekoitettiin Tinopal 5BM-GX merkkistä fluoresoivaa ainetta 5 g litraan vettä. Ainetta valmistaa Ciba Specialty Chemicals. Derksen ja Jiang (1995) käyttivät myös tutkimuksessaan ruiskutusnestettä, jonka konsentraatio oli 5 g Tinopalia/1 litra vettä. Myös Jern (1992) käytti tutkimuksessaan vastaavaa fluoresoivaa ainetta Stardust, jota hän sekoitti 5 g litraan vettä.

Tinopal on suhteellisen liukenevaa veteen (25 g / 1 litraan vettä lämpötilan ollessa 25 °C). Tinopalin ja veden muodostama liuos saadaan esille ruiskutettavan kohteen pinnalta UV-lamppujen avulla. Lamppuja tullaan käsittelemään myöhemmin (Luku 6.3.4). Fluoresoiva liuos reagoi näkyvän valon aallonpituuksiin 450 – 550 nm. Kun fluoresoivan aineen määrää liuoksessa lisätään, liuos saadaan esiin ruiskutettavalta pinnalta tehokkaammin. Tällä ominaisuudella ei ole kuitenkaan mitään lineaarista mallia. (Derksen ja Jiang 1995, Ciba Specialty Chemicals 2000)

Ruiskutusneste valmistettiin 50 litran saaviin, jossa se oli helppo sekoittaa. Valmis neste kaadettiin ruiskun säiliöön juuri ennen kokeen ajoa. Tällä estetettiin liuoksen mahdollinen sakkautuminen ja suutinputkiston tukkeutuminen. Ennen varsinaista koeruiskutusta ruiskun puomista laskettiin ruiskutusnestettä lävitse siten, että ruiskutettava aine oli varmasti puomissa.

6.2.1 Fluoresoivan aineen haihtuminen ja imeytyminen perunan lehdykällä

Koska Jern (1992) sekä Salyani ja Fox (1994) tutkimuksissaan havaitsivat fluoresoivan aineen haihtuvan ruiskutettavan kohteen pinnalta, haluttiin optimaalisen kuvaushetken määrittämiseksi varmistaa kuinka Tinopal-aine haihtui perunan lehdykältä. Haihdunnan lisäksi oletettavaa oli, että osa ruiskutettavasta nesteestä imeytyi myös lehdykän sisälle. Haihtumiskokeeseen valittiin nestemääräksi 300 l/ha, koska lehdykälle haluttiin saada suhteellisen suuri peittoaste. Tällä nestemäärällä pystyttiin tarkistamaan fluoresoivan aineen haihtuminen perunan lehdykältä. Lisäksi se edusti päätutkimuksen keskimääräistä ruiskutusnestemäärää. Jos kokeeseen olisi valittu pienempi nestemäärä, aineen haihdunta lehdykältä olisi voinut olla suurempi pienemmän pisarakoon ansiosta. Toisaalta nestemäärällä 400 l/ha peittoaste olisi saattanut olla liian suuri ja ruiskutusneste olisi voinut levitä lehdykän pinnalla.

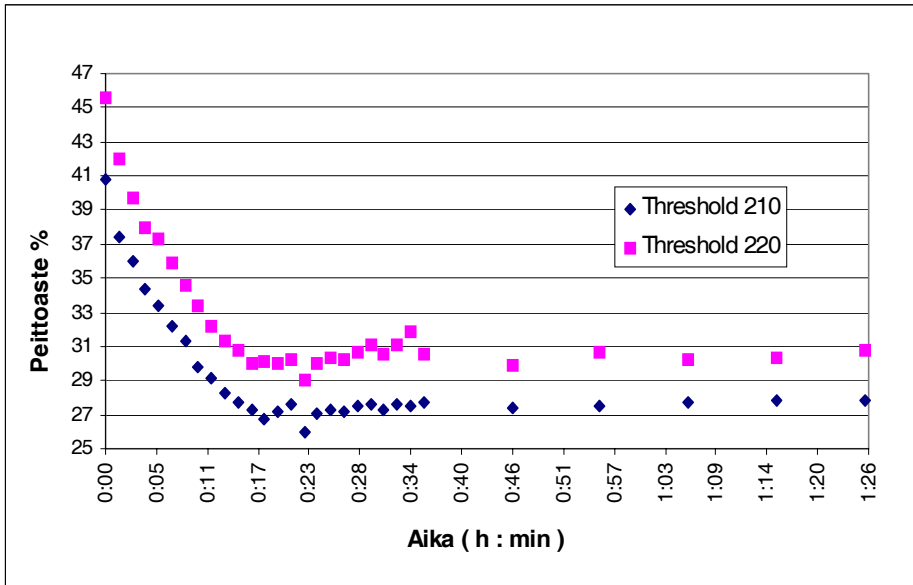
Haihdontua koskeva koe tehtiin samalla tavalla kuin kaikki vertailukokeet. Erona kokeen suorituksessa oli se, että kokeessa laudan palalle laitettiin vain yksi perunan lehdykkä, jonka ympärille sijoitettiin vesiherkät paperit. Koska päätutkimuksessa havaittiin, että suurin osa ruiskutusnesteestä päätyi lehdykän yläpinnalle, kokeessa lehdykkä asetettiin yläpinta ylöspäin. Kun lehdykkä oli ruiskutettu kuten aikaisemmin on kerrottu (Vrt. Luku 6.1), aloitettiin digitaalikuvausvaihe.

Ruiskutuksen jälkeen laudanpala, johon lehdykkä ja paperit olivat kiinnitettyinä, kuljetettiin kuvauspaikalle. Kuljetus pyrittiin tekemään mahdollisimman nopeasti heiluttamatta koejäseniä, koska se olisi saattanut levittää ruiskutusnestettä lehdykän ja papereiden pinnalla. Kuvaus tehtiin aikasarjana. Lehdykän kuvausta käsitellään tarkemmin luvussa 6.3.4 ”Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän kuvaus”. Ensimmäinen kuva lehdykästä otettiin 30 sekunnin kuluttua ruiskutuksesta. Tämän jälkeen kuvausta jatkettiin 36 minuuttia siten, että lehdykästä otettiin kuva 1,5 minuutin välein. Tämän jälkeen lehdykästä otettiin kahdeksan kuvaa 10 minuutin välein. Aikaa kuvaukseen kului yhteensä 1 tunti ja 26 minuuttia.

Kun kameranlaukaisu tehdään manuaalisesti, saattaa kamera heilahtaa. Jos kuvattavasta kohteesta halutaan ottaa kuva tarkalleen samasta kohdasta, on kameran laukaisu toteutettava sähköisesti esim. tietokoneen avulla. Kamera liitettiin tietokoneeseen kaapelin avulla, joten kameran laukaisu voitiin tehdä tietokoneen ja kameran hallintaohjelman avulla. Näin kamera ja kuvattava kohde pysyivät tarkalleen samassa kohdassa. Lehdyköiden kuvauksessa käytettävät UV-lamput olivat päällä vain kuvauksen aikana eikä kuvaushuoneessa koko kuvausjakson aikana käytetty muita valoja. Kun lehdykän kuvaus saatiin päätökseen, kuvattiin lehdyköitä ympäröineistä vesiherkistä papereista neljä vertailukuvaa, joista myös analysoitiin peittoasteet.

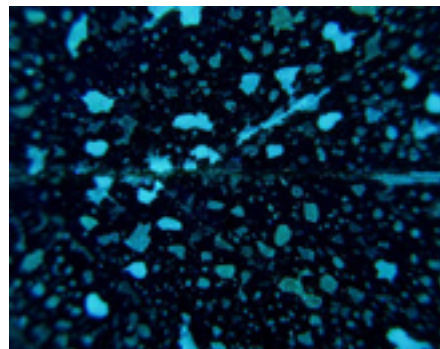
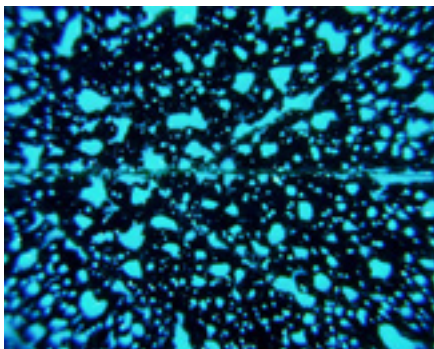
Kuvassa 28 on esitetty, kuinka fluoresoiva aine haihtui perunan lehdykän yläpinnalta. Kuvat analysoitiin vertailun vuoksi kahdella eri tulkinta-alueella, jotka olivat 0 – 210 ja 0 – 220. Eri alueilla analysoidut peittoasteet käyttäytyivät samanlaisesti. Aluksi peittoaste oli suuri, koska ruiskutusneste oli liukosena lehdykän pinnalla ja fluoresoiva aine erottui selvästi lehdykän pinnalta. Veden haihtuessa peittoaste pieneni nopeasti aina 15 minuuttiin asti, jonka jälkeen se tulkinta-alueella 0 – 210 oli noin 28 % ja 30 % alueella 0 – 220.

Lehdykän ympärillä olleilla vesiherkillä papereilla peittoasteet olivat 60,4; 61,4; 62,9 ja 66,7 %, joiden keskiarvo on 62,8 %. Verrattaessa sitä vertailukokeen 300 l/ha paperin peittoasteiden keskiarvoon 58,5 %, voidaan olettaa, että ruiskutusnestemäärä oli oikea. Verrattaessa haihtumiskokeen lehdyköiden peittoastetta vertailukokeen peittoasteiden keskiarvoon, poikkeavat ne toisistaan paljon enemmän kuin paperien peittoasteet. Koska vertailukokeissa kuvaus aloitettiin nesteen kuivuttua, piti myös haihtumiskokeen peittoasteista valita vertailuun arvot, joissa ruiskutusneste oli kuivunut. Vertailukokeessa



Kuva 28. Fluoresoivan aineen haihtuminen perunan lehdykän yläpinnalta.
Figure 28. Evaporation of the fluorescent liquid from the surface of potato leaves.

300 l/ha lehdykän yläpinnan peittoaste oli 40,7 %. Haihtumiskokeessa lehdykän pinnan peittoaste oli noin 28 % nesteen ollessa haihtunut sen pinnalta. Arvo on pienempi kuin vertailukokeen ja se jää myös luottamusvälin 34,0 – 47,4 ulkopuolelle. Kuvassa 29 voi havaita, kuinka vasemmanpuoleisessa otoksessa, joka on otettu 30 sekunnin kuluttua ruiskutuksesta, fluoresoiva aine erottuu selkeästi lehdykän pinnalta. Oikeanpuoleinen kuva otettiin noin 15 minuutin kuluttua, kun neste oli haihtunut lehdykän pinnalta.



Kuvattu 30 sekuntia ruiskutuksesta

Kuvattu 15 minuuttia ruiskutuksesta

Kuva 29. Fluoresoivan aineen (vaaleaa) haihtuminen perunan lehdykän yläpinnalta.
Figure 29. Evaporation of the light-coloured fluorescent liquid from a potato leaf.

6.2.2 Nesteen käyttäytyminen vesiherkän paperin pinnalla

Myös vesiherkälle paperille tehtiin tarkalleen samanlainen koe kuin lehdykälle. Ruiskutusnesteenä vain käytettiin pelkästään vettä. Lehdykkä asennettiin laudan päälle, jonka jälkeen se ruiskutettiin nestemäärällä 300 l/ha. Ruiskutuksen jälkeen kuvasarjan ensimmäinen kuva otettiin 30 sekunnin kuluttua, jonka jälkeen kuvausta jatkettiin 30 sekunnin välein aina 6 minuuttiin saakka. Tämän jälkeen paperista otettiin vielä neljä kuvaa 10 minuutin välein. Vaikka paperit oli kiinnitetty niitein lautaan, paperi ei pysynyt kuvausten aikana paikallaan. Kostunut paperi laajeni, jolloin se nousi keskikohdasta ilmaan. Kun paperi alkoi kuivua, kohonnut keskikohta laski lautaa kohden, ja täysin kuivuneena paperi oli hieman kutistunut verrattuna käsittelemättömään. Paperin liikehdintä esti kuvien ottamisen samasta kohdasta. Tämän takia samasta paperista otettujen kuvien peittoasteita ei ollut mahdollista verrata keskenään.

6.3 Vertailukoe

Varsinaisen vertailukokeen tavoitteena oli selvittää saadaanko vesiherkän paperin digitaalikuvausmenetelmän avulla hyvä estimaatti siitä, mitä perunan lehdyköiden pinnoilla tapahtuu.

6.3.1 Levitystasaisuusmittaus

Koeruuturuiskun ruiskutuspuomissa käytettiin Teejetin suuttimia. Suutinten ruiskutuspainet valittiin optimaalisen levitystasaisuuden mukaan, joka Teejetin suuttimilla valmistajan mukaan on 0,3 MPa. Levitystasaisuuteen vaikuttaa myös puomin korkeus, joka 0,3 MPa:n paineella on 50 cm. (Teejet 1997) Näillä parametreilla myös levitystasaisuudet mitattiin. Suutinten koot levitystasaisuusmittauksiin valittiin tavoiteltavien ruiskutusnestemäärien (100 – 400 l/ha) mukaan. Pääkokeessa käytettyä pienintä suutinta (Hardi SF-02-110 CT Yellow) vastasi Teejetin XR11002 suutin, jolla ruiskutusnestemäärän 200 l/ha vertailukoe tehtiin. Samalla suuttimella tehtiin myös vertailukoe, jossa ruiskutusnestemäärä oli 100 l/ha. Jos kyseisessä vertailukokeessa olisi käytetty pienempiä suuttimia, ruiskutusnesteen pisarat olisivat olleet niin pieniä, että traktorin ja ruiskun aiheuttaman ilmavirran takia ne olisivat leijailleet jopa laboratorio-olosuhteissa kohteen ulkopuolelle. Lisäksi laboratoriokokeessa otettiin huomioon käytännön olosuhteet. Kaikkein pienimpiä suuttimia ei käytetä kasvinsuojeluruiskutuksissa tuulikulkeuma riskin takia. Vertailukokeessa 300 l/ha suutin oli XR11003 ja kokeessa 400 l/ha suutin XR11004. Lopulliset ruiskun säädöt laskettiin levitystasaisuusmittausten tulosten mukaan. Alhaisin nestemäärä, joka Teejetin suuttimilla kannatti toteuttaa oli 100 l/ha.

Automaattisessa ”Hardi Scanner” –mittalaitteessa on liikkuva mittausyksikkö, joka on asennettu kiskojen päälle. Mittauksen aikana mittausyksikkö liikkuu kiskojen päällä ruiskun takaa katsottuna vasemmalta oikealle. Mittausyksikkö pysähtyy alustalla 800 mm:n välein nesteeseen keräämiseksi. Suuttimilta tuleva neste kerätään kahdeksalla kourulla, joiden leveys on 100 mm. Nesteenä käytetään puhdasta vettä. Vesi valuu kourusta mittayksikön mittalaseihin, joissa on pinnankorkeusanturit pohja- ja yläosassa. Mittalasin pohjalevyn sulkeuduttua alkaa vesi nousta mittakupissa. Mittakupit täyttyvät eri nopeuksilla. Mitä parempi levitystasaisuus on sitä tasaisemmin mittalasin täyttyvät. Neste nousee alimman anturin kohdalle mittalaite aloittaa ajan mittauksen. Kun neste nousee ylemmän anturin tasolle, mittaus lopetetaan. Kun jokainen mittakuppi on saanut mittauksen valmiiksi, tyhjentää mittalaite mittalasin ja siirtyy seuraavan 800 mm:n matkan. Levitystasaisuuden vaihteluerroin lasketaan muistikorttiin tallennetuista mittalasin täyttymisajoista.

Koeruuturuiskun puomi oli jaettu kolmeen lohkokon. Keskilohkossa oli neljä suutinta ja puomin vasemmassa ja oikeassa lohkokon yksi suutin. Kokeessa käytettiin vain keskilohkokon. Hardi Scanner –mittalaite asetettiin keskimmäisen lohkokon puoliväliin, jolloin levitystasaisuus saatiin mitatuksi koejäsenten kohdasta. Ruiskutusaine tarkistettiin ruiskupuomiin asennettuna kalibroidun painemittarin avulla. Koska keskilohkossa ei ollut kuin neljä suutinta, jouduttiin paine tarkistamaan ennen mittauksia.

