



# Virtuaalinen valopöytä

Petteri Lehtorinne

OPINNÄYTETYÖ  
Marraskuu 2021

Biotuote- ja prosessitekniikan tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Biotuote- ja prosessitekniikan tutkinto-ohjelma

LEHTORINNE, PETTERI:  
Virtuaalinen valopöytä

Opinnäytetyö 69 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Marraskuu 2021

---

Opinnäytetyössä perehdyttiin mittapään toiminnan kehittämiseen ja hyödyntämättömän potentiaalin käyttöönottoon Heinolan NSSC-flutingtehtaan kartonkikoneella. Tavoitteena oli saada toistaiseksi hyödyntämättömälle mittapään topografianturille jokin järkevä käyttökohde, joka toisi lisäarvoa tehtaan toiminnalle.

Tietoa mittapäästä, tehtaan IT-järjestelmistä ja työssä hyödyllisistä työkaluista lähdettiin hakemaan tehtaan omalta henkilökunnalta sekä Heinolassa työskenteleviltä Valmetin työntekijöiltä. Opinnäytetyötä alettiin työstää saadun tiedon pohjalta ja erilaisten teknisten ongelmien kohdalla pohdittiin yhdessä, kuinka niiden suhteen olisi järkevää edetä.

Mittapään topografianturille löydettiin järkevä käyttökohde, joka on kuorien ja muiden vieraspartikkeleiden tunnistaminen kartonkiradasta. Topografianturin ottamista kuvista oli tarkoitus rakentaa päivittyvää kuvaa kartonkiradasta, ikään kuin näytteiden tarkasteluun tehty valopöytä, mutta virtuaalisessa muodossa. Lisäksi virtuaalisen valopöydän kuvista oli tarkoitus saada dataa, joka voitaisiin kuvaajan muodossa asettaa näkymään tehtaan käyttämälle verkkoalustalle ja näin saada näkymään tehtaan eri valvomoissa.

Vaikka toteutus hieman yksinkertaistui, työssä päästiin haluttuun ja toimivaan lopputulokseen. Mittapään toistaiseksi käyttämättömälle topografianturille löydettiin käyttökohde ja anturin ottamista kuvista saatiin otettua jatkuvasti päivittyvää dataa, joka saatiin näkymään tehtaan verkkoalustalla ja valvomoissa. Alkuperäinen idea koko kartonkiradan kattavasta ja päivittyvästä virtuaalisesta valopöydästä kuitenkin kariutui ajallisten resurssien loppumiseen.

---

Asiasanat: NSSC fluting, mittapää, topografianturi, virtuaalinen valopöytä, data

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Bioproduct and Process Engineering

LEHTORINNE, PETTERI:  
Virtual Sample Table

Bachelor's thesis 69 pages, appendices 0 pages  
November 2021

---

The purpose of this thesis was to find a way to utilize the untapped potential of measuring the head on the board machine in NSSC Fluting mill in Heinola. The goal was to find a way to make the most of the topography sensor, which was yet to be properly utilized. The goal was to get additional value to the operations of NSSC fluting mill.

Information about the measuring head, IT- systems of NSSC fluting mill and useful tools were gathered from the people working in the mill. This information was the basis of the development process. During the technical problems we were wondering together what would be the right way to proceed.

Reasonable application was found for the topography sensor of the measuring head. This application was to identify bark and other anonymous particles from the board web. The goal was to find a way to build an automatically updating picture of the board web, like the sample table, which was made to analyze the board samples, but in the virtual platform. Additionally, there was an intention to get useful data out of those pictures, which could be seen in control rooms across the mill.

Functioning and desired result was achieved even though the implementation was slightly simplified. An application for the topography sensor of the measuring probe was found and automatically updating data was successfully collected from the pictures. This data was used on the online platform of the mill and therefore the data could be seen in control rooms across the NSSC mill. We were able to present pictures taken by the topography sensor in control rooms across the NSSC mill. The original idea about virtual sample table was tapered because of lack of temporal resources.

---

Key words: NSSC fluting, measuring head, topography sensor, virtual sample table, data

## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Stora Enso Oyj:n sekä Valmet Oyj:n kanssa Stora Enso Heinolan flutingtehtaalle vuoden 2021 aikana. Opinnäytetyön valvojana on toiminut DI Virpi Rämö, ohjaajana DI Jussipekka Pollari ja teknisenä ohjaajana DI Sampo Luukkainen.

Opinnäytetyön ohjauksesta sekä käytännön asioiden järjestelystä haluan kiittää eritoten DI Jussipekka Pollaria. Suuret kiitokset myös opinnäytetyön tekniselle ohjaajalle DI Sampo Luukkaiselle. Ilman hänen IT – taitojaan opinnäytetyössä ei oltaisi päästy kovin pitkälle. Haluan kiittää myöskin vuoromestari Timo Leckliniä hyvästä perehdytysjaksosta ja kattavista tehtaan taustatiedoista. Haluan myös tasapuolisesti kiittää koko Heinolan flutingtehtaan mahtavaa porukkaa!

Kiitokset yhteistyöstä myös Valmet Oyj:n Heinolan porukalle Jani Niittymaalle sekä Veikko Kuritulle.

Ei ollut helppoa yhdistää vuoromestarin työtä Heinolassa, opinnäytetyön tekemistä ja isän rooliin opettelua vauvavuoden aikana. Toisinaan meno oli niin hektistä, että mietin, onko tässä mitään järkeä. Erityiskiitos kuuluukin puolison suvulle loputtomasta lapsenhoitoavusta.

Lopuksi erityiset kiitokset tulevalle Jasmin-vaimolleni ymmärryksestä ja kannustuksesta kuluneen vuoden aikana.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
1.1	Yritysten esittely	9
1.2	Työn tausta	10
1.3	Tavoitteiden asettelu	11
2	KARTONKITEOLLISUUDEN MARKKINAKATSAUS	12
3	AALTOPAHVI JA SEN VALMISTUS	14
3.1	Aaltopahvi pakkausmateriaalina	14
3.2	Aaltopahvin rakenne ja koostumus	15
3.3	Aallonkorkeudet	18
3.4	Ominaisuudet ja soveltuvuus	19
3.5	Aaltopahvin raaka-aineet	20
	3.5.1 Pintakartongit	21
	3.5.2. Aallotuskartongit	24
	3.5.3 Liimat	26

3.5.4 Muut raaka-aineet	26
3.6 Aaltopahvin valmistus	27
4. VALMETIN QCS JÄRJESTELMÄ	30
4.1 Yleistä tietoa QCS Järjestelmästä	30
4.2 Kartonkiradan laatumittaukset	30
4.2.1 Neliömassa	31
4.2.2 Kosteus	32
4.2.3 Topografia	33
5. KOKEELLINEN OSA	36
5.1 Mittapään toiminnan kehittäminen	36
6. TULOKSET	63
7. POHDINTA	65
LÄHTEET	67
LIITTEET	69

**ERITYISSANASTO**

HTC	(Hydrothermal Carbonization) Enäänlainen prosessi, joka tuottaa biohiiltä märästä biomassasta.
NSSC	(Neutral Sulphite Semi-Chemical) Neutraalissa pH:ssa sulfiittikeittoa ja mekaanista kuidutusta yhdistävä menetelmä.
SC-fluting	(Semi-Chemical Fluting) puolikemiallinen aallotuskartonki
Krafftaineri	Aaltopahvin pintakartonki, joka on pääosin ensikuidusta valmistettu.
Testlaineri	Aaltopahvin pintakartonki, joka on valmistettu täysin tai osittain uusiokuidusta.
Stanssaus	Leikkausten, viiltojen ja taivutusurien tekeminen aaltopahviin
SCT	(Short-span Compression Test) Kartongin puristuslujuuden laatuarvo. Korkein puristusvoima leveysyksikköä kohden, jonka näytepala kestää vahingoittumatta.
CMT	(Corrugated Crush Test) Kuvaa yksipuolisen aaltopahvin jäykkyyttä
QCS	(Quality Control System) Järjestelmä, jolla prosessia hallitaan ja ohjataan.
IQ Scanner	Osana Valmetin QCS – järjestelmää, mittapalkin ja mittavaunun yhdistelmä.
RGB	(Red, Green, Blue) Värimalli, jossa värejä muodostetaan sekoittamalla punaisen, vihreän ja sinisen väristä valoa
LED	(Light-emitting Diode) Komponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirtaa.
ImageJ	Tehokas kuvien analysointiin ja prosessointiin kehitetty sovellus.
Skripti	Ohjelmoinnissa yleisesti käytetty termi. Tekstiedosto, jossa on yksi tai useampi komentolause.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Yritysten esittely

### **Stora Enso Oyj**

Stora Ensolla on pitkät juuret, jotka ulottuvat aina 1300-luvulle asti, mutta yrityksen nykyinen versio muodostui vuonna 1998, jolloin Suomalainen Enso Oyj ja ruotsalainen Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag (STORA) fuusioituivat. Stora Enso on nykyään suuri Helsingin ja Tukholman pörssiin listattu yhtiö, jolla on yli 23 000 työntekijää yli 50 eri maassa. (Stora Enso, n.da)

Stora Enso on keskittynyt uusiutuvista raaka-aineista valmistettaviin tuotteisiin. Stora Enson eri divisioonat ovat: Packaging Materials, Packaging Solutions, Bio-materials, Wood Products, Forest ja Paper. Näiden divisioonien alle lukeutuu Stora Enson uusiutuvat tuotteet: biokemikaalit, biomateriaalit, biokomposiitit, älypakkaukset, ligniini, markkinasellu, pakkausratkaisut, paperit, kartongit, pelletit, puutuotteet ja erikoispaperit. (Stora Enso, n.db)

### **Heinolan flutingtehdas**

Heinolan flutingtehdas on dynaaminen integroitu sellu- ja kartonkitehdas, jossa tuotetaan laadukasta NSSC flutingia eli aallotuskartonkia aaltopahviteollisuuden käyttötarpeisiin. Tehdas lukeutuu Stora Enso Oyj:n Packaging Materials -divisioonan alle. (Lecklin, Haastattelu, 12.03.2021)

Heinolan flutingtehdas sijaitsee Heinolan kaupungissa, Etelä-Suomen läänissä ja tehtaalla noin neliökilometrin suuruiselle tontille on mahdutettu jätevesilaitos, lipeälaitos, voimalaitos, kuorimo, sellutehdas, kartonkitehdas ja tuotevarasto. Tehtaalle menee junanraiteet, joita pitkin kuljetetaan raaka-aineita tehtaalle tarpeisiin sekä viedään tuotetta asiakkaille. (Lecklin, Haastattelu, 12.03.2021)

Jätevesilaitoksella puhdistetaan tehtaalla käyttämät vedet ja lasketaan ne takaisin Kymijokeen. Jätevesilaitoksen yhteydessä on myös erinäisen prosessin avulla



biokaasua tuottava laitos sekä HTC – laitos, joka valmistaa lietteestä biohiiltä. (Stora Enso, 2019; Lecklin, Haastattelu, 12.03.2021)

Lipeälaitoksella sijaitsee haihduttamo ja kemikaalien talteenottolinja. Lipeälaitos käsittää koko lipeän käsittelyprosessin aina keittolipeän valmistuksesta kemikaalien talteenottoon ja sivuvirtojen mahdollisimman tehokkaaseen hyötykäyttöön. (Lecklin, Haastattelu, 12.03.2021)

Voimalaitoksella tuotetaan sähköä ja höyryä tehtaan tarpeisiin, sekä kaukolämpöä Heinolan kaupungin tarpeisiin. Voimalaitoksella sijaitsee kiinteän polttoaineen pääkattila, varakattila, soodakattila, kaksi turbiinia ja sähkökattila. (Lecklin, Haastattelu, 12.03.2021)

Kuorimolla haketetaan ja käsitellään tehtaan pääraaka-ainetta eli koivupuuta. Tehtaalle saapuva koivu on pääasiassa 3 metrin pituista, mutta leikkuupöydän ansiosta voidaan käyttää myös 5–6 metrisiä koivuja. Koivun lisäksi tehtaalla käytetään myös jonkin verran haapaa sekä viilua. Viilu on sahoilta saapuva sivuvirta, joka saadaan hyödynnettyä aallotuskartongin valmistukseen. (Lecklin, Haastattelu, 12.03.2021)

Sellutehdas käsittää neljä keitinlinjaa, jauhamon ja pesemön. Sellutehtaalla on käytössä jatkuvatoiminen keitto, eli vuokeitto. Keittoprosessina on NSSC keitto eli puolikemiallinen neutraalisulfiittiprosessi. Keittoprosessi eroaa normaalista sulfaattikeittoprosessista siten, että saanto on korkea (noin 80 %) ja kemiallisen käsittelyn lisäksi tarvitaan mekaaninen käsittely eli kuidutus. Kuidutuksen jälkeen seuraa kolme pesulinjaa ja pesupuristin. Pesun jälkeen seuraa jauhatus, jonka jälkeen massa onkin valmista kartongin valmistamista varten. (Lecklin, Haastattelu, 12.03.2021)

Kartonkitehdas käsittää kartonkikoneen ja jälkikäsittelyn toiminnot. Tehtaalla on yksi kartonkikone, jonka leveys on 6000 mm ja maksiminopeus noin 850 metriä minuutissa. Tehtaan kapasiteetti on noin 300 000 tonnia korkealaatuista SC – flutingia vuodessa. Jälkikäsittelyssä sijaitsee pituusleikkuri, uudelleenrullain ja pakkaamo. (Lecklin, Haastattelu, 12.03.2021)

## Valmet Oyj

Valmetin juuret ulottuvat 1750 – luvulle. Helsingin edustalla sijaitsevassa Viaporin (Suomenlinnan) linnoituksessa toimi tällöin pieni allastelakka, joka päättyi 1900 – luvulla Suomen valtion omistukseen ja osaksi Valmetia. Tamfelt, josta kehittyi yksi johtavista teknisten tekstiilien toimittajista, perustettiin 1797. Tamfeltin toiminnot ovat nykyään osa Valmetin palvelut -liiketoimintalinjaa. Nykyinen Valmet syntyi, kun Valmet ja Metso jakautuivat kahdeksi erilliseksi pörssiyhtiöksi vuonna 2013. (Valmet, n.da.)

Valmet on maailman johtava teknologian, automaation ja palveluiden toimittaja ja kehittäjä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Valmet on suuri pörssiyritys, jonka palveluksessa työskentelee noin 14 000 ammattilaista. Valmetilla on yli 200 vuoden teollisuushistoria ja yhtiö syntyi uudestaan sellu-, paperi- ja voimantuotantoliiketoiminnan irtautuessa Metso Oyj:stä joulukuussa 2013. Valmetin liikevaihto vuonna 2020 oli noin 3,7 miljardia euroa. (Valmet, n.db.)

### 1.2 Työn tausta

Heinolan flutingtehtaan kartonkikoneella on käytössä Metson laatusäätöjen mittapää, joka ottaa kaiken aikaa kuvia, mutta näitä kuvia ei hyödynnetä millään tavalla, ainakaan tällä hetkellä. Sen sijaan tampuurin valmistuttua otetaan poikkiratanäyte, jota katsotaan valopöytää vasten ja tarkastellaan, onko tässä näytteessä mitään normaalista poikkeavaa. Tämä kyseinen poikkiratanäyte otetaan 40–50 kilometrin välein, ajallisesti 30–60 minuutin välein, riippuen kartonkikoneen ajonopeudesta. Valopöytää vasten tarkasteltava poikkiratanäyte antaa kapean katsauksen kartongin mukana kulkevista roskista, rei'istä ja muista likapartikkeleista, joilla saattaa toisinaan olla yhteyttä pituusleikkurin katkoihin, kartonkikoneen katkoihin, muiden prosessien häiriöihin tai jopa asiakkaiden reklamaatioihin.

Mittapalkin hyödyntämätön potentiaali halutaan ottaa käyttöön ja mittapalkin ottamista kuvista yritetään rakentaa ”virtuaalinen valopöytä”, jossa poikkirata rakennetaan mittapalkin kaiken aikaa ottamista kuvista. Näin ollen saadaan kaiken aikaa dataa kartongin mukana kulkevista kuorista, rei'istä ja muista likapartikkeleista. Nykyaikaisten työkalujen avulla näistä kuvista voidaan seuloa

esimerkiksi kuorta ja lajitella nämä kuoripartikkelit erilaisiin kategorioihin sekä koota näiden pohjalta hyödyllistä dataa, jota voitaisiin näyttää esimerkiksi valvomoiden seinillä.

### **1.3 Tavoitteiden asettelu**

Työn tavoitteena on hyödyntää mittapalkin hyödyntämätön potentiaali. Tärkeimpänä tavoitteena on saada mittapalkin kuvat näkymään valvomoiden seinällä jatkuvasti päivittyvänä poikkiratana, eli ”virtuaalisena valopöytänä”. Tavoitteena on myös saada kerättyä näiden kuvien pohjalta hyödyllistä dataa, joka voidaan myös näyttää valvomoissa esimerkiksi ajallisesti etenevänä kuvaajana. Lisäksi tavoitteena on pohtia mihin kaikkeen tätä ideaa voisi hyödyntää ja miten tätä ideaa voisi jatkokehittää. Mikäli kaikki menee hyvin, niin yrityksellä on työn loputtua aivan uusi työkalu tarkkailla lopputuotteen laatua ja selvittää voisiko toisinaan pituusleikkurin pätkiminen tai muiden prosessien ongelmat johtua esimerkiksi kuoripitoisuuden noususta tai reikien lukumäärän kasvusta.

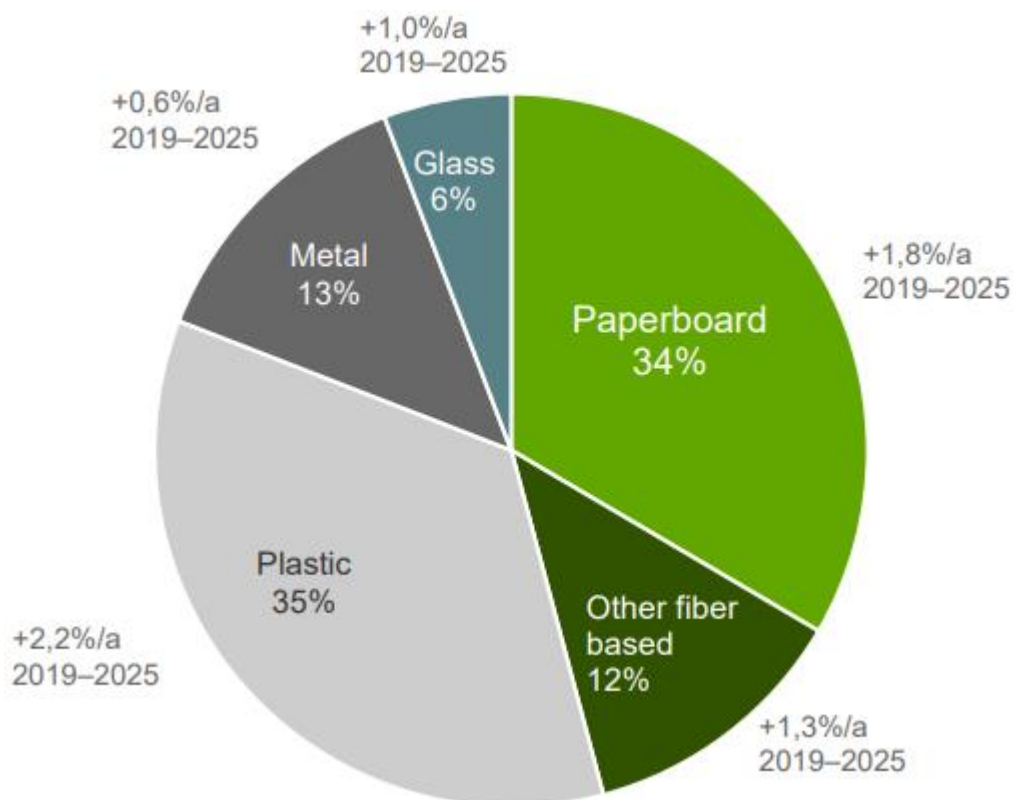
## 2 KARTONKITEOLLISUUDEN MARKKINAKATSAUS

Viimevuosina maailmaa piinannut COVID – 19 sekoitti maailman menoa myös kartonkiteollisuuden saralla. Vuoden 2020 alussa kukaan ei tiennyt miten tilanne kehitty ja miten kysyntä reagoi, kun lähes koko maailma laitettiin sulkutilaan ja maailmantalous pakotettiin lähes pysähtymään. Yritykset kuitenkin kykenivät sopeutumaan tilanteeseen ja kuluttajakysyntä, varsinkin päivittäin kulutettavista hyödykkeistä on pysynyt korkeana COVID – 19 viruksesta huolimatta. (InderesTV 2020)

Kartonkiteollisuus kokee tällä hetkellä suurta myötätuulta, jonka pääajurina on nettikaupan jatkuva lisääntyminen. Ihmiset yhä etenevässä määrin tilailevat internetistä erilaisia hyödykkeitä. Nämä hyödykkeet mitä useimmin on pakattu kartongista valmistettuun ulkokuoreen ja laitettu pahvilaatikossa seilaamaan merien halki kohti kohdemaataan. Tämän lisäksi megatrendit tukevat kartonkiteollisuuden markkinatilannetta. Ihmiset ovat yhä enemmän ympäristötietoisia ja varsinkin fossiilisia raaka-aineita on alettu kasvavassa määrin korvaamaan uusiutuvilla raaka-aineilla eli esimerkiksi puupohjaisilla ratkaisuilla. (Mordor Intelligence 2020; InderesTV 2020)

Globaalin pakkausmarkkinan koko oli vuonna 2019 noin 917 miljardia dollaria ja tämä markkina kasvaa ennusteiden mukaan vuosina 2019–2025 noin 1,7 % vuosivauhtia. Globaalin pakkausmarkkinan on arvioitu ylittävän 1000 miljardin eli triljoonan dollarin rajapyykin vuonna 2024. Kuitupohjaiset raaka-aineet kattavat 46 %-yksikköä pakkausmarkkinan koosta ja kartonkimarkkina kasvaa ennusteiden mukaan vuosina 2019–2025 noin 1,8 % vuosivauhtia, joka tarkoittaa sitä, että kartonkipakkaaminen kasvaa hieman globaalia pakkausmarkkinaa nopeammin. (Smithers 2020; Metsä Board 2021)

Kuten seuraavana olevasta kuvioista (KUVIO 1) näkee, kartonkipakkaamisen kysynnän arvioidaan kasvavan 1,8 % vuosivauhtia ja muiden kuitupohjaisten pakkausten arvioidaan kasvavan 1,3 % vuosivauhtia.



