

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikan ala Lappeenranta
Konetekniikan koulutusohjelma

Marko Hyrylä

Tohtorikoneen käyttöönotto ja koeajo

Opinnäytetyö 2017

Tiivistelmä

Marko Hyrylä

Tohtorikoneen käyttöönotto ja koeajo, 82 sivua, 4 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikan ala Lappeenranta

Konetekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö 2017

Ohjaajat: konetekniikan lehtori Veli-Pekka Jurvanen, Saimaan ammattikorkeakoulu, käyttöpäällikkö Jari Kataikko, Stora Enso Oyj

Opinnäytetyö tehtiin Imatran Stora Enson Kaukopään päällystystehtaalle.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tohtorikoneen toiminta, määrittää riskialueet ja suorittaa koeajo.

Teoriaosassa kerrotaan kartongin muovipäällystyksestä yleisesti. Muovipäällystyksen eri yksikköprosessit käytiin läpi sekä mainittiin päällystyksessä esiintyvistä epäkohdista.

Kokeellisessa osassa suoritettiin tohtorikoneella koeajo. Koeajon tavoitteena oli selvittää optimaaliset ajonopeudet eri tilanteissa sekä selvittää vaikuttaako tohtorikone rullien laatuominaisuuksiin negatiivisesti. Koeajossa käytettiin neljää molemmin puolin muovipäällystettyä kartonkirullaa. Rullia operoitiin tohtorikoneella yhteensä neljä kertaa, ja operoinnin aikana suoritettiin laatumittauksia ja tarkkailtiin rullan rullautuvuutta eri tilanteissa. Rullista otettiin eri vaiheissa näytepaloja, joista suoritettiin tutkimuskeskuksella tarkempia laatumittauksia kuin operoinnin ohella.

Opinnäytetyön lopputuloksena voidaan todeta, ettei tohtorikoneella ole negatiivista vaikutusta rullattaviin rulliin.

Asiasanat: tohtorikone, muovipäällystys, ajonopeus, laatumittaus

Abstract

Marko Hyrylä

Doctor machine´s commissioning and test run, 82 Pages, 4 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Mechanical Engineering

Bachelor´s Thesis 2017

Instructors: Lecturer Veli-Pekka Jurvanen, Saimaa UAS, Jari Kataikko, production manager, Stora Enso Imatra mills

This thesis was made to Stora Enso Kaukopää Imatra mill´s extrusion coating-plant.

The purpose of this thesis was to figure out the function of the Doctor machine and to figure out if the Dr. machine affects negatively on the quality of extrusion coated cardboards when being reeled. Also the Dr. machine´s risk areas were defined. These were done by performing a test run on the Dr. machine and by performing quality measurements on the coated cardboards which were used on the test run.

The theoretical part explained the main features of extrusion coating. The experimental part explained the function of the Dr. machine. The Dr. machine´s risk areas are shown and also the results of the test run and quality measurements are shown and reviewed.

The results of the test run and quality measurements show that the Dr. machine does not affect coated cardboards negatively.

Keywords: Dr. machine, Doctor machine, extrusion coating, quality measurements

Sisällys

1	Johdanto.....	5
2	Yrityksen esittely.....	5
2.1	Stora Enso.....	5
2.2	Stora Enso Imatra.....	7
3	Muovipäälylystyys.....	8
3.1	Kartongin muovipäälylystyksen tarkoitus.....	8
3.2	Muovipäälylystyksen vaiheet.....	9
3.3	Aukirullaus.....	9
3.4	Esikäsittely.....	10
3.5	Ekstruuderit.....	11
3.6	Jälkikäsittelijä ja laadunvalvonta.....	13
3.7	Kiinnirullain.....	16
3.8	Pituusleikkuri.....	17
4	Muovipäälylystyys Imatran Stora Enson tehtailla.....	17
4.1	PE2.....	18
4.2	PE3.....	18
4.3	PE5.....	19
5	Muovipäälylystyksessä esiintyviä epäkohtia.....	20
5.1	Raakakartonkivika.....	20
5.2	Muovipäälylystyksestä aiheutuvat epäkohdat.....	22
5.2.1	Muoviloikat ja reiät.....	22
5.2.2	Muovimäärän muutokset.....	22
5.2.3	Muovinauhut.....	23
5.2.4	Kara-, öljy ja vesitipat.....	23
5.2.5	Naarmut, kiillottumat ja painaumat.....	24
5.2.6	Reunapalstauma ja pohjavekki.....	25
6	Tohtorikone.....	27
6.1	Tohtorikoneen yleiskuvaus.....	28
6.2	Tohtorikoneen riskialueet.....	30
6.3	Rullan asettaminen ja tohtorikoneen operointi.....	33
6.4	Radanohjaimen käyttö.....	38
7	Tohtorikoneen koeajo.....	40
7.1	Rulla 13008.....	42
7.2	Rulla 13125.....	43
7.3	Rulla 13110.....	44
7.4	Rulla 13017.....	45
8	Tutkimuskeskuksen laatumittaukset.....	46
9	Tulokset ja niiden analysointi.....	53
10	Yhteenvedo ja pohdinta.....	57

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Imatralla sijaitsevaan Stora Enso Kaukopään päällystystehtaalle. Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä yleiset ajo-ohjeet tohtorikoneelle, määrittää tohtorikoneen riskialueet sekä suorittaa koeajo. Koeajon tarkoituksena on selvittää tohtorikoneen toiminta sekä suorittaa laatumittauksia asiakasrullille. Laatumittaukset suoritetaan rullille ennen rullan operointia tohtorikoneella sekä myös rullan operoinnin jälkeen. Laatumittauksien tarkoituksena on selvittää, vaikuttaako tohtorikoneella operointi rullan ominaisuuksiin. Rullan laadun tarkasteltavat kohteet ovat rullan kovuus, patapäisyys, adheesio, visking, pintaenergia, kitka, paksuus ja sileys. Osa laatumittauksista suoritetaan tohtorikoneen operoinnin yhteydessä ja loput laatumittaukset suoritetaan Imatran tutkimuskeskuksessa. Koeajo suoritetaan neljällä rullalla. Jokaista rullaa rullataan liioitellusti yhteensä neljä kertaa ja seurataan, miten rullan ominaisuudet muuttuvat.

Vaikka Stora Enso pyrkii keskittymään hyvään ja täydelliseen laatuun, on muovipäälläyksessä mahdotonta tuottaa ainoastaan priimalaatuista tuotetta, koska päällästettävä kartonki joutuu kulkemaan niin monen prosessin kautta. Näin ollen lopulliseen asiakasrullaan voi päätyä erilaisia epäkohtia, kuten esimerkiksi reikiä tai likaa. Tohtorikone on hankittu päällästystehtaalle juuri näiden epäkohtien takia. Tohtorikoneella voidaan uudelleen rullata pituusleikkurilta tulleet valmiit asiakasrullat ja merkata tai poistaa rullassa esiintyvät epäkohdat, minkä jälkeen rullat voidaan toimittaa jälleen asiakkaille.

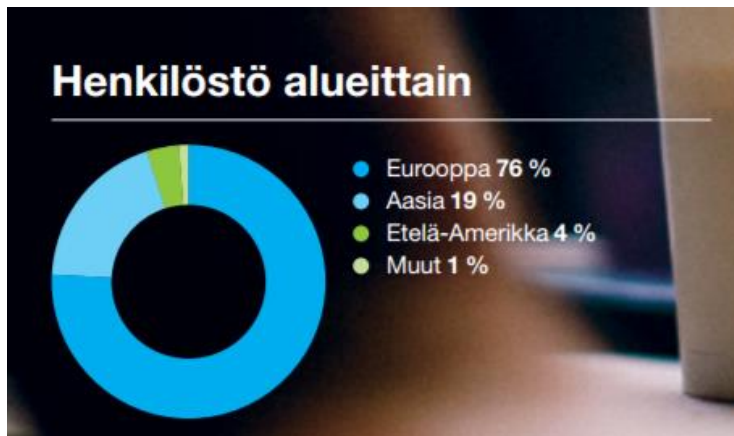
2 Yrityksen esittely

2.1 Stora Enso

Stora Enso on maailmanlaajuinen pakkaus-, biomateriaali-, puutuote- ja paperiteollisuuden toimittaja. Yrityksen asiakaskuntaan kuuluvat pääosin kustantajat, jälleenmyyjät, brändin omistajat, paperin ja kartongin tuottajat, painotalot, tukkurit, paperinjalostajat sekä rakennus- ja puusepänteollisuuden yrittäjät.

Yrityksessä työskentelee yhteensä noin 26 000 ihmistä yli 35 maassa, ja yhtiö on noteerattu Helsingin ja Tukholman pörssiin. Vuonna 2015 yrityksen liikevaihto oli 10,0 miljardia euroa ja operatiivinen liiketulos 915 miljoonaa euroa. Vuotuinen tuotantokapasiteetti on 5,7 miljoonaa tonnia kemiallista sellua, 10,5 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia ja 5,2 miljoonaa kuutiometriä sahatavaraa. (Stora Enso Oyj, 2015.)

Stora Enso toimii pääosin Euroopassa, mutta sillä on toimintaa myös Euroopan ulkopuolella, kuten Aasiassa ja Etelä-Amerikassa. Esimerkiksi Kiinassa Stora Enson tuotteiden kysyntä on kasvussa, minkä vuoksi Stora Enso rakensi uuden kuluttajapakkauskartonkitehtaan Beihaihin. (Stora Enso Oyj, 2015.) Kuvassa 1 on ilmoitettu prosentteina Stora Enson henkilöstö alueittain.



Kuva 1. Stora Enson henkilöstö alueittain (Stora Enso Oyj)

2.2 Stora Enso Imatra

Imatran Stora Enso koostuu kahdesta tehtaasta, Tainionkosken- ja Kaukopään tehtaasta. Yhdessä nämä kaksi muodostavat maailman suurimman nestepakauskartongin valmistajan, joka työllistää yhteensä noin 1000 ihmistä. Tehtaiden vuotuinen kapasiteetti on noin miljoona tonnia kartonkia ja paperia, josta noin 90 % menee vientiin. Imatran tehtaiden markkinat ovat pääosin Euroopassa, mutta suuri osa tuotannosta suuntautuu Aasiaan. (Stora Enso Oyj, 2015.)

Imatran tehtaat valmistavat kartonkia muun muassa maito- ja mehutölkkeihin, juomakuppeihin, elintarvike-, makeis- ja savukepakkauksiin, kansiin, kortteihin ja luksuspakkauksiin. Tehtaalla valmistetaan myös pakkauspapereita. (Stora Enso Oyj, 2015.) Kuvassa 2 on esitettyä ilmakuvaa Stora Enson Imatran tehtaasta.



Kuva 2. Ilmakuva Imatran Stora Ensosta (Stora Enso Oyj)

3 Muovipäälllystys

3.1 Kartongin muovipäälllystyksen tarkoitus

Kartonkia voidaan käyttää lukuisiin eri käyttötarkoituksiin, kuten esimerkiksi juomakuppeihin, elintarvikepakkauksiin, nestepakkauksiin tai luksuspakkauksiin. Pelkkä kartonki ei itsessään vielä riitä, sillä eri käyttötarkoituksilla on erilaiset laatuvaatimukset. Eri käyttökohteista riippuen lopputuotteelta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia ja barriärejä eli estokerroksia

Muovipäälllystyksen tarkoituksena on saada aikaan tuote, jossa muovin kosteuden ja rasvan kestävyys ja kaasutiiveys sekä kuumasaumattavuus saadaan yhdistettyä kartongin lujuus- ja jäykkyysoinaisuuksiin. (Puusta paperiin M-606, 1983, Kartonkijalosteiden valmistus, s. 95.)

Oikeanlaisen materiaalin valinta ja sen prosessointi ovat avainasemassa, sillä esimerkiksi elintarvikepakkaukset vaativat mahdollisimman hajutonta ja mautonta materiaalia. Tämän saavuttamiseksi vaaditaan muovilta erittäin suurta kemiallista puhtautta. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 66.)

Yleisin muovipäälllystyksessä käytettävä muovi on polyeteeni (PE), mutta vaadituista ominaisuuksista riippuen käytetään myös eri polymeerilatuja, kuten esimerkiksi polyetyleenitereftalaattia (PET) tai etyyliivinyylialkoholia (EVOH). (Kaikkio 2016.)

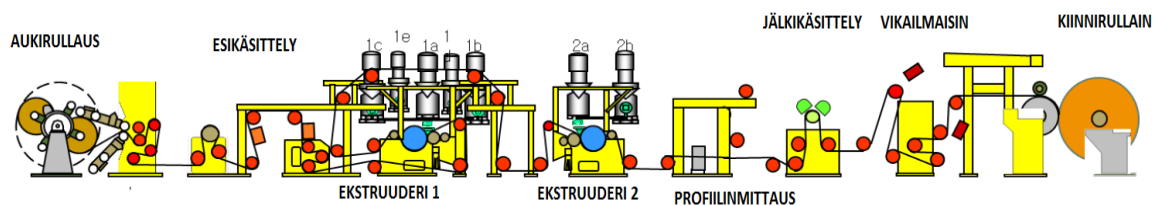
PET-muovin, eli polyetyleenitereftalaatin käyttö kartonginpäälllystyksessä on kasvussa, sillä materiaalilla on erittäin hyvä lämmönkestävyys. Sen sulamispiste on noin 220 °C, joten se soveltuu hyvin uunikäyttöön. PET:llä päälllystetystä kartongista valmistetaan muun muassa valmisruokavuokkia. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 68.)

EVOH-muovi, eli etyyliivinyylialkoholi on käytössä kartonginpäälllystyksessä sen hyvän kaasubarriäärin ansiosta. Sitä hyödynnetään nestepakkauskartonkien päälllystämiseen, sillä sen avulla voidaan korvata tietyissä tapauksissa alumiinifolio. EVOH:n kaasubarriääri heikkenee joutuessaan kosketuksiin nesteen

kanssa, joten nestepakkauskartongeissa EVOH:in päälle on laitettava vielä PE-kerros. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 68.)