Danfoil-puhallinruiskun B3/16 levitystasaisuus mitattiin tutkimuksen kokeissa keväällä 1999. Mittaus tehtiin Suomen maatalouden ympäristötuen vaatiman kasvinsuojeluruiskun kuntotestauksen mukaisesti (Kasvinsuojeluruiskujen kuntotestausohjeet 1996). Levitystasaisuuden lisäksi mittauksissa saatiin myös suutintuotto selville Hardi Spray Scannerin avulla. Tuotto mitattiin myös manuaalisesti siten, että kun mittaus oli loppunut, tarkistettiin suutintuotto mittakannun avulla ruiskutusparametrien ollessa samat. Koska painemittari poistettiin mittauksen ajaksi puomista, tarkistettiin suutintuotot mittari asennettuna puomiin ja ilman sitä. Levitystasaisuusmittaukset tehtiin vesijohdoveden avulla, koska fluoresoiva aine olisi liannut mittalaitteen tai voinut jopa rikkoa sen. Tutkimuksessa tarkistettiin myös, miten fluoresoiva aine vaikutti suutintuottoon. Suutintuotto mitattiin juuri ennen varsinaista vertailukoetta. Samalla pystyttiin tarkistamaan ruiskun toiminta. Seuraavassa taulukossa 3 on vertailukokeissa käytettyjen suutinten levitystasaisuudet. Taulukossa ovat myös Scannerilla ja mittakannulla mitatut suutintuotot, sekä suutintuotot, kun ruiskutusneste oli vertailukokeessa käytetty fluoresoivan aineen ja veden sekoitus. Tinopalia sisältävän ruiskutusnesteen tuotto mitattiin mittakannulla.

Taulukko 3. Suutinten levitystasaisuudet.

Table 3. Spray distribution of the nozzles.

| Suutin Nozzle | Paine, MPa Pressure, MPa | Levitystasaisuus VK, % Coefficient of variation, % | Suutintuotto, l/min Nozzle capacities, l/min | Suutintuotto, l/min (Mittakannu) Nozzle capacities, l/min (Measure) | Suutintuotto, l/min (Tinopal) Nozzle capacities, l/min (Tinopal) |
|------------------|-----------------------------|---|--|--|---|
| Danfoil | - | 7,0 | 0,09 | - | - |
| XR11002 | 0,2 | 6,9 | 0,61 | 0,61 | 0,62 |
| XR11002 | 0,3 | 7,0 | 0,74 | 0,74 | 0,74 |
| XR11003 | 0,3 | 7,8 | 1,09 | 1,09 | 1,10 |
| XR11004 | 0,3 | 6,3 | 1,56 | 1,57 | 1,56 |

6.3.2 Vertailukokeen ruiskutusparametrit

Päätöksimyksessä kaikilla ruiskutustekniikoilla ajonopeus oli noin 5 km/h, joten siihen pyrittiin myös vertailukokeessa. Koska tavoitteena oli luoda malli paperin ja lehdykän peittoasteiden välillä, haluttiin käsittelyjen määrä nostaa viiteen lisäämällä kokeeseen ruiskutusnestemäärät 100 ja 300 l/ha. Tämän lisäksi ruiskutusparametreihin vaikutti suutinten levitystasaisuus. Lopulliset ruiskutusparametrit määräytyivätkin levitystasaisuusmittauksista saatujen suutintuottojen ja ruiskutusnestemäärien mukaan. Seuraavassa taulukossa 4 on vertailukokeiden ruiskutusparametrit.

Taulukko 4. Vertailukokeen ruiskutusparametrit.

Table 4. Spraying parameters in the comparison tests.

| Suutin Nozzle | Ruiskutusneste- määrä, l/ha Spraying rate, l/ha | Suutintuotto, l/min Nozzle capacities, l/min | Paine, MPa Pressure, MPa | Puomin korkeus, cm Boom height, cm | Nopeus, km/h Speed, km/h |
|------------------|---|--|-----------------------------|--|-----------------------------|
| Danfoil | 40 | 0,09 | 0,05 | 60 | 5,0 |
| XR11002 | 100 | 0,61 | 0,2 | 50 | 7,3 |
| XR11002 | 200 | 0,74 | 0,3 | 50 | 4,4 |
| XR11003 | 300 | 1,09 | 0,3 | 50 | 4,4 |
| XR11004 | 400 | 1,56 | 0,3 | 50 | 4,7 |

6.3.3 Ruiskujen kalibrointi

Koeruuturuiskun kalibrointi toteutettiin seuraavasti:

1. Todettiin tarvittava moottorin kierrosluku, jolla voitiin taata tarvittava paine suuttimille. Ruiskutuspaineen säätöventtiili oli asetettuna säädön

puoliväliin. Suutinten paine mitattiin ruiskutuspuomin viimeisestä suutimesta nestepainemittarilla.

2. Traktorin ajonopeus tarkistettiin ajamalla 100 metrin matkaan kulunut aika. Koerata oli asfaltoitu, joten se vastasi lattiamateriaalia hallissa, jossa vertailukokeet tehtiin.
3. Traktorin nopeus hienosäädettiin moottorin kierrosluvun avulla. Kierroslukua ei saanut kuitenkaan muuttaa liikaa, koska lopullisen ruiskutuspaineen säätö ei olisi ollut mahdollista. Taulukossa 5 on nopeuden kalibroinnissa todetut traktorissa käytetyt vaihteet ja kierrosliku. Kun traktorin kierrosluvut oli saatu selville, säädettiin ruiskutuspainne oikeaksi ruiskun paineensäätöventtiilin avulla.

Taulukko 5. Massey Ferguson 35X -traktorin ajonopeudet kokeessa.
Table 5. Driving speed of Massey Ferguson 35X tractor during the tests.

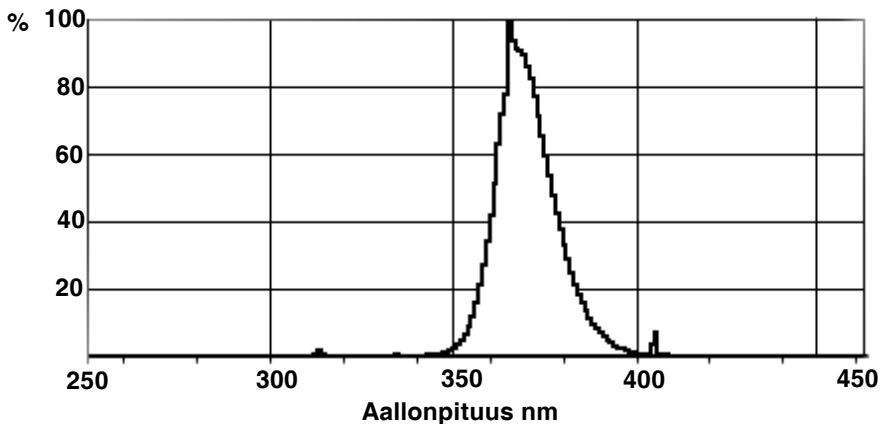
| Nestemäärä, l/ha Spraying rate, l/ha | Ajonopeus, km/h Speed, km/h | Aika / 100 m Time / 100 m | Vaihte Gear | Kierrosliku, rpm PTO, r.p.m. |
|---|--------------------------------|------------------------------|----------------|---------------------------------|
| 100 | 7,32 | 49 s | H2 | 1100 |
| 200 | 4,44 | 1 min 21 s | L3 | 1460 |
| 300 | 4,36 | 1 min 23 s | L3 | 1440 |
| 400 | 4,68 | 1 min 17 s | L3 | 1510 |

Danfoil-puhallinruiskussa on automaattinen ruiskutusnestemäärän säätö, joka toimii ruiskutusnesteen virtausanturin ja traktorin vanteeseen asennettavan nopeusanturin avulla. Ruiskutusnestemäärä säädettiin ohjauspaneelin avulla, jonka jälkeen automatiikka laski tarvittavan ruiskutusnestemäärän traktorin työnopeuden mukaan. Kokeessa ruisku olisi pitänyt asettaa manuaaliseksi, jotta ruiskutusparametrit olisi voitu tarkistaa ilman automatiikan tuomaa mahdollista virhettä. Koska manuaalisäätö ei ollut mahdollista, koe tehtiin vakionopeudella, jolloin ruiskun automatiikan ei tarvinnut vaihtaa ruiskutusparametrejä kokeen aikana. Ruiskun kalibrointi tehtiin seuraavasti. (Danfoil 1999)

Traktorin nopeusanturi kalibroititiin ajamalla traktorilla 100 m pellolla, jonka jälkeen tarkistettiin, mitä ruiskun nopeusanturi ilmoitti matkaksi. Jos matka oli väärä, muutettiin matka oikeaksi. Virtausanturi kalibroititiin siten, että anturin läpi päästettiin tietty määrä vettä, jonka tilavuus mitattiin. Jos anturin antama nestemäärä oli eri kuin tarkistetun nesteen tilavuus, syötettiin oikea arvo automatiikan ohjelmaan. Kalibroinnin jälkeen tehtiin uusintamittaukset, joilla tarkistettiin kalibroinnin onnistuminen.

6.3.4 Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän kuvaus

Vesiherkkien paperien kuvausta on käsitelty aiemmin (Luku 4). Lehdykän kuvauksessa jouduttiin kuvausjärjestelmää muuttamaan siten, että reprokuvaustelineen lamput korvattiin UV-loisteputkilampuilla, jotka olivat tyyppiä Philips TDL 18W / 08. Lamput tuottavat aallonpituuksia, joiden huippu sijoittui välille 350 – 400 nm (kuva 30). Lisäksi lamput tuottivat myös näkyvää valoa, joka oli oleellista kuvattaessa lehdyköitä. Paulsenin ja McClurenin (1986) mukaan videokameralla kuvattaessa valonlähteen on tuotettava näkyvän valon aallonpituuksia, jos kuvaa on tarkoitus katsoa tai analysoida. Mikäli kameralla halutaan kuvata esimerkiksi infrapunasäteilyä, on kamera varustettava lisävarustein. Jotta kuvaa pystytään analysoimaan, on kuvatiedostoa editoitava niin, että siitä pystytään erottamaan eri värisävyjä



Kuva 30. Philips TDL 18W / 08 -lampan tuottaman säteilyn aallonpituudet. (Philips 1999)

Figure 30. Spectral power distribution of the Philips TDL 18W / 08 lamp.

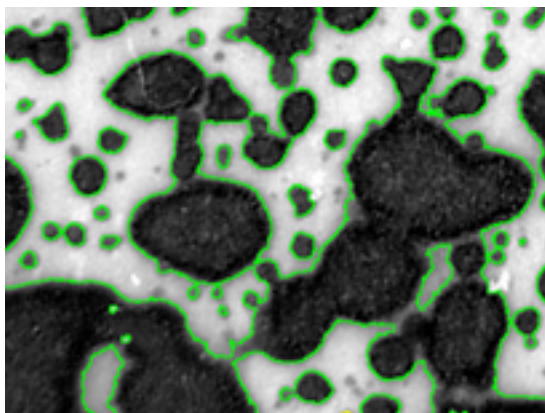
Fluoresoiva-aine reagoi näkyvän valon aallonpituuksiin 450 – 550 nm (ks. ed. luku 6.2). Ruiskutusneste saatiinkin erotetuksi lehdykän pinnalta näkyvän valon avulla. Vaikka näkyvän valon osuus UV-lamppujen kokonaissäteilystä oli vain pieni, riitti se silti tuomaan esiin lehdykällä olevan fluoresoivan ruiskutusnesteen niin, että se erottui vihreältä pinnalta. Myös Derksenin ja Jiangin (1995) tekemässä tutkimuksessa Tinopal-fluoresoiva aine erottui kaalin lehdykältä selkeästi UV-lamppujen ansiosta. Koska fluoresoiva aine näyttää siniseltä (ks. kuva 29), heijastaa se valon säteistä 450 nm:n aallonpituuksia takaisin (ks. ed. kuva 10).

Lehdykät kuvattiin laudanpaloihin kiinnitettyinä, joten laudan päälle oli asetettava tarkennuskuva. Koska fluoresoiva aine haihtui lehdyköiden pinnalta, piti kuvaus tehdä mahdollisimman nopeasti. Kuvaus aloitettiin heti, kun lehdyköillä oleva neste oli kuivahtanut.

6.3.5 Analyysiohjelman parametrit vesiherkän paperin analysoinnissa

Ongelmaksi paperien analysoinnissa muodostui se, että ruiskutusnesteen raja paperilla ei ollut terävä. Kuten kuvasta 31 voi havaita, ruiskutusnesteen kostuttama musta alue vaalenee asteittain reunoille mentäessä. Asteittainen vaaleneminen johtuu siitä, että paperi imee pisaran koskettamalta alueelta tehokkaasti nestettä ulospäin. Analyysiohjelma näyttää vihreän reunuksen avulla, mitkä alueet se ottaa peittoasteeseen mukaan. Paperista otetusta kuvasta voi myös havaita, että pisaroiden joukosta osa on ilman vihreää reunusta (kuva 31). Paperin pienimmät pisarat eivät tulleet mukaan peittoasteeseen, koska ne eivät värjänneet paperin

keltaista pintaa riittävän siniseksi. Kun kuvatiedosto tallennettiin kamerasäädin muistista tietokoneeseen harmaasävykuvana, värikuvan vaaleansininen pisara muuttui vaalean harmaaksi. Jos paperista olisi haluttu saada kaikki pienimmätkin pisarat peittoasteeseen mukaan, olisi analyysiohjelman tulkinta-alue (Threshold Range) pitänyt laajentaa. Tällöin peittoasteeseen olisi tullut mukaan liian paljon pisaran muodostamaa vaalenevaa aluetta ja peittoaste olisi muodostunut vääräksi.



Kuva 31. Vesiherkän paperin analysointi tulkinta-alueella (Threshold Range) 0 – 120. *Figure 31. Analysis of a water-sensitive paper with a Threshold Range of 0 – 120.*

Koska eri nestemäärillä ruiskutetut paperit analysoitiin samalla tulkinta-alueella, muodostui eri nestemäärillä ruiskutettujen paperien analysoinnissa epävarmuutta. Nestemäärillä 200 – 400 l/ha ruiskutettujen paperien analysoinnissa käytetty tulkinta-alue näytti jäävän hieman pieneksi nestemäärällä 100 l/ha. Pienimmällä nestemäärällä (100 l/ha) tuotetuista pisaroista osa oli niin pieniä, etteivät ne kostuttaneet paperia riittävän siniseksi ja harmaasävykuvassa pisaroista osa jäi liian vaaleiksi. Tämän takia pienimmät pisarat jäivät pois peittoasteesta. Jos tulkinta-alue olisi muutettu niin, että se olisi ollut nestemäärälle 100 l/ha oikea, olisi se ollut liian suuri nestemäärille 200 – 400 l/ha.

Liitteessä 2 on vertailtu, kuinka eri tulkinta-alueen arvot vaikuttavat peittoasteeseen ja partikkelien määrään. Liitteen kuvat on otettu kuvankaappauksen avulla tietokoneen kuvaruudulta. Lisäksi ne ovat suurennettuja, jotta niitä voi verrata silmämääräisesti keskenään. Jos tulkinta-alue olisi ollut 0 – 110, peit-

toasteen ulkopuolelle olisi jäänyt monta pientä pisaraa. Myöskään vaalenevaa aluetta pisaramuodostelmien reunoilta ei olisi juurikaan tullut mukaan peittoasteeseen. Kun tulkinta-alue olisi ollut 0 – 130, olisi peittoasteeseen saatu mukaan myös pienempiä pisaroita, mutta samalla alueeseen olisi tullut liian paljon vaalenevaa aluetta suurten pisaramuodostelmien reunoilta.

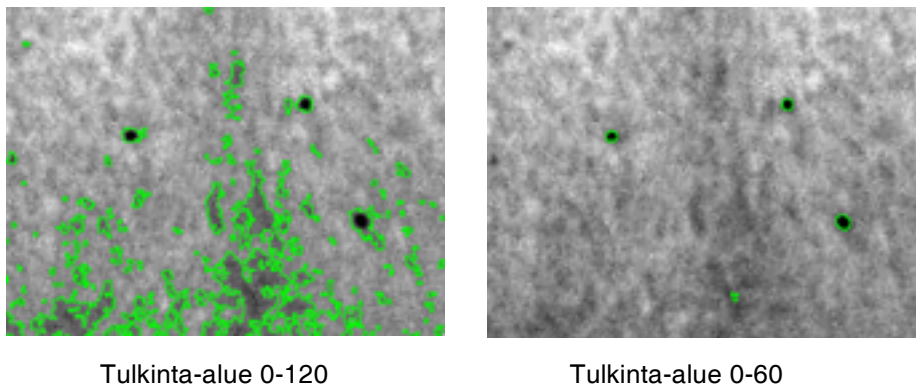
Tulkinta-alueen valinnassa päädyttiin kompromissiin, jossa alueeksi valittiin 0 – 120 (kuva 31). Tällöin pienimmät vaaleimmat pisarat jäivät peittoasteen ulkopuolelle ja suurempien pisaroiden tai pisaramuodostelmien vaalenevaa aluetta otettiin hieman peittoasteeseen mukaan. Kun tulkinta-aluetta laajennettiin 0 – 130:een, analyysiohjelman ilmoittaman partikkelien määrän olisi luullut kasvavan, mutta lopputulos oli päinvastainen. Kun tulkinta-aluetta laajennettiin, yksittäiset partikkelit liittyivät toisiinsa. Liitteestä 2 voi havaita, kuinka tulkinta-alueen valinta vaikutti partikkeli-alueiden kokoon ja lukumäärään.