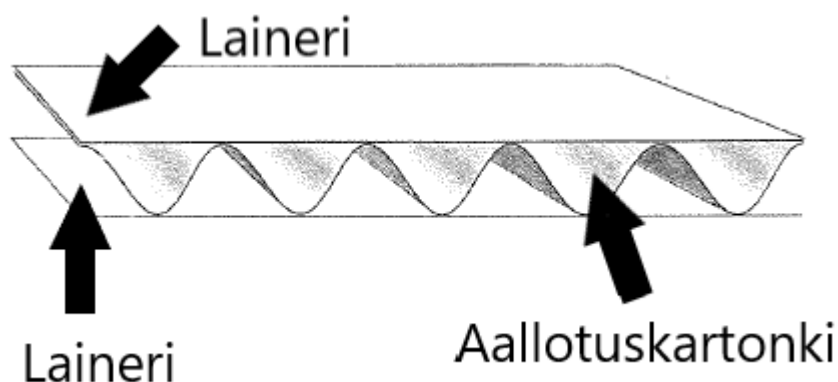
KUVIO 1. Globaalin pakkausmarkkinan ennuste 2019–2025 (Metsä Board 2021)

Stora Enso on omilla sivuillaan arvioinut, että SC – Fluting – kartongin markkina tulee kasvamaan 1–3 % vuosivauhtia ja kraftlainerin markkina tulee kasvamaan 2–3 % vuosivauhtia. (Stora Enso n.db.)

### 3 AALTOPAHVI JA SEN VALMISTUS

#### 3.1 Aaltopahvi pakkausmateriaalina

Aaltopahvi on kerrosmainen tuote, jonka kahden tasomaisen kartongin väliin on taivutettu kolmas kartonki, aallotuskartonki. Kerrokset liimataan toisiinsa aallonharjojen ja pintakartonkien kontaktipinnoista. Aaltopahvi on pakkausteollisuuden laajasti käyttämä tuote, jonka kysyntä kasvaa vuosittain kovaa vauhtia lähinnä verkkokaupan lisääntymisen takia, mutta myös muovin korvaaminen ja muut vastaavat projektit vauhdittavat aaltopahvin kysynnän kasvua. (Laakso & Rintamäki 2000, 13; Aaltopahvi 2018)



KUVA 1. Aaltopahvin rakenne (Laakso & Rintamäki 2000, 14)

Aaltopahvi on usealla tapaa hyvä pakkausmateriaali

- Aaltopahvi on kevyttä, pakkaus ei huomattavasti lisää tuotteen painoa.
- Aaltopahvin lujuus ja pinoamiskestävyys varastoinnissa ja erilaisissa kuljetuksissa.
- Aaltopahvin joustavuus ja suojaavat ominaisuudet, oikein suunniteltu pakkaus soveltuu varsin herkillekin tuotteille.
- Aaltopahvilla on hyvä iskunkestävyys.
- Aaltopahvilla on hyvä muotonsa pitävyys normaalikosteusalueella <60 % R.H.
- Aaltopahvin hygieenisuus on kertakäyttöisenä korkealla tasolla.

- Aaltopahvilla on hyvä eristyskyky lämpöä ja kylmyyttä vastaan, sisältää runsaasti ilmaa suljetussa tilassa.
- Aaltopahvin tilantarve on pieni, jos pakkaukset toimitetaan litteinä eli kasaamattomina.
- Aaltopahvia on helppo ja nopea työstää, joten kustannusmielessä kilpailukykyinen.
- Aaltopahvilla on hyvä painettavuus. Soveltuu tekstien, kuvien ja mainosten painamiseen useilla eri painomenetelmillä.
- Aaltopahvia on helppo käsitellä loppukäyttäjän näkökulmasta, voidaan tarvittaessa avata ja sulkea useita kertoja.
- Aaltopahvi soveltuu nykyaikaisille automaattisille täyttö ja pakkauskoneille.
- Aaltopahvi on helppo kierrättää. Aaltopahvi on palautettavissa kuitukiertoon, kuitujen uudelleenkäyttö on mahdollista jopa 4–5 kertaa. (Laakso & Rintamäki 2000, 16–17)

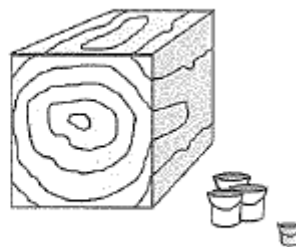
Aaltopahvin suurin heikkous liittyy kartonkien taipumukseen absorboida vettä. Tästä seuraa lujuusominaisuuksien heikkeneminen. Tätä kyseistä taipumusta voidaan vähentää käsittelemällä aallotus- ja pintakartongit esimerkiksi lakoilla, biopolymeereillä, vahoilla, mikrovahoilla tai erilaisilla vahasekoituksilla. (Laakso & Rintamäki 2000, 17–18)

### **3.2 Aaltopahvin rakenne ja koostumus**

Aaltopahvi muodostuu yhdestä tai useammasta pintakartongista, joita nimitetään lainereiksi ja vähintään yhdestä aallotetusta kartonkikerroksesta, eli aallotuskartongista. Kerrokset liimataan toisiinsa yleensä tärkkelysliimaa hyödyntäen. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa (KUVA 2) voidaan nähdä keskimääräisen aaltopahvitonnin sisältö. (Karhuketo, H & Seppälä, Markku J & Törn, T & Viluksela, P 2004, 156)

Tonnissa aaltopahvia on

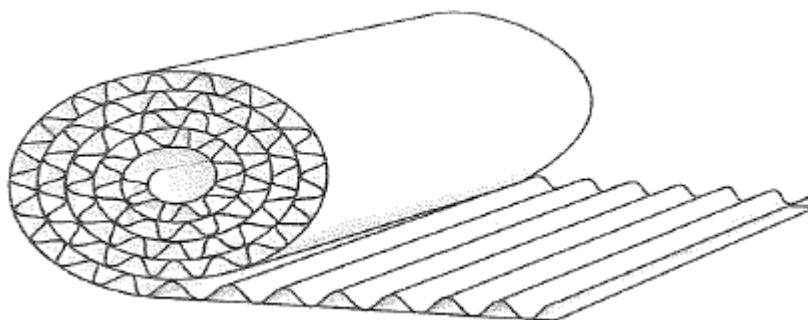
968 kiloa puukuitua	96,8%
29 kiloa liimaa	2,9%
3 kiloa painovärejä	0,3%



KUVA 2. Aaltopahvin koostumus (Laakso & Rintamäki 2000, 23)

Aaltopahvityypit voidaan jakaa kerrosten määrän mukaan:

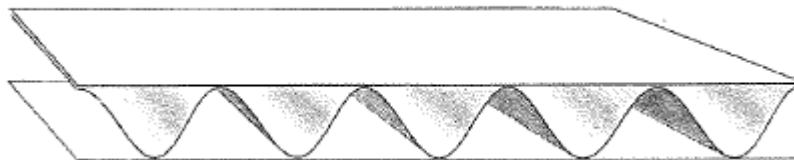
- Yksipuolinen aaltopahvi (KUVA 3) koostuu kahdesta kerroksesta, pintakartonkikerroksesta ja aallotuskartonkikerroksesta. Kartongit on liimattu toisiinsa aallonharjojen kohdalta. (Laakso & Rintamäki 2000, 14)



KUVA 3. Yksipuolinen aaltopahvi (Laakso & Rintamäki 2000, 14)

- Kaksipuolinen ja yksiaaltoinen aaltopahvi (KUVA 4) koostuu kolmesta kerroksesta, kahdesta pintakartongista ja välissä olevasta aallotuskartongista. Pintakartongit eli lainerit on liimattu aallotuskartonkiin aallonharjojen huipulta. (Laakso & Rintamäki 2000, 14)

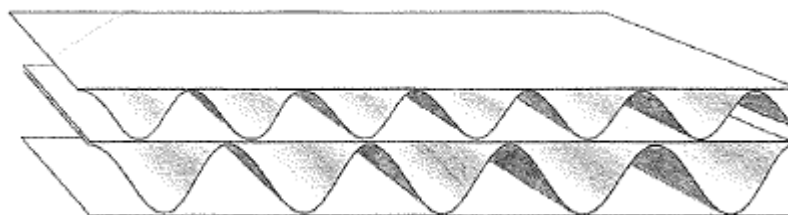




KUVA 4. Kaksipuolinen ja yksiaaltoinen aaltopahvi (Laakso & Rintamäki 2000, 14)

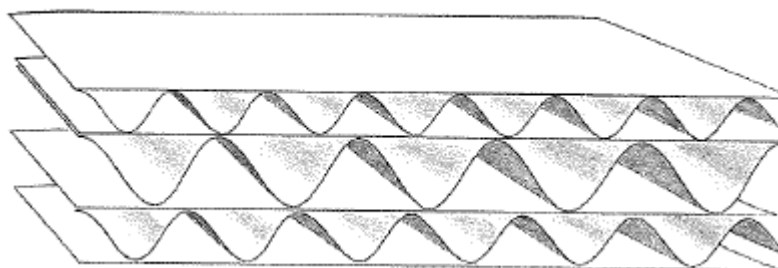
- kaksipuolinen ja kaksiaaltoinen aaltopahvi (KUVA 5) koostuu viidestä kerroksesta: kahdesta pintakartongista, näiden sisäpuolella olevista kahdesta aallotuskartonkikerroksesta ja näiden välissä olevasta suorasta kartonkikerroksesta.

(Laakso & Rintamäki 2000, 14)



KUVA 5. Kaksipuolinen kaksiaaltoinen aaltopahvi (Laakso & Rintamäki 2000, 14)

- kaksipuolinen ja kolmiaaltoinen aaltopahvi (KUVA 6) koostuu kaikkiaan seitsemästä eri kerroksesta: kahdesta pintakartonkikerroksesta, joiden välissä on yhteensä kolme aallotuskartonkikerrosta, ja näiden välissä olevista kahdesta kartonkikerroksesta. (Laakso & Rintamäki 2000, 15)



KUVA 6. Kaksipuolinen kolmiaaltoinen aaltopahvi (Laakso & Rintamäki 2000, 15).

Aaltopahvi on maailman eniten käytetyin pakkausmateriaali, jonka käyttö vuonna 2018 oli 166 miljoonaa tonnia. Yleisin edellä mainituista aaltopahveista on kaksipuolinen ja yksiaaltoinen aaltopahvi. Useampiaaltoisella aaltopahvilla pyritään lujemman rakenteen saavuttamiseen. Tällöin kaksiaaltoisen pahvin lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat yksiaaltoisia paremmat ja tätä kautta se antaa paremman suojan pakattaville tuotteille. Huomattava positiivinen vaikutus aaltopahvin paksuuden kasvaessa tapahtuu aaltopahvilaatikon pinoamislujuudelle ja kestävyydelle. (Laakso & Rintamäki 2000, 17; Statista, 2018; Suomen aaltopakkausyhdistys ry 2018)

### 3.3 Aallonkorkeudet

Valmiin aaltopahvin paksuuteen (kaliiperi) vaikuttaa ensisijaisesti käytetyn aaltoprofiilin aallonkorkeus, mutta myös käytettyjen pintakartonkien sekä aallotuskartongin paksuudet. Yleisimmät käytössä olevat aaltoprofiilit voidaan nähdä taulukossa 1. (Laakso & Rintamäki 2000, 15)

TAULUKKO 1. Yleiset aaltoprofiilit (Laakso & Rintamäki 2000, 15)

Aallon nimi	Aallon korkeus	Aaltoluku metrillä
A karkea aalto	noin 5,0 mm	noin 110
C karkea aalto	noin 3,8 mm	noin 130
B hienoaalto	noin 2,6 mm	noin 150
E miniaalto	noin 1,2 mm	noin 300
F mikroaalto	noin 0,7 mm	noin 450
G&N mikroaallot	noin 0,5 mm	noin 550
O mikroaalto	noin 0,3 mm	noin 830

Aaltoprofiilit esitetään korkeusjärjestyksessä (TAULUKKO 1), ja niiden nimitykset ovat muotoutuneet käyttöönottojärjestyksessä. B-aalto on otettu käyttöön ennen C-aaltoa, muuten järjestys on myös ikäjärjestys (A karkea aalto vanhin ja G&N mikroaallot uusin). Aaltopahvin paksuus on teoreettisesti aallonkorkeuden, aallotuskartongin paksuuden ja pintakartonkien paksuuksien summa. Käytännössä on huomattu, että pintakartongin ja aallotuskartongin yhteenliittymässä tapahtuu lievää kokoonpuristumista, joka hieman pienentää paksuutta. (Laakso & Rintamäki 2000, 15)

### 3.4 Ominaisuudet ja soveltuvuus

#### A-aalto

- Korkein jäykkyys ja hyvä pinoamislujuus
- Paksuutensa takia vie paljon tilaa (valmistus, varastointi ja kuljetus)
- Painatuspinnassa voi olla lievää aaltomaisuutta
- Ei yleensä käytetä stanssaustöihin murtumisalttiuden takia

#### C-aalto

- Korkea jäykkyys ja hyvä pinoamislujuus
- Eniten käytetty ja normaali pahvilaatikkomateriaali
- Soveltuu erityisen hyvin rotaatiostanssattaville töille

#### B-aalto

- Suhteellisen hyvä pinoamislujuus
- Säästää huomattavasti tilaa
- Hyvät painatusominaisuudet
- Hyvät stanssausominaisuudet

#### E-aalto

- Säästää huomattavasti tilaa
- Hyvät painatusominaisuudet
- Hyvät jäykkyysominaisuudet molempiin suuntiin
- Sopiva pienille koteloille sekä laminoitaviin tuotteisiin
- Huonommat pinoamisominaisuudet kuin suuremmilla aalloilla

#### F-aalto

- Säästää huomattavasti tilaa
- Erittäin hyvät painatusominaisuudet
- Hyvät stanssausominaisuudet
- Sopiva pienille koteloille sekä laminoitaviin tuotteisiin
- Soveltuu erityisesti offset – koneella painettavaksi
- Työstämiseen soveltuu hyvin taivekartongin jalostuskoneet

### G ja N-aallot

- Säästää huomattavasti tilaa
- Erittäin hyvät painatusominaisuudet
- Hyvät stanssausominaisuudet
- Sopiva pienille koteloille sekä laminoitaviin tuotteisiin
- Soveltuu erityisesti offset – koneella painettavaksi
- Työstämiseen soveltuvat hyvin taivekartongin jalostuskoneet

### O – aallot

- Säästää huomattavasti tilaa
- Äärimmäisen hyvät painatusominaisuudet
- Hyvät stanssausominaisuudet

(Laakso & Rintamäki 2000, 15–16)

Stanssauksella tarkoitetaan leikkauksien, viiltojen ja taivutusurien tekemistä aaltopahviin, jolloin tuloksena saadaan aaltopahvi - laatikkoaihio. Tasostanssauksessa leikkuu- ja taivutusterät on kiinnitetty tasomaiseen vanerilevyyn, rotaatiostanssauksessa taas kaarevaan vanerilevyyn. (Laakso & Rintamäki 2000, 16)

### 3.5 Aaltopahvin raaka-aineet

Aaltopahvi yksinkertaisimmillaan koostuu kolmesta eri komponentista, joita ovat: pintakartonki (laineri), aallotuskartonki (fluting) ja liima, jolla pintakerroksen yhdistetään aallotuskartonkiin.

Pintakartonkeina eli lainereina voidaan käyttää seuraavia kartonkityyppejä:

- Kraftlaineri: ruskea-, pilvi- tai valkopintainen, päällystetty valkopintainen ja täysvalkoinen
- Testlaineri: ruskea-, pilvi- tai valkopintainen sekä päällystetty valkopintainen
- Erilaisiin tarkoituksiin voidaan käyttää muita kartonkeja, esimerkiksi aallotuskartonkia, taivekartonkia, voimapaperia tai mitä tahansa ominaisuuksiltaan hyvin sopivaa paperi- tai kartonkimateriaalia.

(Laakso & Rintamäki 2000, 28)

### 3.5.1 Pintakartongit

#### Kraftlaineri

Kraftlaineri on yleensä kaksikerroksista sulfaattikartonkia, jolla on paras mahdollinen veto-, puhkaisu ja repeytymislujuus. Käyttämällä eri kerroksissa erilaisia massatyyppejä saadaan kartonkiin korostettua haluttuja ominaisuuksia. Kraftlainerin pohjakerroksen voi muodostaa sulfaattisellusta, mutta osa sulfaattisellusta korvataan yleensä keräyskuidulla. Koska kraftlainerin lujuus riippuu ensisijaisesti pohjakerroksesta, määräytyy seossuhde tältä pohjalta. Pohjakerroksen huokoisuus sekä veden imukyky vaikuttavaa liimautumisominaisuuksiin aaltopahvikoneella. Kraftlainerin pintakerrokseen käytetään yleensä ainoastaan puhdasta sulfaattimassaa, joka muodostaa tasavärisen, sileän pinnan ja antaa sekä riittävän pintalujuuden, että hyvät painatusominaisuudet. Sopivilla lisäaineilla (hartsiliima) voidaan säätää kartongin pinnan vedenimukykyä ja kosteudensieto-ominaisuuksia. Kraftlaineria valmistetaan ruskeana, valkoisena ja valkopintaisena. Tärkeä ominaisuus näille kaksikerroskartongeille on se, että kerrokset ovat lujasti sitoutuneet toisiinsa, niin ettei palstautumista tapahdu jatkojalostuksen vaiheissa. (Laakso & Rintamäki 2000, 28–29)

Valko- ja pilvipintaisten kraftlainerien pohjakerros on edellä kuvatun kaltainen, mutta pintakerrokseen käytetään puhdasta ja valkaistua sulfaattisellua. Pilvipintaisessa kraftlainerissa se on havupuusellua ja valkopintaisessa yleensä havu- ja lehtipuusellun seosta. Lisäksi valkopintaisen kraftlainerin pintakerroksessa voidaan käyttää hieman epäorgaanisia pigmenttejä painatusominaisuuksien parantamisen takia. Pilvipintaisen kraftlainerin ”pilvimäisyyttä” säädetään pintakerroksen paksuudella ja pintamassan jauhatuksella. Valkea pintakerros voidaan värjätä, jolloin kartongista saadaan värillinen. Värillisiä kartonkeja ei tiettävästi nykyisin valmisteta, vaan väri painetaan jatkojalostuksen eri vaiheissa. (Laakso & Rintamäki 2000, 28–29)

Mikäli lainerilta vaaditaan todella hyvää ulkonäköä ja aivan erityisiä painatusominaisuuksia, valkopintainen kraftlaineri voidaan päällystää kaoliinia ja mineraalipigmenttejä sisältävällä seoksella eli päällystyspastalla.

Koostumukseltaan pigmenttipäällysteet muistuttavat lateksimaaleja. Päällystepastalla voidaan täyttää viimeisetkin kuitujen välit ja muodostaa sileä, tasainen ja yhtenäisen painatuspinta. Päällystepastan absorptio-ominaisuudet hidastavat painovärien kuivumista ja vaikeuttavat jonkin verran ilman kuivausyksiköitä tapahtuvaa moniväripainatusta ja pienentävät painamisnopeutta. Ongelma yritetään ratkaista joko painovärien tuotekehityksellä tai päällystysteknologian kehityksellä. Monikerrospäällystyksellä voidaan eri päällystekerroksiin hakea haluttuja ominaisuuksia. (Laakso & Rintamäki 2000, 28–29)

Täysin valkaistu kraftlaineri valmistetaan valkaisusta sulfaattisellusta. Pohjakerrokseen kohdistuu samat vaatimukset kuin ruskealla lajilla, pintakerroksen osalta vaatimukset voi rinnastaa valkopintaiseen kraftlaineriin. Täysvalkeita kraftlainereita voidaan käyttää taivekartonkia korvaavissa ohuissa (E, F, N, G-aallot) aaltopahvipakkauksissa, jonka vuoksi valmistus on nykyään keskittynyt yhä kevyempiin lajeihin (ns. mikrolainerit). (Laakso & Rintamäki 2000, 28–29)

Kraftlainereiden yleiset neliömassaluokat (TAULUKKO 2).