3.2 Muovipäällystyksen vaiheet

Muovipäällystyksessä koostuu useasta eri yksikköprosessista. PE-linja koostuu aukirullauspukista, esikäsitteilyistä, ekstruuderista, profiilinmittausyksiköstä, jälkikäsitteilyistä, vikailmaisimesta ja kiinnirullaimesta. Valmis muovipäällystetty kartonki siirretään pituusleikkurille, missä se leikataan asiakkaan toiveiden mukaisiin mittoihin. Alla oleva kuva 3 esittää yksinkertaistettua kuvaa PE-linjasta.



Kuva 3. Sivukuva PE-linjasta (Kataikko 2016.)

3.3 Aukirullaus

Muovipäällystettävän kartongin syöttö päällystykoneeseen tapahtuu yleensä aina jonkinlaisen aukirullauspukin kautta. Aukirullauspukin täytyy syöttää kartonkia koneeseen tasaisesti, jotta muovipäällystyksen muutkin prosessit voisivat toteutua moitteettomasti. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 29 - 30)

Aukirullauspukin päätehtävät ovat seuraavat:

- purkaa kartonkirullaa hallitusti
- keskittää kartonkirata oikealle kohdalle (yleensä koneen keskiviivalle)
- kartonkiradan tasaisen jännityksen ylläpitäminen, vaikka kartonkirullan halkaisija ja nopeus muuttuisikin
- mahdollistaa rullanvaihto konetta pysäyttämättä, myös täydessä vauhdissa eli tehdä niin sanottu lentävävaihto. Seuraavaa rulla voi olla myös eri levyinen, kuin edellinen. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 29 – 30.)

3.4 Esikäsitely

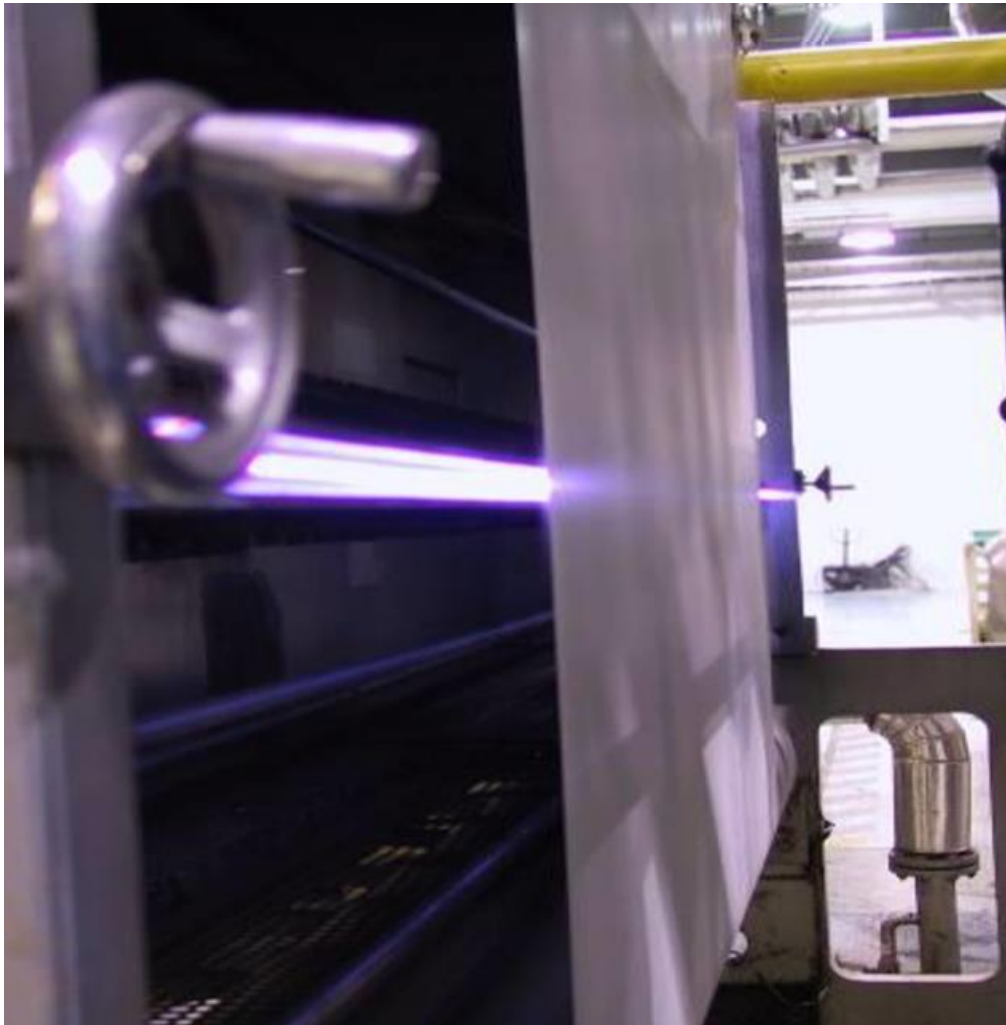
Esikäsitelyn tarkoituksena on parantaa kartongin pinnan adheesiota ja poistaa pölyt ja roskat kartongin pinnasta. Adheesiolla tarkoitetaan kahden pinnan välistä kiinnittymistä, joten esikäsitelyn tarkoituksena on siis käsitellä kartongin pintaa siten, että päällyste tarttuu siihen paremmin kiinni, ilman ylimääräisiä epäpuhtauksia. Yleinen esikäsitelymenetelmä on liekkikäsitely.

Liekkikäsitelijä koostuu neste- tai maakaasun ja ilman sekoituslaitteistosta sekä koko radan levyisestä putkesta, jonka kautta liekki pääsee radan kanssa kosketukseen. Olennainen osa liekkikäsitelyä on säätää liekki siten, että syntyy hapettava liekki, eli ilmaa on syötettävä enemmän kuin kaasun palaminen tarvitsee. Liekkikäsitelijän liekki kohdistetaan koko kartonkiradan leveydelle, ja se polttaa kartongin pintaa samalla hapettaen sitä. Vaikka liekki kohdistetaankin kartonkirataan, ei liekki ehdi sytyttämään kartonkirataa tuleen, suuren ratanopeuden vuoksi. Jos ratanopeus syystä tai toisesta hidastuu, liekkikäsitelijän automatiikka sulkee kaasunsyötön, estäen mahdollisen tulipaloriskin. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 36 – 37.)

Liekkikäsitelijän päätehtävät ovat seuraavat:

- parantaa adheesiota
- polttaa epäpuhtaudet ja kuitupiikit (näin estetään muun muassa pinholen muodostumista)
- hapettaa pintaa
- höyrystää pintaan absorboituneen veden tai muun epäpuhtauden
- lämmittää rataa

Kuvassa 4 esitetään kartonkiradan liekkikäsittely.



Kuva 4. Kartongin liekkikäsittely (Kataikko 2016.)

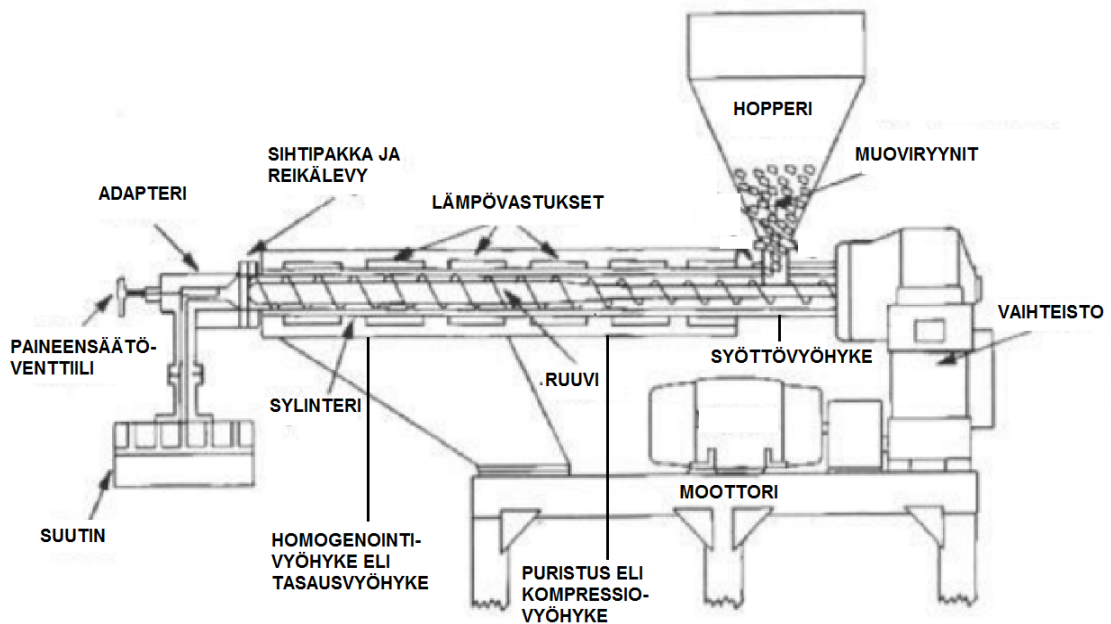
3.5 Ekstruuderit

Ekstruusiopäällystyksen tarkoituksena on pursottaa tasaista muovifilmiä tasaisella nopeudella suuttimen kautta kartongin pinnalle. Laitetta, jolla päällystys suoritetaan, kutsutaan ekstruuderiksi. Ekstruuderin päätehtävänä on saada aikaan riittävän suuri paine, jotta muovi saadaan sulatettua ja pursotettua ulos. Ekstruuderin paine riippuu muun muassa ekstruuderin sisällä olevan ruuvien pyörimisnopeudesta sekä laitteen geometriasta. (Palmroos M, 2015; Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 46.)

Yksinkertaistettuna ekstruuderit on pitkä putki, jonka sisällä on ruuvi. Ruuvien hitaan pyörimisen ansiosta ekstruuderin sisään syntyvä paine ja kitka, mikä on syynä

muoviryynien sulamiselle. Ryynien sulamista on usein myös tehostettu sähköisillä lämmitysmenetelmillä, mitkä ovat ekstruuderin putken ympärillä. Tyypillisesti muoviryynit sulavat noin 250–330 °C:ssa riippuen muovilaadusta. Tämän jälkeen sula massa homogenisoidaan, suodatetaan ja ohjataan putkea pitkin mahdollisen jakokappaleen kautta rakosuuttimelle. Sula massa puristuu suuttimen läpi, jolloin siitä muodostuu paksu filmi. Heti filmin muodostuttua se venytetään 10–50 kertaa ohuemmaksi ja painetaan kartongin pintaan nipissä (nipiksi kutsutaan tässä tapauksessa tilaa, mikä jää jäähdystystelan ja puristustelan väliin). Tämän jälkeen sula muovi jäähmettyy jälleen kiinteäksi kalvoksi. (Palmroos 2015; Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 46.)

Kuvassa 5 on esitetty ekstruuderin rakenne. Ekstruuderin koostuu sähkömoottorista, vaihteistosta, ruuvista, hopperista, lämpövastuksesta, sihtipakasta ja reikälevystä, adapterista, paineensäätöventtiilistä ja suuttimesta.



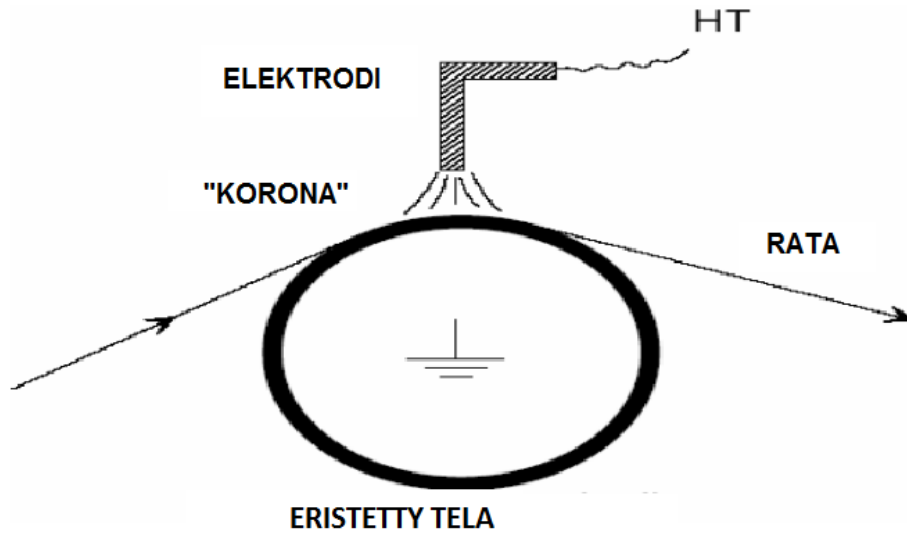
Kuva 5. Ekstruuderin rakenne (Palmroos M, 2015, Paperin jalostus)

Kiinteät muoviryynit kaadetaan hopperiin, josta ne siirtyvät ruuvien alkupäähän, eli syöttövyöhykkeeseen. Syöttövyöhykkeessä ruuvien keskiosa on ohuimmillaan ja vapaata tilaa on eniten. Muoviryynit pyrkivät luonnollisesti siirtymään sinne, mistä löytyy vapaata tilaa. Tämän jälkeen muoviryynit etenevät puristus- eli kompressiovyöhykkeeseen, missä ryynit sulavat ja rakeiden välissä oleva ilma poistuu

taaksepäin. Samalla muovimassan paine alkaa kasvaa, johtuen ruuvien paksunemisesta ja vapaan tilan vähenemisestä. Muovisulan edetessä homogenisointivyöhykkeelle eli tasausvyöhykkeelle sen lämpötila tasataan. Homogenointivyöhykkeen jälkeen sula muovi etenee reikälevyn tukemaan sihtipakkaan. Sihtipakassa on muutamia (yleensä 3 - 5) sihtiverkkoja, joiden tarkoituksena on suodattaa sulan muovin sekaan joutuneita epäpuhtauksia, kuten metallisiruja tai pieniä kiviä. Sihtipakan läpi kulkeutunut sula muovi ohjataan suuttimelle. Suuttimen avulla sula muovi levitetään kartongin pinnalle ohueksi filmiksi koko kartonkiradan leveydelle. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 48 - 49.)