Päätöksessä lehdyn alapintoja kuvaaville vesierkkille papereille muodostui erittäin alhaisia peittoasteita (alle 1 %). Ongelma oli kuitenkin marginaalinen, koska näin alhaisilla peittoasteilla ei ollut merkitystä ja ne voitiin luokitella luokkaan, jossa peittoaste oli olematon. Alhasten peittoasteiden analysoinnissa analyysiohjelman tulkinta-aluetta pitäisi muuttaa, muuten peittoaste ei olisi oikea. Ongelma muodostuu jo paperin kuvausvaiheessa. Todennäköisesti kameran tarkennusautomaattikka ei kykene erottamaan riittävän tarkasti pieniä ruiskutusnestepisaroita alle 1 %:n peittoasteella. Poikkeuksena olivat kuvat, joissa pienen peittoasteen muodosti muutama iso pisara, jotka kameran optikka pystyi erottamaan paperista.

Vertailukokeissa ei pystytty aikaansaamaan näin alhaisia peittoasteita, koska ruiskutusnestemäärän olisi pitänyt olla arviolta noin 5 - 10 l/ha. Danfoilupuhallinruiskulla näin pieni ruiskutusnestemäärä olisi saattanut olla mahdollista, mutta koska Danfoililla tehtävät vertailukokeet piti tehdä ulkona, olisi näin vähäisten nestemäärien saaminen vesierkkälle paperille ja lehdylle ollut kyseenalaista. Pienillä nestemäärillä kaikkien pisaroiden koko olisi todella pieni ja suurin osa niistä todennäköisesti olisi haihtunut ilmaan tai leijailnut tuulikulkeumana kohteen ulkopuolelle.

Kuvassa 32 on analysoitu paperi, joka kuvasi lehdykän alapintaa. Kuvaan on suurennettu analyysialasta osa, joka on analysoitu eri parametreilla. Kun tulkinta-alue oli 0 – 120, osa paperin pinnasta tuli peittoasteeseen mukaan, vaikka siinä ei ollut ruiskutusnestettä. Tämän takia tulkinta-alue piti muuttaa 0 – 60. Näin analysoitavasta paperista saatiin peittoasteeseen mukaan vain ruiskutusnesteen värjäämä alue. Kun tulkinta-alue oli 0 – 120 paperin peittoaste oli 3,59 %, vastaavasti alueella 0 – 60 peittoasteeksi saatiin 0,13 %. Näin alhaiset peittoasteet ovat sovelluksen kannalta merkityksettömiä, koska alle 1 % peittoasteet eivät todennäköisesti takaa riittävää tulosta kasvinsuojelussa.

Erittäin alhaisia peittoasteita voidaan tarvittaessa tulkita jatkoprojekteissa, kun tiedetään enemmän torjuntatulokseen vaikuttavista peittoasteista.



Kuva 32. Tulkinta-alueen vaihtamisen vaikutus mitattuun peittoasteeseen noin 1 % tapauksessa.

Figure 32. The effect of changing the Threshold Range when coverage area is low (ca 1 %).

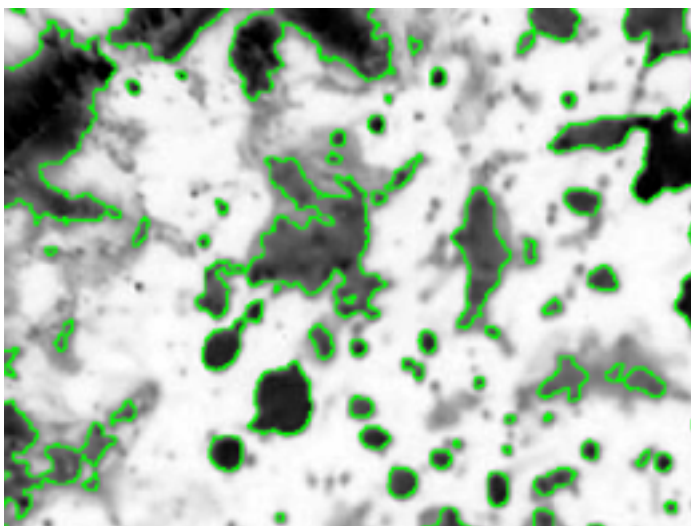
6.3.6 Perunan lehdyköistä otettujen digitaalikuviin editointi

Myös perunan lehdyköistä otetut digitaalikuvat oli editoitava kuvankäsittelyohjelmalla (Adobe Photoshop) ennen varsinaista analysointia (vrt. ed. 5.1). Liitteessä 3 ensimmäisenä on värikuva, joka muutettiin harmaasävykuvaksi. Tämän jälkeen tiedoston harmaasävyt muutettiin päinvastaiseksi invertoimalla kuvatiedosto. Invertoinnin avulla lehdykän musta pinta muutettiin valkoiseksi ja harmaasta valkoiseen olevat pisarat tummiksi. Tämän jälkeen kuvatie-
dostoille tehtiin sama kuin papereista otetuille tiedostoille (ks. ed. 5.1). Kuvat editoitiin muokkaamalla kuvan vaalein kohta valkoiseksi ja tummin mustaksi, minkä jälkeen ohjelmalla skaalattiin harmaasävyt näiden kahden pisteen välille.

6.3.7 Analyysiohjelman parametrit perunan lehdykän analysoinnissa

Vesiherkän paperin analysoinnissa käytetyt parametrit eivät soveltuneet lehdyköistä otettujen kuvien analysointiin. Kuvassa 33 on lehdykän pinnasta otettu digitaalikuva analysoitu samalla tulkinta-alueella kuin paperista otettu kuva. Kuvasta voi nähdä, että suurin osa ruiskutusnesteestä jäi peittoasteen ulkopuolelle. Lehdykän pinta, jossa ei ollut ruiskutusnestettä, oli editoinnin jälkeen yhtä valkoinen kuin vesiherkän paperin ruiskuttamaton keltainen osa. Pisaroiden muodostamat alueet kuvatiedostoissa kuitenkin poikkesivat toisistaan siten, että lehdykällä olevat pisarat ja pisara-alueiden reunat olivat terä-

vämmät ja asteittainen vaaleneminen pisanan reunalla oli nopeampaa. Ero johtui ruiskutettavan pinnan ominaisuuksista (ks. ed. luku 4.3.1). Tämän takia lehdyköiltä pystyttiin selkeämmin erottamaan ruiskutettu alue ruiskuttamattomasta. Parhaiten erottelu pystyttiin tekemään, kun ruiskutusnestemäärä oli 100 – 300 l/ha. Kun nestemäärä oli 400 l/ha, ruiskutusainetta oli lehdykän pinnalla niin paljon, että digitaalikameralla otetussa kuvatieostossa pisaroiden ja lehdykän pinnan välille ei saatu selkeää värieroa. Myös ruiskutusnestemäärällä 40 l/ha ruikutettaessa koejäsenten analysointi ei ollut yhtä selvää kuin analysoitaessa lehdyköitä, jotka oli ruiskutettu 100 – 300 litran hehtaariannoksella. Koska tulkinta-alue piti vertailtavuuden takia olla sama joka käsittelylle, piti aluevalinnassa tehdä kompromissi.



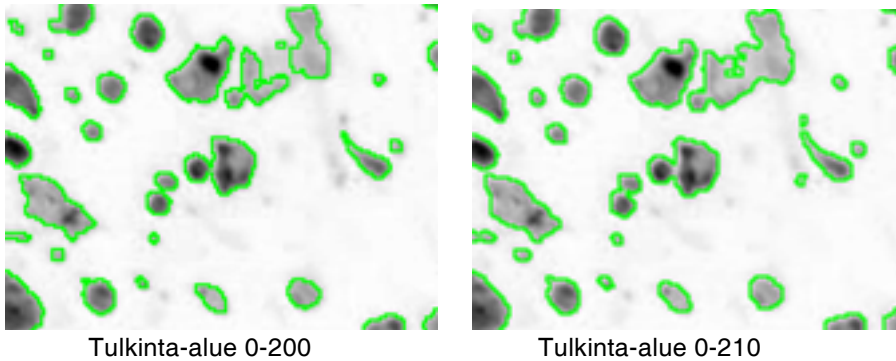
Kuva 33. Nestemäärällä 200 l/ha ruiskutetun lehdykän yläpinnalta otetun kuvan analysointi. Tulkinta-alueella 0 – 120 vain osa nesteestä tulee valituksi peittoasteeseen.

Figure 33. Analysis of the potato leaves' upper side when spraying rate is 200 l/ha. Only part of the liquid is selected into the coverage area when Threshold Range is 0 – 120.

Tavoitteena oli luoda malli vesierkän paperin ja lehdykän ylä- ja alapinnan peittoasteiden välille, kun ruiskutusnestemäärä oli 40 – 400 l/ha. Keskeisimmät ruiskutusnestemäärät mallissa olivat 100 - 300 l/ha, koska ne olivat lähinnä nestemäärien keskiarvoa 220 l/ha. Lisäksi toimiva tulkinta-alue näillä nestemäärillä oli sama, joten nestemäärillä 100 – 300 l/ha ruiskutettuja lehdyköitä voi luotettavasti verrata toisiinsa. Nestemäärällä 400 l/ha ruiskutettujen lehdyköiden kuvista suurin osa voitiin analysoida samalla tulkinta-alueella kuin nestemäärillä 100 – 300 l/ha ruiskutetut. Tulkinta-aluetta ei haluttu muuttaa käsittelyjen välillä vertailtavuuden takia, vaikkakin nestemäärällä 400 l/ha se hieman vääristi peittoasteita. Tutkimuksessa haluttiin verrata myös peittoasteita lehdykän ylä- ja alapinnoilla. Päätutkimuksen mu-

kaan suurin osa ruiskutusaineesta sijoittui lehdyköiden yläpinnoille. Tämän takia tulkinta-alue määriteltiin lehdykän yläpinnalta otettujen kuvien avulla, ja sitä käytettiin myös lehdyköiden alapinnan analysoinnissa.

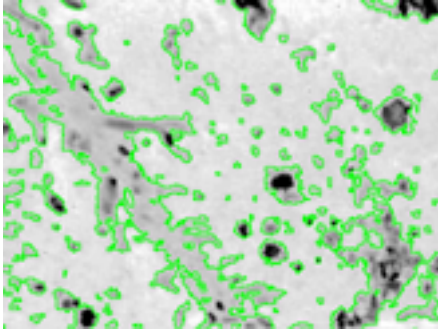
Kuvassa 34 on verrattu, kuinka tulkinta-alueella 0 – 200 ja 0 – 210 ruiskutusneste alueet saatiin peittoasteeseen. Kuvat ovat lehdykän yläpinnalta otetusta kuvasta, nestemäärän ollessa 200 l/ha. Analysoimalla tulkinta-alueella 0 – 200 osa ruiskutusnesteestä jää peittoasteen ulkopuolelle. Suurentamalla alue 0 – 210:n saadaan lähes kaikki nesteen tummentama alue mukaan peittoasteeseen. Vaikka pisaroiden reuna lehdykällä on huomattavasti terävämpi kuin paperilla, niin silti pisaran reunalle mentäessä alue vaaleni asteittain. Jos tulkinta-aluetta olisi suurennettu, niin silloin peittoasteeseen olisi tullut mukaan aluetta, joka ei olisi ollut ruiskutusnestettä, vaan lehdykän pinnalla olevia lehtisuonia. Lehtisuonien, lehdykän pinnan epätasaisuuksien ja tulkinta-alueen aiheuttamaa virhettä tarkastellaan lähemmin tulosten tarkastelussa.



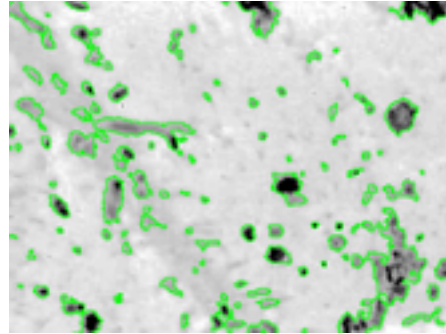
Kuva 34. Tulkinta-alueen valinta lehdykän pinnalta otettujen digitaalikuvienv analysoinnissa. Tulkinta-alueen suurentaminen tässä kuvassa lisää pisaroiden lukumäärää ja pinta-alaa.

Figure 34. Choosing of Threshold Range for an image taken out of the potato leaf's upper side. Enlarging of the Threshold Range adds the amount of droplets and their area.

Analysoitaessa lehdyköitä, jotka oli ruiskutettu nestemäärällä 40 l/ha, oli tulkinta-alueen arvoa hieman muutettava. Kun lehdykän pinnalla oli näin pieni annos ruiskutusnestettä, lehdykän pinta näytti kauttaaltaan harmaalta. Seuraavassa kuvassa 35 vasemman puoleinen kuva on analysoitu tulkinta-alueella 0 – 210, jolloin peittoasteeseen tulee mukaan alueita, joita ei ole käsitelty ruiskutusnesteellä. Oikeassa kuvassa tulkinta-aluetta on pienennetty 0 – 190:een, jolloin peittoaste on muodostunut vain tummista pisara-alueista. Jos tulkinta-aluetta olisi pienennetty enemmän, olisivat pienimmät pisarat jääneet pois peittoasteesta.



Tulkinta-alue 0-210



Tulkinta-alue 0-190

Kuva 35. Lehdyköiden analysointi, kun ruiskutusnestemäärä oli 40 l/ha.
Figure 35. Analysis of a potato leaf when spraying rate is 40 l/ha.

6.3.8 Vertailukokeen tulokset

Vertailukokeessa oli kolme koejäsentä: vesiherkkä paperi, lehdykän ylä- ja alapinta. Käsittelyinä käytettiin viittä eri nestemäärää 40, 100, 200, 300 ja 400 l/ha. Jokaisessa käsittelyssä oli 50 paperi-lehdykkä yläpintaparia ja paperi-lehdykkä alapintaparia. Taulukossa 6 on koejäsenten peittoasteiden keskiarvot sekä keskihajonnat nestemäärillä 100 - 400. Analyysiohjelman tulkinta-alueena paperien analysoinnissa oli 0 - 120 ja lehdykän 0 - 210. Taulukossa 7 on erikseen nestemäärällä 40 l/ha ruiskutettujen koejäsenten peittoasteet. Lehdyköiden yläpinnan analysoinnissa tulkinta-alue oli 0 - 190. Nestemäärillä 100, 200, 300 ja 400 l/ha ruiskutettujen koejäsenten raakadata on liitteessä 5a ja 5b. Liitteessä 5c on nestemäärällä 40 l/ha ruiskutettujen koejäsenten raakadata.

Korjatulla tulkinta-alueella (0 - 190) lehdyköiden pinnan peittoasteet nestemäärällä 40 l/ha olivat papereiden peittoasteita pienemmät, kuten suuremmillakin nestemäärillä. Jos korjausta ei olisi tehty, lehdykän peittoasteet olisivat olleet yhtä suuret kuin vesiherkillä papereilla. Koska kaikki paperit ja lehdykät piti analysoida samoilla parametreilla, jätettiin nestemäärällä 40 l/ha käsitellyt koejäsenet muodostetusta mallista pois.