TAULUKKO 2. Kraftlainereiden yleiset neliömassaluokat (Laakso & Rintamäki 2000, 29)

Lajit	Neliömassat g/m <sup>2</sup>
Ruskea kraftlaineri:	100, 125, 150, 175, 186, 200, 225, 300, 400
Valkopintainen:	110, 125, 140, 175, 200
Päällystetty valkopintainen:	115, 130, 140, 150, 160, 180, 190, 200, 215
Täysvalkoinen:	70, 80, 90, 100, 120, 125, 140, 150, 190

## Testilaineri

Testlaineri on myöskin monikerroskartonki. Testlainerin raaka-aineena käytetään yksinomaan kiertokuitua. Testlainerilla on määritelty lajikohtaiset lujuus- ja suoritusarvot (SCT, CD-indeksi ja mullen – indeksi), jotka kaupallisen normaalihintaisen tuotteen tulee minimissään täyttää. Haluttujen suoritusarvojen perusteella valitaan käytettävät kiertokuitulajit. Testlainerin pintakerros on yleensä aaltopahvikiertokuitua, jonka avulla pintaominaisuudet saadaan halutuiksi. Mikäli testlainerin pinnan halutaan värisävyltään muistuttavan enemmän laineria, täytyy luonnostaan vaaleampi pintamassa värjätä. Valkopintaisen testlainerin pintakerroksessa voidaan käyttää valkoista siistattua kiertomassaa tai valkaistua ensisulfaattikuitua. Testlainerin pohjakerros voidaan valmistaa kokonaan erilaisista kiertokuitumassoista, riippuen vaadittavista lujuusominaisuuksista. Suorituskyky ja hinta laskevat järjestyksessä: test1, test2, test3 ja test4. Testliner 1 on vahvin ja testliner 4 heikoin (TAULUKKO 3). (Laakso & Rintamäki 2000, 29; Cepi, 2017)

TAULUKKO 3. Testlainerien laatuarvoluokat (Cepi, 2017)

Laatu	g/m <sup>2</sup>	Puhkaisulujuus		tai SCT-CD INDEX
		ISO 2758	ISO 2759	
Testlainer 1	< 200	≥ 2.8	≥ 3.0	≥ 17.5
	≥ 200	≥ 2.8	≥ 2.9	
Testlainer 2	< 200	≥ 2.2	≥ 2.5	≥ 15.5
	≥ 200	≥ 2.2	≥ 2.4	
Testlainer 3	< 95	≥ 1.6	≥ 1.9	≥ 13.5
	≥ 95	≥ 1.7	≥ 2.0	
	≥ 120	≥ 1.8	≥ 2.0	
	≥ 200	≥ 1.8	≥ 1.8	
Testlaineri 4	≥ 90	≥ 1.3	≥ -	≥ 11.5

Testlainerin lujuusominaisuudet ovat alhaisemmat kuin kraftlainerin, mutta ajettavuus ja painettavuus ovat lähestulkoon samaa luokkaa ja se on hinnaltaan edullisempää kuin kraftlaineri. Lujutta voidaan lisätä kasvattamalla kartongin neliömassaa. (Laakso & Rintamäki 2000, 29)

Testlainereita valmistetaan myös alhaisissa neliöpainoissa, jotka soveltuvat erityisesti kevyisiin mikroaaltopahveihin ja pakkauksiin, joissa pinoamislujuus ei

ole määrävä tekijä. Tällöin neliömassa alue on 75–120 g/m<sup>2</sup>. (Laakso & Rintamäki 2000, 29)

Testlaineria valmistetaan ruskeana, pilvipintaisena, valkopintaisena ja päällystettynä valkopintaisena. Valmistus ja käyttö ovat ensisijaisesti keskittyneet Keski- ja Etelä-Euroopan maihin (Laakso & Rintamäki 2000, 29)

Oheisessa taulukossa (TAULUKKO 4) testlainerien yleiset neliömassaluokat

TAULUKKO 4. Testlainerien yleiset neliömassaluokat (Laakso & Rintamäki 2000, 28–29; Cepi, 2017; Saica, 2021)

Lajit	Neliömassat g/m <sup>2</sup>
Testlainer 1–4	75, 95, 100, 110, 115, 120, 125, 140, 150, 170, 180, 200
Valkopintainen	130, 140, 145, 150, 170, 175, 180, 200, 230
Päällystetty valkopintainen	140, 150, 160, 180, 200, 230, 250

### Muut pintakerrosvaihtoehdot

Kääreeksi tarkoitettussa yksipuolisen aaltopahvin pintana voi käyttää myös ohutta voimapaperia, joka on sitkeää ja hyvin taitettavaa käärittäessä. Aallotuskartonkia voidaan käyttää myös pinta- ja välikartonkina, mutta sen lujuusominaisuudet (puhkaisu ja repäisylujuudet) ovat huomattavasti heikommat ja se on huokoisempaa ja pinnaltaan karheampaa kuin laineri. (Laakso & Rintamäki 2000, 29)

### 3.5.2 Aallotuskartongit

#### Fluting

Ensikuidusta valmistettu aallotuskartonki (fluting) valmistetaan yksiviirakoneella puolikemiallisesta, lyhytkuituisesta (NSSC) lehtipuumassasta, johon repeytymislajuuden parantamiseksi voidaan lisätä havupuusta tehtyä pitkäkuituista sulfaattimassaa tai kiertokuitumassaa. Korkea jäykkyys johtuu NSSC – valmistusmenetelmässä suhteellisen suurena säilyvästä lehtipuun hemiselluloosapitoisuudesta. Puolikemiallinen fluting säilyttää jäykkyytensä kosteissa olosuhteissa huomattavasti paremmin kuin kiertokuitufluting.



Aallotetun flutingin jäykkyydellä on ratkaiseva merkitys laatikon pinoamiskestävyydelle varsinkin loppukäytön vaativissa korkeavarastointi- ja kuljetusolosuhteissa, sekä varsinkin kosteissa ilmastointiolosuhteissa. (Laakso & Rintamäki 2000, 30)

Hyvä liimautuvuus pintakartonkiin riippuu useasta tekijästä, mutta jos muut tekijät ovat kunnossa, fluting huokoisena kartonkina liimautuu vaikeuksitta pintakartonkiin suurissakin aaltopahvin valmistusnopeuksissa, jolloin alkutartunnalle jää aikaa vain pari millisekuntia. (Laakso & Rintamäki 2000, 30)

Flutingin ajettavuudelle ei ole muuta mittaria kuin testaus todellisissa koneolosuhteissa aaltopahvikoneella. Flutingin täytyy kestää murtumatta siihen kohdistuvat jännitykset aallotusvaiheessa ja sen tulee olla helposti aallotustelojen välissä muotoutuvaa, sekä säilyttää aaltomuotonsa. Tällöin korostuu alhaisen pintakitkan ja suuren hemiselluloosapitoisuuden merkitys. Hyvä ajettavuus edellyttää aallotuskartongilta edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi oikeaa ja tasaista kosteuspitoisuutta sekä tasaista poikkiradan neliömassaa ja paksuutta. (Laakso & Rintamäki 2000, 30)

### **Kiertokuituaallotuskartonki**

Kiertokuituaallotuskartonki valmistetaan nimensä mukaisesti kiertokuitumassasta, jota voi kutsua myös uusiomassaksi. Tavallisin kiertokuitulaji on lajittelematon sekalainen keräyspaperi / pahvi. Kiertokuituaallotuskartongin flutingin huonommat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet johtuvat raaka-aineena käytettyjen kuitujen koosta ja ominaisuuksista. Käyttämällä lisäaineita (tärkkelys ym. kemikaalit) pystytään lujuuksia kuitenkin parantamaan. Alhaisempaa lujuustasoa ei voida kovin paljon kompensoida neliöpainoa lisäämällä, kuten pintakartongissa. Kiertokuituaallotuskartonki (etenkin LWM = low weight medium, 90–105 g/m<sup>2</sup>) soveltuu aallotuskartongiksi ohuille (B, E, F, G, N- aallot) aaltopahveille ja pienille kuljetuspakkauksille, joilla on lyhyt kuljetusmatka ja lyhyt varastointiaika. Tällaisissa käyttötarkoituksissa aallotuskartongin jäykkyyden merkitys on hyvin pieni. Ajettavuudeltaan se on verrattavissa täysin NSSC - flutingiin ja ympäristöystävällisyytensä takia sen käyttö suomessakin on lisääntynyt. Hyvänä puolena mainittakoon, ettei kiertokuituaallotuskartonki ”osittain kuolleena” kuituna elä kosteuden vaikutuksesta yhtä voimakkaasti kuin ensikuitu.

Negatiivisena puolena on kiertokuituaallotuskartongin riski sisältää raaka-aineesta peräisin olevia vieraita ainesosia (hiekkia ja lasi), jotka kuluttavat voimakkaasti aallotuskoneen telojen pintaa ja profiilia. Telojen käyttöikä voi tästä syystä olla vain 50 %, verrattaessa NSSC – flutingin käyttöön. Laakso & Rintamäki 2000, 30–31)

Oheisessa taulukossa (TAULUKKO 5) aallotuskartongin jäykkyyttä kuvaava CMT 30-indeksi erilaisille aallotuskartongeille.

TAULUKKO 5. Aallotuskartonkien CMT 30 – indeksit (Laakso & Rintamäki 2000, 31)

NSSC-fluting	> 1,8
Kiertokuitu	> 1,6
Olkikuitu	> 1,4
LWM	> 1,25

### 3.5.3 Liimat

Aallotuskartonki kiinnitetään pintakartonkeihin tärkkelysliimalla, joka on yleisimmin valmistettu maissitärkkelyksestä. Myöskin vehnä- ja perunatarkkelystä voidaan käyttää. Liima annostellaan liimauslaitteessa lämmitetyn aallotuskartongin aallonharjoihin. Liiman annostelun jälkeen aallotuskartonki ja laineri puristetaan yhteen. Tärkkelys gelatinoituu lämpötilan noustessa ja muodostaa sitovan ja nopeasti kuivuvan liimasauman. Tämän takia aaltopahvikoneen suuretkin ajonopeudet ovat mahdollisia. Tärkkelysjauheen ohella liuokseen voidaan käyttää lisäaineita, joilla säädetään liiman ominaisuuksia ja joilla voidaan parantaa esimerkiksi liiman kosteudenkestoa ja säilyvyyttä. Valmiin liimaliuoksen kuiva-ainepitoisuus vaihtelee 20–25 %. (Laakso & Rintamäki 2000, 31)

### 3.5.4 Muut raaka-aineet

#### Painovärit

Aaltopahvin painatuksessa käytetään yleensä fleksopainoon suunniteltuja värejä. Painovärit ovat ohuita ja juoksevia, jotka kuivataan haihduttamalla ja imeyttämällä. Aaltopahvin painatuksessa käytetään vesiohenteisia fleksopainovärejä. Ne koostuvat väri-, side-, liuotin- ja lisäaineista. Väriaineet ovat synteettisiä. Mustana väriaineena on noki ja valkoisena taas titaanioksidi. Sideaineet ovat yleensä synteettisiä hartseja. Vesiohenteisissa väreissä liuottimesta on noin puolet vettä. Apuaineita ovat vahat, liukasteet sekä vaahdonestoaineet. Emäksisiä amiineja ja ammoniakkaa käytetään pH:n säätämiseen sekä hartsin liuottamiseen. (Laakso & Rintamäki 2000, 31)

#### Teipit

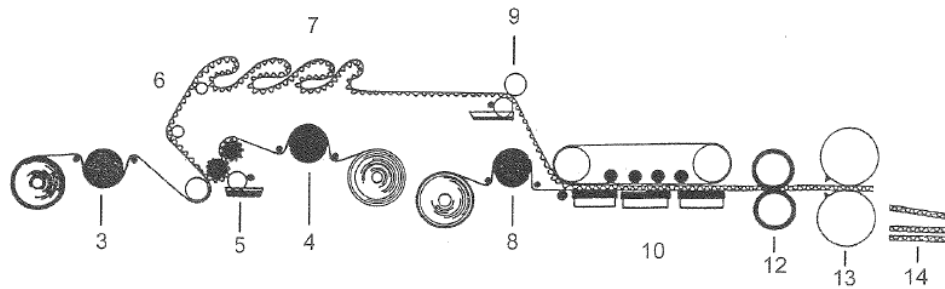
Tietyissä aaltopahvipakkauksissa voidaan käyttää teippejä vahvistamaan pakkausta sekä helpottamaan niiden avaamista. Teipit ovat yleensä 3–12 mm leveitä muoveja. (Laakso & Rintamäki 2000, 31)

#### Pinnoitteet

Kun aaltopahvilta vaaditaan hyvää veden- ja rasvankestävyyttä, sen pinta voidaan käsitellä. Pinnoitteina voidaan käyttää lopputarkoituksen mukaan erilaisia vahoja, lakkoja sekä muovikalvoja. (Laakso & Rintamäki 2000, 31)

### 3.6 Aaltopahvin valmistus

Aaltopahvia valmistetaan aaltopahvikoneella, joka on perusrakenteeltaan pysynyt samana jo noin 100 vuotta. Edellä olevassa kuvassa (KUVA 7) voidaan nähdä aaltopahvikoneen yksinkertaistettu perusrakenne. (Laakso & Rintamäki 2000, 33)



KUVA 7. Aaltopahvikone (Laakso & Rintamäki 2000, 33)

3. Pintakartongin esilämmitin
4. Aallotuskartongin esilämmitin
5. Aallottaja
6. Ylösvetokuljetin
7. Silta
8. Esilämmittimet
9. Liimausyksikkö
10. Arina
11. Tilauksenvaihtoleikkuri
12. Pituusleikkuri
13. Poikkileikkuri
14. Vastaanottolaitteet

(Karhuketo, H & Seppälä, Markku J & Törn, T & Viluksela, P 2004, 158)

Rullalta purkautuva aallotuskartonki lämmitetään ensiksi esilämmityssylinterillä, tämän jälkeen kostutetaan höyryllä ja aallotetaan telojen välissä. Seuraavaksi aallonharjoille levitetään liima. Samanaikaisesti toisella puolella aallottajaa puretaan rullalta pintakartonkia, joka myöskin lämmitetään ja puristetaan aallotuskartongin aallonharjoihin. Näin muodostetaan liimasauma ja yksipuolinen aaltopahvirata on syntynyt, joka laskostetaan ylös sillalle. (Laakso & Rintamäki 2000, 34)

Yksipuolinen aaltopahvirata johdetaan esilämmituksen kautta liimausyksikölle, jossa aallotuskartongin toiselle aallonharjalle levitetään liima. Esilämmitetty kolmas kartonkirata liitetään tätä liimaa vasten arinaosalla, jolloin rakentuu lopullinen ja jäykkä aaltopahvirakenne. Pituusleikkurilla rataaan tehdään nuuttaukset ja samalla rata voidaan leikata useaksi osaksi. Lisäksi rata leikataan

reunoilta puhtaaksi, eli siitä otetaan reunanauhat, jotka silputetaan repijäpuhaltimella. Seuraavaksi radat johdetaan poikkileikkurille, joka arkittaa radat. Valmiit arkit ladotaan vastaanottolaitteilla sopivan korkeiksi arkipinoiksi. Seuraavaksi arkipinot siirretään välivarastoon odottamaan erilaisia jatkojalostuksen vaiheita. (Laakso & Rintamäki 2000, 34)

Vaikka aaltopahvikoneen toiminta muodostaa yhden prosessin, se kuitenkin koostuu useasta erillisestä vaiheesta. Aaltopahvikoneen yksiköt ovat itsenäisiä koneita, joten on varsin tavanomaista, että yksiköt ovat eri valmistajien tekemiä. Tätä periaatetta noudattaen yksiköitä voidaan joustavasti modernisoida ja vaihtaa uudempiin yksi tai useampi yksikkö kerrallaan, tosin koneiden kehittynyt automaatio ja tietokoneohjaus vaikeuttavat erimerkkisten yksiköiden yhteensovittamista. (Laakso & Rintamäki 2000, 34)

Jatkuvan kehityksen myötä nykyaikaisesta aaltopahvikoneesta on muodostunut yli 100 metriä pitkä tuotantolinja. Nykyaikaisilla ja moderneilla aaltopahvikoneilla voidaan saavuttaa yli 400 m/min tuotantonopeus ja valmistaa päivittäin aaltopahviarkit yli miljoonaa keskikokoista pahvilaatikkoa varten. Aaltopahvikoneiden nopeudet ovat kasvaneet tasaista vauhtia, mutta sen sijaan koneiden leveydet ovat vakiintuneet noin 2,5 metrin tasolle. Tätä kapeammat koneet ovat lähinnä erikoistarkoituksiin ja leveämmät koneet on yleensä sijoitettu kartonkitehtaan läheisyyteen, ettei ”ylileveys” vaikeuta kartonkirullien maantie-, ja junakuljetuksia. (Laakso & Rintamäki 2000, 34; Minna Kalajoki, n.d)

## 4 VALMETIN QCS JÄRJESTELMÄ

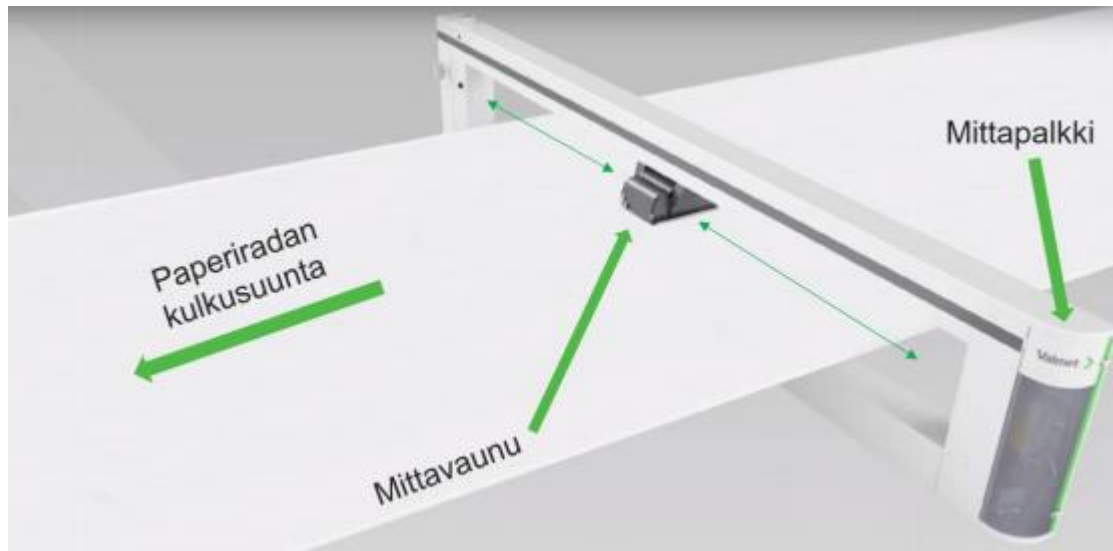
### 4.1 Yleistä tietoa QCS järjestelmästä

Heinolan flutingtehtaalla on käytössä Valmetin QCS – järjestelmä, jonka avulla mitataan ja säädetään prosessin kulkua. Järjestelmällä voidaan hallita esimerkiksi kartonkikoneen nopeutta, höyryryhmille ohjattavan höyryn määrää ja valmistuvan kartongin neliöpainoa. QCS on lyhenne sanoista Quality Control System, eli laadunvalvonnan tai laadunohjauksen järjestelmä. (Lecklin, Haastattelu, 12.03.2021)

Opinnäytetyö keskittyi QCS – järjestelmän IQ Scanneriin, eli mittapähän. Mittapää sijaitsee kartonkikoneen ”kuivassa päässä” juuri ennen kartongin rullaamista tampoerille. Mittapään tehtävänä on mitata kartongista erilaisia arvoja, jotta lopputuotteen laatu olisi hyvää ja tasalaatuista. Mitattavia arvoja ovat esimerkiksi kosteus, neliöpaino, huokoisuus ja formaatio.