3.6 Jälkikäsittelijä ja laadunvalvonta

Muovipäällystetyn kartongin jälkikäsittely on välttämätöntä, jotta saataisiin mahdollisimman korkea pintaenergiataso. Korkea pintaenergia on tärkeää, jotta myöhemmin tapahtuva painatus ja liimaus olisivat mahdollisia. Pintaenergia jakautuu kahteen osaan: poolittomien molekyylien aiheuttamaan dispersiokomponenttiin ja poolisten molekyylien aiheuttamaan poolisuuskomponenttiin. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s.35.) Jälkikäsittely suoritetaan sähkökoronalla. Sähkökorona koostuu suurtaajuusgeneraattorista, korkeajännitemuuntajasta, käsittelyasemasta ja otsoni-imurista. Laitteistolla luodaan 10 - 30 kHz:n sähkövirta, mikä syötetään lyhyttä kaapelia pitkin käsittelyasemalle. Käsittelyasemalla tapahtuu koronapurkaus radan läpi. Rata kulkee telan ympäri, ja sen yläpuolella on noin 2 - 4 elektrodia noin 1 - 3 mm korkeudessa. Purkaus tapahtuu radan ja elektrodien väliseen ilmatilaan. Tasaisen koronapurkauksen mahdollistamiseksi jommassakummassa puolessa on oltava eristekerros. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 36.) Kuvassa 6 on esimerkki sähkökoronasta.



Kuva 6. Sähkökorona (Extrusion coating at Imatra Mills)

Laadunvalvontaa muovipäälystyksessä suoritetaan on-line mittauksella sekä myös tuotannon henkilökunnan toimesta. On-line mittauksella tarkoitetaan nimensä mukaan jo päälystyslinjalla suoritettavaa mittausta. Näitä mitattavia ominaisuuksia ovat muovimäärän poikkiprofiili sekä tuotteessa olevien likojen määrä ja paikka. Muovimäärän poikkiprofiilia mitataan radan yläpuolella poikkisuunnassa kulkevan mittarin avulla. Poikkiprofiilin mittalaite on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Profiilinmittaus (Kataikko 2016.)

Muovipäällystetyssä kartongissa olevat reiät, liat ja muut epäkohdat aiheuttavat ajettavuusongelmia ja huonontavat päällystyskoneen käytettävyyttä. On siis erittäin tärkeää havaita tuotteessa mahdollisesti olevien vikojen määrä ja paikka. (Huuskonen, Palsanen, Sierilä, Levlin, Niemi, Sundquist, Wartiovaara, 2013.) Imatran päällystystehtaalla on käytössä kamerapohjainen vianilmaisimien nimeltään Ulma. Vianilmaisimien näyttää kuvan minkälainen vika on kyseessä, vian suuruuden ja vian paikan. Vikojen käsittelyn helpottamiseksi automatiikka lisää kartonkiran reunaan vihreän ja punaisen vikalapun havaittuaan päällystyslinjalla vian. Vihreä vikalappu ilmoittaa vika-alueen alkamisen ja punainen vikalappu vika-alueen päättymisen. Vianilmaisimen havaitsema vika on tämän alueen välissä. Kuvassa 8 on esitetty vianilmaisimien ja sen kertomat tiedot.



Kuva 8. Vianilmaisain ja sen kertomat tiedot (Kataikko 2016.)

Henkilökunnan toimesta suoritettavat laatumittaukset tehdään valmistuneesta tuotteesta. Henkilökunta ottaa konerullasta näytteet ja suorittaa seuraavia laatumittauksia:

- muovimäärän tarkastusmittaus
- muovin kiinnittyvyys kartonkirataan (adheesio)
- muovipäällystetyn pinnan pintaenergia (visking)
- tuotteen visuaalinen tarkastelu

Edellä mainittujen mittausten lisäksi tuotannon henkilökunta lähettää valmistuneesta konerullasta näytteet myös laboratorioon. Laboratoriossa tarkastellaan muun muassa tuotteen tasaisuutta, paksuutta, lujuutta, neulareikiä ja kosteutta. (Stora Enso intranet.)

3.7 Kiinnirullain

Muovipäällystyslinjan loppupäässä on oltava vielä kiinnirullainyksikkö. Kiinnirullaimen pitää pystyä rullaamaan muovipäällystettykartonki päällystyslinjan nopeuden mukaan oikeaan kireyteen (vahingoittamatta valmistunutta tuotetta) sekä suorittaa valmiin rullan vaihto pysäyttämättä linjaa. Nykypä

tivänä kiinnirullausvaihtoehtoja on käytännössä kaksi, Pope-rullaaja tai keskiöveivoinen rullaaja. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 30.) Imatran päällystystehaalla on käytössä Pope-rullain.

Pope-rullaajassa kartonkirata tulee suurihalkaisijaisen pope-telan yli. Kuormitusvarret painavat tampuurirautaa ja sen päälle kelautuvaa rullaa halutulla voimalla pope-telaa vasten. Kuormitusvarsien puristusvoimaa säätämällä pystytään vaikuttamaan rullan kireyteen. Seuraavaksi käyttöön otettava tampuurirauta voidaan nostaa pope-telan päälle odottamaan vuoroaan kattonosturin avulla. Tampuuriraudan vaihto täydessä vauhdissa tapahtuu laskemalla uusi tampuurirauta kiinni popeen ja katkaisemalla rata. Radan katkaisu voidaan suorittaa joko paineilmalla tai kuten Imatran päällystystehtaalla käytettävän keinokuitunaran avulla. Keinokuitunaru katkaisee radan ja lähtee kiertymään uuden tampuuriraudan ympärille. Tämän jälkeen täyteen rullattu tampuurirauta siirretään lyhyitä kiskoja pitkin sivuun, odottamaan pääsyä pituusleikkurille. (Paperin ja kartongin jalostus, 2000, s. 30 - 31)

3.8 Pituusleikkuri

Kiinnirullaimelta valmistuneet konerullat siirretään kattonosturin avulla pituusleikkurille. Pituusleikkurilla ensisijaisen tarkoitus on leikata konerullat asiakkaiden toiveiden mukaisesti asiakasrulliksi. Useimmiten konerulla leikataan useaksi pieneksi rullaksi, jotka ovat kapeampia ja halkaisijaltaan pienempiä kuin itse konerulla. Asiakkailla on tarkat toiveet, joten pituusleikkurilta tulleiden rullien leveyksien, metrimäärien ja halkaisijoiden tulee olla asiakkaiden määrittämien ehtojen mukaiset. Tämän lisäksi pituusleikkurin henkilökunnan täytyy tarkkailla käsiteltävän tuotteen laatua. Mikäli huomataan Ulma-vianilmaisimesta jokin vika tuotteessa, tulee henkilökunnan merkata vika tai poistaa se tekemällä rataa liitos. Henkilökunnalla on vian merkkämiselle ja liitoksen teolle selkeät ohjeet, jotka vaihtelevat asiakkaan mukaan. Liitos on mahdollista tehdä joko koko pituusleikkurin radan leveyden mukaan tai ainoastaan halutuille asiakasrullille. Henkilökunnan vastuulla on myös varmistaa, että pituusleikkurilta lähtevien rullien laatu ei ole huonontunut leikkurin toimesta. Rullissa ei saa esiintyä esimerkiksi huonoa leikkuujälkeä, heittoja tai patapäisyyttä.

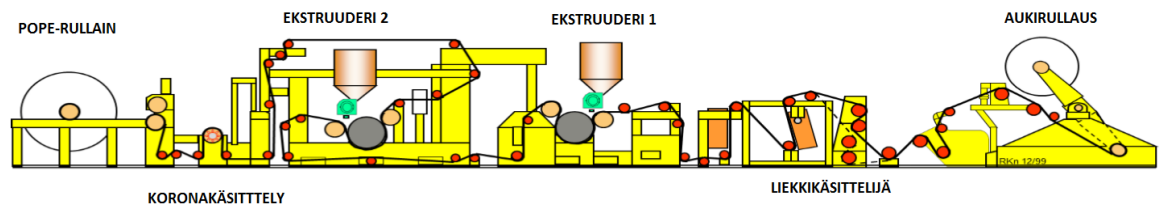
4 Muovipäällystys Imatran Stora Enson tehtailla

Imatran Kaukopään Stora Enson tehtaalla on nykyään kolme päällystyskonetta, PE2, PE3 ja PE5. Muovipäällystyskonetta hyvän tulevaisuuden myötä Stora Enso on

investoinut Kaukopään tehdasalueelle 80 miljoonaa euroa uuteen päällystyskoneeseen, PE6. Sen tarkoituksena on käynnistyä vuoden 2017 viimeisen neljänneksen aikana.

4.1 PE2

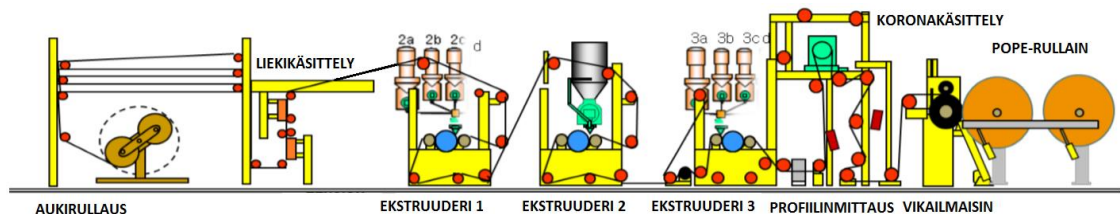
Päällystyskone 2 on vanhin käytössä oleva päällystyskone Kaukopään tehdasalueella. Se on käynnistetty vuonna 1967, ja sen vuotuinen tuotantokapasiteetti nykypäivänä on noin 75 000 tonnia. PE2:n maksimijonopeus on 400 m/min ja sen rataleveys vaihtelee 1700 mm:n ja 2240 mm:n välillä. Päällystettävän kartongin grammapaino on 170g/m²:stä aina 400 g/m²:n saakka. Päällystyskone 2 sivukuva on esitettyä alapuolella kuvassa 9. (Kataikko 2016.)



Kuva 9. Päällystyskone 2 sivukuva (Kataikko 2016.)

4.2 PE3

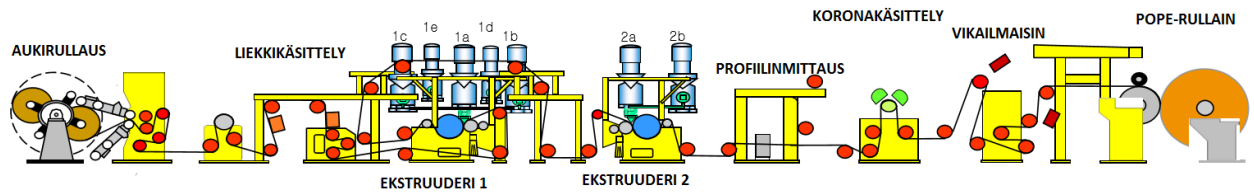
PE3 on aloittanut tuotantonsa vuonna 1971. PE3:n tuotanto on noin 90 000 tonnia vuodessa, ja sen maksiminopeus on 500 m/min. Rataleveys vaihtelee 1550 mm:n ja 2300 mm:n välillä. Raaka-ainekartongin massa vaihtelee 170g/m²:n ja 450 g/m²:n välillä. (Kataikko 2016.) Kuvassa 10 on sivukuva päällystyskone 3.



Kuva 10. Päällystyskone 3 sivukuva (Kataikko 2016.)

4.3 PE5

PE5 aloitti tuotantonsa vuonna 1996. Sen vuotuinen tuotanto on noin 110000 tonnia. PE5:n rataleveys vaihtelee 1550 mm:n ja 2300 mm:n välillä ja sen maksiminopeus on 500 m/min. Sen päällystämän kartongin grammapaino vaihtelee 170g/m²:n ja 450 g/m²:n välillä (Kataikko 2016.) Kuvassa 11 on sivukuva PE5.



Kuva 11. Päällystyskone 5 sivukuva (Kataikko 2016.)

5 Muovipäälylystyksessä esiintyviä epäkohtia

Muovipäälylystyksessä on niin monta eri vaihetta, minkä kautta kartonki joutuu kulkemaan, että on erittäin yleistä, että yksi tai useampi tekijä voi vaikuttaa lopputuotteen laatuun. Nämä epäkohdat pyritään tietysti huomaamaan ja mikäli mahdollista joko poistamaan tai merkkamaan ne, minkä jälkeen lopputuote vasta lähetetään asiakkaalle. On mahdollista, että kartonkiin on tullut epäkohtia kartonkikoneelta ennen muovipäälylytystä. Tätä kutsutaan raakakartonkiviaksi.