Taulukko 6. Vesiherkän paperin ja lehdykän ala- ja yläpinnan peittoasteet nestemäärillä 100 – 400. (VHP = vesiherkkäpaperi)

Table 6. Coverage area of the water-sensitive paper and leaf's upper and lower side, when spraying rates are 100 – 400 l/ha. (WSP = water-sensitive paper)

| Nestemäärä Spraying rate | VHP, Tulkinta-alue 0 – 120 WSP, Threshold range 0 – 120 | | Lehdykän yläpinta, Tulkinta-alue 0 – 210 Upper side of leaf, Threshold range 0 - 210 | |
|-----------------------------|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| l/ha l/ha | Peittoaste % Coverage area % | Keskihajonta Standard deviation | Peittoaste % Coverage area % | Keskihajonta Standard deviation |
| 100 | 27,2 | 3,8 | 16,3 | 3,8 |
| 200 | 49,9 | 3,7 | 29,9 | 8,0 |
| 300 | 58,5 | 2,8 | 40,7 | 6,7 |
| 400 | 68,0 | 3,6 | 41,4 | 8,4 |
| Nestemäärä Spraying rate | VHP, Tulkinta-alue 0 – 120 WSP, Threshold range 0 – 120 | | Lehdykän alapinta, Tulkinta-alue 0 – 210 Leaf's lower side, Threshold range 0 – 210 | |
| l/ha l/ha | Peittoaste % Coverage area % | Keskihajonta Standard deviation | Peittoaste % Coverage area % | Keskihajonta Standard deviation |
| 100 | 27,0 | 3,8 | 13,5 | 2,6 |
| 200 | 49,3 | 4,3 | 20,3 | 3,7 |
| 300 | 58,7 | 2,9 | 42,3 | 6,9 |
| 400 | 67,5 | 3,2 | 44,7 | 9,9 |

Taulukko 7. Vertailukokeen 40 l/ha peittoasteet. Lehdykän analysoinnissa tulkinta-alue oli 0 – 190. (VHP = vesiherkkäpaperi)

Table 7. Comparison test with 40 l/ha spray rate. Threshold Range was 0 – 190 for the leaves. (WSP = Water-sensitive paper)

| | VHP WSP | Lehdykän yläpinta Upper side of leaf | VHP WSP | Lehdykän alapinta Lower side of leaf |
|---------------------------------------|------------|---|------------|---|
| Peittoaste, % Coverage area, % | 17,9 | 11,9 | 16,3 | 11,6 |
| Keskihajonta Standard deviation | 4,4 | 3,5 | 4,8 | 4,3 |

Seuraavassa taulukossa 8 on vertailukokeiden aikana mitatut ympäristöolosuhteet. Nestemäärän 40 l/ha koe tehtiin ulkona, jolloin ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila vaihtelivat sadekuurojen takia päivän aikana. Kokeen aikana ilma oli kuitenkin tyyni ja poutainen, joten koe onnistui hyvin. Koska ulkona tehty koe kesti vain 10 sekuntia, voitiin ympäristöolosuhteet todeta yhdellä mittauksella.

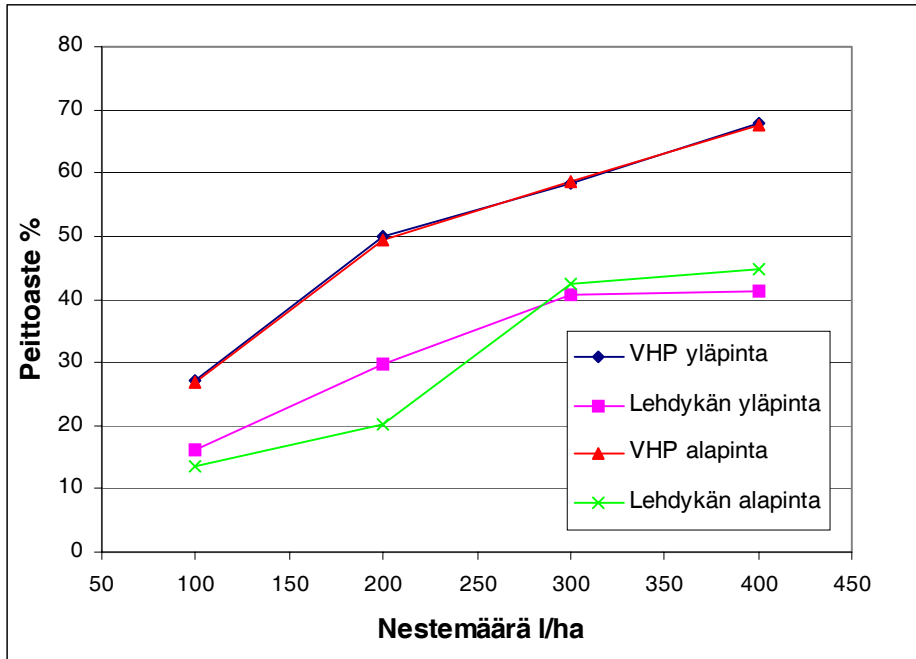
Taulukko 8. Ympäristöolosuhteet vertailukokeiden aikana.

Table 8. Weather conditions during the comparison tests.

| Koe <i>Test</i> | 40 l/ha | 100 l/ha | 200 l/ha | 300 l/ha | 400 l/ha |
|--|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Päivämäärä <i>Date</i> | 15.7.2000 | 15.5.2000 | 9.5.2000 | 18.5.2000 | 12.6.2000 |
| Lämpötila, °C <i>Air temperature °C</i> | 21 | 18 | 17 | 19 | 18 |
| Ilman suhteellinen kosteus, % <i>Relative humidity, %°C</i> | 65 | 30 | 35 | 35 | 45 |

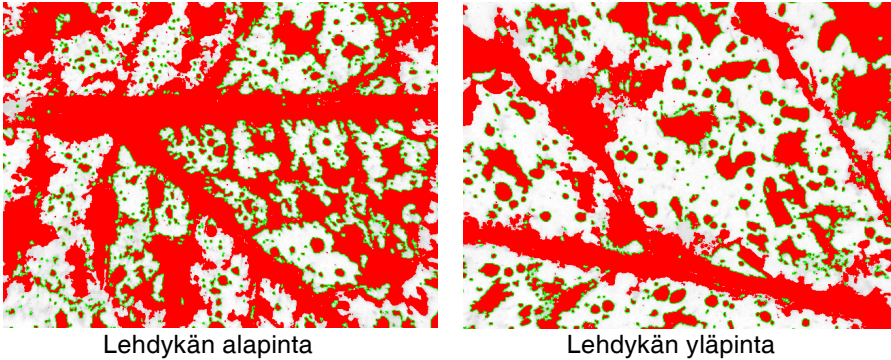
Kuvassa 36 on vertailukokeiden 100 – 400 l/ha peittoasteiden keskiarvot. Kuvasta voidaan havaita, että lehdyköiden ala- ja yläpintojen peittoasteet ovat pienemmät kuin paperin peittoasteet. Lehdyköiden yläpinnan peittoasteet näyttävät seuraavan lähes lineaarisesti paperin peittoastetta nestemäärillä. Sama ilmiö on havaittavissa myös paperin ja lehdykän alapinnan välisillä peittoasteilla, vaikkakin lehdykän peittoasteet eivät seuraa aivan yhtä lineaarisesti paperin peittoastetta. Paperin peittoaste laskee lähes lineaarisesti ruiskutusnesteen pienetessä.

Ylä-/alapuolipareja verrattaessa paperien peittoasteet olivat samat, mutta lehdykän ala- ja yläpinnan peittoasteet eivät. Nestemäärillä 100 ja 200 l/ha lehdykän alapinnan peittoasteet olivat pienemmät kuin yläpinnan. Nestemäärillä 300 ja 400 l/ha peittoasteet käyttäytyivät päinvastoin, sillä lehdykän yläpinnan peittoaste oli alapinnan peittoastetta pienempi. Kuvasta 36 voi myös havaita, että peittoaste lehdykän ylä- ja alapinnalla ei seuraa paperilla olevaa peittoastetta lineaarisesti, kun nestemäärä on 400 l/ha. Tämä johtopäätös tukee luvussa 6.3.7 käsiteltyä asiaa. Tällöin todettiin, ettei tulkinta-alue vertailukokeessa 400 l/ha ollut kaikille kuville oikea. Joidenkin kuvien analysoinnissa tulkinta-aluetta olisi pitänyt suurentaa, jotta kaikki ruiskutusneste olisi saatu mukaan peittoasteeseen.



Kuva 36. Peittoasteet vesiherkällä paperilla ja perunan lehdykän pinnalla nestemäärillä 100 – 400 l/ha. (VHP = vesiherkkäpaperi)
 Figure 36. Coverage areas on the water-sensitive papers and potatoes leaves when spray rate was 100 – 400 l/ha. (VHP = water-sensitive paper)

Peittoaste-erot johtuivat todennäköisesti lehdyköiden ala- ja yläpinnan rakenteellisesta erosta. Lehdykän alapinta on huomattavasti epätasaisempi kuin yläpinta. Alapinnalla lehtisuonten kohta oli korkeampi kuin muu lehdykän osa. Lehdykän yläpinnalle lehtisuonten kohdalle vastaavasti muodostuu painaumia, mutta ne eivät aiheuta suurta epätasaisuutta yläpinnalle. Vertailukoikeita 300 ja 400 l/ha analysoitaessa havaittiin, että lehtisuonet tulivat peittoasteeseen mukaan. Kuvassa 37 on kuvankaappauksen avulla otettu otos vertailukoikeen 300 l/ha analyysivaiheesta. Analyysiohjelmassa oli työkalu, jolla peittoastealue saatiin muutetuksi punaiseksi. Näin kuvien peittoasteiden vertailu oli helpompaa. Vasemmanpuoleisessa kuvassa lehtisuonet muodostivat suuremman osan peittoasteesta kuin oikeanpuoleisessa kuvassa (kuva 37). Lehdykän alapinnan peittoaste oli noin 59 % ja yläpinnan 44 %. Verrattaessa pisaroiden jakautumista lehdykän ja paperin pinnalla lehdykälle muodostui alueita, jotka olivat lehtisuonten muotoisia. Vastaavasti paperilla alueet olivat epämääräisiä pisaramuodostelmia, jotka levittyivät tasaisesti sen pinnalle. Koska ruiskutusneste jakautuu alunperin lehdykälle samoin kuin paperille, näyttää siltä, että fluoresoiva ruiskutusneste imeytyi lehdykän pinnalta nopeasti sen sisälle ja kulkeutui solukkoa pitkin lehtisuoniin. Johtumista voi tapahtua myös ilmarakojen kautta. Vaikka lehtisuonten pinnalla ei ole ruiskutusnestettä, lehtisuonessa oleva fluoresoiva neste loistaa solukelmujen läpi, jolloin ne tulevat kuvauksessa voimakkaasti esille lehdykän muusta osasta.



Kuva 37. Peittoaste lehdykän ala- ja yläpinnalla. Lehtisuonten kohdat ovat fluoresoivan ruiskutusnesteen kyllästämät. Ne näkyvät kuvissa punaisina. *Figure 37. Coverage area on the lower and upper side of a potato leaf. Main veins are saturated with the fluorescent liquid. Consequently, the veins are shown as solid red areas.*

Vastaavaa tutkimusta, jossa verrataan perunan lehdykällä ja vesiherkällä paperilla olevaa peittoastetta, ei kirjallisuudesta löytynyt. Todennäköisesti kuitenkin kasvinsuojeluaineiden valmistajat ovat tehneet kasveille peittoasteita koskevia kokeita, mutta tulokset eivät ole saatavissa. Tässä saatuja vesiherkän paperin peittoasteita onkin verrattava muihin tutkimuksiin, joissa vesiherkkä paperi on ollut koejäsenenä.

Jernin (1992) tekemässä pro gradu -tutkimuksessa käytettiin vastaavaa ruiskutusnestettä kuin tässä tutkimuksessa. Hän käytti vain kahta nestemäärää, 75 l/ha ja 150 l/ha. Nestemäärällä 75 l/ha ruiskutusnesteen peittoaste vesiherkän paperin pinnalla oli noin 27 % ja nestemäärällä 150 l/ha noin 42 %. Hänen 150 l/ha:n vesimäärällä saamansa peittoasteet olivat lähes samat kuin tässä tutkimuksessa. 27%:n peittoaste kuitenkin saavutettiin tässä tutkimuksessa vasta 100 l/ha:n vesimäärällä. Koska tulkinta-alue 0 - 120 saattoi olla hieman liian pieni (ks. ed. luku 6.3.5), voidaan olettaa, että se pienensi tulokseksi saatua peittoastetta hiukan nestemäärällä 100 l/ha. Tämä johtopäätös voidaan tehdä, koska analysointivaihe oli tässä tutkimuksessa uudemman tekniikan ansiosta tarkempi kuin Jernin tekemässä.

Jernin tutkimuksessa yhtenä koejäsenenä oli ohran lehdykkä. Ohran ja perunan lehdykän rakenne poikkeavat toisistaan, joten niiden pinnalla olevaa peittoastetta ei voi verrata keskenään. Kuitenkin molemmissa tutkimuksissa oli sama ilmiö koejäsenten välillä: lehdyköiden peittoasteet olivat pienemmät kuin paperin.

Päätutkimuksessa yhtenä koejäsenenä oli viuhkasuutin, jolla ruiskutusnestemäärä oli 400 l/ha. Peittoasteiden vertaamista päätutkimuksen peittoasteisiin ei kuitenkaan voida suoraan tehdä, koska pellolla peittoasteiden hajonta vesiherkillä papereilla oli suuri. Tämä johtui siitä, että paperit, jotka oli asennettu

kasvuston lehdyköihin (ks. ed. luku 4.3.1, kuva 13), eivät olleet vaakatasossa. Jossakin tapauksessa paperi saattoi olla lähes 50 asteen kulmassa vaakatasoon verrattuna, jolloin peittoaste oli luonnollisesti pienempi kuin vaakatasossa olevilla papereilla. Hajontaa lisäsi myös tuulen aiheuttama lehdyköiden heilunta, jolloin lehdykän alapinta saattoi ruiskutushetkellä olla ylöspäin ja yläpintaa kuvaavan paperin peittoaste saattoi pahimmassa tapauksessa jäädä pienemmäksi kuin 1 %. Toisaalta vertaamista puoltaa se, että päätutkimuksen paperit kuvattiin ja analysoitiin samalla menetelmällä kuin tässä tutkimuksessa. Samalla saatiin esimerkinomainen käsitys oikeasta tilanteesta kasvuston sisällä ruiskutuksen aikana.

Kenttäkokeissa tehtyjen havaintojen perusteella peittoaste oli suurin, kun paperi oli vaakatasossa. Näiden papereiden peittoasteita voidaankin paremmin verrata tämän laboratoriotutkimuksen peittoasteisiin. Kuitenkin on otettava huomioon se, että pääkokeen kenttäkokeiden koejärjestely sisälsi huomattavasti suurempia epävarmuustekijöitä (mm. tuuli ja puomin heilunta) kuin tämä osatutkimus. Päätutkimuksen kenttäkokeessa kesällä 1999 yhtenä perunalajikkeena oli Van Gogh. Kokeen 4 ja kerranteen 4 papereiden peittoasteet kasvuston yläosan lehdyköiden yläpinnalla vaihtelivat välillä 18 – 65 %, kun peittoasteiden keskiarvon oli noin 47 %. Samassa kokeessa kerranteessa 1 suurin peittoaste oli noin 68 %, kerranteessa 2 noin 60 % ja kerranteessa 3 noin 63 %. Päätutkimuksen peittoasteet olivat hieman pienemmät. Tämä johtui todennäköisesti tuulen aiheuttamasta pisaroiden tuulikulkeumasta, jolloin osa nesteestä ajautui pois ennen tavoiteltua kohdetta.

Anken ja Irla (2000) ovat tutkineet perunan ruiskutustekniikkaa vuodesta 1997 alkaen. Yhtenä tutkimuksen kohteena heillä on ollut ruiskutusnesteiden tunkeutumisen selvittäminen eri ruiskutustekniikoilla. Kokeissaan he sekoittivat ruiskutusnesteeseen Novartiksen Helios SC 500 -fluoresoivaa ainetta, joka on luultavasti vastaava fluoresoiva aine kuin Tinopal. Vuoden 1998 kenttäkokeissa yhtenä ruiskutustekniikkana heillä oli tavanomainen viuhkasuutin (Hardi 4110-16) ja nestemääränä 400 l/ha. Lehdykän yläpinnalta analysoitu peittoaste oli noin 40 %, kun kasvusto oli täysikasvuinen. Vertailukokeen 400 l/ha lehdykän yläpinnan peittoasteen keskiarvo 41 % ei poikkeaisi heidän peittoasteestaan. Anken ja Irlan (2000) tutkimuksessa peittoaste oli lehdyköiden pinnalta mitattujen peittoasteiden keskiarvo. Voidaan olettaa, että peittoasteet käyttäytyivät samoin kuin tässä tutkimuksessa päätutkimuksen peittoasteet paperilla. Tämä kylläkin on vain oletus, koska heidän raportissaan ei ole tietoa peittoasteiden keskihajonnoista.

6.3.9 Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän ala- ja yläpinnan väliset matemaattiset mallit

Luvussa 6 ”Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän vetailu” asetettiin tämän tutkimuksen hypoteesit. Regressioanalyysin avulla saataisiin testattua, onko vesiherkän paperin ja lehdykän ala- ja yläpintojen välillä lineaarista riippuvuutta. Jos muuttujien välillä olisi riippuvuutta, regressiosuoran kulmakerroin poikkeaisi nolasta. Tutkimuksen aineistoon sovitettiin kaksi lineaarista mallia (mallit A ja B).