### 4.2 Kartonkiradan laatumittaukset

Kartongin laatua mitataan tuotannon aikana ennen rullainta sijaitsevan mittapalkin avulla. Mittapalkkeja voi olla useita yhdessä konelinjassa esimerkiksi päällystysasemalla tai kuivatusosalla ennen päällystystä. Mittapalkkiin on asennettu mittavaunu, jossa kartongin fysikaalisia suureita mittaavat anturit sijaitsevat. Mittavaunu liikkuu kartonkiradan yli puolelta toiselle poikkisuunnassa ja mittaa kaiken aikaa kartonkiradan ominaisuuksia koko radan leveydeltä (KUVA 8). Mittavaunu voidaan myös kohdistaa mittaamaan ainoastaan tiettyä kohtaa kartonkiradasta, esimerkiksi hoitopuolen reunaa tai käyttöpuolen reunaa. Mittavaunu on kaksiosainen, jonka välissä kartonkirata kulkee. Yleisimmät mitattavat suureet ovat neliömassa, kosteus ja paksuus. Muita mitattavia suureita ovat esimerkiksi tuhka, vaaleus, sileyys ja kiilto. Heinolan Flutingtehtaan kartonkikoneen mittapää mittaa muun muassa kosteutta ja neliöpainoa. (KnowPap versio 22.0. 2021a)

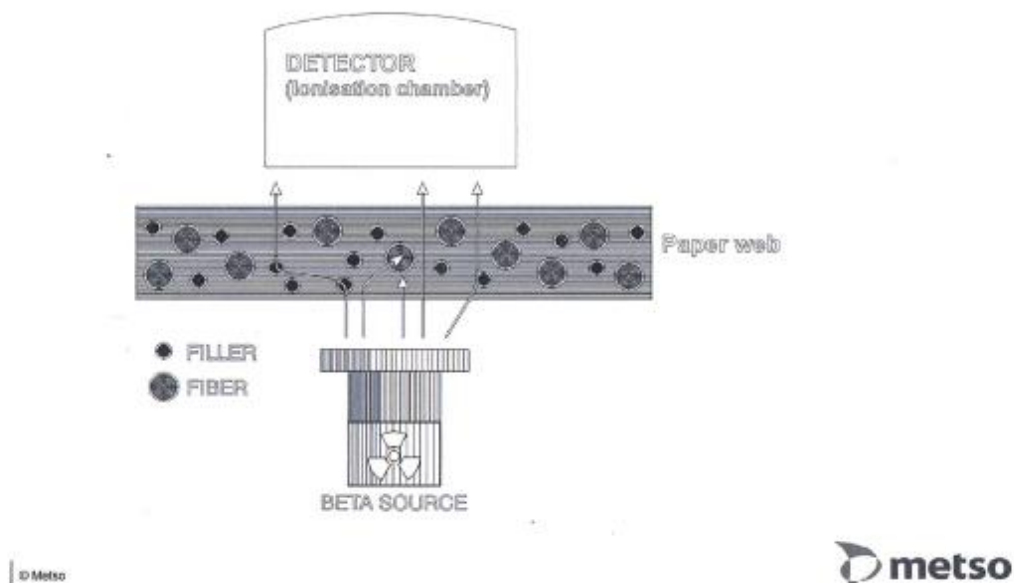


KUVA 8. Mittapalkin havainnollistaminen (Valmet 2015)

#### 4.2.1 Neliömassa

Neliömassa tarkoittaa kartongin painoa grammoina neliometriä kohden. Neliömassan yksikkönä käytetään  $\text{g/m}^2$ . Neliömassa sisältää kartongin kuiva-ainemäärän sekä vesimäärän. Neliömassan lisäksi myös kartongin kosteuspitoisuus saadaan mitattua mittapalkilla, joten näiden mittatulosten erotuksena saadaan laskettua kartongin sisältämä kuivamassa. Erilaisten kartonkilajien neliömassa-alue tyypillisesti on noin  $100\text{--}600 \text{ g/m}^2$ . (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 78)

## Neliöpainomittauksen periaate



KUVA 9. Neliöpainomittauksen periaatekuva (Metso Automation 2012)

Neliömassan mittaus mittapalkilla perustuu yleensä beeta- tai gammasäteilyn absorptioon mitattavassa paperissa tai kartongissa. Kartonkiradan läpäissyt beetasäteily kyetään tunnistamaan rainan yläpuolella olevassa neliömassa-anturin vastaanottimessa, jossa on jalokaasutäytteinen ionisointikammio (KUVA 9). Kartonkiradan läpäissyt beetasäteily aiheuttaa ionisoitumisen vastaanottimessa. Ionisointikammioon syötetään sähkövirtaa, jonka avulla beetasäteilyn ionisointumiseen verrannollinen sähkövirta saadaan johdettua elektrodille. Vahvistin vahvistaa syntyneen sähkövirran, sekä muuntaa sen jännitteeksi. Jännite muunnetaan taajuudeksi, jolloin mittauksesta syntyy pulssijono. (KnowPap versio 22.0. 2021a)

### 4.2.2 Kosteus

Kosteus on yksi tärkeimmistä kartonkirainan fysikaalisista suureista. Kartonkirainan kosteuden on tärkeää olla mahdollisimman tasainen. Valmiille kartongille on määritelty kosteuden ylä- sekä alaraja, jonka sisällä lopullisen kosteuden tulee pysyä. Liian kosteaa tai kuivaa kartonkia ei voida myydä asiakkaalle, koska asiakkaan jatkojalostuksessa voi tällöin ilmetä ongelmia, jotka hajottavat asiakassuhdetta. Kartonki on hygroskooppinen materiaali, mikä



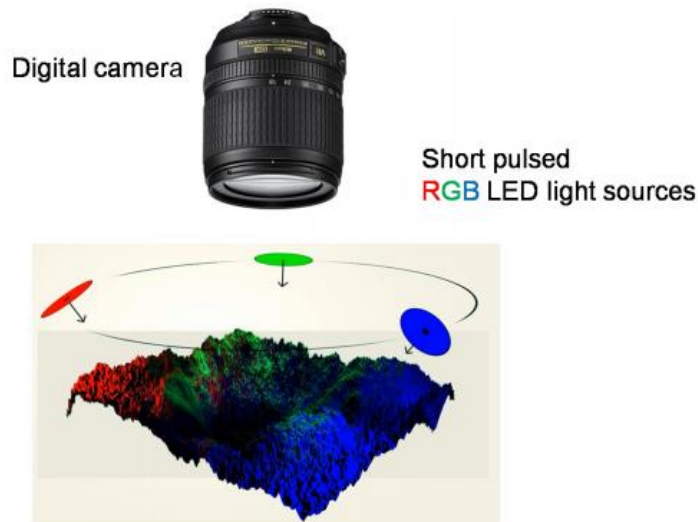
tarkoittaa, että kartongin kosteus pyrkii kosteustasapainoon ympärillä olevan ilmankosteuden kanssa. Mikäli ympäristön ilmankosteus nousee, nousee myös kartongin kosteuspitoisuus. (KnowPap versio 22.0. 2021b)

Kartongin kosteuspitoisuus määritellään mittapalkilla infrapunaspektrometriaa hyödyntäen. Infrapunaspektrometriaa käytetään yleisesti aineiden tunnistamiseen ja molekyylin rakenteen määrittämiseen. Infrapunaspektroskopia perustuu molekyylien vuorovaikutukseen infrapuna-alueen valon kanssa. Infrapunaspektrometri mittaa, kuinka paljon tutkittavan aineen molekyylit absorboivat infrapunasäteilyä. Tässä tapauksessa vesi ja selluloosa absorboivat infrapunavaloa, joiden perusteella kosteuspitoisuus saadaan selvitettyä. (Metso Automation 2012)

### **4.2.3 Topografia**

Kartongin pinnan topografiamittaus perustuu fotometriseen stereomenetelmään. Ideana on ottaa useita kuvia yhdestä kohtaa kahta tai useampaa valonlähdettä käyttäen. Kuvan varjostumien avulla fotometrinen stereomenetelmä tuottaa kartongin pintaan gradienttikentät. Pinnan topografia pystytään tuottamaan integroimalla gradienttikenttiä. Otetusta kuvasta pystytään analysoimaan kartongin tai paperin pinnasta useita eri parametrejä, esimerkiksi sileys ja kuituorientaatio. (Metso Automation 2012)

Seuraavassa kuvassa (KUVA 10) on havainnollistettu kameran sekä valaistuksen sijaintia topografiamittausjärjestelmässä.



KUVA 10. RGB valonlähteiden tuottamat varjostumat kameralla (Metso Automation 2012).

Metso IQ mittausjärjestelmä käyttää RGB LED valonlähteitä tuottaakseen matalakulmaisen viistovalon kolmesta erilaisesta suunnasta. Kartongin pinnan topografia mitattavalta alueelta voidaan määrittellä yhdellä kuvan otolla, koska värikameralla pystytään mittaamaan eri suunnista tulevan valaisun värin perusteella. (Metso Automation 2012)

Kolmisuuntainen valaistus tuotetaan kuudella eri LED – salamavalolla, jotka ovat kukin yksittäin ohjattavissa. Kullekin valolle (punainen, vihreä ja sininen) on kaksi LED – alustaa. (Metso Automation 2012)

Pulssitettu LED valaisu tuottaa korkean intensiteetin valaistukseen mitattavalle kartongin alueelle. Lyhyt valopulssi heijastaa korkearesoluutiokameralle kuvan kartongin pinnasta. Yksittäisten valojen intensiteettiä pystytään ohjaamaan Ledien jännitteen voimakkuudella. Käytännöllinen LED – valojen välähdysaika on 0,5–3  $\mu$ s riippuen koneen nopeudesta ja paperin tai kartongin optisista ominaisuuksista. (Metso Automation 2012)

Otettu kuva kompensoidaan käyttäen referenssikuvaa, joka saadaan laskemalla keskiarvo jo saaduista kuvista. Referenssikuva edustaa täysin tasaista kuvapintaa vääristymineen, jotka itse mittalaite ja ympäristö aiheuttavat.

Kompensaatiolla referenssikuvan kanssa pystytään poistaa häiriöt itse mitattavasta suureesta. (Metso Automation 2012)

Kuvattavan alueen koko on 512 x 512 pikseliä, eli noin 0,26 megapikseliä. Kameran kuvanopeuden oletusarvo on 30 Hz, eli 30 kuvaa sekunnissa. (Metso Automation 2012)

## 5 KOKEELLINEN OSA

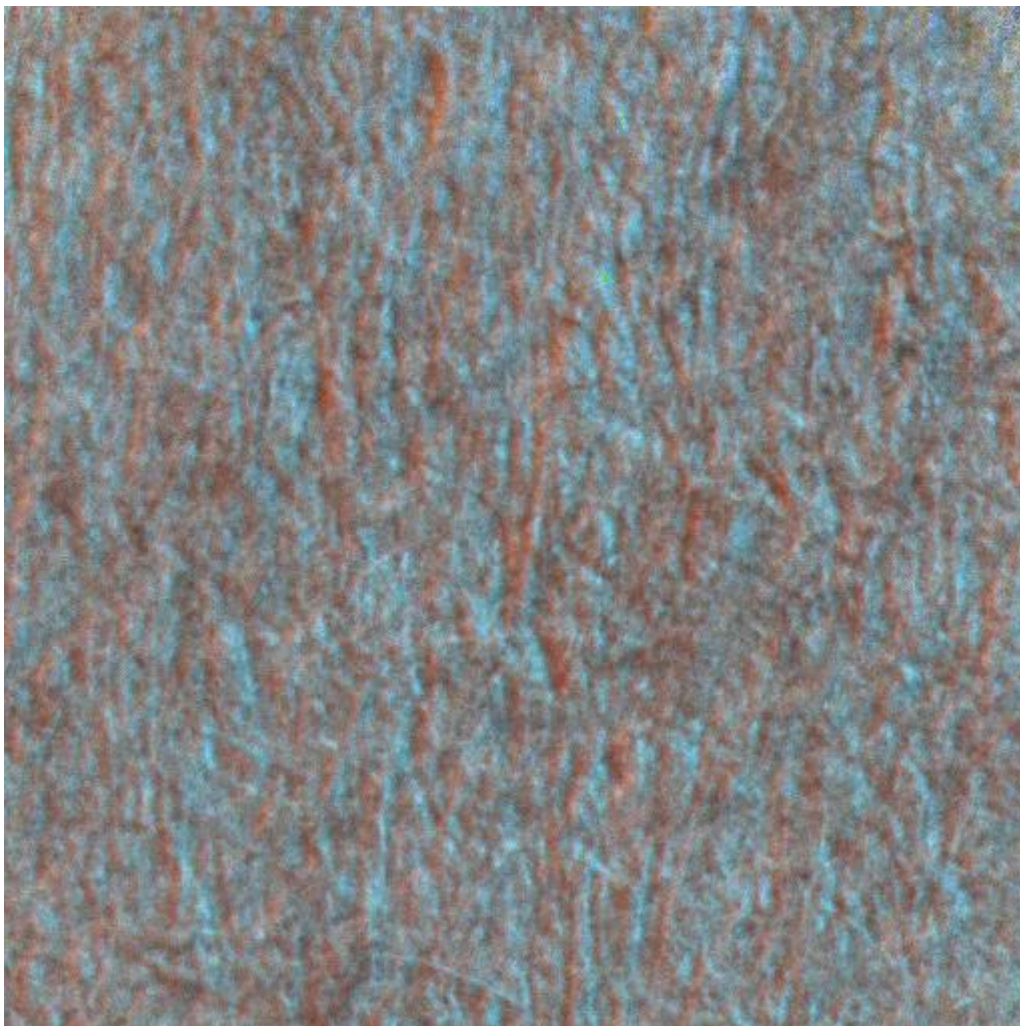
### 5.1 Mittapään toiminnan kehittäminen

Heinolan Stora Enson flutingtehtaalla ilmeni, että kartonkikoneen mittapäässä on topografianturi, joka ottaa kaiken aikaa kuvia kartonkiradan pinnasta ja näitä kuvia ei tällä hetkellä hyödynnetä millään tavalla. Tästä heräsi kysymys, että voisiko näitä kuvia jotenkin hyödyntää?

Topografianturi ottaa kuvia systeemiin 30Hz taajuudella, eli 30 kuvaa sekunnissa. Kuvat näkyivät aluksi vain operointiasemien näytöiltä Valmet DNA:n kautta. Näin ollen ensimmäiseksi tekniseksi ongelmaksi ilmeni se, kuinka kuvat saadaan näkymään muiltakin näytöiltä kuin valvomoissa sijaitsevilta operointiasemilta. Valvomoissa ei COVID-19 aikaan voi käydä kuin aivan välttämättömästä syystä, joten kuvat täytyi saada näkymään muiltakin näytöiltä. Tähän ongelmaan saatiin apua Valmetin porukalta, joka avasi palomuurit siten, että kuvat näkyvät myös toimiston tietokoneilta.

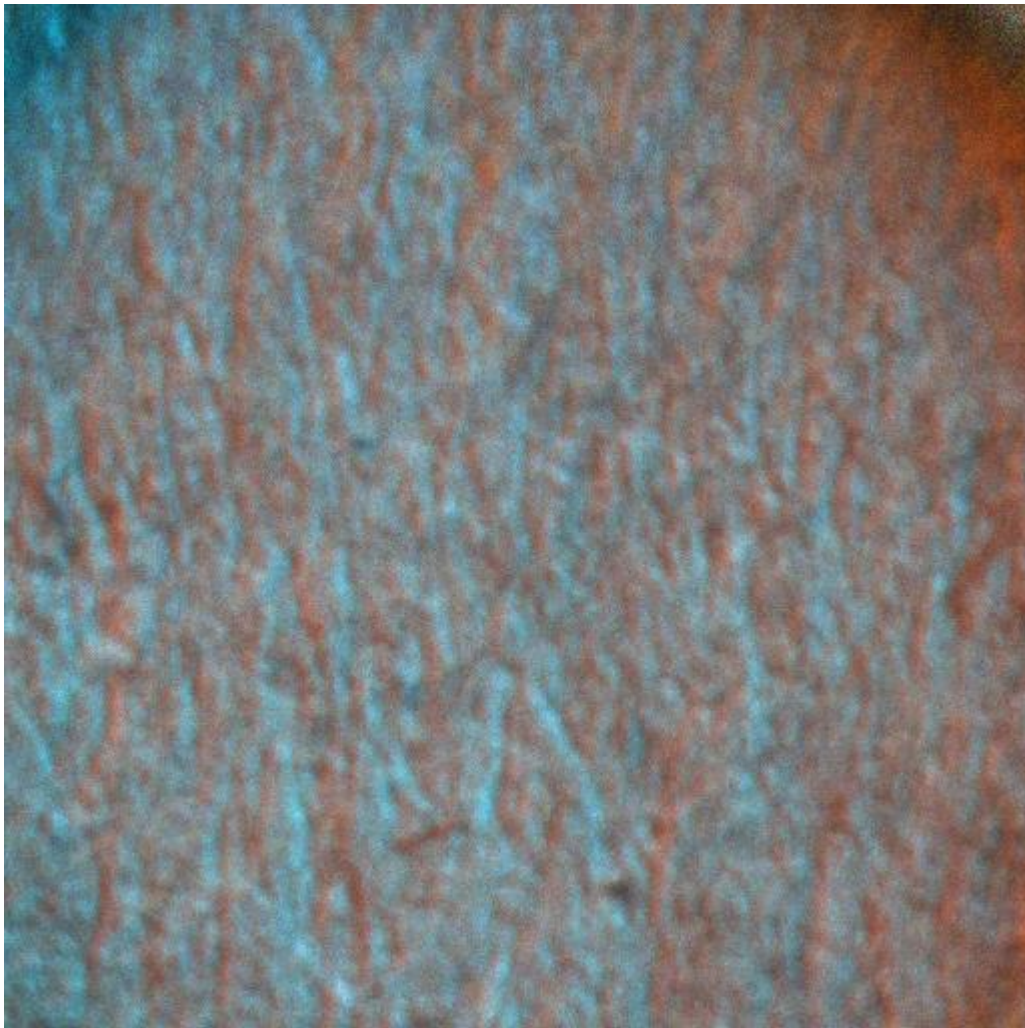
Seuraavaksi ongelmaksi muodostui se, kuinka kuvia saadaan talteen kovalevylle. Jotta kuvia ja niiden sisältämää dataa voitaisiin tehokkaasti hyödyntää, täytyisi kuvat saada mittapalkin syövereistä tietokoneen kovalevylle. Tähän ongelmaan saatiin apua tehtaan IT-asioista ymmärtävältä henkilöltä, joka räätälöi skriptin, jolla kuvia saa haettua kameralta suoraan tietokoneen kovalevylle.

Nyt kun kuvat ovat näkyvissä toimiston tietokoneelta, sekä koodipätkällä haettavissa mittapään kameralta, voidaan keskittyä kuvien analysointiin.



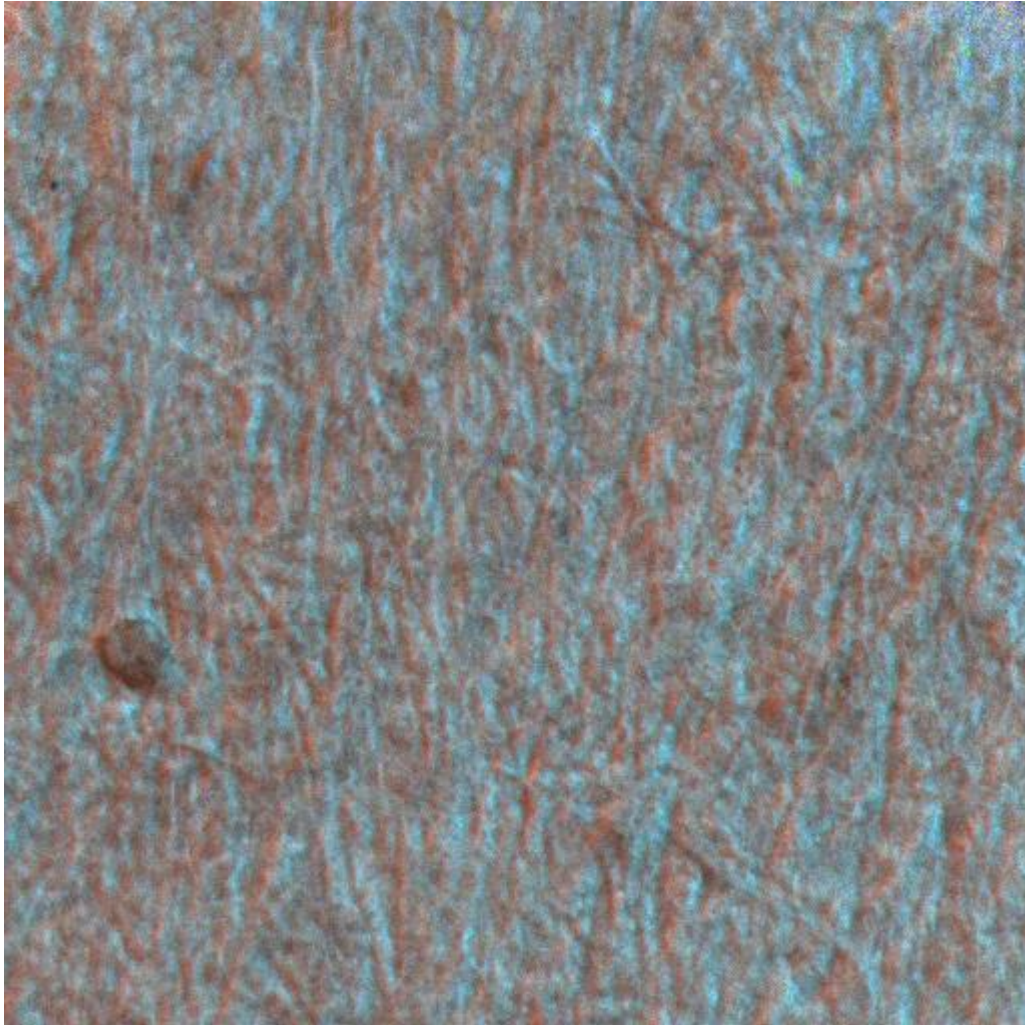
KUVA 11. Normaali kuva

Edellä oleva kuva (KUVA 11) on kartonkiradan pinnasta ja kyseinen kuva on normaali "hyvä kuva". Tässä kuvassa kartonkiradan pinnassa ei näy mitään normaalista poikkeavaa. Kuvassa näkyvät juovat ovat kuituja ja pinnan väri vaihtelut kuvaavat kartonkiradan poikkeavaa pintaa, joka ei ole täysin tasainen. Tämä on hyväksyttävää, koska lopputuote ei edellytä pinnan korkeaa sileyttä.