5.1 Raakakartonkivika

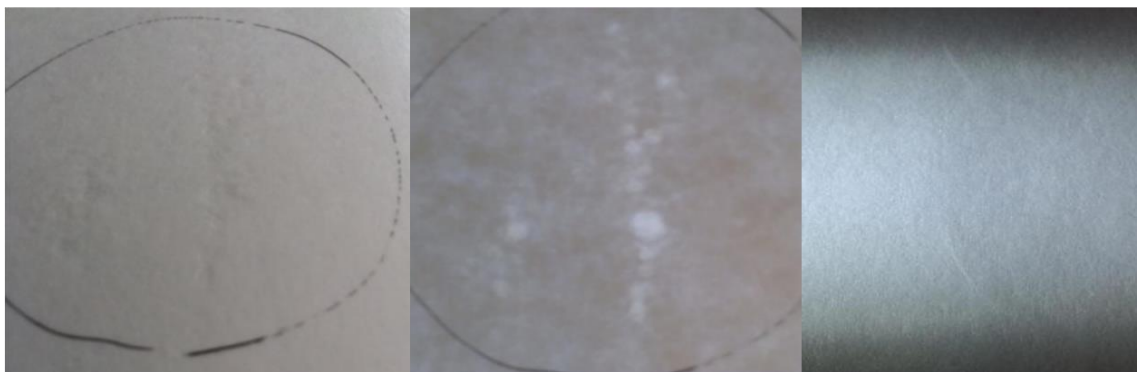
Raakakartonkivikaa voi esiintyä kartonginpinnassa pitkiäkin matkoja, esimerkiksi jos jokin hankaa kartonkirataa aiheuttaen siihen naarmua. Raakakartonkivialle ei päälylystystehtaalla voida tehdä enää mitään, vaan huomattaessa raakakartonkivian, on ilmoitettava esimiehelle, jotta epäkohdan aiheutumisen syyn selvittäminen kartonkikoneella saa alkunsa. Päälylystämällä raakakartonkiviat eivät poistu, vaan syntyvät ainoastaan huonoa tuotetta. Raakakartonkivikoja voivat muun muassa olla seuraavia:

- tärkkitäplät ja muut saostumat (aiheuttavat muun muassa viallisia nuuttauksia pakkauksiin)
- painaumat ja vekiit (havaitaan yleensä läpivalossa tai painauma/veikki voi kiiltää, kun muovi tekee filmin sen päälle)
- lika (yleensä punalimaa, biofilmejä tai öljy/likavesitippoja)
- reunarikko
- reikiä
- huono profiili
 - rullan pintaan muodostuu painauma/kohouma

Kuvissa 12 ja 13 näytetään esimerkki raakakartonkiviasta.



Kuva 12. Raakakartonkivika. Likaa kartonkikoneelta (Muhonen P, Oppareiden laatukoulutus)



Kuva 13. Raakakartonkivika. Painauma ja vekkiä (Muhonen P, Oppareiden laatukoulutus)

5.2 Muovipäälllystyksestä aiheutuvat epäkohdat

Kuten aikaisemmin on mainittu, kartonki kulkee niin usean eri vaiheen kautta, että on mahdollista, että jokin niistä saattaa vahingoittaa lopputuotetta. Yleisimpiä epäkohtia muovipäälllystyksessä ovat muun muassa.

5.2.1 Muoviloikat ja reiät

- muoviloikassa muovifilmi nykii ja radan reunaan jää alue ilman muovia
 - muoviloikka havaitaan IR- kameralla. Koneenhoitaja ilmoittaa havaituista muoviloikista pituusleikkurin operaattorille
- reiät
 - syntyvät esimerkiksi epäpuhtauksista suuttimessa

Alla olevassa kuvassa 14 on esimerkki havaitusta muoviloikasta.



Kuva 14. IR-kameran havainto muoviloikasta (Muhonen P, Oppareiden laatukoulutus)

5.2.2 Muovimäärän muutokset

- liian alhainen tai korkea muovimäärä
 - väärän muovimäärä havaitaan muovinäytöllä
 - rullat, joissa on väärä muovimäärä, pysäytetään tehtaalle
- voidaan havaita muovinäytöstä myös heikko adheesio PET:llä

5.2.3 Muovinauhat

Muovi, mikä ylittää kartonkiradan reunan, voi irrota nauhoina

- aiheuttavat ongelmia painatuksessa sekä ovat tuoteturvallisuusriski
- muovinauhaa irtoaa esimerkiksi kun:
 - kartonkirata liikkuu sivuttaissuunnassa
 - suuttimen reunarajoittimesta vuotaa muovia radalle
 - raakakartonkirullan leveyden kapeneminen
- mikäli muovinauhaa on irti, tulee pituusleikkurilla olla varma, ettei muovinauhaa päädy asiakasrulliin

Kuvassa 15 on asiakkaille päätyneitä muovinauhoja.

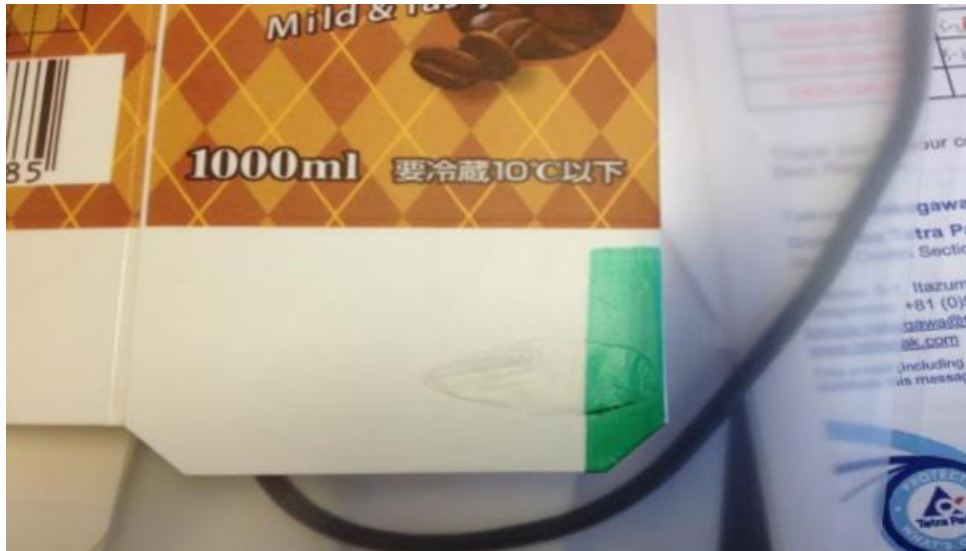


Kuva 15. Muovinauhat (Muhonen P, Oppareiden laatukoulutus)

5.2.4 Kara-, öljy ja vesitipat

- roiskeiden kohdalla adheesio on heikko, tai muovi on kokonaan irti
- kärytipat syntyvät savukaasujen kondensoituessa käryteippien pinnalle
- tuoteturvallisuusriski

Kuvassa 16 on esimerkki kärytipasta.



Kuva 16. Kärytipa (Muhonen P, Oppareiden laatukoulutus)

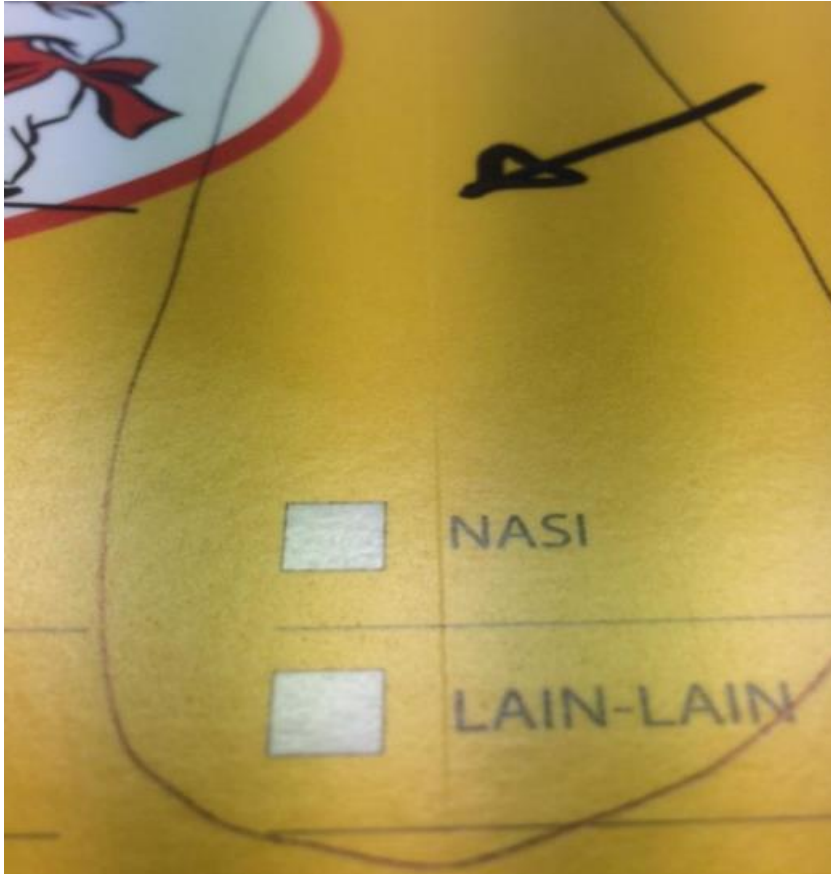
5.2.5 Naarmut, kiillottumat ja painaumat

Naarmuja, kiillottumia ja painaumia aiheuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

- hankaavat esineet tai kartonginkappaleet
- jäähdytystelassa voimakkaita jälkiä
- puristintelassa jälkiä
- rata pujotettu väärin
- kaikki telat eivät pyöri

Naarmut, kiillottumat ja painaumat ovat yleensä nähtävissä ”ihan silmällä”.

Kuvassa 17 on näytetty esimerkki naarmuuntuneesta kartongista.



Kuva 17. Naarmu (Muhonen P, Oppareiden laatukoulutus)

5.2.6 Reunapalstauma ja pohjavekki

Reunapalstaumaa ja pohjavekkiä on havaittavissa Popella. Reunapalstautumaa syntyy kun radan katkaisulaite ei katkaise rataa reunaan saakka. Näin ollen reunasta palstautuu kaistale. Tämä voi aiheuttaa saumautuvuusongelmia, sekä ongelmia painokoneella. Jos palstaumaa havaitaan, tulee konerullasta lusata riittävästi pois, eli poistaa konerullan päällimmäiset kierrokset.

Kuvassa 18 on esitetty reunapalstautumaa.



Kuva 18. Reunapalstautumaa (Muhonen P, Oppareiden laatukoulutus)

Pohjavekkiä syntyy Popella konerullan vaihdon yhteydessä sivuttaisliikkeen takia. Pohjavekki jää nimensä mukaisesti konerullan pohjalle, eli pituusleikkurilla pohjavekki on havaittavissa viimeisin muuton pinnalla. Normaalisti pohjavekkiä esiintyy noin 200 – 300 metrin matkalla. Alla on kuva, jossa näytetään lopputuotteen joutunutta pohjavekkiä.



Kuva 19. Pohjavekki (Muhonen P, Oppareiden laatukoulutus)

6 Tohtorikone

Kuten aikaisemmin on mainittu, pituusleikkurilla pyritään merkkamaan ja poistamaan liitoksilla vikoja asiakasrullista, mikäli niitä tuotteessa esiintyy. Aina kun aloitetaan vikojen etsiminen ja mahdollinen käsittelyminen täytyy pituusleikkurin ajonopeutta vähentää ryömintävauhtiin, mikä hidastaa pituusleikkurin tuottavuutta ja huonoimmillaan yhteen vikaan saattaa kulua useita minuutteja. Tällaisiin tapauksiin ei pituusleikkurilla ole varaa, sillä päällystyslinjalta valmistuu koko ajan pituusleikkurille uusia konerullia ajettavaksi. Valmiita konerullia pystytään säilyttämään leikkurin ja päällystyslinjan välissä muutamia kappaleita, mutta kun niin sanottu "väli" on täynnä, joutuu päällystyslinjan tuotanto hidastamaan vauhtia ja lopuksi lopettamaan tuotanto kokonaan, kunnes pituusleikkuri saa ajettua välin tyhjäksi. Tuotannon pysäyttäminen ei luonnollisesti ole tehtaalle kannattavaa ja jo lyhyetkin pysäytykset käyvät tehtaalle kalliiksi. Pituusleikkuri on siis ajoittain Imatran päällystystehtaalla pullonkaula, ja muun muassa tämän takia tohtorikone

on hankittu päällystystehtaalle. Tohtorikone on nimensä mukaan rullan ”tohtorointia” varten. Tohtorikone mahdollistaa rullien epäkohtien merkkeämisen tai poistamisen muualla kuin pituusleikkurilla.

6.1 Tohtorikoneen yleiskuvaus

Tohtorikone on siis auki – ja kiinnirullain, millä voidaan poistaa tai merkata rullissa esiintyviä vikoja. Se koostuu kahdesta 35 Kw vaihtovirtamoottorista, mitkä pyörittävät kahta rullausakselia eli rullainta. Molemmat rullaimet pyörivät molempiin suuntiin, joten tohtorikoneen ajosuuntaa voidaan tarvittaessa vaihtaa. Molemmat rullaimet voidaan pullistaa, jotta niille asetettavat rullat lukittuvat napakasti kiinni. (Preliminary information on machine, Dalla & Vittorelli)