Malli A: Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän yläpinnan peittoasteiden välille

Malli B: Vesiherkän paperin ja perunan lehdykän alapinnan peittoasteiden välille

Malleissa selittävä muuttuja on vesiherkän paperin peittoaste ja selitettävä eli vastemuuttuja on lehdykän ylä- ja alapinnan peittoaste. Regressioanalyysin perusmalli (I tyyppi) sopii tilanteisiin, joissa riippumattoman (selittävän) muuttujan arvot ovat tutkijan valitsemissa. Tässä tutkimuksessa selittävänä muuttujana valittiin eri nestemäärien avulla. Kuitenkin papereiden peittoasteiden välille muodostui satunnaisvaihtelua, joten selittävän muuttujan arvot eivät olleet tutkijan valitsemissa. Tästä syystä on käytettävä II tyypin regressiomallia, jossa muuttujien riippuvuuden intensiteettiä kuvataan korrelaatiokerroimen avulla. (Ranta ym. 1997)

Rannan ym. (1997) mukaan riippuvuuden voimakkuutta voidaan tarkastella myös esittämällä havaintoaineiston pisteet (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, n$ sirontakuviona. Jos sirontakuviossa ei näy litistymistä mihinkään suuntaan, vaan aineisto sijoittuu isotrooppisesti keskiarvopisteen (μ_x, μ_y) ympärille, muuttujien välinen riippuvuus eli korrelaatio on nolla. Tällöin aineiston ympärille voidaan piirtää pyöreä ympyrä. Jos korrelaatiokerroin poikkeaa nolasta, litistyvät ympyrät ellipseiksi, joiden pääakseli määrää suoran. Silloin myös sirontakuviossa oleva aineisto keskittyy suoran ympärille. Tämä suora ei ole kumpikaan mahdollisista muuttujien X ja Y välisistä regressiosuorista.

Regressioanalyysit tehtiin vertailukokeiden peittoasteille siten, että mallissa A oli mukana nestemäärien 100 – 400 l/ha paperin ja lehdykän yläpinnan peittoasteet ja mallissa B vastaavasti paperin ja lehdykän alapinnan peittoasteet. Molemmissa malleissa oli yhteensä 200 peittoasteparin arvot (Liite 5a ja 5b). Regressioanalyyseistä malleihin saatiin suoran kulmakertoimet β ja leikkauspisteet α y-akselille. Analyysit tehtiin Microsoft Excel ja SAS 8.1 ohjelmien avulla.

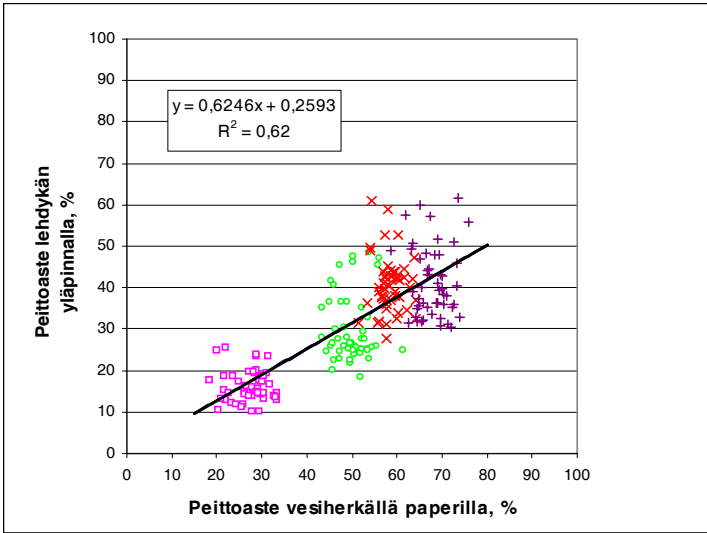
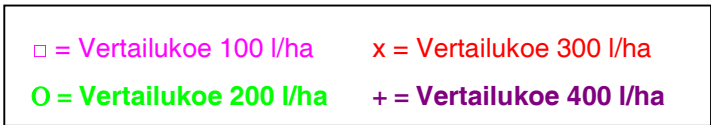
Liitteessä (Liite 4, tulostus A) on regressioanalyysin tulostus, joka on tehty paperi / lehdykän yläpinta -parien peittoasteille. Analyysin perusteella saatiin malliin A kulmakerroin $\beta = 0,6246$, leikkauspiste y-akselille $\alpha = 0,2593$

(kuva 38). Mallin selitysaste on 0,6207, eli muodostetussa mallissa A noin 62 % lehdykän yläpinnan peittoasteiden vaihtelusta pystytään selittämään paperin peittoasteiden vaihtelulla.

Liitteessä (Liite 4, tulostus B) on regressioanalyysin tulostus, joka tehtiin paperi / lehdykän alapinta -parien peittoasteille. Tulostuksen mukaan kulma-kerroin $\beta = 0,7747$, leikkauspiste y-akselille $\alpha = -9,0085$ (kuva 39). Mallin B selitysaste on 0,6435, eli muodostetussa mallissa B noin 64 % lehdykän alapinnan peittoasteiden vaihtelusta näytetään pystyttävän selittämään lineaarinen mallin mukaisilla paperin peittoasteiden vaihteluilla.

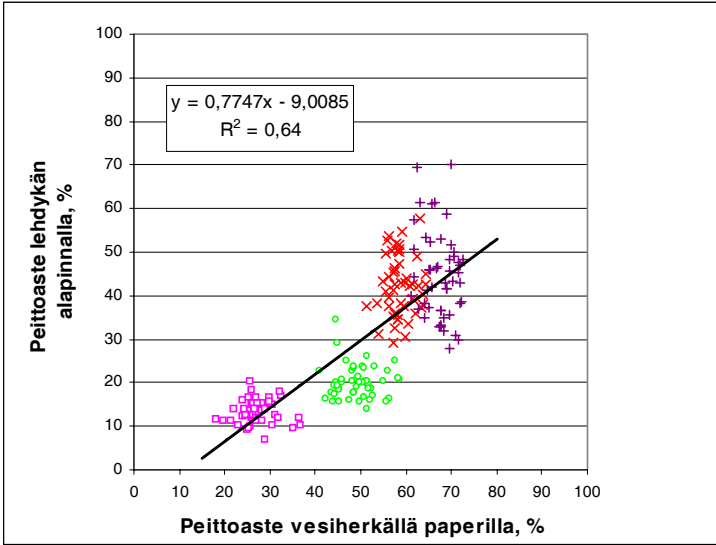
Kuviin 38 ja 39 on mallien lisäksi sijoitettu liitteiden (Liite 5a ja 5b) arvot sirontakuviona, joissa x_i = paperin peittoaste ja y_i = lehdykän peittoaste ($i = 1 - 200$).

Vertailukoe 100 l/ha:n vesimäärällä erottuu molemmissa kuvissa (kuvat 38 ja 39) selvemmin, peittoaste paperilla on silloin noin 25 %. Sirontakuvion (kuva 38) mukaan aineisto näyttäisi seuraavan lineaarisesti muodostettua mallia ja hajonta lisääntyisi peittoasteen kasvaessa. Alapinnan mallissa sen sijaan on havaittavissa pientä epälineaarisuutta, koska havaittu lehdykän alapinnan peittoaste vertailukokeessa 200 l/ha oli hieman liian alhainen ja kokeessa 300 l/ha vastaavasti liian suuri. Tämä saattoi johtua hieman väärästä tulkinta-alueesta. Myös tässä aineistossa hajonta kasvaa, kun peittoaste suurenee.



Kuva 38. Malli A vesiherkän paperin ja lehdykän yläpinnan peittoasteiden välille.

Figure 38. The model A between coverage area of the water-sensitive paper and upper side surface of the leaf. (Vertailukoe = comparison test)



Kuva 39. Malli B vesiherkän paperin ja lehdykän alapinnan peittoasteiden välille.

Figure 39. The model B between coverage area of the water-sensitive paper and lower side surface of the leaf. (Vertailukoe = comparison test)

Tilastollisen testauksen mukaan nollahypoteesi mallissa A (vesiherkän paperin ja perunan lehdykän yläpinnan peittoasteiden välillä ei ole lineaarista riippuvuutta) voidaan hylätä, koska regressiosuoran kulmakerroin $\beta = 0,6246$ poikkeaa selvästi nollassa ja kertoimen hyväksyntään liittyy erittäin pieni riski ($1,49E-49$). Tällöin vastahypoteesi (vesiherkän paperin ja perunan lehdykän yläpinnan peittoasteiden välillä on lineaarinen riippuvuus) tulee voimaan. Luottamusväli kertoimelle β on $(0,5562 - 0,6930)$. Vakiotekijä α poikkeaa nollassa $0,2593 \%$, kun peittoaste paperilla on nolla. Luottamusväli α :lla on $(-3,3804 - 3,8989)$. Tilastollisen testauksen perusteella tekijä α ei ole mallissa A merkitsevä, koska P-arvo on $0,8884$. Myös todellisuuden mukaan tekijä pitäisi hylätä, koska ruiskuttamattoman paperin ja lehdykän peittoasteiden pitäisi on nolla. Tästä huolimatta vakiotekijää ei mallista poistettu, koska se tarkoittaa paperin ja lehdykän välistä riippuvuutta.

Myös mallissa B tilastollisen testauksen mukaan nollahypoteesi voidaan hylätä, koska regressiosuoran kulmakerroin $\beta = 0,7747$ poikkeaa selvästi nollassa ja kertoimen hyväksyntään liittyvä riski ($3,15E-46$) on erittäin pieni. Siksi vastahypoteesi (vesiherkän paperin ja lehdykän yläpinnan peittoasteiden välillä on lineaarinen riippuvuus) tulee voimaan. Luottamusväli kertoimelle β on $(0,6939 - 0,8555)$. Mallissa B vakiotekijä α poikkeaa nollassa huomattavasti enemmän kuin mallissa A. Sen arvo on $-9,0085 \%$ kun peittoaste paperilla on nolla. Myös luottamusväli $(-13,2858 - (-4,7312))$ α :lla on suurempi kuin mallissa A. Tilastollisen testauksen perusteella tekijä α on mallissa B merkitsevä, koska P-arvo on erittäin pieni ($4,87E-05$).

Saaduista malleista malli A näyttäisi loogiselta, koska vakiotekijä α ei poikkea arvosta 0 kovinkaan paljoa. Mallissa B tekijä α poikkeaa huomattavasti nollassa, jonka lisäksi se on negatiivinen. Jos lehdykän peittoastetta mallinnetaan paperin peittoasteen avulla, joka on lähellä nollassa, tulos on väärä. Tämän takia mallia B voi käyttää vain paperin peittoastealueella, jonka avulla mallit on luotu. Myöskään mallia A ei kannata käyttää mallinnettavan alueen ulkopuolella, vaikkakin alueen ulkopuolella lehdykän peittoasteen vääristyminen on todennäköisesti pienempää kuin mallilla B. Aiheeseen palataan tarkemmin seuraavassa luvussa.

7 Tulosten tarkastelu

7.1 Vertailukokeen ruiskutusparametrien vaikutus tuloksiin

Tutkittaessa eri nestemäärien peittoasteita paperin ja lehdykän pinnalla oli varmistettava, että ruiskutusneste oli jokaisella ajokerralla samanlainen. Siksi liuos valmistettiin suuressa saavissa sekoittaen sitä niin kauan, että fluoresoiva aine oli liuennut veteen. Liuos kaadettiin ruiskun säiliöön juuri ennen kuin varsinainen koe tehtiin. Näin varmistettiin, ettei fluoresoiva aine saonnut säiliön pohjalle. Saostumista estettiin myös asettamalla ruiskun nesteensekoitustoiminta päälle. Kokeiden jälkeen ruisku puhdistettiin huolellisesti kuumalla vedellä. Koska fluoresoiva aine liuotettiin huolellisesti ja ruiskutusnesteeseen sekoitus oli koko kokeen aikana päällä, ei sakkaa todennäköisesti muodostunut kokeiden aikana. Näin ollen ruiskutusnesteeseen voidaan olettaa olleen jokaisella ajokerralla samanlainen.

Ruiskutuspainetta tarkistettiin puomin päästä juuri ennen varsinaista ajoa. Painemittari oli kalibroitu laboratoriossa ja paine pystyttiin tarkistamaan helposti mittarin avulla, koska sen viisari oli lähes vakaa. Ajonopeus kalibroitiin asfaltoidulla koeradalla, joka vastasi hallin lattiamateriaalia. Nopeuden asettaminen tuotti hieman epävarmuutta, koska MF 35X -traktorin kierroslukumittari ei ollut silminnähtävän vakaa. Siksi kalibroinnissa kierrosluku asetettiin kolmeen kertaan ja matkaan menevä aika mitattiin. Toistojen kokonaisaika oli sama (ero alle 0,5 sekuntia). Tämän perusteella kierrosluvun säätö traktorin oman kierroslukumittarin avulla oli tarpeeksi tarkkaa.

Koska ruiskutusparametrit kalibroitiin, voidaan olla varmoja siitä, että nestemäärät olivat eri ajokerroilla oikein. Mitattujen suutinten levitystasaisuudet olivat hyvät. Levitystasaisuuden vaihtelu on kuitenkin teoriassa mahdollista, joten koejäsenet ajettiin tarkasti samalla puomin kohdalla.

Vertailukokeissa päätettiin käyttää samoja suuttimia kuin päätutkimuksen kokeissa pellolla ja ajaa normaalilla ruiskutusnopeudella. Vertailukokeet olisi teoriassa voitu tehdä myös saman kokoisilla suuttimilla ja vakio suutinpainella. Eri nestemäärät olisi toteutettu ajonopeuden avulla. Tällä menetelmällä koejäsenet olisi saatu käsitellyiksi samalla pisarakoolla. Ongelmaksi olisi kuitenkin muodostunut tarvittavat normaalista ruiskutustyöstä poikkeavat ajonopeudet. Jos olisi käytetty suutinta, joka tuottaa normaalinopeudella 300 l/ha, olisi nestemäärälle 100 l/ha ajonopeus pitänyt nostaa liian suureksi (kolminkertaiseksi). Jos taas kokeisiin oltaisiin valittu pienin suutin (normaalisti 100 l/ha), olisi 400 l/ha:n annos edellyttänyt liian pientä (25% normaalista) ajonopeutta.

Vaikka pisarakoko vaihteli eri suutinten välillä, paperin peittoaste nousi lähes lineaarisesti nestemäärän kasvaessa. Mallissa verrataan peittoasteita paperilla ja lehdyköiden pinnoilla. Jos ruiskutusnestemäärä olisi vertailukokeessa 300 l/ha ollut esim. 290 l/ha väärästä ajonopeudesta johtuen, olisi peittoaste pape-reilla ja lehdyköillä ollut silti keskenään vertailtavissa. Tässä tapauksessa peittoaste molemmilla koejäsenillä olisi ollut vain hieman pienempi. Paperin ja lehdykän välisiä peittoasteita kannattaakin verrata muodostetun mallin eikä vertailukokeiden peittoasteiden perusteella. Näin saadaan minimoiduksi mahdollinen virhe, joka on muodostunut nestemäärän vaihtelusta.

7.2 Perunan lehdyköiden pinnan epätasaisuuden aiheuttama epävarmuus tutkimustuloksiin

Perunan lehdykät ovat biologisina kohteina hyvin vaihtelevia ja yksilöllisiä. Tästä syystä yksittäisten vertailukokeiden sisälle pyrittiin valitsemaan keskenään samankokoisia ja ikäisiä perunan lehdyköitä, jotta hajonta kerranteiden välillä olisi ollut mahdollisimman vähäinen. Valinnasta huolimatta lehdyköiden pinnalta analysoitujen peittoasteiden välinen hajonta oli selvästi suurempi kuin papereiden peittoasteiden välinen hajonta. Erityisesti lehdykän alapinnalla olevat lehtisuonet näyttivät aiheuttavan tuloksiin epävarmuutta. Esimerkiksi nestemäärällä 300 l/ha lehdykän alapinnan peittoaste näytti muodostuvan liian suureksi, koska lehtisuonet tulivat mukaan peittoasteeseen. Toisaalta analysoitavien kuvien perusteella lehtisuonet kyllästyivät ruiskutusnestestä siten, että ne imivät nestettä ympäristöstä ja siksi ne tulivat kokonaisuudessaan peittoasteeseen mukaan.

Koska vertailukokeisiin kulunut aika oli noin kaksi kuukautta, lehdykät olivat eri ikäisistä kasveista ja lehden rakenne muuttui ajan funktiona. Myös tämä saattoi aiheuttaa muodostettuihin malleihin epävarmuutta. Ongelman minimoimiseksi eri aikoina tehtyihin vertailukokeisiin pyrittiin valitsemaan mahdollisimman samankokoisia lehdyköitä.

7.3 Kuvausjärjestelmän toiminta

Kokeiden alussa määriteltiin, että Olympus C-1400 L -digitaalikameran ominaisuudet riittivät tavoitteena olleeseen tarkkuuteen. Olympus oli vuodelta 1997. Tekniikan nopean kehityksen myötä markkinoilta saatavien kameroiden ominaisuudet ja tarkkuus paranivat tutkimuksen aikana nopeasti. Jos kuvausjärjestelmä pitäisi kehittää uudelleen, saisi tarvittavan tarkkuuden omaavan digitaalikameran paljon edullisemmin.