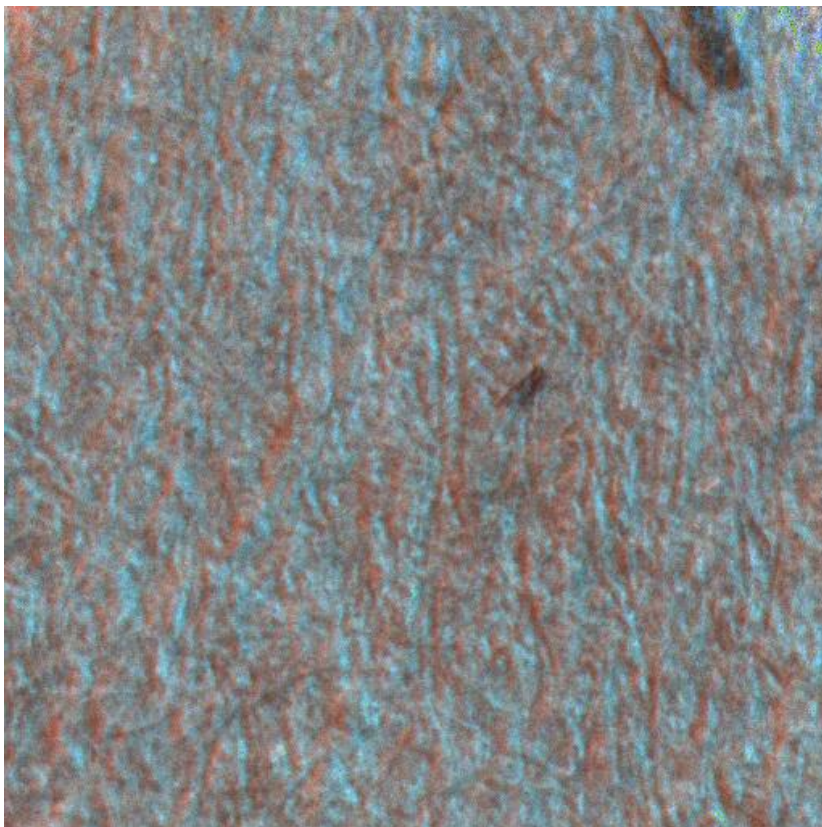
KUVA 12. Sumea kuva

Edellä oleva kuva (KUVA 12) on kartonkiradan pinnasta ja kyseinen kuva on sumea ja epätarkka. Kuvan aikana on ollut jotain kuvausteknistä häiriötä, koska kuvan oikealla reunalla näkyy selvä sumentuma. Kartonkikoneen vaihtelevat olosuhteet voivat aiheuttaa jonkin verran häiriötä kuviin, jotka sitten ilmenevät tällaisina poikkeamina. Kartonkiradan mukana on voinut kulkeutua silppua tai pölyä, joka myös häiritsee kuvaamista.

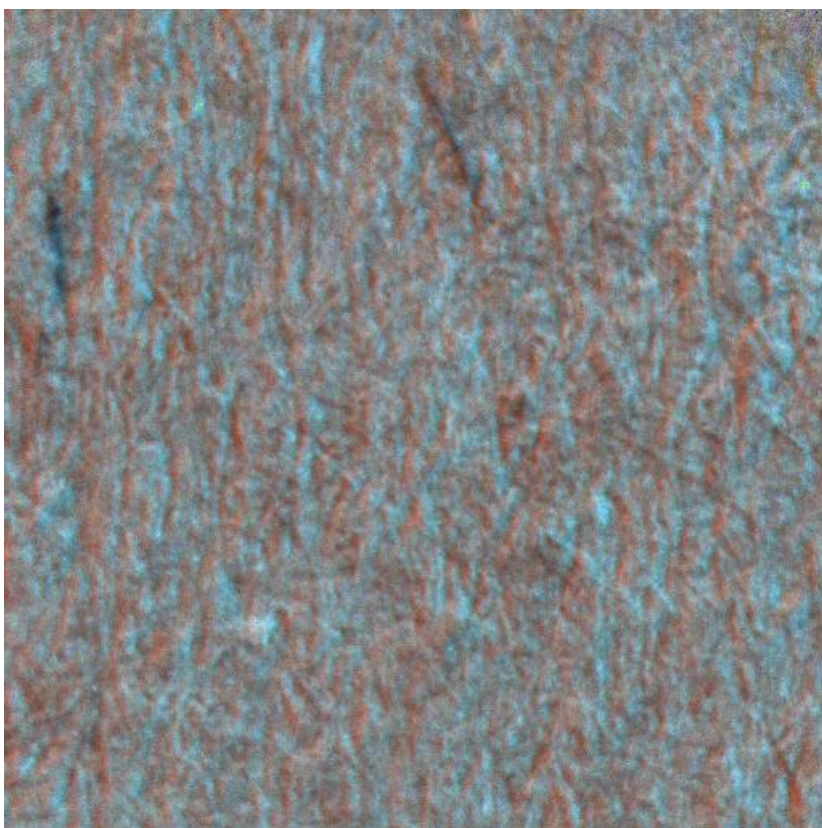


KUVA 13. Kuoren partikkeleita

Edellä oleva kuva (KUVA 13) on kartonkiradan pinnasta ja kyseinen kuva on kaikin puolin selkeä ja tarkka. Kuvassa näkyy musta, lähes pyöreä partikkeli, joka todennäköisesti on peräisin puun kuoresta. Puun kuori on sävyltään tummempaa ja tämän takia kuoripartikkelit erottuvat kuvista selkeästi.



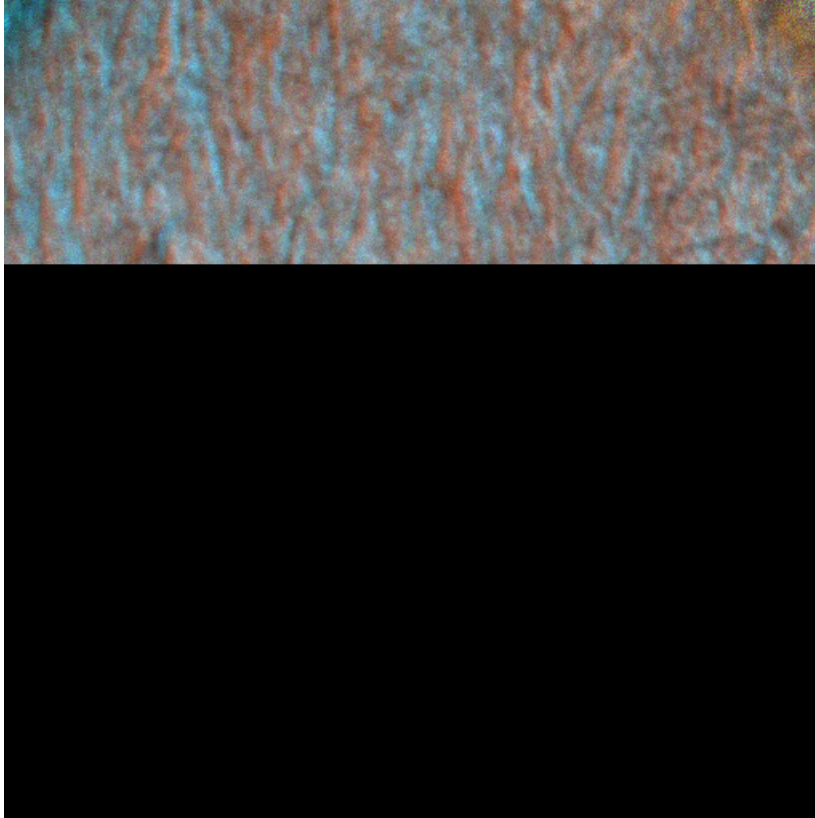
KUVA 14. Kuoren partikkeleita



KUVA 15. Kuoren partikkeleita



Kuten kuvista 13,14 ja 15 voidaan päätellä, kuoren partikkelit ovat hyvin erimuotoisia ja kokoisia. On suurempia ja kulmikkaita partikkeleita sekä tikkumaisia, ohuita ja pitkiä partikkeleita. Koska puiden kuorinta yksikköprosessina ei ole täysin tasalaatuinen, on selvää, että lopputuotteessa on myös erimuotoisia ja kokoisia kuoren partikkeleita.



KUVA 16. Epäselvä kuva



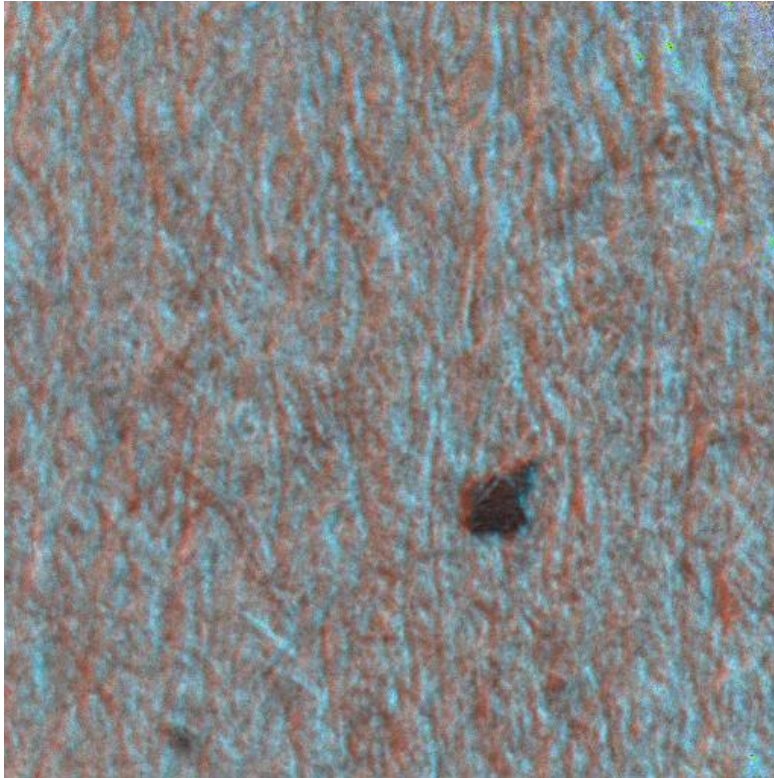
KUVA 17. Epäselvä kuva

Kuten edellä olevista kuvista 16 ja 17 näkee, joukossa oli myös hyvin epäselviä kuvia. Edellä olevista kuvista on hyvin vaikeaa päätellä mikä tähän ongelmaan on juurisyynä. Todennäköisin syy on kuvaustekniset ongelmat.

Seuraavana ongelmana oli se, että näistä kuvista täytyisi saada eroteltua ne kuvat, joissa on poikkeamia. Poikkeamilla tarkoitetaan erikokoisia kuoren partikkeleita, pieniä ja suuria. Tämän lisäksi poikkeavista kuvista täytyisi jotenkin saada poikkeaman ”vakavuus” selville, eli dataa vieraspartikkelin suuruudesta. Koska kuvia kertyy systeemiin 30 kuvan sekuntivauhtia, ei manuaalinen käsin seulominen ole vaihtoehto, vaan tähän täytyy kehittää jokin automaattinen ratkaisu. Tähän ongelmaan pureuduttiin ImageJ sovelluksen avulla. ImageJ on tehokas kuvien prosessointiin ja analysointiin käytetty sovellus. Sovelluksen on kehittänyt National Health Institutella työskennellyt Wayne Rasband. (ImageJ n.d.)

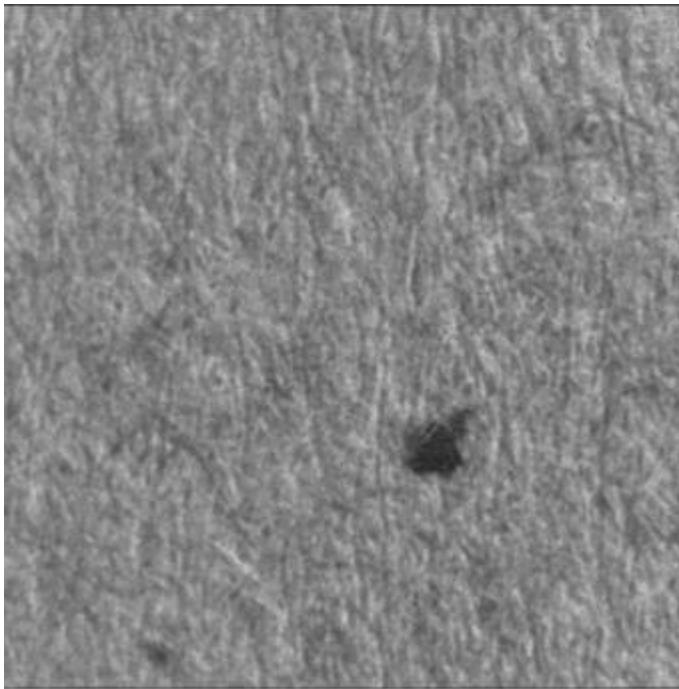
Alkuperäinen kameran ottama kuva on sävyiltään hyvin harmaa, kuten kuvasta 18 näkyy. Tämä haittaa huomattavasti kuvan analysointia, koska kuvan analysointi perustuu objektien reunojen tunnistamiseen. Reunat erottuvat

parhaiten, kun kuva on selkeä ja mustavalkoinen, tai muilla hyvin toisistaan erottuvilla väreillä värjätty.



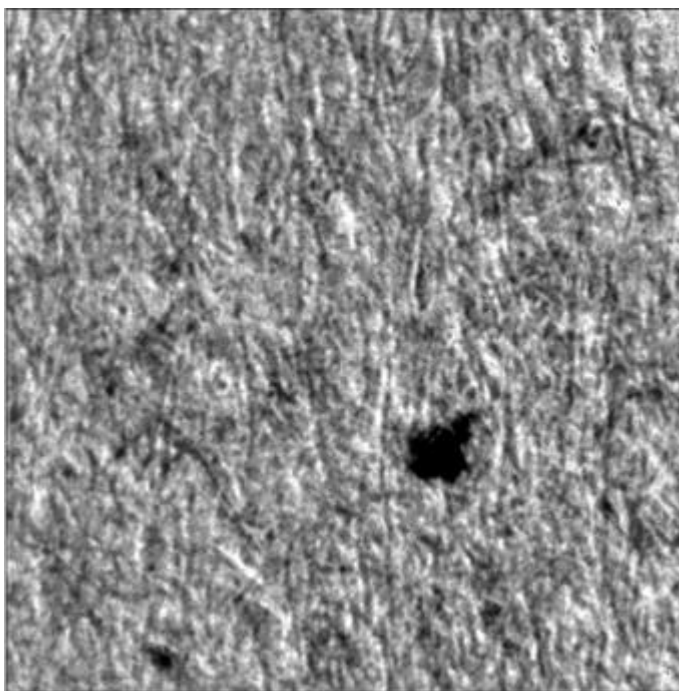
KUVA 18. Kuva ennen editointia

Kaikki lähtee liikkeelle siitä, että kuvan tyyppi muutetaan RGB – värisestä (red, green, blue), kahdeksan bittiseksi (8 - bit). Kuvassa 19 voi nähdä miltä kuva näyttää muutoksen jälkeen.

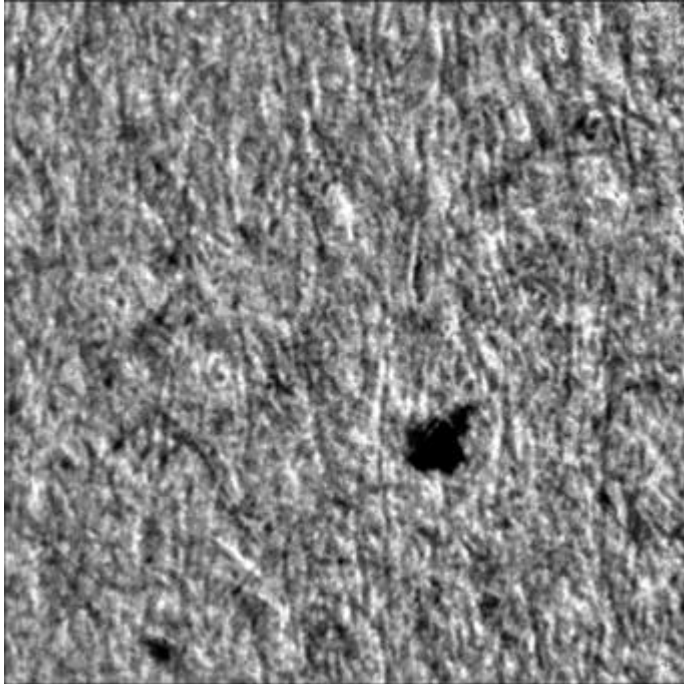


KUVA 19. Kahdeksan bittinen kuva

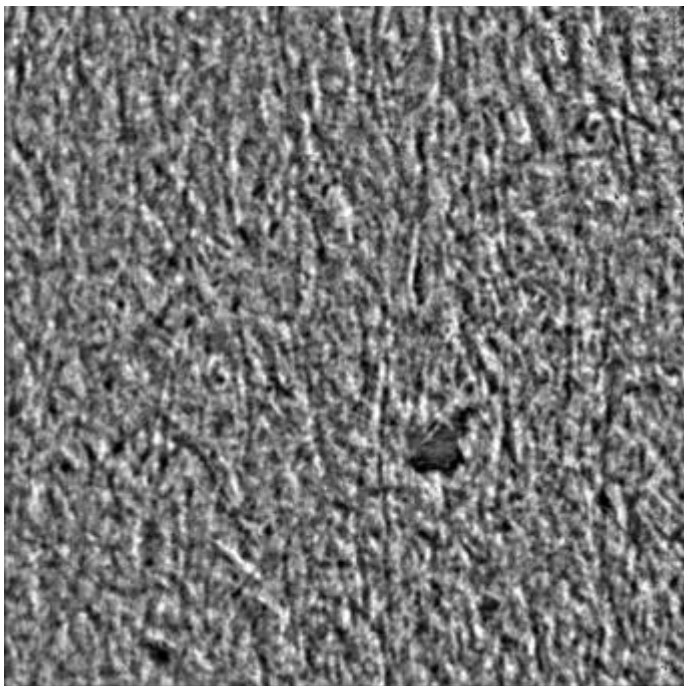
Seuraavaksi kuvaa käsitellään FFT – filteriä hyödyntäen. Kyseinen toiminto tuo kuvan yksityiskohdat paremmin esille. Filterissä on useita asetuksia, joita voi säätää. Hyvien asetusten löytäminen vaatii jonkin verran kokeilua. Seuraavissa kuvissa (KUVA 20, KUVA 21 ja KUVA 22) näkyy muutamilla eri asetuksilla tehtyjä kokeiluja.



KUVA 20. Vaihtoehto 1



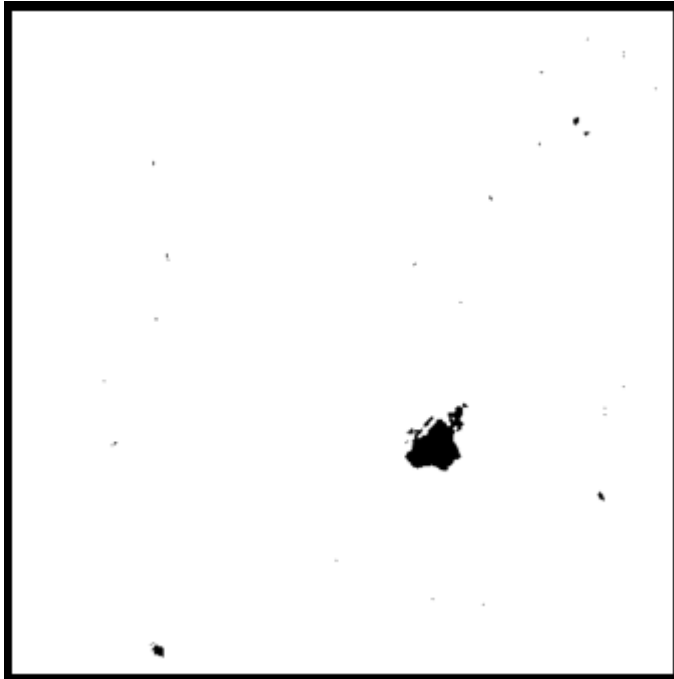
KUVA 21. Vaihtoehto 2



KUVA 22. Vaihtoehto 3

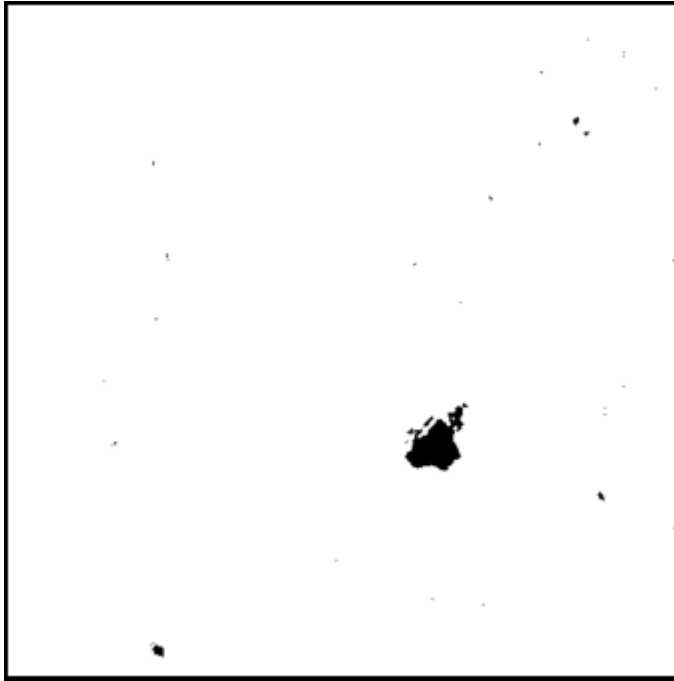
Edellä näkyvistä kuvista parhaimmaksi valikoitui kuva 21. Näillä asetuksilla kuvia jatkossa tullaan käsittelemään.