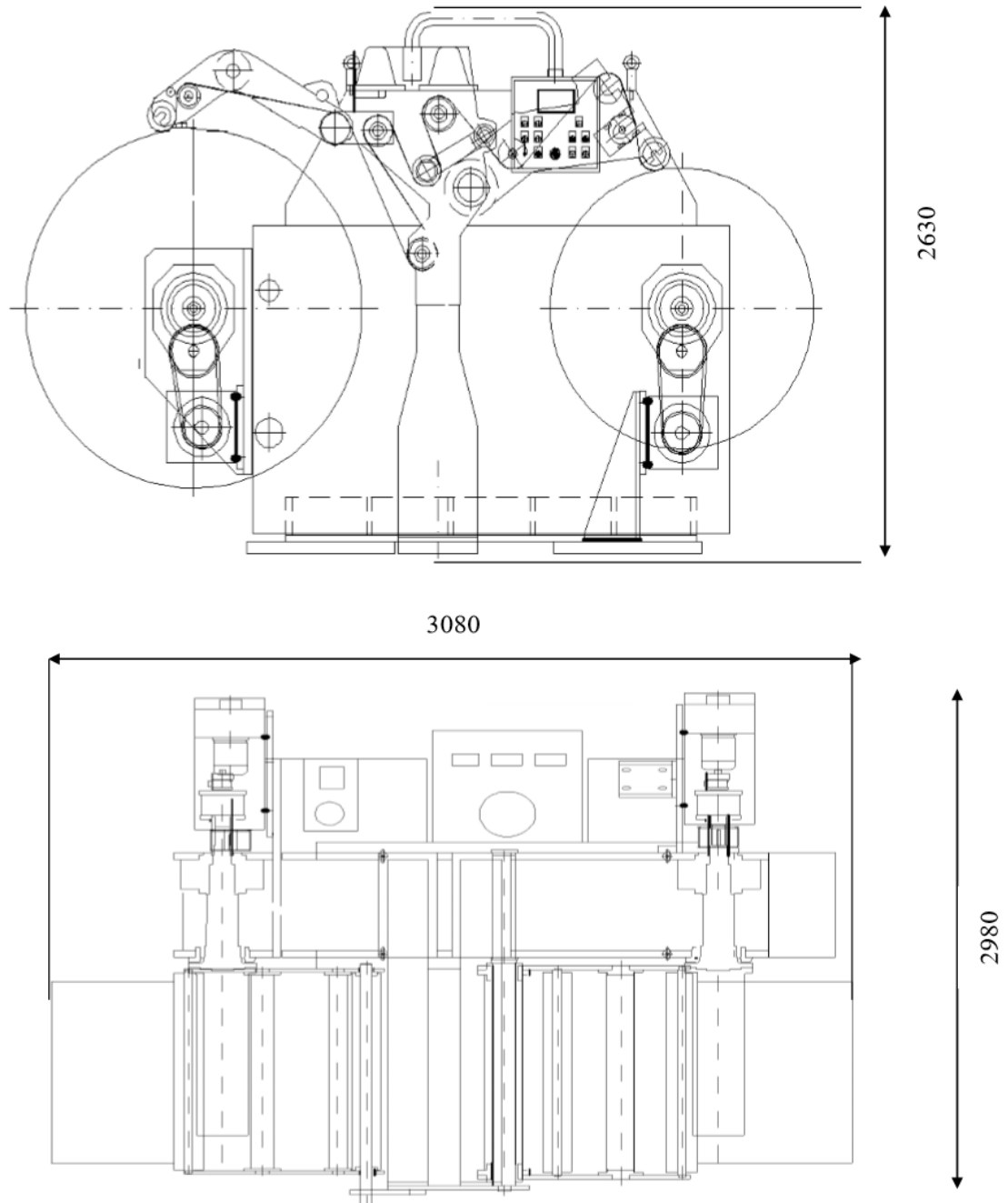
Kuvassa 20 on sivukuva tohtorikoneesta, missä näkyvät rullaimet.



Kuva 20. Sivukuva tohtorikoneesta (Using the machine, Dalla & Vittorelli)

Tohtorikone on suunniteltu käytettäväksi kartongille, joiden grammapaino on 200 g/m² ja 500 g/m² välillä, sekä rullille, mitkä ovat maksimissaan 1020 mm leveitä

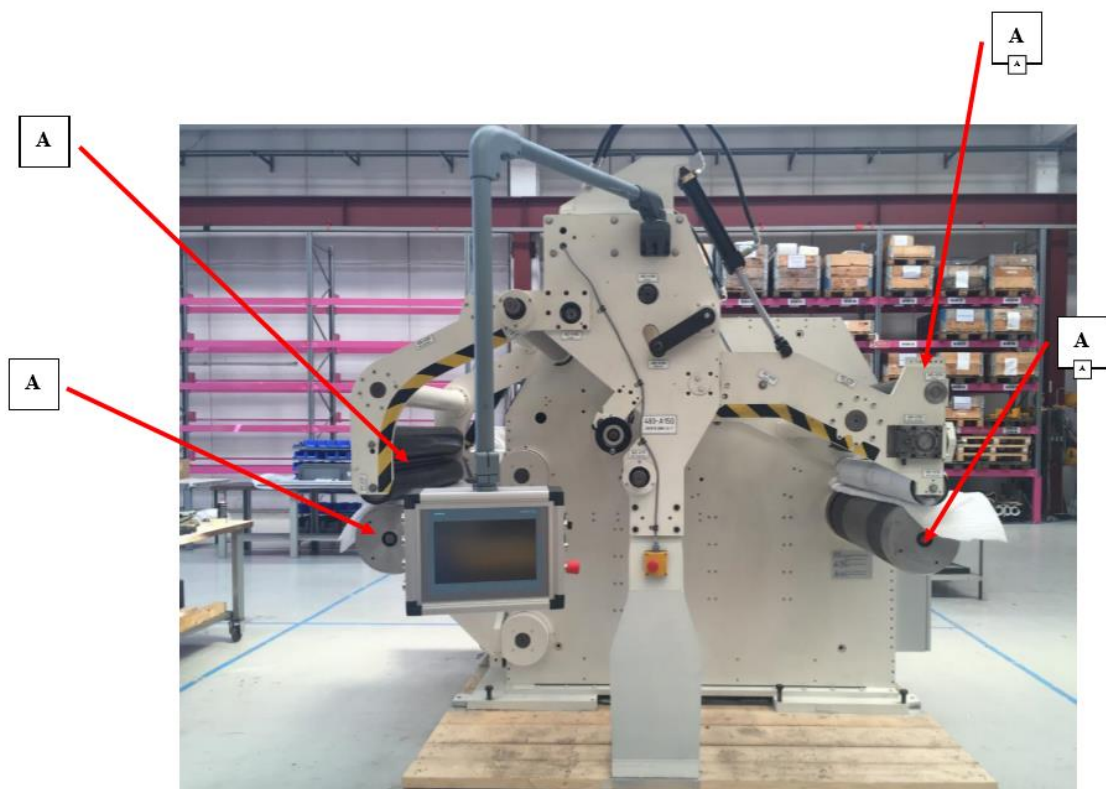
ja halkaisijaltaan enintään 1600 mm. Tohtorikoneen maksimi ajonopeus on 500 m/min ja minimi ajonopeus 10 m/min. Kuvassa 21 on esitetty tohtorikoneen korkeus-, leveys- ja pituusmitat.



Kuva 21. Tohtorikoneen ulkomitat (Preliminary information on machine, Dalla & Vittorelli)

6.2 Tohtorikoneen riskialueet

Stora Ensolla turvallisuus on prioriteetti numero yksi, joten luonnollisesti tohtorikoneellakin on otettu turvallisuusasiat huomioon. Tohtorikone on itsessään aika pieni ja yksinkertainen kone, joten vakaviin tapaturmiin johtavia riskialueita ei tohtorikoneella montaa ole, mutta lieviä tapaturmia voi sattua huolimattomuuden vuoksi. Kuvassa 22 on osoitettu tohtorikoneen vakaviin tapaturmiin johtavat kohdat.



Kuva 22. Vakavien tapaturmien riskialueet (General information, Dalla & Vittorelli)

Kuten yläpuolella olevasta kuvasta voidaan havaita, vakaviin tapaturmiin johtavia alueet ovat tohtorikoneen molemmilla puolilla olevien rullaimien ja painotelojen kohdalla. Rullaimissa on vaarana jättää esimerkiksi sormet väliin pullistettaessa akselia lukitakseen rullat paikoilleen. Painotelan läheisyydessä on vaarana joutua puristuksiin painotelan ja rullaimen väliin painotela laskettaessa ala-asentoon. Painotelan liikenopeutta on tarvittaessa mahdollista hidastaa, mikäli painotelan liikkeen katsotaan olevan liian nopeaa. Vaarallisin alue on ajon aikana pyörivien akselien ja ohjaustelojen läheisyydessä. Silloin rullan purkaussuunnasta riippuen pyörivien akselien ja ohjaustelojen väliin muodostuu niin sanottu ”pinch point”, eli

puristumisvaara. Nämä riskialueet on pyritty turvaamaan valoverholla. Valoverhon tarkoituksena on estää kenenkään pääsyä tohtorikoneen läheisyyteen koneen ollessa ajossa. Valoverhoon on asennettu kaukosäädin, mikä mahdollistaa valoverhon ohittamisen, mikäli tohtorikoneen ajonopeus on enintään 25 m/min. Tämä on mahdollistettu, jotta operaattori pääsee tarkastelemaan tarvittaessa tuotteessa olevia epäkohtia lähempää.

Muita riskialueita tohtorikoneella ovat seuraavia:

- Rullan kuljetuskelkka nostopöydälle (kompastuminen, rullan kaatuminen)
- Nostopöytä (kompastuminen sen ollessa yläasennossa, tai puristuksiin jääminen laskettaessa)
- Rullan asettaminen rullaimelle (rullan kaatuminen)
- Painotela (puristuksiin jääminen tai painotelan aiheuttamat iskut)
- Rullan stopparin unohtuminen rullaa poistettaessa (rullan kaatuminen)

Alla olevissa kuvissa 23,24,25,26 on esitetty yllämainitut riskialueet.



Kuva 23. Rullan kuljetuskelkka



Kuva 24. Nostopöytä yläasennossa

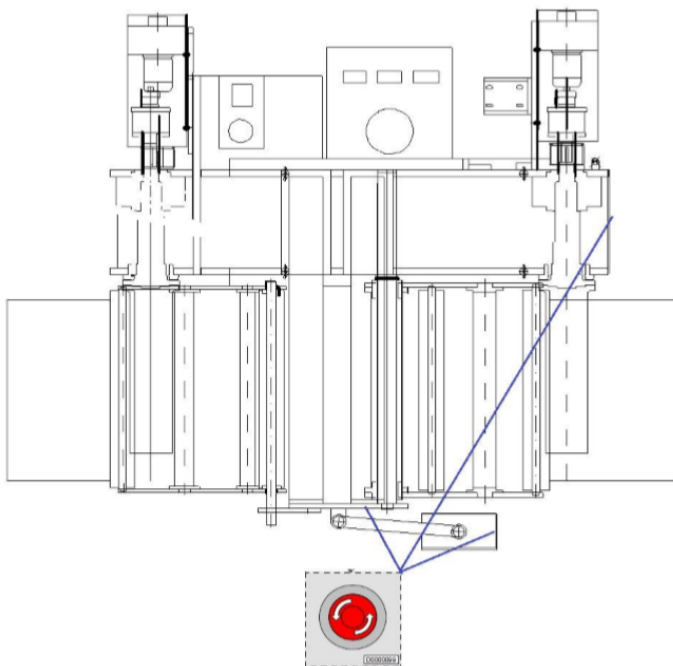


Kuva 25. Painotela



Kuva 26. Rullan stoppari

Mikäli sattuu jokin tapaturma tai huomataan tohtorikoneessa jotain poikkeavaa, voidaan kone pysäyttää nopeasti hätäseis-painikkeesta. Hätäseis-painikkeita on yhteensä kolme kappaletta, ohjauspaneelin kyljessä, tohtorikoneen edessä rungossa kiinni ja tohtorikoneen takana moottorien vieressä. Hätäseis-painikkeiden sijainti näkyy kuvassa 27.



Kuva 27. Hätäseis-painikkeiden sijainti (Preparing the machine, Dalla & Vittorelli)

6.3 Rullan asettaminen ja tohtorikoneen operointi

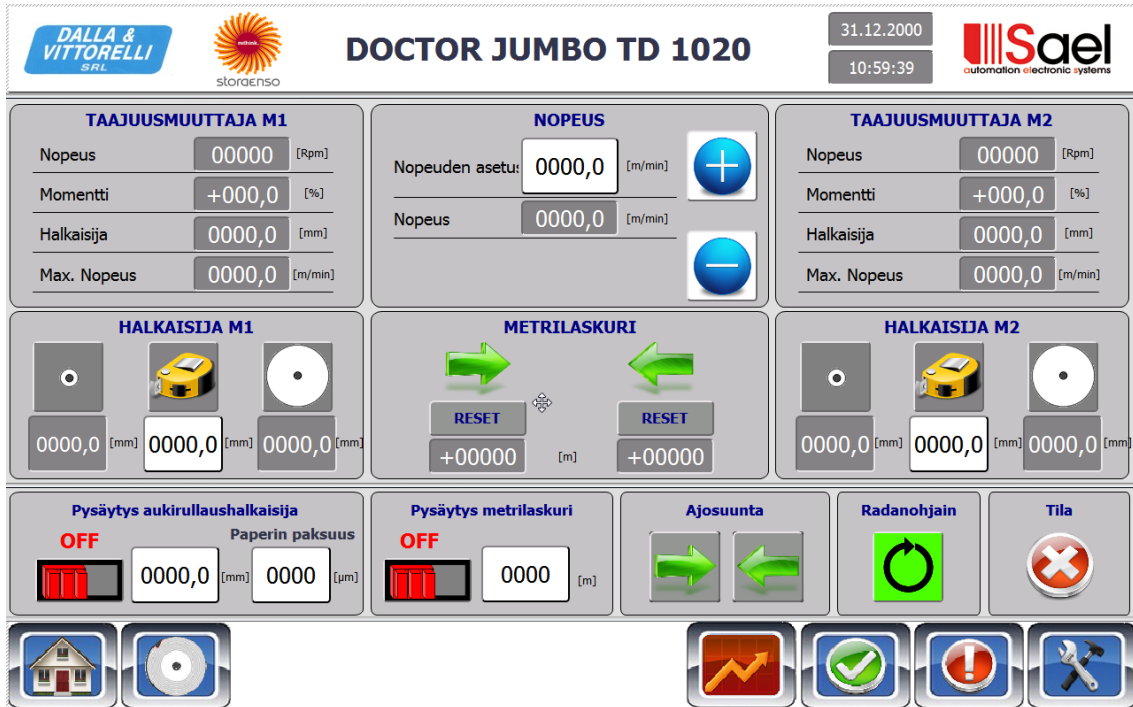
Kuten aiemmin on mainittu, tohtorikonetta voidaan operoida molempiin suuntiin, eli joko vasemmalta oikealle tai oikealta vasemmalle. Luonnollisempi ja helpompi tapa operoida tohtorikonetta on valita ajosuunnaksi vasemmalta oikealle. Seuraavat ohjeet on luotu tätä ajosuuntaa silmällä pitäen.