Tutkimuksen alun jälkeen digitaalikameroiden kuvan laatua on pystytty parantamaan mm. kehittämällä kameroiden herkkyyttä, parantamalla optiikan laatua sekä luomalla pakkausmuotoja, jotka eivät aiheuttaisi kuvatiedostoon

virheitä. Kameroiden erottelukyky on kasvanut voimakkaasti, kuvassa voi olla yli kolme miljoonaa pikseliä. Pikselien määrä ei ole kuitenkaan ainut kuvan laatuun vaikuttava asia. Tarkkuutta tarvitaan silloin, kun kuva halutaan tulostaa suureksi tai kuvatiedosto analysoidaan. (Tomminen ja Metsämäki 2000). Parempaa resoluutiota voitaisiin tarvita jatkossa, mikäli kuvista haluttaisiin saada tarkemmin selville esimerkiksi paperille tai lehden pinnalle tulleiden kostuneiden alueiden muoto.

7.4 Kuvatiedostojen muokkaaminen

Tutkimuksessa havaittiin, että Olympus C-1400 L digitaalikamera valotti eri peittoasteiset paperit eri tavalla. Ongelman olisi todennäköisesti saanut poistetuksi, jos kameran valotusautomaatiikan olisi pystynyt muuttamaan manuaaliseksi. Koska näin ei kuitenkaan voinut menetellä, piti jokainen kuvatiedosto käsitellä kuvankäsittelyohjelmalla. Näin kameran aiheuttama virhe saatiin poistetuksi kuvatiedostoista. Myös lehdyköiden pinnalta otetut kuvat piti muokata, koska fluoresoiva aine ei erottunut riittävän selkeästi. Jos editointia ei olisi tehty, olisi tulkinta-alueen määrittäminen ollut huomattavasti vaikeampaa. Lisäksi voitiin olettaa, että kamera valotti kuvat eri tavalla myös lehdyköiden kuvauksessa.

7.5 Analyysiohjelman parametrien vaikutus tutkimustuloksiin

Ongelmallisin alue oli analyysiohjelman tulkinta-alueen valinta. Vesiherkän paperin analysointiin valittu tulkinta-alue oli helpommin määriteltävissä kuin lehdykän. Paperin pinta oli tasainen ja sen peittoasteiden vaihtelu johtui ainoastaan ruiskutusnesteen epätasaisesta jakautumisesta. Tulkinta-alueella 0 – 120 osa pienemmistä pisaroista ja pisara-alueista jäi peittoasteista pois, koska ne eivät erottuneet riittävän selkeästi paperin pinnalta. Toisaalta peittoasteeseen tuli mukaan vaalenevaa aluetta pisaroiden tai pisaramuodostelmien reunoilta, koska nesteraja pisaroilla ei ollut terävä. Suurten pisaroiden leviäminen paperilla kompensoi pienten pisaroiden puuttumista ja tulosten mukaan mitattu peittoaste paperilla on suurempi kuin todellinen peittoaste lehdykällä. Pisanan käyttäytymistä paperin ja lehdykän pinnalla pohdittiin aikaisemmin (luvussa 4.3.1 Pisanan käyttäytyminen vesihäerkän paperin ja perunan lehdykän pinnalla).

Jos vesihäerkkien paperien analysoinnissa olisi käytetty suurempaa tulkinta- aluetta, olisi mitattuun peittoasteeseen saatu pienimmät pisarat mukaan. Toisaalta mitattu peittoaste olisi muodostunut liian suureksi verrattuna todellisuuteen nestemäärillä 300 – 400 l/ha. Jos tulkinta-alue olisi ollut esim. 0 – 140 nestemäärällä 400 l/ha, peittoaste olisi ollut noin 90 %, jonka jopa silmämääräisesti voi todeta liian suureksi.

Lehdyköiden analysointi oli huomattavasti hankalampaa, koska lehdykän pinta ei ollut tasainen. Nestemäärällä 40 l/ha tulkinta-alueita piti pienentää, koska lehdykän pinnan ja pisaroiden välinen kontrastiero digitaalikuvassa oli pieni ja lehdykän pinta näytti kauttaaltaan harmaalta (ks. ed. kuva 35). Jos tulkinta-alueita ei olisi pienennetty, olisi peittoasteeseen tullut mukaan lehdykän ruiskuttamatonta aluetta.

Lehdykät, jotka ruiskutettiin nestemäärillä 100 - 400 l/ha, analysoitiin tulkinta-alueella 0 - 210. Epävarmuutta tuloksiin kuitenkin aiheutti se, että osalla lehdykän alapinnalta otetuista kuvista peittoasteeseen tuli mukaan lehtisuonten alueita, kun nestemäärä oli 300 l/ha. Nestemäärällä 400 l/ha tulkinta-alueita olisi joillakin kuvilla pitänyt suurentaa, koska pisaroiden ja lehdykän pinnan välillä ei ollut selkeää värieroa. Tätä käsitystä tukee myös kuva 36, jossa lehdyköiden peittoaste ei kasva samassa suhteessa paperien peittoasteisiin verrattuna, kun nestemäärä kasvaa 400 l/ha. Myös päätutkimuksen koikeista otetun kuvan 40 mukaan lehdykän pinta on lähes kauttaaltaan ruiskutusnesteen kostuttama ja se on kulkeutunut lehtisuonten painaumiin sekä lehdykän kärkeen. Kuva 40 on kokeesta, jossa perunakasvusto on ruiskutettu viuhkasuutintekniikalla nestemäärän ollessa 400 l/ha.



Kuva 40. Ruiskutusneste lehdykän yläpinnalla. Kuva kesän 2000 pääkokeesta.
Figure 40. Spray liquid on a potato leaf.

7.6 Tulosten yleistettävyys

Perunan ruiskutustuloksen analysointiin kehitetty digitaalikuvausmenetelmä sopisi myös muihin tutkimuksiin. Vesiherkkä paperi on helppo sijoittaa myös esimerkiksi vehnäkasvustoon. Ruiskutuksen jälkeen kerätyistä papereista voisi kehitetyllä menetelmällä analysoida ruiskutusnesteen peittoasteet. Tarkkaa yhteyttä vehnän lehdyköiden ja paperin välille ei tämän tutkimuksen avulla luonnollisesti pysty luomaan. Voidaan kuitenkin olettaa, vehnän pinnan ominaisuuksia tuntemattakin, että vehnällä peittoaste olisi pienempi kuin vesiherkällä paperilla. Vastaavasti vehnän lehdykkä on tasaisempi kuin perunan, joten ruiskutettaessa samalla nestemäärällä vehnän lehdykän peittoaste saattaa olla hieman suurempi kuin perunan lehdykän.

7.7 Johtopäätökset ja kehittämistarpeet

Osatutkimuksen tavoitteen asetti päätutkimus, jossa tarvittiin tehokas menetelmä, jolla vesiherkistä papereista analysoida ruiskutusnesteen peittoaste. Kuvausjärjestelmän keskeisin osa on Olympus C-1400 L -digitaalikamera. Kameran valotusautomaatiikka aiheutti analyysivaiheeseen lisätyövaiheen, kun vesiherkistä papereista otettujen kuvien valoisuus vaihteli. Tämä ongelma poistettiin kuvatiedostojen editoinnilla. Muutoin kuvausjärjestelmä oli moitteeton ja sen avulla pystyttiin kuvaamaan noin 300 – 400 kuvaa normaalin työpäivän aikana, joten tältä osin tutkimuksen tavoite tuli täytetyksi. Nykyisillä digitaalikameroilla on mahdollista ottaa suuremman resoluution omaavia kuvia, ja kuvien purkaminen tietokoneen muistiin on kehittynyt nopeammaksi. Kameraa pystyttiin ohjaamaan myös tietokoneen avulla, joten lehdyköiden kuvaus onnistui turvallisesti ilman liiallista UV-säteilyaltistusta ja vakaasti ilman laukaisutärähdystä. Kuvattavat paperit ja lehdykät ruiskutettiin traktorin nostolaitteeseen kiinnitettävän koeruuturuiskun avulla. Koska ruiskutusparametrit kalibroitiin tarkoin, vertailukokeiden nestemäärät olivat tavoitteiden mukaiset. Jos kokeellista osuutta haluttaisiin helpottaa, olisi ruiskutuksiin kehitettävä ruiskutuslaite, jolla olisi mahdollisuus ruiskuttaa nestemääriä koko tarvittavalla skaalalla 40 – 400 l/ha, eri suuttimilla ja paineilla.

Analyysiohjelman tulkinta-alue ei voinut olla sama papereille ja lehdyköille, koska niiden pinnat olivat erilaisia. Lehdyköiden alapinnoilta analysoidut peittoasteet sisälsivät enemmän epävarmuutta kuin yläpintojen peittoasteet, koska alapinta on huomattavasti epätasaisempi kuin yläpinta.

Tutkimuksen aikana pohdittiin, olisiko lehdyköiden tulkinta-aluetta pitänyt muuttaa eri nestemäärillä. Jos näin olisi tehty, vertailukokeiden peittoasteiden vertaaminen ja mallin luominen ei olisi ollut mielekäästä, koska vakioparametri olisi puuttunut malleista. Siksi myös ala- ja yläpinnat analysoitiin samalla tulkinta-alueella. Poikkeuksena olivat nestemäärällä 40 l/ha ruiskutettujen lehdyköiden peittoasteet, jotka analysoitiin tulkinta-alueella 0 – 190.

Analyysiohjelman avulla on mahdollista analysoida noin 300 kuvatiedostoa 7 tunnin (työpäivä) aikana. Uusissa ohjelmissa todennäköisesti on ominaisuuksia, joiden avulla pystyisi analysointia helpottamaan. Myös tässä työssä käytetyssä analyysiohjelmassa oli mahdollisuus hyödyntää esim. makroja.

Muodostetut mallit kuvaavat hyvin lehdykän peittoasteita vesiherkän paperin peittoastealueella 15 – 75 %. Mallin A selitysaste ($R^2 = 0,62$) on hieman pienempi kuin mallin B ($R^2 = 0,64$). Yhteisenä tekijänä kummassakin mallissa on se, että lehdykän peittoaste sekä ala- että yläpinnalla on pienempi kuin vesiherkällä paperilla.

Tutkimuksen aikana havaittiin, ettei peittoasteen analysointi lehdykältä ole kovinkaan helppoa. Eri kasveilla lehdyköiden pinnan rakenne poikkeaa toi-

sistaan. Voisi olettaa, että eri kasvien lehdyköillä peittoaste on erilainen samalla ruiskutusnestemäärällä. Jos lehdykän pinta on tasainen ja vahakerroksen peittämä, saattaa osa nesteestä vieriä pois lehdykän pinnalta. Tasaiselta lehdykän pinnalta ruiskutusnesteen peittoaste on helpompi analysoida, koska digitaalikameran tarkennusautomaatiikka toimii paremmin tasaista pintaa kuvattaessa.

Tulevaisuudessa tulisi kehittää kalibrointia varten menetelmä, jolla pystytään tekemään haluttu peittoaste lehdykän tai vesiherkän paperin pinnalle. Tunnetun peittoasteen avulla voitaisiin määrittää analyysiohjelman parametrit luotettavasti, eikä tarvitsisi turvautua ainoastaan silmämääräiseen arviointiin.

Tutkimuksen aikana havaittiin tarve perustutkimukselle, jossa kasvien lehdykälle luotaisiin tarkasti haluttu peittoaste, esimerkiksi pipetoimalla kasvinsuojeluainetta tietyn kokoisina pisaroina. Kasvin lehdykkä altistettaisiin kasvi-taudille, jolloin esimerkiksi mikroskoopin avulla pystyttäisiin toteamaan, kuinka hyvin kasvinsuojelu oli onnistunut. Tämä olisi erittäin tärkeää, sillä ruiskutustekniikkaa ei pystytä kehittämään, jos tavoitetta koskeva perustutkimus on puutteellista.

Tämä tutkimus antaa hyvän lähtökohdan jatkotutkimukselle, jossa kuvaus- ja analysointimenetelmä päivitetään. Tarkemmalla menetelmällä pystytään yhä luotettavammin analysimaan peittoasteet paperilta ja erityisesti lehdykältä. Mielenkiintoista olisikin tutkia, kuinka ruiskutusneste todellisuudessa käyttäytyy erilaisten lehdyköiden pinnalla. Jo tämän tutkimuksen aikana havaittiin perunan lehdykän lehtisuonten kyllästyvän ruiskutusnesteellä, kun nestemäärä oli 300 ja 400 l/ha. Olisiko kyseessä tilanne, jossa lehdykän alapinnalla olevat ilmaraot imivät ruiskutusnestettä ilmakehään, joista neste kulkeutui lehtisuoniin? Osasyys tähän varmasti oli se, että lehdykät oli katkaistu varresta, jolloin lehdykän oli saatava nestettä sen pinnalta.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin vesiherkän paperin ja perunan lehdyköiden peittoasteiden analysointiin digitaalisen menetelmän avulla. Kehitettyä menetelmää voidaan soveltaa muille kasveille kuten vehnälle ja sitä kannattaisi hyödyntää myös tulevaisuuden ruiskutustekniikkaa koskevat tutkimukset tarvitsevat lisää perustietoa kasvinsuojeluaineiden peittoasteista, pisarakoosta ja annosmääristä. Kasvinsuojeluaineiden valmistajat ovat todennäköisesti edellä mainittuja asioita tutkineet, mutta taloudellisen kilpailun takia näitä tutkimuksia ei ole julkaistu. Ruiskutustekniikasta voidaan kehittää ympäristöystävällisempi vasta silloin, kun tiedetään tavoiteltu peittoaste ja pisarakoko.

8 Kirjallisuus

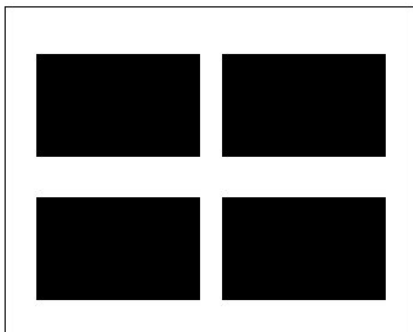
- Anken, T. & Irla, E. 2000. Spritztechnik gegen krautfäule in Kartoffeln. FAT-Berichte nr. 548. Tänikon, Switzerland. 8 s.
- Alness, K. & Hagenval, H. 1994. Dos-respons i forskning och praktik. 35:e svenska växtskyddskonferensen. Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala. 201 – 212.
- Baxes, G. A. 1994. Digital image processing: Principles and applications. New York, USA, John Wiley & Sons, Inc. 452 s.
- Ciba Specialty Chemicals. 2000. Switzerland. Viitattu: 18 May 2000. Saata-vissa internetistä: <http://www.cibasc.com>
- Clijmans, L., Ramon, H., Sas, P. & Swevers, J. 2000. Sprayer boom motion, Part 2: Validation of the model and effect of boom vibration on spray liquid deposition. Journal of agricultural engineering research. Vol 76. Number 2. s 121 – 128.
- Danfoil. 1999. Productions a/s. Denmark. 22 s.
- Data Translation. 1996. USA. Global lab image, User manual. 424 s.
- Derksen, R. C. & Jiang, C. 1995. Automated detection of fluorescent spray deposits with a computer vision system. Transactions of the ASAE 38: 1647 – 1653.
- Franz, E. 1993. Spray coverage analysis using a hand-held scanner. Transactions of the ASAE 36: 1271 – 1278.
- Gonzales, R. C. & Woods, R., E. 1992. Digital image processing. USA. Addison- Wesley Publishing Company, Inc. 716 s.
- Hagenvall, H. 1987. Bestsprutningsteknik i landbruket. Uppsala. Sveriges lantbruksuniversitet. 66 s.
- Hagenval, H. & Arvidsson, T. 1995. Tekniska möjligheter att minska risken för vindavdrift. 36:e svenska växtskyddskonferensen. Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala. 289 – 299.
- Hardi. 1999. International application technology course, June 13th to June 18th 1999. Taastrup. Denmark
- Jern, M. 1992. Metoder för kvalitativ analys av appliceringsresultatet. Helsingin yliopisto Maa- ja kotitalousteknologian laitos. Pro-Gradu tutkielma. 87 s.