Seuraavaksi muutetaan kuvien väritasapainoa. Väritasapainon muutoksella tavoitellaan sitä, että kuvien vaaleammat ”hyvät” alueet saadaan kadotettua ja kuvien tummat alueet ”kuoripartikkelit” saadaan paremmin näkyviin. Väritasapainon muutoksen jälkeen lopputulos näkyy kuvassa 23.



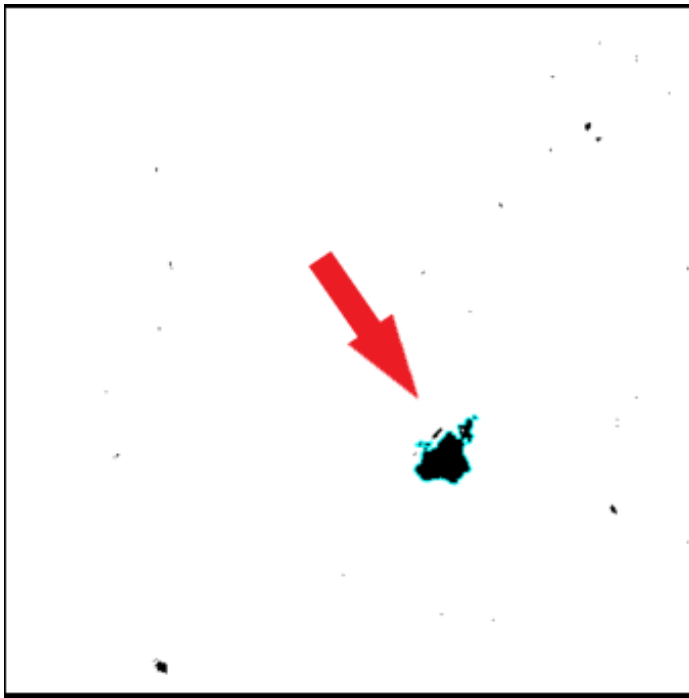
KUVA 23. Värikorjattu kuva

Seuraavaksi käytetään kynnsarvo toimintoa. Kyseisellä toiminnolla saadaan tiettyjen raja-arvojen ylittävät tai alittavat pikselit huomattua. Kyseinen toiminto toimii parhaiten, kun kuva on mustavalkoinen tai muuten toisistaan selvästi erottuvilla väreillä värjätty. Kynnsarvojen säätämisen jälkeen lopputulos näkyy kuvassa 24.



KUVA 24. Kynnysarvo säädetty

Seuraavaksi kuvassa käytetään toimintoa, jolla pystytään erottamaan objektien reunat ja mallintaa, kuinka suuria eroavia partikkeleita kuvasta löytyy. Tämän toiminnon nimi on partikkelianalyysi. Partikkelianalyysissä voi asettaa minimi- ja maksimiarvot eriävien objektien pikselikoolle. Kokeilemalla hyvät asetusarvot löytyivät väliltä 150 – infinite, joka tarkoittaa sitä, että analysoitavien objektien minimikoko on 150 pikseliä ja maksimikoko on ääretön. Toiminto löytää kuvasta yhden poikkeaman, joka on ympyröity kuvassa 25 turkoosilla värillä.



KUVA 25. Analysoitu kuva

Kuvassa 25 näkyvän poikkeaman koko on 1145 pikseliä, joka näkyy kuvasta 26. Kuvasta analysoidaan muitakin arvoja, mutta niistä lisää myöhemmin.

Results														
File Edit Font Results														
Label	Area	Mean	StdDev	Mode	Min	Max	X	Y	XM	YM	Perim.	BX	BY	
1 valo_20210825151832.png	1145	253.886	16.821	255	0	255	326.717	333.379	326.690	333.453	233.806	303	303	

KUVA 26. Tulokset

Nyt kun yksittäisestä kuvasta pystytään erottamaan ja mittaamaan poikkeaman suuruus, niin sama prosessi täytyy pystyä suorittamaan suurelle määrälle kuvia. Näiden kuvien pohjalta täytyisi sitten kerätä dataa, jonka avulla seurataan, kuinka paljon kuoripartikkeleita kulkee kartongin mukana.

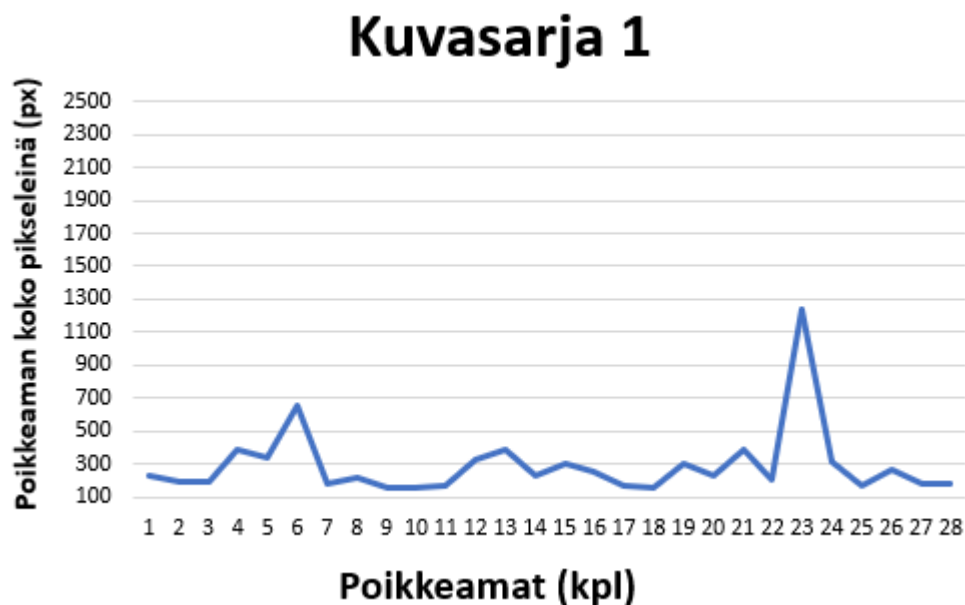
Seuraavaksi luodaan pino, joka koostuu 100:sta kuvasta, jotka on tuotu mittapäältä tietokoneelle. Pino luodaan ImageJ kuvasarja toimintoa hyödyntäen. Osa kuvista voi olla korruptoituneita tai vioittuneita, kuten tässä tapauksessa kolme kuvaa. Tälle 97:n kuvan sarjalle suoritetaan samat editoinnit kuin yhdelle kuvalle, mutta tällöin ne kohdistetaan pinoon, eikä vain yhteen kuvaan. Editoinnin jälkeen pino analysoidaan samalla tavalla kuin yksittäinen kuva ja tämän jälkeen tulokset näkyvät kuvassa 27.



Results														
File	Edit	Font	Results											
Label	Area	Mean	StdDev	Mode	Min	Max	X	Y	XM	YM	Perim.	BX	BY	
1	images_20210825.gif:3	231	253.896	16.778	255	0	255	451.284	297.483	451.317	297.496	86.225	439	286
2	images_20210825.gif:4	187	255.000	0.000	255	255	255	351.564	213.404	351.564	213.404	77.497	343	203
3	images_20210825.gif:4	189	255.000	0.000	255	255	255	220.563	290.918	220.563	290.918	77.397	208	280
4	images_20210825.gif:5	389	250.411	33.941	255	0	255	179.690	257.222	179.691	257.084	154.752	169	237
5	images_20210825.gif:12	332	253.464	19.762	255	0	255	63.395	334.997	63.412	335.006	110.225	47	319
6	images_20210825.gif:13	657	243.744	52.418	255	0	255	25.212	325.467	25.482	324.885	199.765	7	307
7	images_20210825.gif:18	180	255.000	0.000	255	255	255	284.589	323.894	284.589	323.894	83.640	276	313
8	images_20210825.gif:19	215	221.791	86.023	255	0	255	43.249	333.835	43.398	333.955	116.853	36	321
9	images_20210825.gif:22	150	251.600	29.346	255	0	255	79.400	211.000	79.399	211.135	109.882	74	192
10	images_20210825.gif:31	153	253.333	20.616	255	0	255	223.572	298.461	223.546	298.467	56.426	217	290
11	images_20210825.gif:31	165	255.000	0.000	255	255	255	207.221	298.403	207.221	298.403	57.841	198	292
12	images_20210825.gif:39	323	255.000	0.000	255	255	255	111.237	402.726	111.237	402.726	124.267	97	390
13	images_20210825.gif:41	388	255.000	0.000	255	255	255	345.170	50.137	345.170	50.137	114.853	331	32
14	images_20210825.gif:44	223	224.126	83.372	255	0	255	11.971	333.823	11.638	334.291	210.149	1	322
15	images_20210825.gif:45	306	246.667	45.412	255	0	255	94.846	363.761	94.986	363.861	149.966	72	355
16	images_20210825.gif:45	250	253.980	16.128	255	0	255	93.344	463.680	93.363	463.713	137.823	81	451
17	images_20210825.gif:49	162	253.426	20.035	255	0	255	298.463	282.549	298.512	282.537	63.012	287	276
18	images_20210825.gif:49	152	253.322	20.683	255	0	255	373.651	332.724	373.732	332.712	69.841	358	328
19	images_20210825.gif:56	302	247.401	43.432	255	0	255	252.652	66.268	252.776	66.292	145.723	228	49
20	images_20210825.gif:58	228	252.763	23.830	255	0	255	65.158	213.776	65.066	213.845	89.882	50	201
21	images_20210825.gif:58	385	255.000	0.000	255	255	255	205.370	303.716	205.370	303.716	118.610	194	289
22	images_20210825.gif:58	209	255.000	0.000	255	255	255	440.964	477.562	440.964	477.562	120.610	435	458
23	images_20210825.gif:71	1236	254.794	7.253	255	0	255	326.142	332.752	326.132	332.767	250.534	303	303
24	images_20210825.gif:74	308	235.130	68.464	255	0	255	441.925	277.075	441.891	276.954	110.468	434	261
25	images_20210825.gif:78	170	249.000	38.766	255	0	255	326.894	454.794	326.958	454.849	78.225	316	445
26	images_20210825.gif:82	270	239.889	60.320	255	0	255	136.170	62.670	136.370	62.575	109.196	122	53
27	images_20210825.gif:86	178	237.809	64.119	255	0	255	108.837	64.376	108.548	64.530	82.225	100	55
28	images_20210825.gif:86	174	208.103	99.074	255	0	255	42.753	336.109	42.831	336.275	104.368	33	326

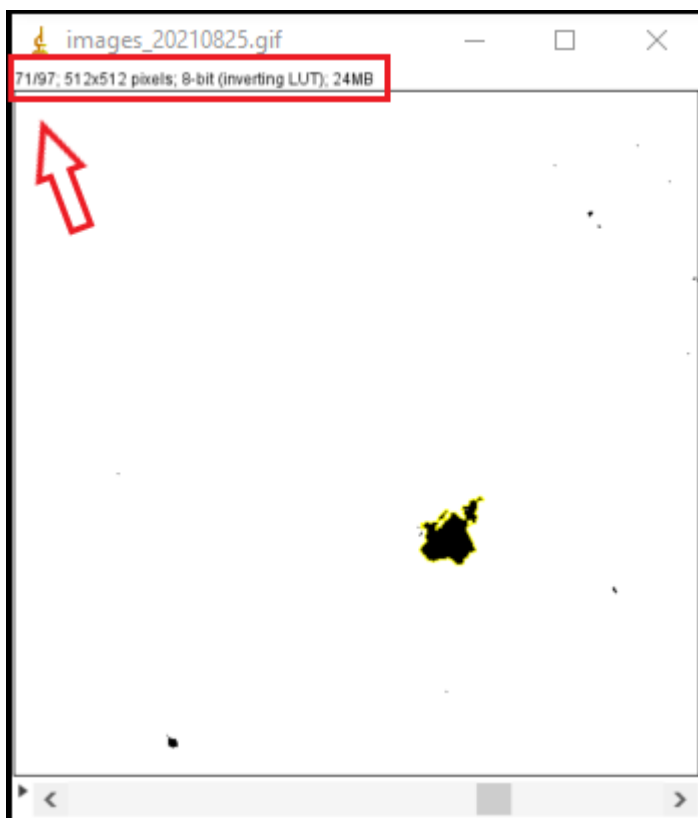
KUVA 27. Tulokset kuvasarja 1

Seuraavaksi analysoitujen kuvien tulokset viedään Exceliin ja siellä tuloksien pohjalta piirretään kuvaaja tulosten havainnointia varten.



KUVAAJA 1. Kuvasarja 1 tulokset Excelissä

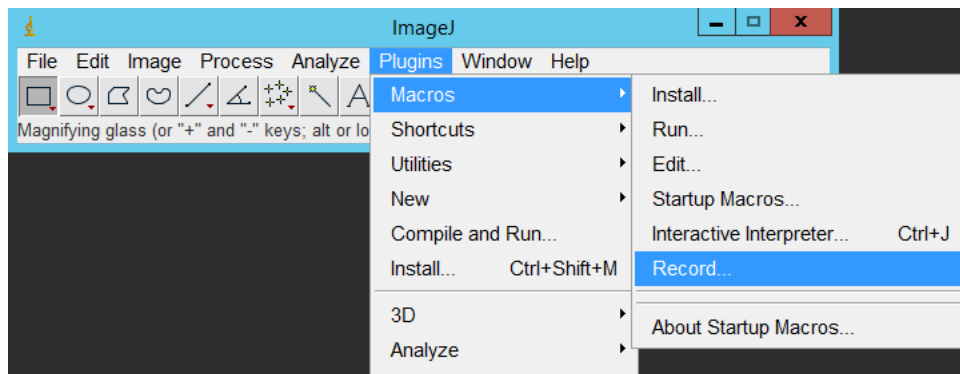
Kuvaajasta 1 voidaan nähdä muutama poikkeama, esimerkiksi poikkeama 23, joka koskee kuvasarjan kuvaa numero 71. Kuten kuvassa 27 näkee, kyseessä on sama kuva kuin aiemmin esitelty kuva 25.



KUVA 28. Poikkeama 23

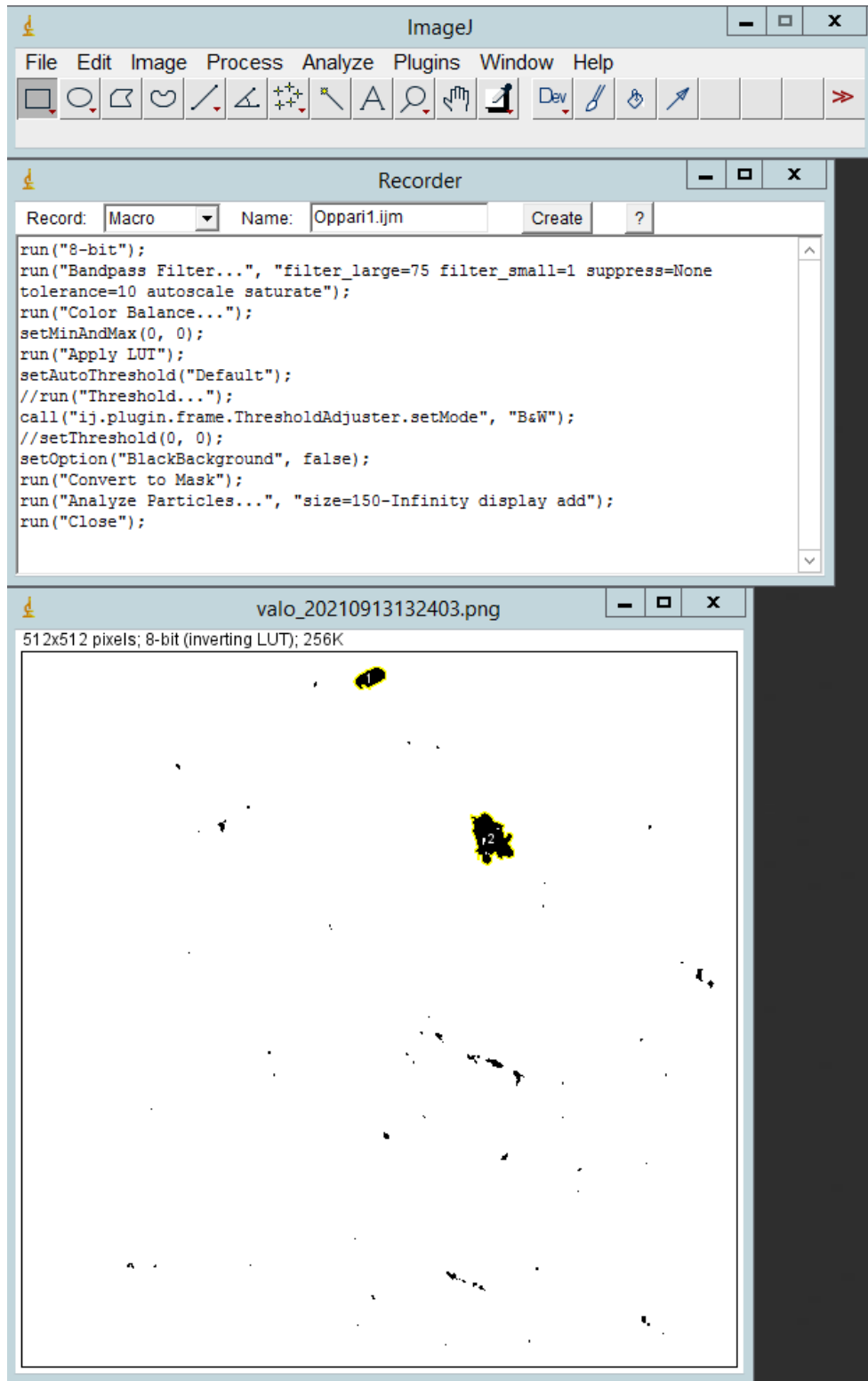
Tässä kohtaa voidaan todeta, että manuaalisesti kuvien tuonti mittapäältä ja niiden editointi, sekä poikkeamien etsiminen toimii sekä yksitellen että kuvasarjasarjan avulla.

Seuraavaksi edellä manuaalisesti suoritettut toiminnot täytyisi saada automatisoitua. Tähänkin ongelmaan lähdettiin hakemaan ratkaisua ImageJ – sovelluksesta. ImageJ – ohjelmassa on ”Record Macro” toiminto (KUVA 29), jonka avulla pystytään tallentamaan skriptejä eli komentosarjoja.