Komennot tohtorikoneelle tehdään ohjauspaneelin kautta, mikä toimii osittain mekaanisten nappien ja kytkimien avulla, sekä myös kosketusnäytön kautta. Kuvassa 28 on esitetty ohjauspaneeli.

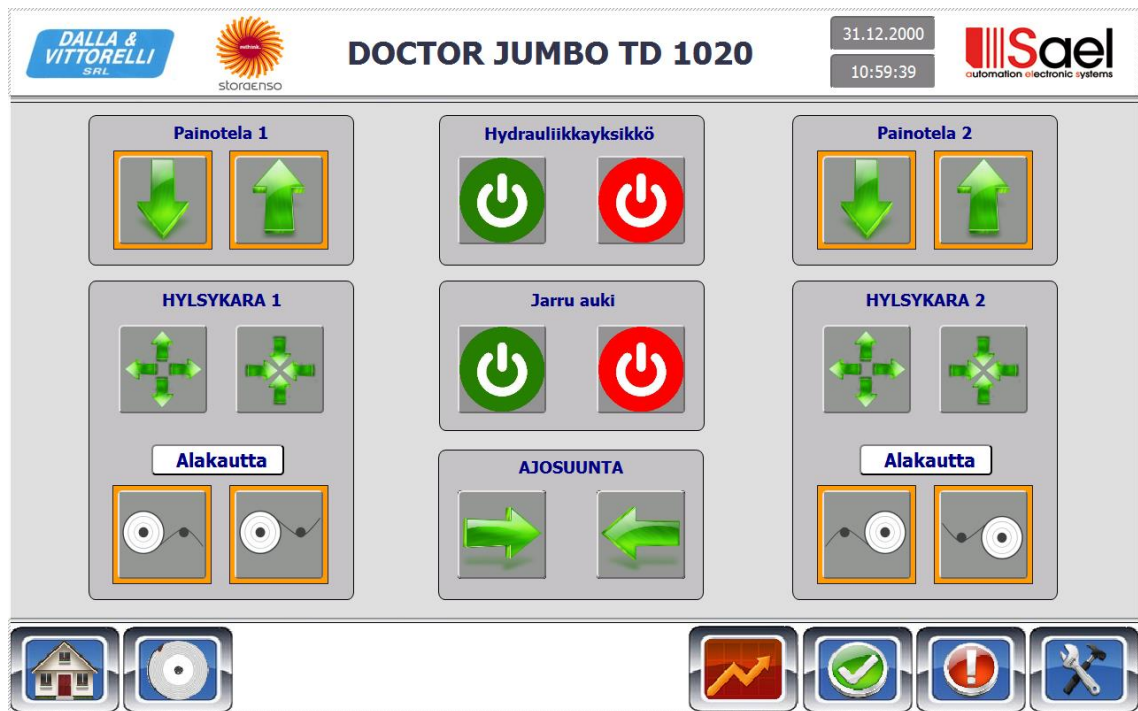


Kuva 28. Ohjauspaneeli

Ohjauspaneelissa on kaiken kaikkiaan kuusi sivua, joista kaksi voidaan määritellä pääsivuiksi. Pääsivuista tapahtuu suuri osa tohtorikoneen käsittelystä. Jäljelle jäävät neljä muuta sivua ovat hälytyksiä (hälytyshistoria ja aktiiviset hälytykset), kireydensäättötelan liikkeen seuraamista ja tohtorikoneen asetuksia varten. Alla olevat kuvat 29 ja 30 pääsivujen näyttökuvia ohjauspaneelista.



Kuva 29. Pääsivu 1

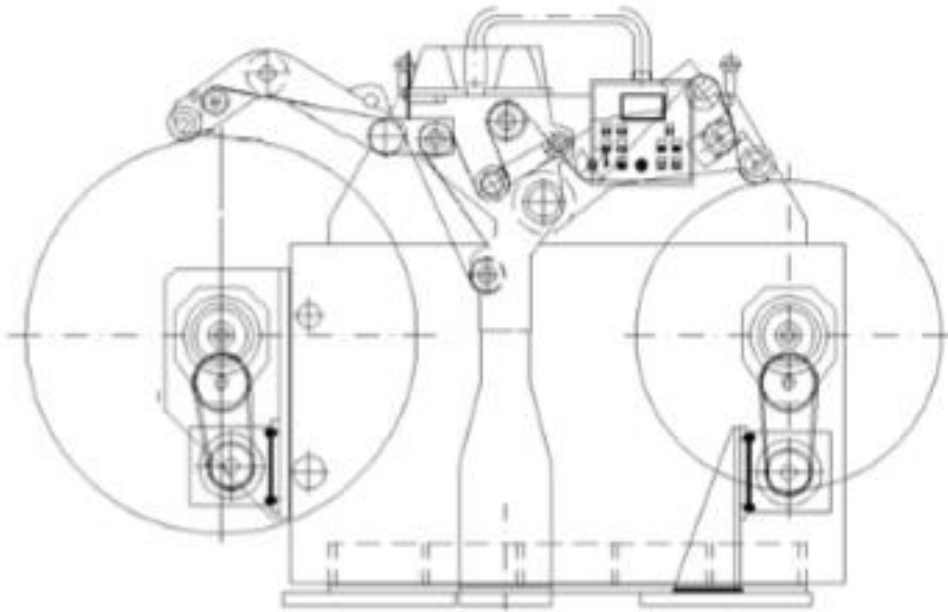


Kuva 30. Pääsivu 2

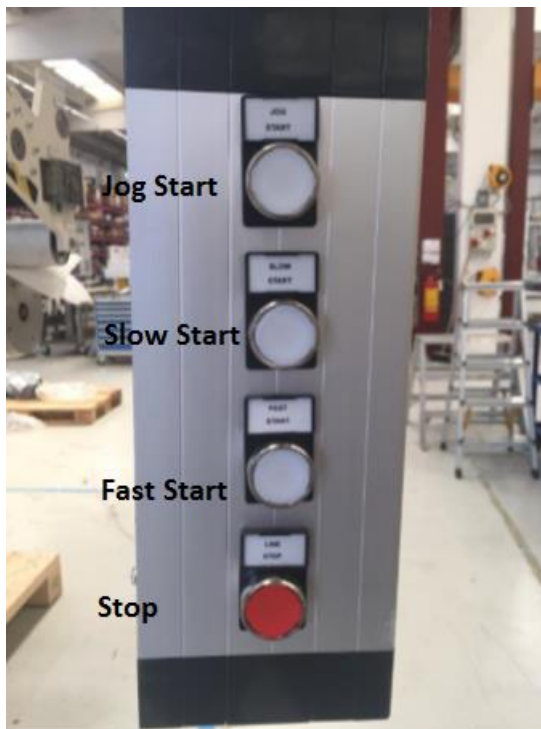
Rullan asettaminen tapahtuu seuraavan laisesti:

1. Käynnistä tohtorikone toiselta pääsivulta kohdasta **HYDRAULIIKKAYKSIKÖ**
2. Aseta rulla rullankuljetuskelkalle ja työnnä rulla nostopöydälle
3. Nostopöytää nostetaan sopivalle tasolle, jotta rulla voidaan työntää rullaimelle. Nostopöytää nostetaan ohjauspaneelin päällä olevista kytkimistä, mikä ovat näkyvillä kuvassa 28
4. Avaa rullan lukitus toiselta pääsivulta kohdasta **HYLSYKARA 1** (nuolet sisäänpäin). Aseta rulla sopivaan kohtaan ja lukitse rulla samasta kohdasta (nuolet ulospäin)
5. Avaa kiinnirullatavan puolen rullan lukitus kohdasta **HYLSYKARA 2** ja aseta täyttä rullaa vastaavankokoinen tyhjä hylsy rullaimelle. Lukitse tyhjä hylsy samasta kohdasta
6. Avaa rullaimien jarru, jotta rullaimet pyörivät vapaasti radan pujottamista varten kohdasta **JARRU AUKI**. Vie rata tohtorikoneen läpi kuvan 31 mukaisesti ja laske painotela alas kohdasta **PAINOTELE 2**
7. Vahvista tohtorikoneen **AJOSUUNTA** ja purkaussuunta **YLÄKAUTTA** sekä aukirullaimessa, että kiinnirullaimessa

8. Aja tohtorikonetta sen verran eteenpäin, että huomataan mihin kohtaan rata asettuu
9. Mittaa takalaidasta radan reunan etäisyys tohtorikoneen runkoon, minkä jälkeen voidaan kohdistaa hylsy samalle etäisyydelle
10. Mitattua radan etäisyyden, nosta painotela ja avaa rullan lukitus kohdasta **PAINOTELE 2 ja HYLSYKARA 2**. Aseta tyhjä hylsy mitattuun etäisyyteen ja lukitse hylsy. Aseta rata ja hylsy samalle tasolle ja laske painotela alas, minkä jälkeen radan häntä teipataan hylsyyn kiinni
11. Aseta rullan halkaisija kohtaa **HALKAISIJA M1** ja vahvista halkaisija painamalla mittanauhan kuvaa (halkaisija muuttuu kohdassa taajuusmuuttaja M1). Myös hylsyn halkaisija täytyy asettaa kohtaan **HALKAISIJA M2**, painamalla tyhjän hylsyn kuvaa (halkaisija muuttuu kohdassa taajuusmuuttaja M2)
12. Nollaa molemmat **METRILASKURIT** reset-painikkeesta
13. Mikäli rulla halutaan pysäyttää tiettyyn metrimäärään, tulee **PYSÄYTYS METRILASKURI** olla On-asennossa ja haluttu metrimäärä asetettuna
14. Tohtorikoneen käynnistys tapahtuu kolmesta eri painikkeesta, mitkä sijaitsevat ohjauspaneelin kyljessä. Käynnistuspainikkeet näkyvät kuvassa 32. **SLOW START** kiihdyttää koneen nopeuteen 25 m/min ja **FAST START** kiihdyttää koneen nopeuteen, mikä on asetettu kohdassa **NOPEUDEN ASETUS**. **JOG START** ryömittää konetta nopeudella 10 m/min ja pysäyttää vauhdin, kun nappia ei enää pidetä pohjassa
15. Mikäli tohtorikone ei käynnisty, tarkista aktiiviset **HÄLYTYKSET** ja kuittaa ne ohjauspaneelin kyljessä olevasta reset-painikkeesta



Kuva 31. Tohtorikoneen radanvienti



Kuva 32. Tohtorikoneen käynnistys ja pysäytys

6.4 Radanohjaimen käyttö

Tohtorikonetta voidaan operoida radanohjaimen kanssa, tai ilman. Radanohjain on u-kirjaimen muotoinen sensori, minkä välistä rata kulkee. Mikäli radanohjain huomaa radan siirtyneen sensorissa jompaankumpaan suuntaan, pyrkii tohtorikone korjaamaan niin sanottua ”heittoa” siirtämällä aukirullainta ja ohjaustelaa vastakkaiseen suuntaan heittoon nähden. Kuvassa 33 on esitetty radanohjainsensori.



Kuva 33. Radanohjainsensori

Kuten kuvassa 32 voidaan nähdä, kartonki kulkee radanohjainsensorin lävitse. Radanohjainsensorin keskikohta on merkittynä molempiin ulokkeisiin pienellä viivalla. Jotta radanohjainsensori toimisi, täytyy kartongin reuna kohdistaa radanohjainsensorin keskikohtaan. Radan ollessa sensorin keskikohdassa sensori pystyy lukemaan mahdolliset heitot molempiin suuntiin.

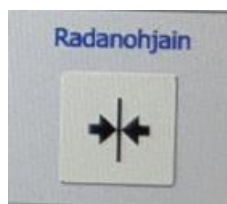
Radanohjainsensorin käyttöönotto tapahtuu sen jälkeen, kun rulla on asetettu aiemmin mainittujen rullan asettamisohjeiden mukaisesti. Radanohjain laitetaan

päälle ohjauspaneelin asetukset-sivulta. Kuvassa 34 on näytetty radanohjainsensorin käynnistyspainike, mikä sijaitsee oikeassa reunassa.



Kuva 34. Radanohjainsensorin käynnistys

Tämän jälkeen valitaan pääsivu 1 ja kytketään radanohjainsensorin seuranta pois päältä siksi aikaa, kun sensori on saatu asetettua kohdalleen ja rata keskitettyä sensorin keskelle. Radanohjainsensorin seurannan ollessa pois päältä, tulee näkyä kuvan 35 mukainen näkymä.



Kuva 35. Radanohjainsensorin seuranta pois päältä

Sen jälkeen, kun sensori on oikealla paikalla ja rata on keskitetty, voidaan radanohjainsensorin seuranta laittaa päälle. Radanohjainsensorin seuranta lähtee päälle samasta kohdasta kuin se kytkettiin pois päältä. Radanohjainsensorin seurannan ollessa päällä tulisi näkyä seuraava näkymä.



Kuva 36. Radanohjainsensorin seuranta päällä

Radanohjainsensoria käytettäessä ei voida operoida yhtä suurilla nopeuksilla kuin ilman radanohjainsensoria, sillä suurilla nopeuksilla sensori ei kerkeä huomauttaa heittoa ja suorittamaan tarvittavat korjausliikkeet. Näin ollen, jos rullissa ei esiinny sivuttaisheittoja, on suositeltavaa käyttää tohtorikonetta ilman radanohjainsensoria.

7 Tohtorikoneen koeajo

Kuten johdannossa on aiemmin mainittu, tohtorikoneen koeajon tarkoituksena oli laatumittausten lisäksi selvittää tohtorikoneen toiminta. Koeajoilla pyrin selvittämään, tohtorikoneen optimaaliset ajonopeudet eri tilanteissa niin, että rullan ulkoiset ominaisuudet eivät kärsisi. Koeajossa käytettiin yhteensä neljää molemmin puolin päällystettyä rullaa, mitkä olivat kaikki samaa K4JP-600224 tilausta. Nämä rullat olivat muuten hyvänlaatuisia, mutta rullien väliin epäiltiin päätyneen muovinauhaa. Rullat päättyivät tästä syystä tohtorikoneelle koeajokäyttöön. Koeajossa käytetyt neljä rullaa olivat rullat 13008, 13125, 13110 ja 13017. Alla olevassa taulukossa on esitetty näiden rullien rullaussuunnitelma.