- ISO 5682-3. 1996. Equipment for crop protection – Spraying equipment – Part 3. Geneva. International organization for standardization. 6 s.
- Karjalainen, E. 2000. Kuvapisteen pitkä taival. Kamera-lehti 8: 72 – 73.
- Kasvinsuojeluruiskujen kuntotestausohjeet. 1996. Kasvintuotannon tarkastuskeskus. Kirje 21.6.1996, Dnro 100/482/96
- Lavonen, A., Jern, M., Kemppi, E. & Yläoutinen, H. 1993. Ruiskutustekniikan kehittäminen kasvinsuojelussa. Helsinki. Helsingin yliopisto Maa ja kotitalousteknologian laitos. Maatalousteknologian julkaisuja 9. 144 s. ISBN 951-45-6348-4
- Lavonen, A., Suomi, P. & Haapala, H. 2000. Ruiskutustekniikan mahdollisuudet rutontorjunnan tehostamisessa. Teoksessa: Salo R. & Kurppa A. (toim.). Kohti huippulaatuista siemenperunaa projektista Siemenperunan laadunhallinnan erikoiskysymykset. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja sarja A 71. Jokioinen: MTT. s 33 – 39. ISBN 951-729-564-2
- Matthews, G. A. 1992. Pesticide application methods 2nd edn. London: Longman. 405 s. ISBN 0-582-40905-5
- Miinalainen, T. 2000. 4 miljoonaa pikseliä mullistaa kuvauksen!. Kamera-lehti 1: 74 – 75.
- Novartis. 1999. Water-sensitive paper for monitoring spray distribution 2nd Edition. Basle: Spraying systems Co. Switzerland. 16 s.
- Olympus. 2000. Frequently asked questions on digital photography. Viitattu 18 October 2000. Saatavissa internetistä:
http://www.finlandiakuva.fi/ind_camedia.html. 131 s.
- Paulsen, M. R. & McClure, W., F. 1986. Illumination for computer vision systems. Transactions of the ASAE 29: 1398 – 1404.
- Philips. 1999. Special fluorescent lamps. Blacklight blue.
- Pihlanko, J. 1998. Digitaalinen kuvankäsittely. Espoo. Suomen ATK-kustannus Oy. 158 s.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1997. Biometria. Helsinki. Yliopistopaino. 569 s. ISBN 951-570-085-X
- Russ, J. C. 1995. The image processing handbook 2nd edition. USA:. CRC Press. 674 s. ISBN 0-8493-2516-1
- Sawyer, B. & Pronk, R. 1997. Digital camera companion. Arizona, USA. The Coriolis Group. 353 s.

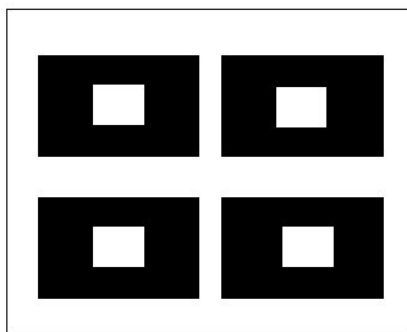
- Salyani, M. & Fox, R., D. 1999. Evaluation of spray quality by oil- and water-sensitive papers. Transactions of the ASAE 42: 37 – 43.
- Tomminen, J. & Metsämäki, M. 2000. Pikseleitä poikineen. MikroPC nro 10: 60 – 65.
- Teejet. 1999. Agricultural spray products, Catalogue 46M. Spraying Systems Co.® Illinois, USA. 104 s.

9 Liitteet

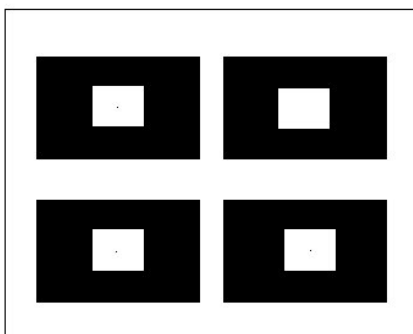
Liite 1. Kuvatiedostojen kuvat joita käytettiin analyysiohjelman testauksessa.
Appendix 1. Test pictures used in testing of the image analysis software.



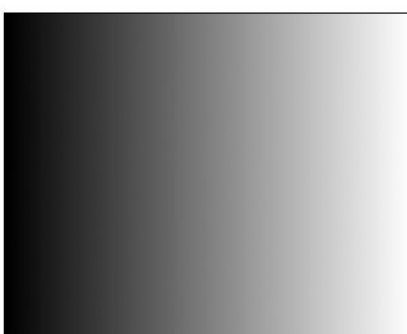
Testauskuva A



Testauskuva B



Testauskuva C



Testauskuva D

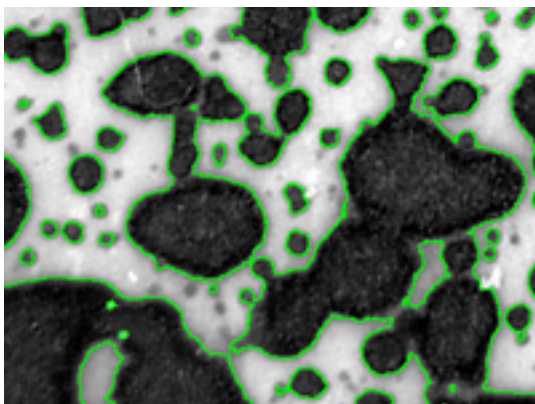
Liite 2. Vesiherkän paperin analysointi eri tulkinta-alueilla. Kokeen 300 l/ha paperin kuvasta 6,3 * 4,5 mm kokoinen alue.

*Appendix 2. Analysis of the water-sensitive paper with different threshold ranges. Image of the water-sensitive paper from the comparison test 300 l/ha. Size of the picture is 6,3*4,5mm.*

Threshold
0 - 110

Peittoaste %
Coverage %
54,16

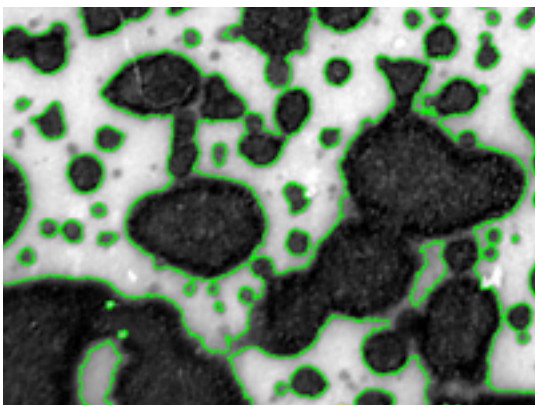
Partikkelit kpl
Number of particles
225



Threshold
0 - 120

Peittoaste %
Coverage %
56,15

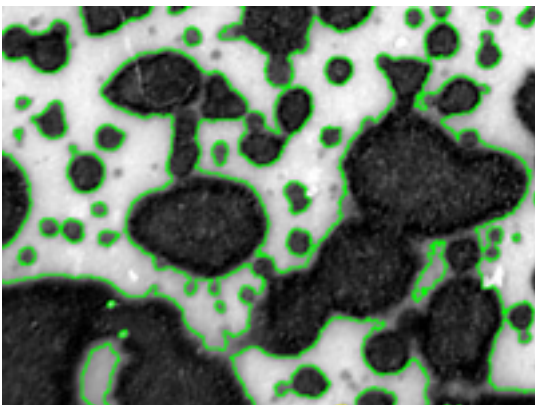
Partikkelit kpl
Number of particles
222



Threshold
0 - 130

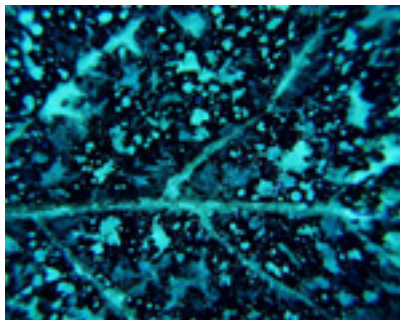
Peittoaste %
Coverage %
58,01

Partikkelit kpl
Number of particles
211



Liite 3. Lehdykän pinnasta otetun kuvan editointi
Appendix 3. Editing of a picture of a potato leaf.

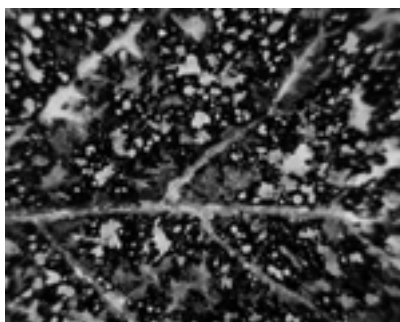
Vaihe I
Phase I



Alkuperäinen
värikuva

Original
color image

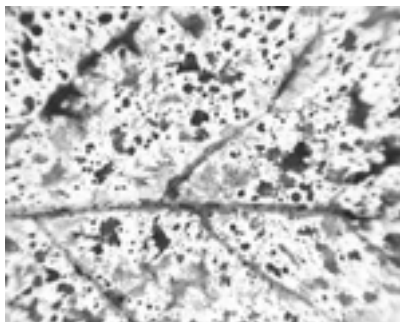
Vaihe II
Phase II



Tiedosto muokattu
harmaasävytiedostoksi

The image converted to
grey scale format

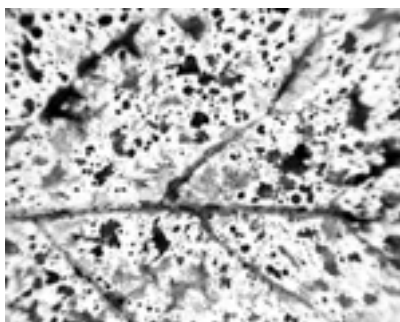
Vaihe III
Phase III



Tiedoston harmaasävyt
muutettu päinvastaiseksi

The grey scale inverted

Vaihe IV
Phase IV



Harmaasävyt skaalattu
lineaarisesti mustasta
valkoiseen

The grey scale scaled
linearly

Liite 4. Regressioanalyysin tulostus.
Appendix 4. Results of the regression analysis.

Tulostus A

| <i>Regression</i> | |
|--|--------|
| Coeff. R | 0.7879 |
| Coeff. of determination R ² | 0.6207 |
| Adjusted R ² | 0.6188 |
| Mean error | 7.6057 |
| Number of observations | 200 |

| | <i>df</i> | <i>Sum of squares</i> | <i>Mean square</i> | <i>F</i> | <i>Significance</i> |
|------------|-----------|-----------------------|--------------------|----------|---------------------|
| Regression | 1 | 18745.02 | 18745.02 | 324.05 | 1.48586E-43 |
| Residual | 198 | 11453.67 | 57.85 | | |
| Total | 199 | 30198.69 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Mean error</i> | <i>t-level</i> | <i>Significance</i> | <i>Confidence limits</i> | |
|----------|---------------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------------------|------------------|
| | | | | | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> |
| Constant | 0.2593 | 1.8457 | 0.1405 | 0.8884 | -3.3804 | 3.8989 |
| Angle | 0.6246 | 0.0347 | 18.0013 | 1.49E-43 | 0.5562 | 0.6930 |

Tulostus B

| <i>Regression</i> | |
|--|--------|
| Coeff. R | 0.8022 |
| Coeff. of determination R ² | 0.6435 |
| Adjusted R ² | 0.6417 |
| Mean error | 8.9869 |
| Number of observations | 200 |

| | <i>df</i> | <i>Sum of squares</i> | <i>Mean square</i> | <i>F</i> | <i>Significance</i> |
|------------|-----------|-----------------------|--------------------|----------|---------------------|
| Regression | 1 | 28867.63 | 28867.63 | 357.43 | 3.15421E-46 |
| Residual | 198 | 15991.21 | 80.76 | | |
| Total | 199 | 44858.84 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Mean error</i> | <i>t-level</i> | <i>Significance</i> | <i>Confidence limits</i> | |
|----------|---------------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------------------|------------------|
| | | | | | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> |
| Constant | -9.0085 | 2.1690 | -4.1533 | 4.86956E-05 | -13.2858 | -4.7312 |
| Angle | 0.7747 | 0.0410 | 18.9059 | 3.15E-46 | 0.6939 | 0.8555 |

Liite 5a. Vesiherkän paperin ja lehdykän yläpinnan peittoasteiden raakadata nestemäärillä 100 - 400 l/ha.

Appendix 5a. Raw data of coverage areas of the water-sensitive paper and leaf's upper side surface when spraying rates are 100 – 400 l/ha.

| 100 l/ha | | | 200 l/ha | | | 300 l/ha | | | 400 l/ha | | |
|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|
| Arvo | vhp % | lehdykkä % | Arvo | vhp % | lehdykkä % | Arvo | vhp % | lehdykkä % | Arvo | vhp % | lehdykkä % |
| 1 | 25.72 | 12.11 | 51 | 47.63 | 36.60 | 101 | 62.06 | 34.63 | 151 | 76.04 | 55.99 |
| 2 | 33.31 | 13.07 | 52 | 52.16 | 35.11 | 102 | 60.11 | 33.77 | 152 | 73.71 | 61.52 |
| 3 | 28.46 | 15.43 | 53 | 43.31 | 35.12 | 103 | 57.78 | 27.87 | 153 | 68.52 | 48.06 |
| 4 | 27.69 | 13.92 | 54 | 48.94 | 36.61 | 104 | 60.52 | 37.63 | 154 | 73.23 | 46.01 |
| 5 | 30.25 | 14.30 | 55 | 50.17 | 47.54 | 105 | 64.13 | 32.68 | 155 | 66.36 | 48.24 |
| 6 | 27.54 | 16.22 | 56 | 53.87 | 48.58 | 106 | 55.71 | 31.45 | 156 | 66.78 | 43.02 |
| 7 | 30.43 | 13.25 | 57 | 50.09 | 46.36 | 107 | 55.94 | 31.73 | 157 | 58.65 | 48.86 |
| 8 | 29.73 | 17.61 | 58 | 47.39 | 45.54 | 108 | 51.57 | 31.67 | 158 | 69.14 | 51.77 |
| 9 | 27.16 | 19.92 | 59 | 53.45 | 32.99 | 109 | 57.54 | 31.31 | 159 | 66.98 | 44.67 |
| 10 | 29.66 | 14.39 | 60 | 49.92 | 26.60 | 110 | 57.86 | 45.09 | 160 | 64.64 | 34.98 |
| 11 | 33.10 | 14.64 | 61 | 53.55 | 25.49 | 111 | 60.14 | 42.20 | 161 | 61.96 | 57.56 |
| 12 | 32.45 | 14.00 | 62 | 50.38 | 24.70 | 112 | 58.62 | 42.84 | 162 | 64.76 | 35.59 |
| 13 | 29.10 | 15.92 | 63 | 50.40 | 23.91 | 113 | 56.93 | 41.21 | 163 | 63.48 | 39.18 |
| 14 | 21.77 | 25.69 | 64 | 45.27 | 25.94 | 114 | 64.06 | 36.89 | 164 | 69.63 | 43.13 |
| 15 | 28.75 | 23.58 | 65 | 51.77 | 24.21 | 115 | 62.88 | 40.14 | 165 | 71.03 | 38.00 |
| 16 | 28.72 | 24.02 | 66 | 52.24 | 25.19 | 116 | 53.92 | 48.92 | 166 | 69.81 | 30.68 |
| 17 | 31.07 | 19.62 | 67 | 56.12 | 47.19 | 117 | 61.63 | 42.55 | 167 | 67.15 | 43.27 |
| 18 | 28.24 | 19.63 | 68 | 55.57 | 45.64 | 118 | 57.80 | 36.07 | 168 | 68.64 | 36.47 |
| 19 | 29.82 | 18.79 | 69 | 45.79 | 40.60 | 119 | 54.13 | 49.58 | 169 | 70.33 | 38.33 |
| 20 | 25.95 | 15.08 | 70 | 55.44 | 26.17 | 120 | 60.26 | 52.61 | 170 | 69.48 | 39.24 |
| 21 | 30.40 | 14.88 | 71 | 48.12 | 26.01 | 121 | 57.24 | 42.55 | 171 | 65.13 | 46.91 |
| 22 | 28.71 | 15.03 | 72 | 52.24 | 27.78 | 122 | 56.54 | 37.69 | 172 | 72.68 | 51.17 |
| 23 | 29.43 | 17.74 | 73 | 46.79 | 27.64 | 123 | 56.18 | 40.16 | 173 | 70.14 | 39.74 |
| 24 | 31.29 | 23.56 | 74 | 46.35 | 30.01 | 124 | 57.72 | 37.12 | 174 | 67.87 | 33.63 |
| 25 | 29.92 | 17.34 | 75 | 49.58 | 22.07 | 125 | 60.08 | 32.59 | 175 | 66.78 | 35.16 |
| 26 | 32.83 | 13.60 | 76 | 50.62 | 26.15 | 126 | 57.40 | 39.56 | 176 | 71.49 | 31.00 |
| 27 | 30.30 | 18.73 | 77 | 47.38 | 23.02 | 127 | 57.22 | 52.78 | 177 | 70.16 | 42.78 |
| 28 | 31.71 | 16.64 | 78 | 48.83 | 27.92 | 128 | 58.48 | 44.12 | 178 | 72.59 | 35.93 |
| 29 | 29.05 | 14.56 | 79 | 49.39 | 22.75 | 129 | 56.15 | 39.12 | 179 | 73.15 | 40.56 |
| 30 | 28.75 | 20.31 | 80 | 50.85 | 25.57 | 130 | 60.04 | 42.32 | 180 | 69.19 | 36.16 |
| 31 | 28.11 | 19.70 | 81 | 45.39 | 41.91 | 131 | 60.67 | 41.65 | 181 | 64.86 | 37.34 |
| 32 | 23.42 | 18.88 | 82 | 45.10 | 36.67 | 132 | 63.59 | 42.19 | 182 | 62.38 | 31.43 |
| 33 | 26.70 | 14.85 | 83 | 52.77 | 27.77 | 133 | 61.53 | 44.36 | 183 | 65.09 | 60.07 |
| 34 | 26.42 | 16.32 | 84 | 48.11 | 30.35 | 134 | 59.28 | 43.68 | 184 | 69.09 | 41.12 |
| 35 | 21.61 | 18.89 | 85 | 50.27 | 25.16 | 135 | 58.60 | 37.00 | 185 | 64.09 | 32.84 |
| 36 | 21.59 | 15.36 | 86 | 47.30 | 24.51 | 136 | 58.23 | 40.45 | 186 | 63.19 | 49.49 |
| 37 | 18.23 | 17.81 | 87 | 49.94 | 26.82 | 137 | 59.64 | 37.95 | 187 | 64.64 | 31.78 |
| 38 | 24.70 | 17.62 | 88 | 51.72 | 18.42 | 138 | 59.00 | 42.70 | 188 | 67.35 | 57.22 |
| 39 | 19.79 | 25.05 | 89 | 54.44 | 25.61 | 139 | 53.53 | 36.33 | 189 | 70.47 | 35.98 |
| 40 | 21.90 | 12.87 | 90 | 53.85 | 22.96 | 140 | 56.55 | 37.89 | 190 | 65.33 | 40.11 |
| 41 | 20.14 | 10.62 | 91 | 61.29 | 24.94 | 141 | 54.51 | 60.87 | 191 | 65.92 | 36.25 |
| 42 | 20.76 | 13.22 | 92 | 43.34 | 28.15 | 142 | 57.29 | 42.96 | 192 | 71.92 | 30.55 |
| 43 | 22.55 | 14.61 | 93 | 52.31 | 29.37 | 143 | 59.57 | 39.08 | 193 | 65.88 | 32.06 |
| 44 | 23.08 | 12.31 | 94 | 53.45 | 25.11 | 144 | 57.03 | 37.18 | 194 | 65.60 | 32.01 |
| 45 | 27.74 | 10.13 | 95 | 45.75 | 26.78 | 145 | 57.80 | 34.77 | 195 | 63.37 | 50.53 |
| 46 | 29.26 | 10.23 | 96 | 49.21 | 25.42 | 146 | 57.85 | 58.92 | 196 | 69.33 | 48.02 |
| 47 | 26.04 | 14.23 | 97 | 44.28 | 24.72 | 147 | 63.80 | 47.10 | 197 | 66.81 | 44.33 |
| 48 | 25.45 | 11.23 | 98 | 45.81 | 22.45 | 148 | 59.57 | 43.73 | 198 | 69.61 | 32.53 |
| 49 | 26.96 | 14.14 | 99 | 45.44 | 20.06 | 149 | 57.96 | 40.63 | 199 | 72.40 | 35.30 |
| 50 | 24.15 | 11.95 | 100 | 49.48 | 26.81 | 150 | 56.87 | 43.96 | 200 | 73.87 | 32.90 |