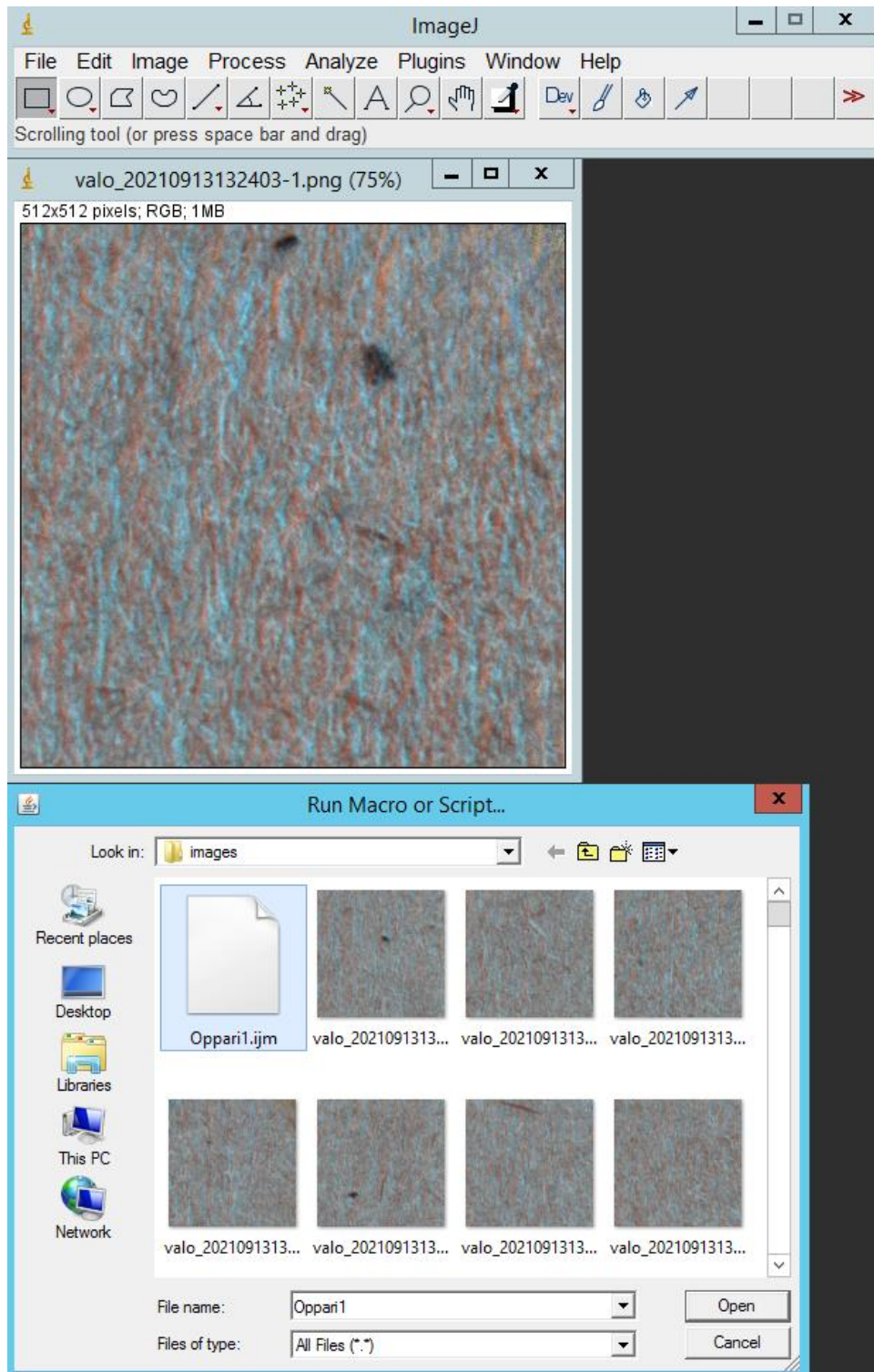
KUVA 29. "Record Macro" – toiminto

ImageJ – sovellukseen avattiin uusi kuva ja tämän kuvan kohdalla kokeiltiin ”Record Macro” toimintoa. Kuvaan tehtiin editoinnit manuaalisesti ja systeemi talletti jokaisen asetusarvon, jonka seurauksena manuaaliset editoinnit saatiin tallennettua skriptin muotoon, kuten kuvasta 30 voidaan nähdä.



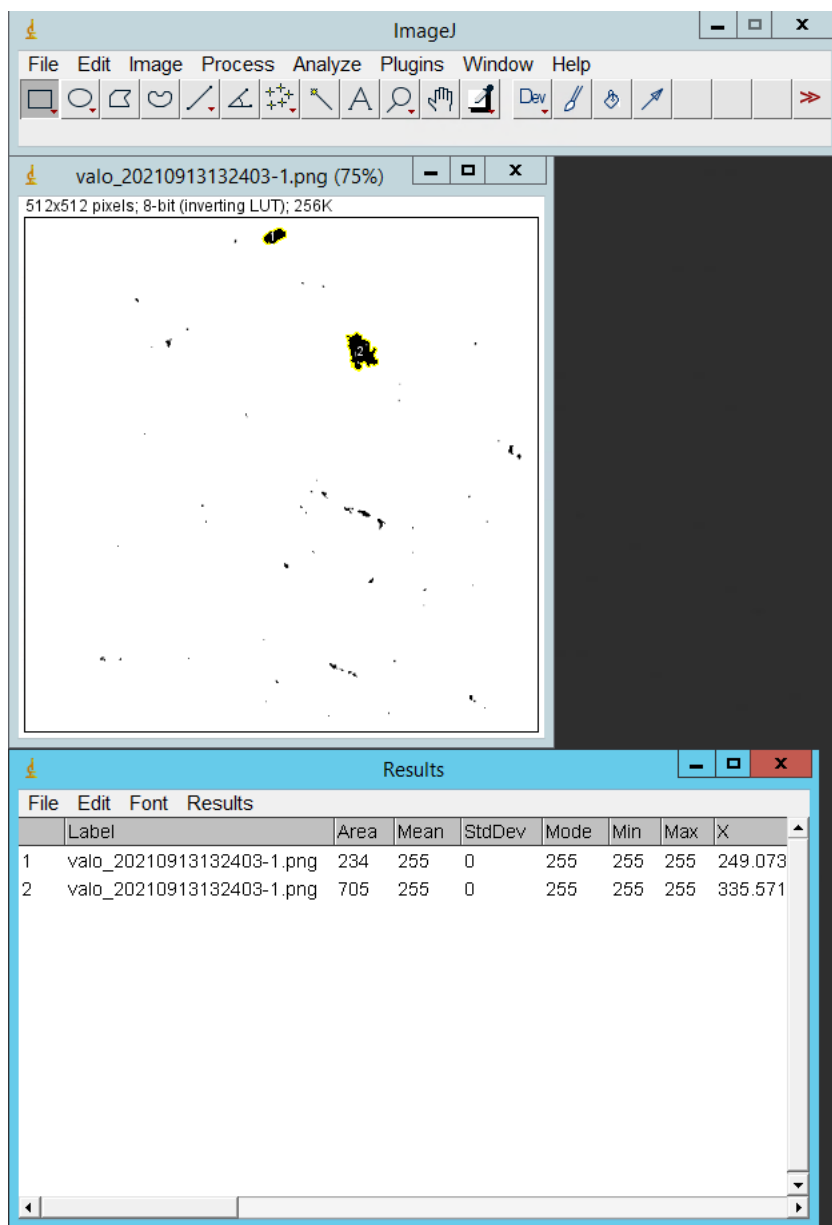
KUVA 30. Alkuperäinen skripti

Skripti tallennettiin ja seuraavaksi sen toimivuutta kokeiltiin valikoidulla kuvalla. Skriptin toimivuutta voidaan testata menemällä ImageJ polkua Plugins → Macros → Run ja valitsemalla juuri tallennetun skriptin, kuten kuvasta 31 voidaan nähdä.



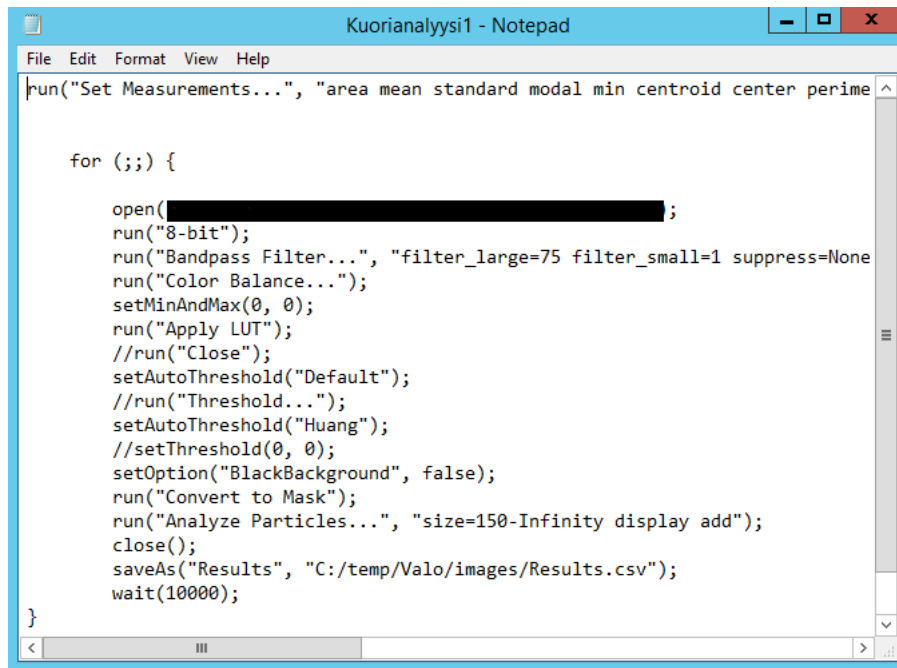
KUVA 31. Skriptin valinta

Skriptin valitsemalla ohjelma ajaa automaattisesti, järjestyksessä tallennetut editointivaiheet läpi ja huomaa kuvasta kaksi poikkeamaa, jotka voidaan nähdä kuvassa 32. Tässä kohtaa voidaan todeta, että "Record Macro" toiminto toimii. Seuraavaksi skripti täytyy muokata siten, että sinne tulee jatkuvalla syötöllä kuvia, joita sitten analysoidaan automaattisesti.



KUVA 32. Skriptin analysoima kuva

Pienen pähkäilyn jälkeen skripti saatiin muokattua siten, että kuvia tulee jatkuvalla syötöllä analysoitavaksi. Muutosten jälkeen skripti on nähtävissä kuvassa 33.



```

run("Set Measurements...", "area mean standard modal min centroid center perime

for (;;) {

    open(
    run("8-bit");
    run("Bandpass Filter...", "filter_large=75 filter_small=1 suppress=None
    run("Color Balance...");
    setMinAndMax(0, 0);
    run("Apply LUT");
    //run("Close");
    setAutoThreshold("Default");
    //run("Threshold...");
    setAutoThreshold("Huang");
    //setThreshold(0, 0);
    setOption("BlackBackground", false);
    run("Convert to Mask");
    run("Analyze Particles...", "size=150-Infinity display add");
    close();
    saveAs("Results", "C:/temp/Valo/images/Results.csv");
    wait(10000);
}

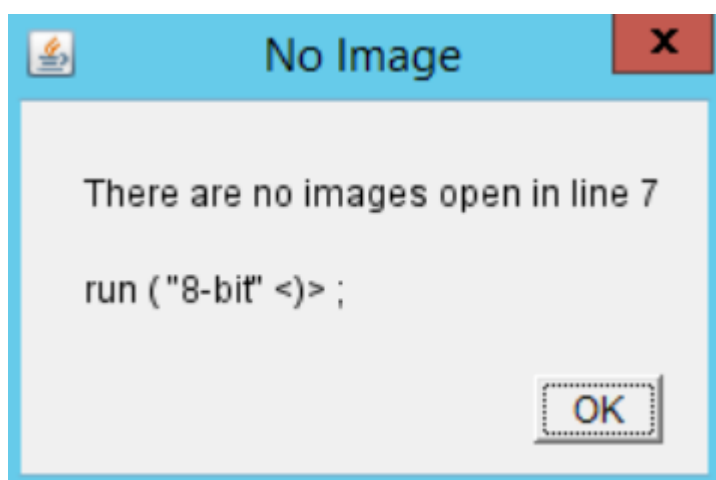
```

KUVA 33. Muokattu skripti

Kuvassa 33 näkyvässä skriptissä on käytetty ohjelmointikielen for – lausetta. For – lauseella pystytään määrittelemään, kuinka monta kertaa jokin asia suoritetaan. Kuvassa 33 näkyvien for – lauseen sulkujen sisään voisi muotoilla, jos halutaan että kyseinen skripti suoritetaan esimerkiksi 10 kertaa. Tässä tapauksessa mitään tiettyä arvoa ei ole määriteltä, vaan skriptiä suoritetaan jatkuvasti. Tästä käytetään nimitystä ”Infinite loop”, joka tarkoittaa ääretöntä kiertoa. Seuraavaksi skriptiin tehtiin komento, joka avaa kuvan suoraan siltä serveriltä, jonne kuvat päivittyvät. Serverin osoite on tummennettu turvallisuussyistä. Seuraavaksi skriptissä on normaalit kuvan editointiaskeleet ja loppuun lisättiin ”Close” komento, jotta skripti sulkee ylimääräisen ikkunan, joka syntyy skriptin läpiajamisesta. Poikkeamista syntyvät tulokset tallennetaan automaattisesti Exceliin, josta ne sitten poimitaan yrityksen käyttämälle verkkoalustalle. Aivan loppuun lisättiin lisäksi ”Wait” toiminto, jossa määritellään, kuinka kauan skripti on tauolla sen suorittamisen jälkeen. Kyseinen ”Wait” komento on välttämätön, koska kyseessä on infinite loop - toimintoa hyödyntävä skripti. Mikäli tätä ”Wait” komentoa ei olisi, niin skripti analysoisi samaa kuvaa äärettömän nopeasti ja saisi todennäköisesti tietokoneen jumiin. Näillä asetuksilla skripti pyörii teoriassa

loputtomasti ja pitää 10 000 millisekunnin, eli 10 sekunnin tauon jokaisen suorituskerran jälkeen.

Näillä asetuksilla skripti pyörii automaattisesti kuvia analysoiden 5–30 minuuttia, kunnes pysähtyy aina samaan ongelmaan. Mikäli skriptin jälkeinen odotusaika on viisi sekuntia, niin koodi pyörii 5–15 minuuttia ja mikäli odotusaika on 10 sekuntia, niin skripti pyörii 15–30 minuuttia. Tulevassa häiriöilmoituksessa lukee, että kuvaa ei ole avattavissa (KUVA 34).



KUVA 34. Häiriöilmoitus

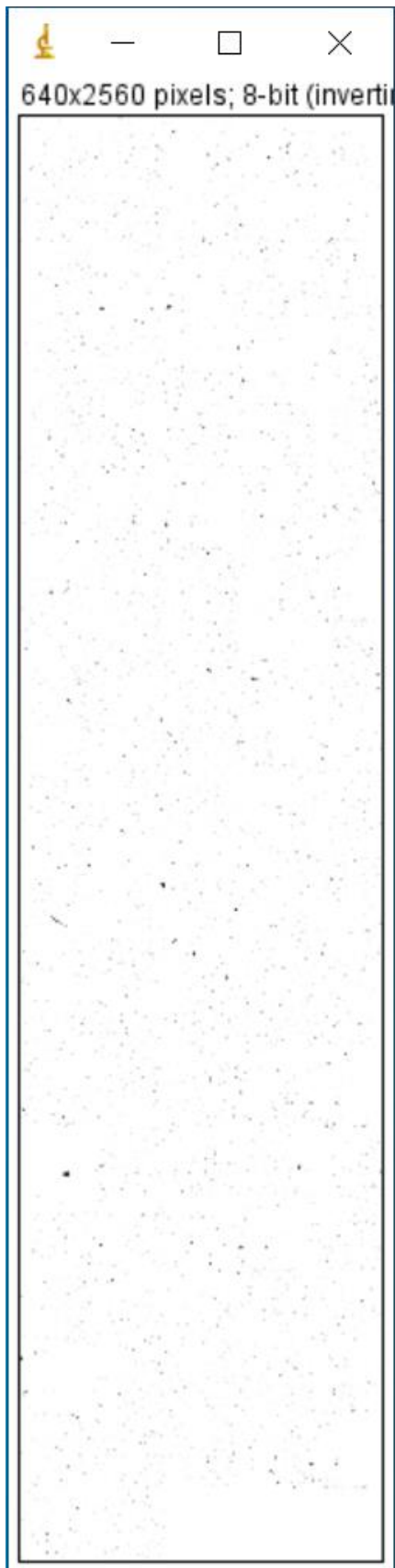
Edellä olevassa kuvassa (KUVA 34) näkyvän ongelman syyksi paljastui satunnaisesti korruptoituneet kuvatiedostot, joita ei pystytty avaamaan. Ongelma saatiin ratkaistua lisäämällä skriptiin eräänlainen suodatin, joka testaa avautuuko kuva. Mikäli kuva ei avaudu, niin skripti odottaa viisi sekuntia ja kokeilee uudelleen.

Tässä kohtaa voidaan todeta, että kuvien syöttö, analysointi ja tulosten tallennus onnistuu automaattisesti. Tulokset saadaan automaattisesti vietyä Grafanaan erästä välittäjäsovellusta käyttämällä. Grafanasta data voidaan visuaalisesti muokata haluttuun muotoon ja laittaa näkyviin esimerkiksi valvomoiden seinille.

Seuraavaksi selvitetään mahdollisuuksia "virtuaalisen valopöydän" rakentamista varten. Tarkoituksena olisi saada mahdollisimman reaaliaikainen ja päivittyvä kuva kartonkiradasta, jonka avulla saadaan enemmän tietoa itse tuotteesta.

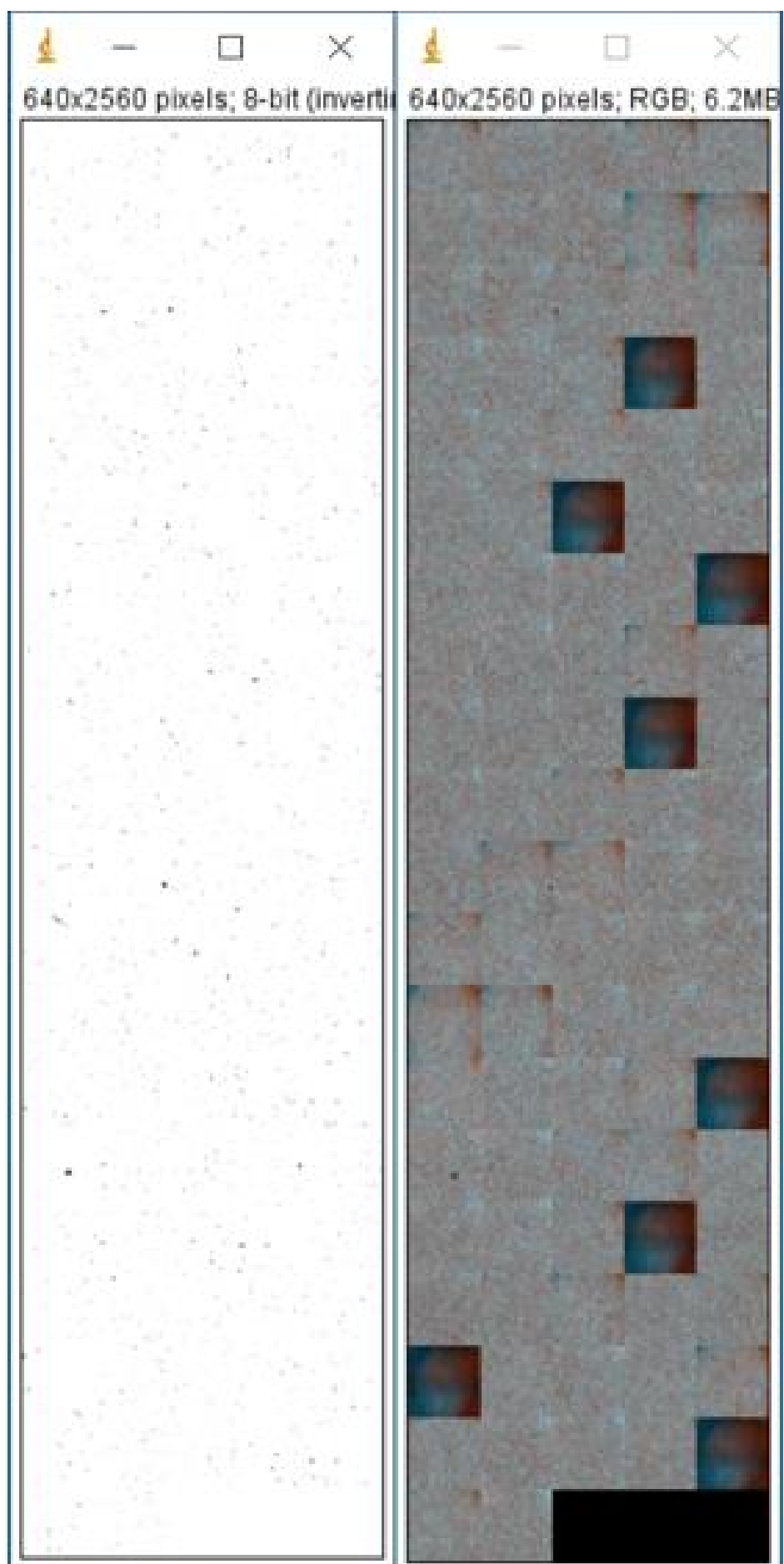


Virtuaalista valopöytää lähdettiin hahmottelemaan ImageJ "make montage" työkalun avulla (KUVA 35).