Rulla	1	2	3	4
Rulla 1 = 13008				
Rulla 2 = 13125				
Rulla 3 = 13110				
Rulla 4 = 13017				
	Rullauskerrat			
	1N	1	1	1
	2	2N	2	2
	3	3	3N	4
	4	4	4	4N

Taulukko 1. Koeajon rullaussuunnitelma

Kuten yllä olevasta taulukosta voidaan nähdä, jokaista rullaa on rullattu tohtorikoneella yhteensä neljä kertaa ja jokaisesta rullasta on otettu eri rullauskertojen jälkeen kaksi näytearkkia. Näytearkit lähetettiin tutkimuskeskukselle laatumittauksia varten. Normaalisti yhtä rullaa käsiteltäisiin tohtorikoneella ainoastaan yhden kerran, mutta saadaksemme riittävän laajat mittaustulokset, yhtä rullaa rullattiin tarkoituksella liioitellusti neljä kertaa. Jokaisella rullauksella oli oma tarkoituksensa. Ensimmäisellä rullauksella tarkoituksena oli saada rullaan neljä kappaletta erikokoisia keinoitekoisia heittoja. Heittojen suuruudet vaihtelivat rullasta riippuen 3 – 12 mm välillä. Heitot saatiin aikaan radanohjainsensoria apuna käyttäen. Radanohjainta siirrettiin tarkoituksella halutulla hetkellä hiukan sivuun, jolloin rata siirtyi hiukan keskikohdasta pois päin. Tohtorikone pyrki korjaamaan havaitun radan poikkeaman siirtämällä aukirullainta ja ohjaustelaa niin, että rata olisi taas radanohjainsensorin keskikohdassa, muodostaen näin halutun heiton. Heitot saatiin eri kokoisiksi siirtämällä radanohjainsensoria sivuun aina edellistä siirtoa hiukan enemmän.

Toisen rullauksen tarkoituksena oli selvittää, minkälaisilla ajonopeuksilla tohtorikone pystyy korjaamaan heitot ennalleen. Jokaisella rullalla oli oma ajonopeus, millä heitot yritettiin korjata. Alla olevasta taulukosta voidaan havaita, millä nopeudella jokaisen rullan heittoja on yritetty korjata.

Rulla	Ajonopeus
13008	25m/min
13125	50 m/min
13110	75 m/min
13017	100 m/min

Taulukko 2. Heittojen korjausten ajonopeudet

Kolmannen ja neljännen rullauksen tarkoituksena oli ajaa rullat vain läpi kahdella eri nopeudella ja seurata, miten nopeudet vaikuttavat rullausjälkeen. Rullat 13008 ja 13125 ajettiin läpi nopeudella 200 m/min ja rullat 13110 ja 13017 ajettiin läpi nopeudella 400 m/min. Radanohjainsensori oli läpiajoissa käytössä rullilla 13008 ja 13110.

Ennen jokaista rullausta ja jokaisen rullauksen jälkeen rullille suoritettiin kovuusmittaus. Mittaus suoritettiin Parotester- kovuusmittarilla. Mittaaminen kyseisellä kovuusmittarilla perustuu jousivoimalla laukaistun iskurin liikenopeuteen. Iskurin liikenopeutta mitataan sekä iskuvaiheessa, että paluuvaiheessa. Kovuusmittari ilmoittaa rullan kovuuden kovuusarvona L , mikä saadaan iskuvaiheen ja paluuvaiheen nopeuksien suhteesta. (Pasi, T. 2006. Erään hienopaperikoneen paksuusprofiilin hallinta. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Kemiantelekniiikan osasto. Diplomityö) Parotesterin arvo L , saadaan kaavasta $L = 1000 * \frac{B}{A}$, missä A on iskurin suurin nopeus ennen iskua ja B on iskurin suurin nopeus iskun jälkeen. (Palosuo, A. 2007. Roll hardness measurements, Lahti University Of Applied Sciences. Plastics engineering. Bachelor's thesis) Parotesterin mittausauva painetaan rullan kylkeen, mikä laukaisee iskurin. Tämän jälkeen kovuusarvo L tulee näkyville Parotesterin näytölle. Mitä suurempi arvo L , sitä kovempi rulla on. Kovuusmittauksia otettiin jokaisesta rullasta yhteensä viisi kappaletta. Yhdellä mittauskerralla kovuutta mitattiin viidestä eri kohtaa rullan poikkisuunnassa noin 10 cm välein. Parotester antoi näytölle lukemat ja lopuksi ilmoitti minimi-, maksimi- ja keskiarvon kovuusmittauksista.

Ennen jokaista rullausta, heittojen korjausten ja kolmannen rullauksen jälkeen on tarkkailtu rullien patapäisyyttä. Patapäisyydellä tarkoitetaan rullan päädyissä esiintyvää epätasaisuutta. Patapäisyyttä tarkkailtiin silmämääräisesti rullan päätyyn asetetulla lankulla. Mikäli patapäisyyttä esiintyy lankku ei asetu rullan päätyyn tasaisesti.

7.1 Rulla 13008

Rullan 13008 rullausjälki ennen tohtorikoneen käsittelyä oli erittäin hyvä. Patapäisyyttäkään ei liiammin esiintynyt lukuun ottamatta erittäin kapeaa kaistaletta. (Liite I, 1) Ensimmäisen rullauksen aikana tehtiin neljä kappaletta erikokoisia keinoitekoisia heittoja, mitkä olivat suuruudeltaan 3, 6, 10 ja 12 mm. (Liite I, 2) Rullan 13008 heittojen korjausnopeus oli 25m/min. Rullaa ajettiin nopeudella 200 m/min lähelle heittokohtaa, minkä jälkeen tohtorikoneen nopeus pudottiin korjausnopeuteen. Kuten kuvasta (liite I, 2) voidaan havaita, tohtorikoneella pystyttiin korjaamaan heitot lähes huomaamattomaksi. Mitä suurempi heitto rullan kyljessä oli, sitä paremmin tohtorikone tässä tapauksessa sen korjasi. Patapäisyyden tilanne

ei muuttunut heittojen korjauksen jälkeen (liite I, 3). Ensimmäinen läpiajo suoritettiin kyseisellä rullalla radanohjainsensoria apuna käyttäen nopeudella 200 m/min. Rullausjälkeen ei tullut muuten mitään muutosta, paitsi korjattujen heittojen kevyet jäljet voimistuivat ja näkyivät paljon selkeämmin (liite I, 3). Toiselle läpiajolle lähtökohdat olivat selkeästi huonommat verrattuna ensimmäiseen läpiajoon. Läpiajon jälkeen rullausjälki heikkeni entisestään. Patapäisyyteen useat rullaukset eivät vaikuttaneet millään tavalla (liite I, 4).

Rullan kovuuksia mitattiin ennen ensimmäistä rullausta ja sen jälkeen myös jokaisen rullauksen jälkeen. Yhteensä kovuusmittauksia tehtiin viisi kappaletta (liite I, 5). Ennen rullan käsittelyä kovuusmittari antoi rullan kovuuden minimi/maksimi arvoksi 661/684 ja keskiarvoksi arvon 677. Kovuusmittauksista voidaan havaita, että rullauksien jälkeen mitattujen rullien kovuudet ovat keskiarvoltaan hiukan pienempiä kuin ennen rullausta. Kovuudet ovat pienentyneet kuitenkin vain 1,2% lähtökovuudesta, joten sillä ole käytännössä mitään merkitystä. Kovuuksien keskiarvolukemat rullauksien jälkeen rullausjärjestyksessä olivat, 668, 669, 671 ja 667. Tuloksista voidaan myös havaita, että rullan kovuus ei laskenut ensimmäisen rullauksen jälkeen, joten rullan rullaaminen useaan kertaan tohtorikoneella ei vaikuta rullan kovuuden jatkuvaan heikkenemiseen.

7.2 Rulla 13125

Lähtötilanne tässä rullassa oli lähes samanlainen kuin rullassa 13008. Rullausjälki oli erittäin hyvä, eikä patapäisyyttä käytännössä esiintynyt (liite II,1). Ensimmäisen rullauksen aikana suoritettiin keinotekoisten heittojen teko. Heittoja oli myös yhteensä neljä kappaletta, joiden mitat olivat tällä kertaa 3, 5, 8 ja 12 mm (liite II, 2). Toisella rullauksella tavoitteena oli korjata jälleen tehdyt heitot tällä kertaa nopeudella 50 m/min. Rullaa ajettiin lähelle heittokohtaa nopeudella 200 m/min, minkä jälkeen nopeus laskettiin 50m/min. Kuvasta (liite II, 2) näkyy, miten hyvin heitot on saatu korjattua. Nopeudella 50 m/min saadaan heitot korjattua vielä moitteettomasti. Mitä suurempi heitto oli taas kyseessä, sen paremmin se saatiin korjattua. Patapäisyys tilanne ei toisen rullauksen jälkeen muuttunut (liite II, 3). Kolmannen ja neljännen rullauksen ajatuksena oli suorittaa läpiajo nopeu-

della 200 m/min ilman radanohjainsensoria. Radanohjainsensorin pois jättäminen aiheutti sen, että rullausjälki ei heikentynyt kummallakaan läpiajon jälkeen. Patapäisyys säilyi edelleen samanlaisena (liite II, 3,4).

Rullasta 13125 mitatut kovuudet (liite II, 5) ennen tohtorikoneen käsittelyä olivat minimi/maksimi 671/694 ja keskiarvo 682. Jokaisen rullauksen jälkeen mitattiin jälleen kovuudet, ja kuten mittaustuloksista voidaan havaita, keskiarvoltaan rullan kovuudet ovat jälleen heikentyneet. Rullat ovat heikentyneet lähtökovuudesta noin 2,3 %, mikä ei käytännössä vaikuta mitään. Kovuuksien keskiarvolukemat rullausjärjestyksessä olivat 665, 671, 668 ja 661. Rullan kovuus ei siis juurikaan heikentynyt usean rullauksen myötä.

7.3 Rulla 13110

Ennen rullausta rullan 13110 rullausjälki oli erittäin hyvä, eikä patapäisyyttä ilmennyt (liite III, 1). Ensimmäisen rullauksen aikana tehdyt keinotekoiset heitot olivat mitoiltaan 3, 5, 8 ja 12 mm (liite III, 2). Heitot yritettiin korjata toisella rullauksella tällä kertaa nopeudella 75 m/min. Heittokohtia lähestyttiin taas nopeudella 200 m/min, minkä jälkeen hidastettiin vauhti korjausnopeuteen. Tällä nopeudella heitot korjaantuivat kyllä, mutta heittojen kohdalle jäi aiempia korjausjälkiä selvempi jälki. Vaikka korjausjälki heikkenikin joka heiton kohdalla, parhaiten tohtorikone korjasi jälleen suuremmat heitot (liite III, 2). Patapäisyydessä ei ollut tapahtunut minkäänlaista muutosta (liite III, 3). Kolmannen rullauksen tarkoituksena oli suorittaa läpiajo radanohjainsensoria käyttäen nopeudella 400 m/min. Rullaus lähti hyvin alkuun, mutta saavutettua ensimmäisen heittokohdan korjausjäljen, radanohjainsensori huomasi radan poikenneen keskikohdasta, joten tohtorikone pyrki korjaamaan virhettä. Suuren ajonopeuden takia tohtorikoneen korjausliike oli liian raju ja laite rupesi vatkamaan puolelta toiselle, eikä rata enää asettunut radanohjainsensorin keskikohdalle. Rullausjälki kärsi tästä tapahtumasta (liite III, 3). Rullan loppuvaiheessa ajonopeuden hidastuessa rullausjälki rupesi näyttämään hieman paremmalta (liite III, 4). Neljäs rullaus aloitettiin nopeudella 200 m/min. Rullausjälki vaikutti hyvältä, joten ajonopeutta nostettiin nopeuteen 300 m/min. Tämän jälkeen rullausjälki heikkeni selkeästi ja nopeutta pudotettiin nopeuteen 250 m/min. Nopeuden pudottaminen ei auttanut, mitään vaan rullausjälki oli edelleen huono. Ajonopeus pudotettiin takaisin nopeuteen 200

m/min ja rullausjälki rupesi jälleen näyttämään paremmalta. Loppuvaiheessa ajonopeutta pudotettiin nopeuteen 150 m/min ja rullausjälki parani taas hiukan (liite III, 4). Patapäisyyttä ei huono rullausjäljen takia tarkkailtu.

Rullan 13110 kovuuden (liite III, 5) minimi/maksimi ennen tohtorikoneen käsitteilyä oli 672/684 ja keskiarvo 676. Tarkastellessa rullauksien jälkeisiä kovuuden keskiarvoja voidaan havaita, että kovuudet ovat taas hiukan heikentyneet lähtökovuudesta. Kovuuksien keskiarvolukemat rullausjärjestyksessä olivat 663, 666, 661 ja 668. Merkittävää kovuuden heikkenemistä ei ole, sillä keskiarvallisesti kovuus on heikentynyt lähtökovuudesta noin 1,7 %. Rullan kovuus ei myöskään heikentynyt rullausmäärien kasvaessa.