Liite 5b. Vesiherkän paperin ja lehdykän alapinnan peittoasteiden raakadata nestemäärillä 100 - 400 l/ha.

Appendix 5b. Raw data of coverage areas of the water-sensitive paper and leaf's lower side surface when spraying rates are 100 – 400 l/ha.

| 100 l/ha | | | 200 l/ha | | | 300 l/ha | | | 400 l/ha | | |
|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|----------|-------|------------|
| Arvo | vhp % | lehdykkä % | Arvo | vhp % | lehdykkä % | Arvo | vhp % | lehdykkä % | Arvo | vhp % | lehdykkä % |
| 1 | 17.84 | 11.79 | 51 | 48.14 | 22.66 | 101 | 55.98 | 52.61 | 151 | 70.10 | 70.00 |
| 2 | 21.19 | 11.41 | 52 | 50.21 | 23.73 | 102 | 54.82 | 43.21 | 152 | 71.60 | 47.64 |
| 3 | 19.49 | 11.46 | 53 | 44.51 | 34.54 | 103 | 57.35 | 35.27 | 153 | 61.69 | 50.63 |
| 4 | 27.75 | 15.04 | 54 | 45.11 | 18.91 | 104 | 57.24 | 29.10 | 154 | 71.88 | 42.95 |
| 5 | 25.41 | 20.61 | 55 | 51.24 | 19.96 | 105 | 59.89 | 30.62 | 155 | 68.75 | 42.92 |
| 6 | 26.51 | 14.26 | 56 | 51.63 | 19.77 | 106 | 64.28 | 42.64 | 156 | 70.67 | 50.12 |
| 7 | 25.87 | 15.54 | 57 | 58.44 | 20.70 | 107 | 53.82 | 31.22 | 157 | 68.36 | 34.96 |
| 8 | 25.47 | 10.23 | 58 | 54.75 | 20.35 | 108 | 55.58 | 49.68 | 158 | 69.48 | 35.42 |
| 9 | 26.20 | 15.52 | 59 | 51.28 | 26.16 | 109 | 59.89 | 42.84 | 159 | 67.62 | 36.42 |
| 10 | 28.18 | 15.28 | 60 | 52.83 | 23.69 | 110 | 57.11 | 41.41 | 160 | 72.07 | 38.57 |
| 11 | 25.83 | 18.53 | 61 | 52.33 | 18.63 | 111 | 63.78 | 40.22 | 161 | 66.38 | 61.34 |
| 12 | 25.71 | 11.97 | 62 | 51.00 | 20.44 | 112 | 58.19 | 34.65 | 162 | 69.80 | 51.60 |
| 13 | 26.60 | 13.21 | 63 | 52.11 | 16.00 | 113 | 58.19 | 35.65 | 163 | 66.75 | 46.20 |
| 14 | 26.10 | 12.35 | 64 | 51.78 | 18.82 | 114 | 63.21 | 57.71 | 164 | 68.84 | 41.64 |
| 15 | 24.67 | 13.71 | 65 | 44.72 | 29.10 | 115 | 62.29 | 49.14 | 165 | 71.48 | 29.91 |
| 16 | 25.39 | 13.83 | 66 | 50.62 | 16.95 | 116 | 59.47 | 37.47 | 166 | 64.96 | 37.38 |
| 17 | 26.38 | 13.52 | 67 | 48.53 | 17.94 | 117 | 60.14 | 43.95 | 167 | 70.98 | 30.75 |
| 18 | 25.59 | 12.63 | 68 | 51.24 | 14.08 | 118 | 58.92 | 38.32 | 168 | 67.16 | 32.84 |
| 19 | 28.02 | 11.44 | 69 | 44.94 | 18.54 | 119 | 58.70 | 43.11 | 169 | 70.22 | 43.16 |
| 20 | 27.17 | 15.44 | 70 | 49.10 | 19.01 | 120 | 61.42 | 39.32 | 170 | 64.25 | 53.23 |
| 21 | 31.00 | 12.80 | 71 | 46.81 | 25.21 | 121 | 57.67 | 32.67 | 171 | 65.69 | 61.02 |
| 22 | 31.65 | 12.11 | 72 | 40.88 | 22.81 | 122 | 57.99 | 52.07 | 172 | 67.78 | 52.91 |
| 23 | 29.86 | 16.93 | 73 | 50.75 | 23.42 | 123 | 58.43 | 49.98 | 173 | 67.74 | 33.31 |
| 24 | 36.53 | 10.40 | 74 | 51.26 | 20.35 | 124 | 56.12 | 44.19 | 174 | 72.51 | 48.37 |
| 25 | 30.53 | 15.11 | 75 | 44.46 | 20.07 | 125 | 51.22 | 37.56 | 175 | 68.18 | 31.88 |
| 26 | 36.38 | 12.19 | 76 | 49.76 | 15.92 | 126 | 55.59 | 40.97 | 176 | 65.38 | 46.08 |
| 27 | 30.46 | 10.34 | 77 | 43.51 | 17.77 | 127 | 57.40 | 45.70 | 177 | 61.68 | 44.37 |
| 28 | 24.75 | 12.64 | 78 | 48.99 | 20.73 | 128 | 58.24 | 50.42 | 178 | 69.60 | 45.62 |
| 29 | 23.84 | 12.54 | 79 | 45.86 | 20.27 | 129 | 58.30 | 34.44 | 179 | 64.88 | 46.04 |
| 30 | 22.73 | 10.30 | 80 | 48.40 | 23.64 | 130 | 60.32 | 33.45 | 180 | 69.52 | 27.69 |
| 31 | 24.75 | 9.53 | 81 | 50.20 | 20.20 | 131 | 57.16 | 45.45 | 181 | 67.65 | 36.59 |
| 32 | 24.43 | 12.69 | 82 | 49.44 | 21.43 | 132 | 57.67 | 42.51 | 182 | 71.87 | 38.13 |
| 33 | 25.18 | 9.75 | 83 | 49.58 | 20.26 | 133 | 58.54 | 50.53 | 183 | 67.11 | 46.65 |
| 34 | 28.74 | 6.98 | 84 | 42.25 | 16.31 | 134 | 61.47 | 42.55 | 184 | 68.86 | 58.58 |
| 35 | 35.04 | 9.61 | 85 | 47.26 | 15.99 | 135 | 56.25 | 39.54 | 185 | 71.79 | 47.08 |
| 36 | 26.84 | 11.46 | 86 | 43.67 | 15.87 | 136 | 58.53 | 51.81 | 186 | 71.45 | 45.35 |
| 37 | 32.36 | 16.99 | 87 | 44.19 | 17.30 | 137 | 56.23 | 53.72 | 187 | 65.54 | 42.05 |
| 38 | 32.03 | 18.18 | 88 | 52.51 | 17.25 | 138 | 56.06 | 37.68 | 188 | 67.57 | 32.73 |
| 39 | 24.42 | 12.89 | 89 | 45.22 | 15.87 | 139 | 56.84 | 50.45 | 189 | 65.51 | 52.32 |
| 40 | 26.68 | 16.82 | 90 | 48.43 | 17.95 | 140 | 57.52 | 46.36 | 190 | 69.02 | 41.52 |
| 41 | 24.16 | 14.24 | 91 | 44.04 | 19.39 | 141 | 59.06 | 54.86 | 191 | 62.80 | 36.88 |
| 42 | 23.78 | 16.09 | 92 | 45.67 | 20.97 | 142 | 60.88 | 42.24 | 192 | 64.08 | 35.02 |
| 43 | 27.36 | 13.32 | 93 | 44.71 | 19.45 | 143 | 53.59 | 38.31 | 193 | 61.16 | 39.93 |
| 44 | 21.88 | 14.20 | 94 | 56.25 | 16.54 | 144 | 63.38 | 37.30 | 194 | 70.61 | 49.12 |
| 45 | 25.02 | 16.76 | 95 | 55.63 | 15.71 | 145 | 58.40 | 47.15 | 195 | 64.70 | 41.36 |
| 46 | 28.02 | 13.60 | 96 | 57.68 | 25.22 | 146 | 64.41 | 45.01 | 196 | 62.43 | 69.59 |
| 47 | 30.42 | 15.26 | 97 | 58.18 | 21.03 | 147 | 62.04 | 35.88 | 197 | 63.14 | 61.53 |
| 48 | 26.47 | 14.01 | 98 | 55.90 | 22.69 | 148 | 63.58 | 37.81 | 198 | 64.16 | 38.22 |
| 49 | 28.73 | 14.20 | 99 | 48.35 | 23.86 | 149 | 57.62 | 35.85 | 199 | 61.88 | 57.54 |
| 50 | 29.72 | 15.83 | 100 | 47.92 | 20.38 | 150 | 62.69 | 42.18 | 200 | 69.72 | 48.42 |

Liite 5c. Vesiherkän paperin ja lehdykän yläpinnan peittoasteiden raakadata nestemäärällä 40 l/ha.

Appendix 5c. Raw data of coverage areas of the water-sensitive paper and leaf's upper side surface when spraying rate is 40 l/ha.

| 40 l/ha yläpinta | | | 40 l/ha alapinta | | |
|------------------|-------|------------|------------------|-------|------------|
| Arvo | vhp % | lehdykkä % | Arvo | vhp % | lehdykkä % |
| 1 | 20.62 | 3.85 | 1 | 21.91 | 4.89 |
| 2 | 12.78 | 11.11 | 2 | 21.98 | 16.50 |
| 3 | 19.45 | 11.30 | 3 | 18.20 | 8.28 |
| 4 | 22.16 | 17.06 | 4 | 22.46 | 11.54 |
| 5 | 16.91 | 14.45 | 5 | 17.77 | 9.56 |
| 6 | 16.92 | 10.87 | 6 | 19.99 | 9.65 |
| 7 | 23.75 | 17.31 | 7 | 15.47 | 9.82 |
| 8 | 24.44 | 8.86 | 8 | 15.92 | 6.34 |
| 9 | 20.23 | 15.99 | 9 | 12.20 | 6.71 |
| 10 | 30.10 | 13.58 | 10 | 21.90 | 10.51 |
| 11 | 20.57 | 20.08 | 11 | 22.64 | 9.06 |
| 12 | 18.47 | 17.44 | 12 | 19.43 | 12.21 |
| 13 | 19.40 | 15.90 | 13 | 24.44 | 6.53 |
| 14 | 14.12 | 16.90 | 14 | 25.61 | 8.46 |
| 15 | 22.56 | 14.95 | 15 | 18.65 | 17.30 |
| 16 | 26.16 | 14.73 | 16 | 23.97 | 14.71 |
| 17 | 23.13 | 15.55 | 17 | 16.65 | 7.98 |
| 18 | 23.03 | 13.91 | 18 | 23.16 | 6.12 |
| 19 | 25.19 | 15.65 | 19 | 21.39 | 17.38 |
| 20 | 16.33 | 19.33 | 20 | 17.51 | 11.81 |
| 21 | 17.17 | 13.67 | 21 | 17.37 | 14.64 |
| 22 | 17.93 | 9.55 | 22 | 19.20 | 13.24 |
| 23 | 17.32 | 8.84 | 23 | 14.86 | 12.51 |
| 24 | 15.44 | 11.62 | 24 | 15.80 | 9.74 |
| 25 | 14.20 | 11.88 | 25 | 12.16 | 19.88 |
| 26 | 13.61 | 10.95 | 26 | 13.98 | 15.07 |
| 27 | 15.96 | 10.95 | 27 | 10.45 | 18.30 |
| 28 | 14.01 | 8.57 | 28 | 22.56 | 13.19 |
| 29 | 12.29 | 9.44 | 29 | 10.43 | 10.05 |
| 30 | 11.43 | 10.34 | 30 | 9.36 | 8.22 |
| 31 | 15.67 | 10.10 | 31 | 11.07 | 11.69 |
| 32 | 12.68 | 7.21 | 32 | 14.42 | 9.71 |
| 33 | 11.86 | 7.70 | 33 | 16.74 | 9.44 |
| 34 | 14.04 | 8.24 | 34 | 18.03 | 8.89 |
| 35 | 13.51 | 12.70 | 35 | 19.40 | 12.54 |
| 36 | 11.50 | 11.36 | 36 | 17.64 | 22.32 |
| 37 | 20.80 | 10.90 | 37 | 16.42 | 11.26 |
| 38 | 18.81 | 5.95 | 38 | 18.68 | 11.34 |
| 39 | 18.07 | 9.51 | 39 | 14.81 | 11.06 |
| 40 | 12.56 | 10.97 | 40 | 12.05 | 12.35 |
| 41 | 18.57 | 8.44 | 41 | 9.58 | 10.23 |
| 42 | 22.27 | 12.00 | 42 | 13.70 | 7.96 |
| 43 | 19.23 | 12.44 | 43 | 9.46 | 12.69 |
| 44 | 16.53 | 13.00 | 44 | 12.75 | 15.19 |
| 45 | 15.44 | 10.47 | 45 | 8.10 | 10.60 |
| 46 | 14.04 | 13.55 | 46 | 10.17 | 8.16 |
| 47 | 16.34 | 11.32 | 47 | 9.38 | 9.93 |
| 48 | 22.33 | 7.41 | 48 | 10.83 | 8.94 |
| 49 | 20.98 | 11.27 | 49 | 12.39 | 6.81 |
| 50 | 11.53 | 7.09 | 50 | 9.97 | 26.47 |