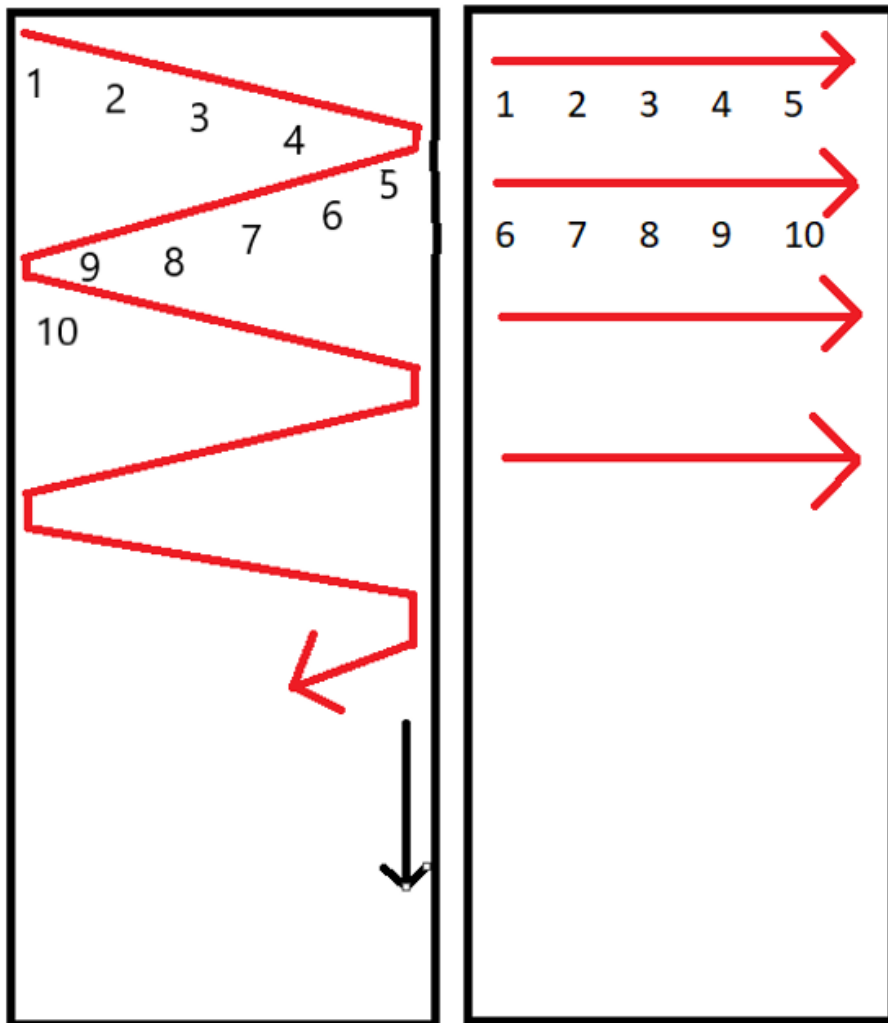
KUVA 35. Kartonkirata

Kyseisellä työkalulla voidaan järjestää kuvasarjan kuvat riveihin ja sarakkeisiin, jotka työkalu sitten yhdistää yhtenäiseksi kuvaksi. Työkalulla voidaan luoda kuva kartonkiradasta, kuten kuvassa 35 on tehty. Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa (KUVA 36) voidaan nähdä muokattujen kuvien ja alkuperäisten kuvien eroavaisuuksia.



KUVA 36. Muokatut kuvat ja alkuperäiset kuvat

Seuraavaksi törmättiin odotettuun ongelmaan, koskien kuvien asemointia. Seuraavana näkyvässä kuvassa (KUVA 37), vasemmanpuoleisessa lohossa punainen nuoli osoittaa mittavaunun liikkumistapaa ja musta nuoli osoittaa kartonkiradan konesuunnan. Numerointi tarkoittaa kuvia, joista yksi on ensimmäinen ja 10 viimeisin kuva. Kuvan 37 oikeanpuoleinen lohko kuvaa ImageJ "make montage" työkalun tapaa asemoida kuvat. Numerointi tarkoittaa kuvia, joista yksi on ensimmäinen ja 10 viimeisin kuva. Käytännössä "make montage" työkalulla tehty kuva ei ole todenmukainen, koska kuvien ottotapa ja asemointi on erilainen. Ongelmallista on myös se, että mittavaunu liikkuu käyttöpuolelta hoitopuolelle 35 cm / s ja hoitopuolelta käyttöpuolelle 25 cm / s. Mittavaunu ei siis liiku tasaisesti, vaan toiseen suuntaan nopeampaa. Kulikutapa saadaan Valmetin mukaan säädettyä tasaiseksi, mikäli niin tahdotaan.

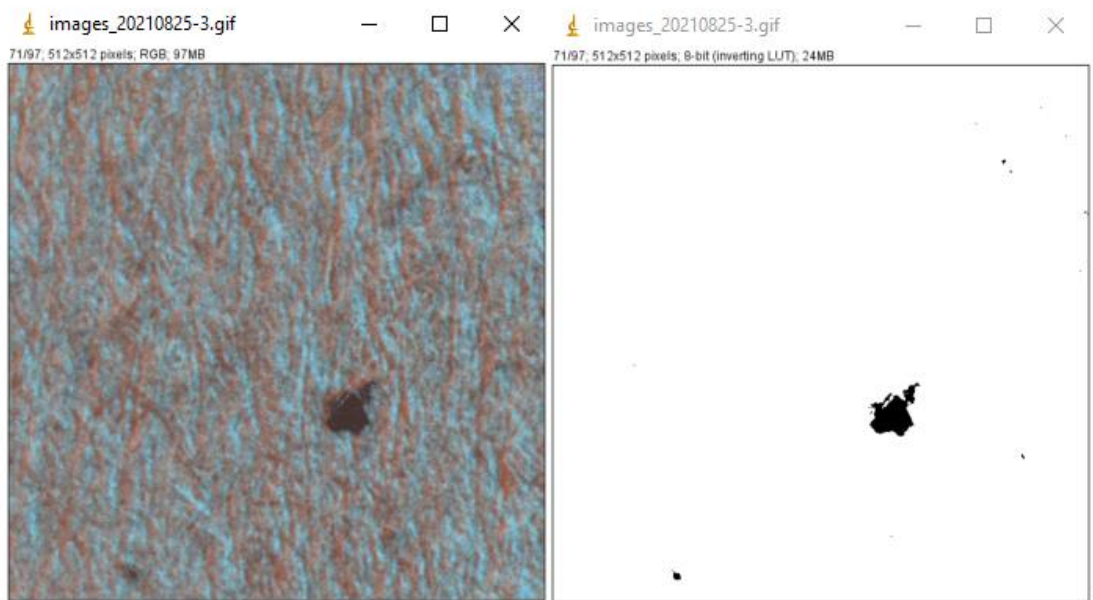


KUVA 37. Mittavaunun kuvaustapa ja ImageJ kuvien asemointi

Kuvien asemoinnin ongelmaan ratkaisuna olisi räätälöity skripti, jossa olisi jonkinlainen logiikka sisällytettynä, mutta tässä kohtaa todettiin, että ajalliset resurssit eivät ole riittävät tällaisen tekemiseen. Alkuperäinen idea ”virtuaalisesta valopöydästä” vaihtui helpommin toteutettavaan ratkaisuun. Tämä ratkaisu olisi laittaa valvomoihin näkyviin viiden sekunnin välein päivittyvä kuva kartonkiradan pinnasta.

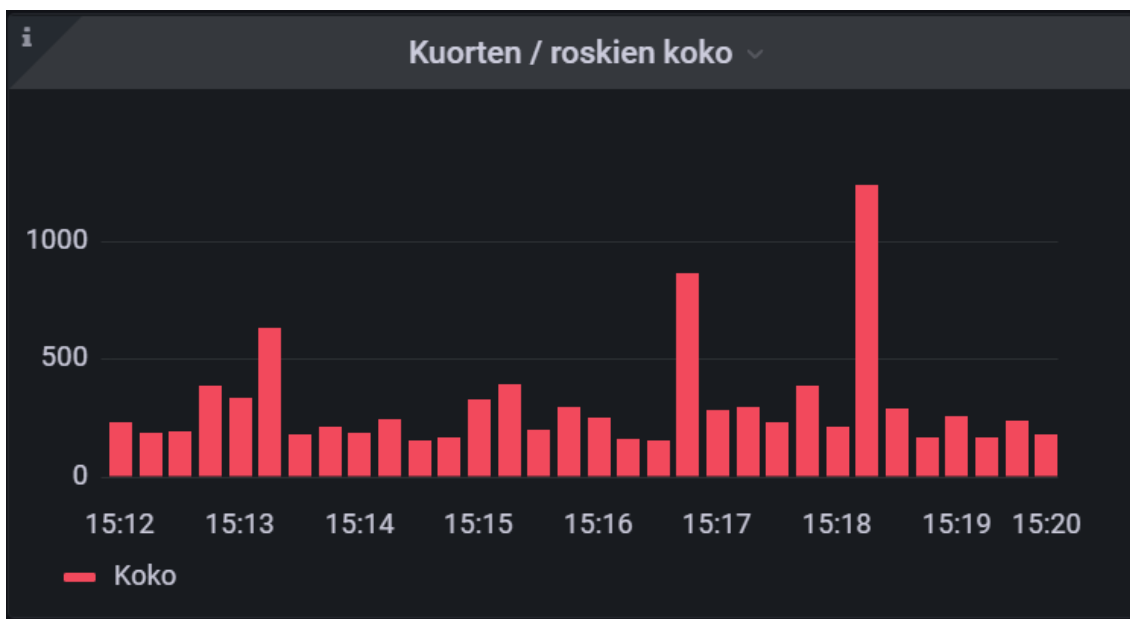
## 6 TULOKSET

Työn aikana löydettiin keino tuoda kuvia mittapäältä tietokoneelle ja näiden kuvien analysointiin (KUVA 38) löydettiin oikeat työkalut sekä oikeat asetukset. Kuvien jatkuvaan syöttöön ja analysointiin saatiin kehitettyä skripti, joka toimii taukoamatta. Kuvista saatava data saatiin tallennettua automaattisesti Exceeliin, josta data saatiin kuljetettua toista sovellusta hyödyntäen Grafanaan, jossa dataa voidaan havainnollistaa visuaalisessa muodossa. Data voidaan esittää usealla eri tavalla, voidaan käyttää ajallisesti etenevää kuvaajaa (KUVA 39) tai erikokoisten partikkeleiden kappalemäärää laskevaa kuvaajaa (KUVA 40).

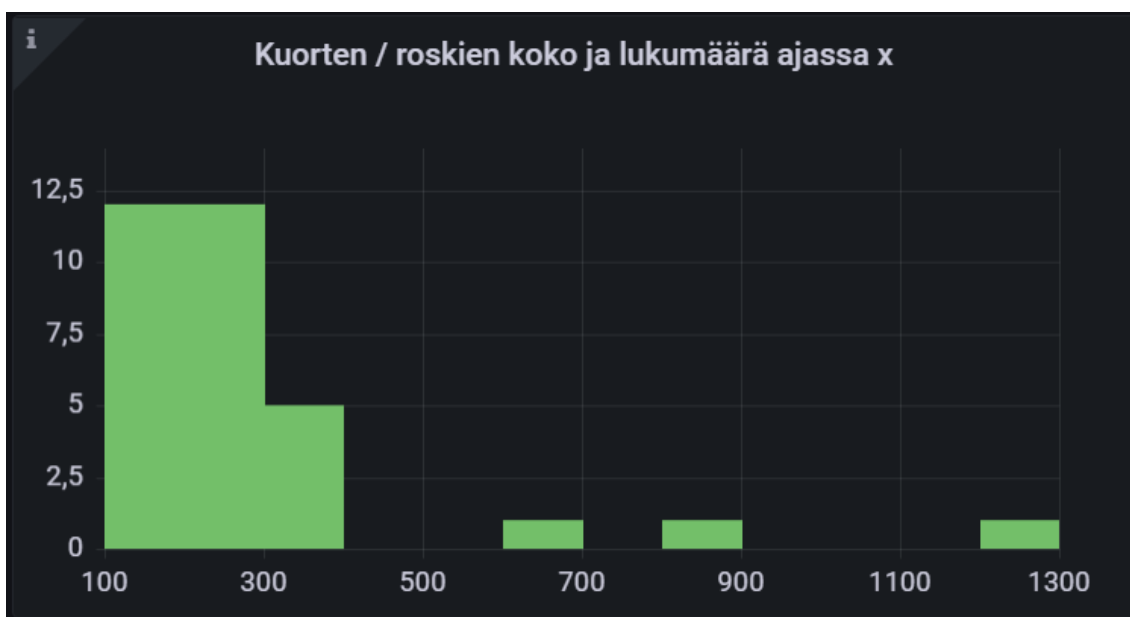


KUVA 38. Alkuperäinen kuva vasemmalla ja editoitu kuva oikealla

Varsinaisen virtuaalisen valopöydän suhteen suunnitelmat muuttuivat ja toteutusta yksinkertaistettiin, jolloin se on helpompi toteuttaa. Jatkuvasti päivittyvän ja reaaliaikaisen täysleveän kartonkiradan sijasta näytettäisiin yksittäisiä jatkuvasti päivittyviä pieniä kuvia, joista visuaalisesti saa tarkasteltua kartonkiradan pintaa.



KUVA 39. Kuorten ja roskien mittaus Grafanassa



KUVA 40. Kuorten ja roskien koko ja lukumäärä ajassa x

## 7 POHDINTA

Tämän työn aikana löydettiin keino tuoda kuvia mittapäältä tietokoneelle. Näiden kuvien analysointiin löydettiin oikeat työkalut ja oikeat asetukset. Datan vientiin tehtaan käyttämälle verkkoalustalle löydettiin oikeat työkalut ja data saatiin visualisoitua miellyttävän näköiseksi. Tämä koko prosessi saatiin myös automatisoitua ja näin ollen tehdas sai käyttöönsä aivan uuden tuotantodatan.

Virtuaalisen valopöydän suhteen toteutus hieman yksinkertaistui, mutta ratkaisu on silti toimiva. Jatkuvasti päivittyvän täysleveän kartonkiradan sijaan näytetään viiden sekunnin välein päivittyviä kuvia kartonkiradan pinnasta.

Kartonkiradasta otetaan tampusuorin vaihdon yhteydessä näyte, jota sitten tarkastellaan valoa vasten. Valoa vasten tarkastellessa huomataan, mikäli näytteessä on jotain normaalista poikkeavaa, esimerkiksi huomattavan paljon kuorta. Tämä näyte otetaan ainoastaan tampusuorin vaihdon yhteydessä, joka tarkoittaa sitä, että kartonkiradasta tarkastellaan visuaalisesti hyvin harvoin, noin 45 kilometrin välein. Ajallisesti arvioituna noin 30–60 minuutin välein, riippuen kartonkikoneen ajonopeudesta. Mikäli kartongin mukana kulkeutuu jotain sinne kuulumatonta, on hyvin todennäköistä, että sitä ei huomata.

Tämän opinnäytetyön myötä tähän asiaan saatiin muutos. Nyt kartonkiradasta saadaan jatkuvasti päivittyvää visuaalista kuvaa, jota voidaan näyttää eri valvomoissa. Mikäli kuvat sattuvat menemään ohi, niin kuvien pohjalta kerätään ajallisesti etenevään kuvaajaan (KUVA 39) dataa, josta voidaan havainnoida kuinka paljon kuorta tai jotain muuta epäpuhtautta kulkee kartongin mukana. Tämäkin kuvaaja voidaan laittaa näkyviin edellä mainittuihin valvomoihin.

Datan visualisointiin valikoitui tehtaan yleisesti käyttämä sovellus, joka on nimeltään Grafana. Grafana on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, jolla dataa voidaan havainnollistaa tuettujen datalähteiden avulla. Grafanan hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että se tukee yli 30 eri tietokantaohjelmistoa. Tietokantaohjelmistoksi valikoitui InfluxDB, joka on helposti yhdistettävissä Grafanan kanssa.



Tämän uuden tuotantodatan perusteella voidaan päätellä, voisiko osa pituusleikkurin katkoista johtua kuoripitoisuuden noususta. Voidaan myös päätellä korreloiko kartonkikoneen katkot ja kuoripitoisuuden nousu keskenään. Voidaan myöskin selvittää aiheuttaako jokin tietty kuorimon ongelma ja ajotapa nousua kuoripitoisuudessa ja näin ollen ongelmia esimerkiksi pituusleikkurilla. Vai onko jollain vuodenajalla vaikutusta kuoripitoisuuden nousuun? Entäpä eri koivun-, haavan-, viilun tai hylkyrullien toimittajilla, onko näillä jotain vaikutusta kartongin pinnasta uudella analytiikalla löytyviin partikkeleihin ja näiden määrään? Yhtä kaikki, uuden tuotantodatan perusteella saadaan paljon uutta tietoa, jota voidaan hyödyntää useissa erilaisissa tilanteissa.

Valvomoissa viiden sekunnin välein päivittyvä kuva kartonkiradan pinnasta antaa operaattoreille lisää näkyvyyttä lopputuotteen laatuun. Tästä päivittyvästä kuvasta voidaan nähdä miltä kartonki näyttää, kun prosessissa tapahtuu jotain odottamatonta. Kuvien suhteen voisi myös kehittää jonkinlaisen arkiston, minne tallentuu esimerkiksi kuvat viimeisen 48 tunnin ajalta. Arkistosta kuvia voisi myös tulostaa. Tällä tavoin kuvat olisivat helposti saatavilla.

Alkuperäinen idea jatkuvasti päivittyvästä täysleveästä kartonkiradasta (KUVA 35) laitettiin jäihin, koska toteuttaminen olisi vaatinut huomattavasti enemmän aikaa. Mikäli tällainen jossain vaiheessa saadaan rakennettua, niin siitä saataisiin huomattavasti paremmin näkyvyyttä ja informaatiota kuin yksittäisistä viiden sekunnin välein päivittyvistä kuvista. Mikäli jollekin tietylle kartonkiradan kohdalle kertyy paljon epämääräisen näköisiä partikkeleita, niin ongelman juurisyyhyn voitaisiin päästä nopeampaa käsiksi.

## LÄHTEET

Aaltopahvi. 2018. Aaltopahvi – käyttäjän käsikirja. Luettu 27.10.2021.  
<https://www.aaltopahvi.fi/aaltopahvi>

Cepi. 2017. European list of corrugated base papers. Luettu 07.08.2021. PDF – tiedosto.  
<https://www.cepi-containerboard.org/download.php>

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. 5. painos. Kemiallinen metsäteollisuus -kirjasarja. Opetushallitus.

ImageJ. n.d. Wayne Rasband. Luettu 19.09.2021.  
<https://imagej.net/people/rasband>

InderesTV. 2020. "Metsäyhtiöiden kaskessa useampi kanto." YouTube video, 8:39, julkaistu 3.2.2020. <https://www.youtube.com/watch?v=EBDFVFUWvw4>

Karhuketo, H & Seppälä, Markku J & Törn, T & Viluksela, P. 2004. Paperin ja kartongin jalostus. 2 painos. Kemiallinen metsäteollisuus 3. Opetushallitus.

KnowPap versio 22.0. 2021a. AEL/Proledge Oy. Paperin laadun mittaaminen paperikoneella. Luettu 18.08.2021  
[http://www.knowpap.com/extranet/suomi/automation/9\\_quality\\_measurements/frame.htm](http://www.knowpap.com/extranet/suomi/automation/9_quality_measurements/frame.htm)

Saatavilla rajoitetusti.

KnowPap versio 22.0. 2021b. AEL/Proledge Oy. Kosteus. Luettu 17.08.2021  
[http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper\\_board\\_properties/2\\_general\\_properties/4\\_moisture\\_content/frame.htm](http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_board_properties/2_general_properties/4_moisture_content/frame.htm)

Saatavilla rajoitetusti.

Laakso O. & Rintamäki T. 2000. Aaltopahvin valmistus ja jalostus. 1. painos. Kemiallinen metsäteollisuus 4. Jyväskylä: Suomen aaltopahviyhdistys ry.

Lecklin. Timo. Vuoromestari. Heinolan flutingtehdas. Heinola. Henkilöhaastattelu 12.03.2021. Haastattelijana Petteri Lehtorinne. Tallenne kirjoittajan hallussa.

Metso Automation. 2012. Metso IQ Surface Measurement Manual. Stora Enso Heinola.

Saatavilla rajoitetusti

Metsä Board. 2021. Investor presentation January-March 2021. Luettu 09.09.2021. <https://www.metsaboard.com/MaterialArchive/Quarterly-results/Investor-Presentation-January-March-2021.pdf>

Mordor Intelligence. 2020. Containerboard market – growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2021 – 2026). Luettu 21.09.2021. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/containerboard-market>

Smithers. 2019. The Future of Global Packaging to 2024. Luettu 12.09.2021. <https://www.smithers.com/en-gb/services/market-reports/packaging/future-of-global-packaging-to-2024>

Stora Enso. n.da. Historia. Luettu 10.10.2021. <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/our-history>

Stora Enso. n.db. Divisioonat. Luettu 29.9.2021. <https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/our-divisions>

Stora Enso. Uutiset. Vaikeasti käsiteltävästä jätteestä puhtaaksi bioenergiaksi. Luettu 15.09.2021. <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/news/2019/12/from-hard-to-handle-waste-to-pure-bioenergy>

Valmet. n.da. Historia. Luettu 24.09.2021. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/historia/>

Valmet. n.db. Valmet lyhyesti. Luettu 25.09.2021. <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>

Valmet. 2015. Valmet IQ Scanner. Kuvakaappaus YouTube-videopalveluun ladatusta Valmet IQ Scanner-laitteen esittelyvideosta. Julkaistu 15.09.2015.  
[https://www.youtube.com/watch?v=Btvx5ys\\_o-Q](https://www.youtube.com/watch?v=Btvx5ys_o-Q)

**LIITTEET**