7.4 Rulla 13017

Kuten aiemmilla koerullilla, myös rullalla 13017 oli erittäin hyvä rullausjälki ja patapäisyys tilanne (liite IV, 1). Ensimmäisellä rullauksella tehtiin jälleen neljä keinoheittoa, mitkä olivat mitoiltaan tällä kertaa 3, 6, 8 ja 12 mm (liite IV, 2). Toisella rullauksella korjattiin tehdyt heitot. Heittojen korjausnopeus oli 100 m/min. Heittokohtia lähestyttiin taas nopeudella 200 m/min ja heittojen lähestyessä nopeus hidastettiin 100 m/min. Rullausjälki pysyi samanlaisena ja heitot korjaantuivat, mutta heittojen kohdalle jäi kuitenkin selvä jälki suuren korjausnopeuden takia. Suurimmat heitot korjaantuivat pieniin heittoihin verrattuna jälleen paremmin (liite IV, 3). Patapäisyyden tilanne ei muuttunut heittojen korjauksien jälkeen (liite IV, 3). Kolmannen ja neljännen rullauksen tarkoituksena oli ajaa rulla läpi ilman radanohjauksensensoria nopeudella 400 m/min. Radanohjainsensorin ollessa pois käytöstä suuri ajonopeus ei vaikuttanut rullausjälkeen negatiivisesti. Rullat olivat samanlaisia ennen ja jälkeen läpiajojen. Tilanne ei muuttunut myöskään patapäisyyden osalta (liite IV, 3,4).

Rullan 13017 minimi/maksimi kovuus (liite IV, 5) ennen rullausta oli 672/684 ja kovuuden keskiarvo oli 679. Tarkasteltaessa rullauksien jälkeen mitattujen kovuuden keskiarvoja voidaan todeta, että rullan kovuus on heikentynyt lähtökovuuteen verrattuna. Kovuuksien keskiarvolukemat rullausjärjestyksessä olivat 672, 671, 664 ja 665. Lähtökovuudesta keskiarvallisesti rullan kovuus heikkeni noin 1,6 %, joten käytännön merkitystä rullan kovuuden heikkenemisellä ei ole.

8 Tutkimuskeskuksen laatumittaukset

Jokaisesta rullasta leikattiin eri rullauserroilla kaksi kappaletta noin 50x50 cm:n kokoista näytearkkeja. Kuten aiemmin esillä olleesta taulukosta 1 sivulla 40 voidaan nähdä, rullasta 13008 näytteet otettiin ensimmäisen rullauskerran jälkeen, rullasta 13125 toisen rullauskerran jälkeen, rullasta 13110 kolmannen rullauskerran jälkeen ja rullasta 13017 neljännen rullauskerran jälkeen. Näiden lisäksi rullasta 13017 otettiin kaksi kappaletta näytearkkeja ennen ensimmäistä rullausta, jotta tohtorikoneen rullauskertojen vaikutukselle olisi vertailukohtaa. Näytearkkeja oli siis yhteensä kymmenen kappaletta, ja ne lähetettiin tutkimuskeskukselle laatumittauksia varten. Tutkimuskeskuksella tehdyt laatumittaukset olivat adheesio, visking, PPS-sileys, pintaenergia, paksuus ja kitka. Koska koeajossa käytetyt rullat olivat molemmin puolin päällystettyjä, laatumittaukset on tehty sekä pintaettä pohjapuolelta.

Muovipäällysteen adheesio määrittäminen tapahtuu silmämääräisesti. Muovipäällysteeseen tehdään terävällä veitsellä vinoja viiltoja poikkisuuntaan näytteen reunasta reunaan. Tämän jälkeen päällyste irrotetaan näytteestä varovasti repimällä. Yksittäisten repäisyalueiden on saavutettava toisensa peräkkäin niin, ettei alueiden väliin jää kohtia, missä on muovia jäljellä. Kaksipuoleisissa päällystyksissä adheesio määritetään sekä pinta- että pohjapuolelta. Kartongin poikkirata arvostellaan kolmesta kohdasta: etureunasta, keskikohdasta ja takareunasta. Adheesio arvosteluasteikko 1 - 3, missä 1 on paras mahdollinen ja 3 huonoin. (Tutkimuskeskus, 2011.)

Adheesio arvioidaan seuraavasti:

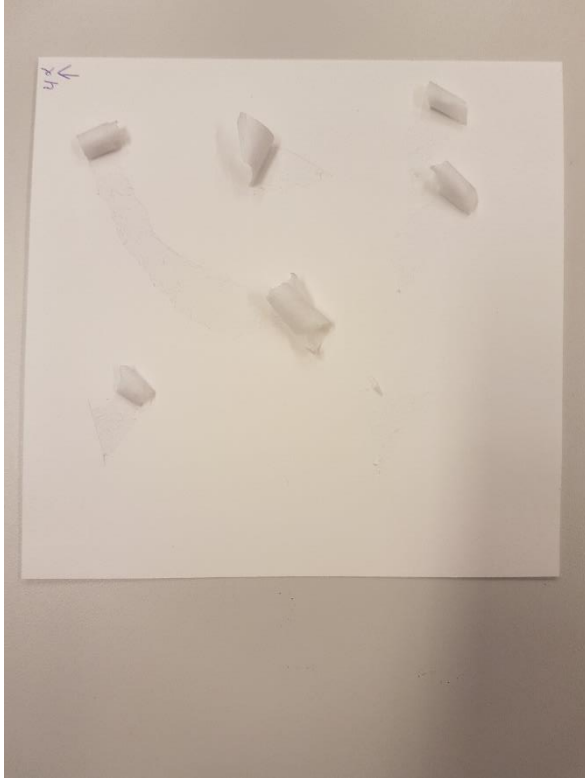
1 = Adheesio hyvä. Muovi täysin kiinni, kuitua lähtee täydellisesti irrotetun muovin mukana.

2 = Adheesio hyvä. Muovi täysin kiinni, kuitua lähtee täydellisesti irrotetun muovin mukana, muuta revityn muovin reuna viruu.

3 = Ei adheesiota. Muovi irtoaa kartongista, eikä kuitua ole yhtään muovissa kiinni.

(Tutkimuskeskus, 2011.)

Alla olevassa kuvassa 37 on esimerkki näytteestä, mistä adheesiomittaus on tehty. Kyseisen näytteen adheesio taso oli 1.

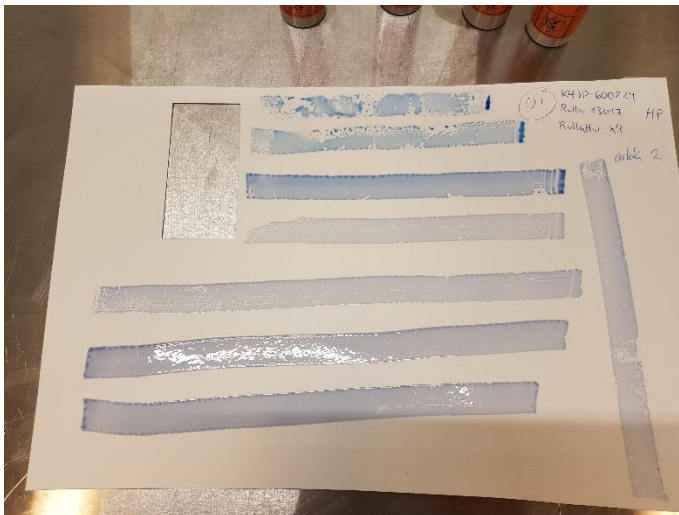


Kuva 37. Adheesio määrittäminen

Visking-määrittäminen tapahtuu myös silmämääräisesti. Visking testaa näytteen pintajännitystä, ja testi tehdään eri pintajännityksen omaavilla testikynillä. Testikynällä tehdään näytteen pinnalle noin 30 cm:n pituinen viiva, minkä jälkeen syntynyttä viivaa tarkkaillaan. Jos tehdyn viivan reuna pysyy kuroutumatta yli kaksi sekuntia, tehdään uusi viiva korkeamman pintajännityksen arvon omaavalla testikynellä. Jos reuna kuroutuu ennen kahta sekuntia, toistetaan koe pienemmän pintajännityksen arvon omaavalla testikynellä. Tulos on sen testikynän numero, jolla viiva kestää yli kaksi sekuntia. Jos tuloksesta ei olla varmoja, valitaan aina kahdesta pintajännitykseltään pienempi arvo. (Tutkimuskeskus, 2011, Visking-määrittäminen, työohje) Kuvissa 38 ja 39 on esitetty visking-määrittämisessä käytettäviä testikyniä sekä testikynien jäljet näytteen pinnassa.



Kuva 38. 36 ,38 ,40 ja 42 pintaenergian omaavat testikynät

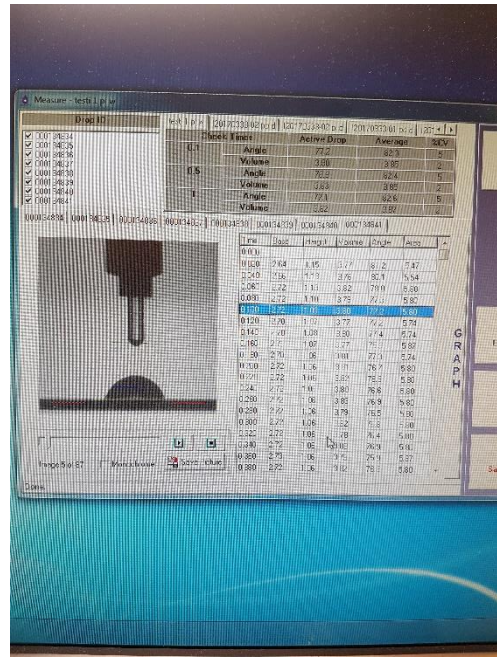
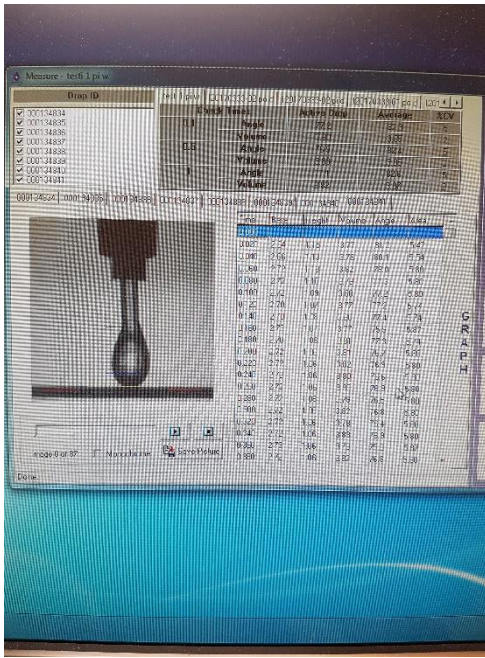


Kuva 39. Testikynien jäljet näytteessä

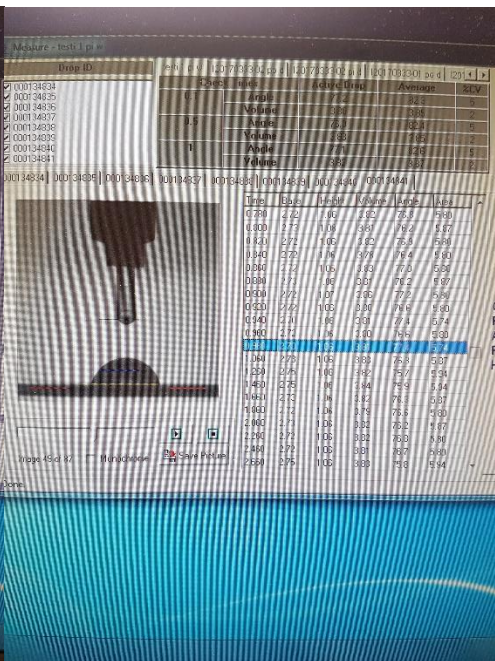
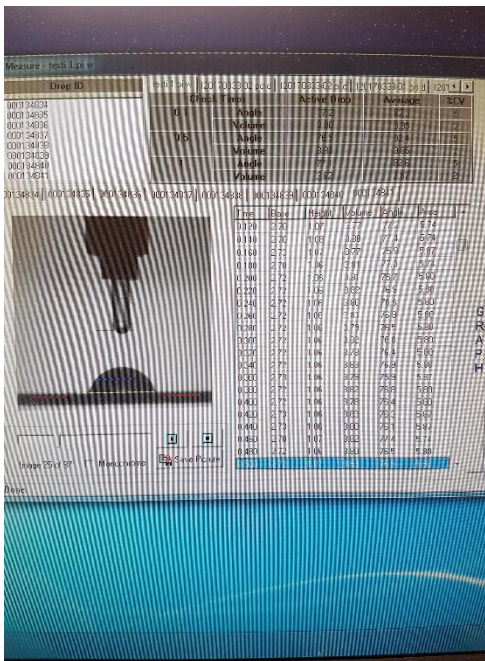
PPS-sileys eli Parker Print Surf-sileys mitataan ilmavirtauksena alhaisella paineella näytteen pinnan ja tarkalleen sovitetun mittarenkaan mitta-alueen reunan välillä. Muoville käytetään yleensä 1 MPa:n painetta ja kartongille 2 MPa:n painetta. Näissä mittauksissa sileyttä on tarkasteltu kuitenkin sekä 1 MPa:n että 2 MPa:n paineella. Mittauksen aikana näytettä painetaan mittapäätä vasten mukautuvalla taustalevyllä, joka on valittu vastaamaan painopuristimen tiivistettä tai huopaa. Puristusaine syötetään pneumaattisesti valvotuissa olosuhteissa kalvon ja kelluvan painolevyn kautta, jotka ovat sijoitettu suoraan mittapään alapuolelle. Kyseinen me-

netelmä sopii kaikille paperi- ja kartonkilaaduille. PPS-mittaus suoritettiin kymmenen kertaa molemmin puolin yhtä näytettä kohden. (Tutkimuskeskus, 2012, PPS-sileyden määrittäminen, työohje.)

Pintaenergian määrittämiseen täytyy ensin selvittää kahden tai kolmen nesteen ja näytteen välinen kosketuskulma. Kosketuskulma on neste-ilmafaasi, ja neste-paperi(kartonki)faasi-rajapinnan välinen tasapainokulma. Tämä mitataan pienen nestepisaran avulla, mikä asetetaan näytteen pinnalle. Kosketuskulmaa voidaan käyttää näytteen kostuvuuden mittana. Näytteen pinnalle pyritään asettamaan niin pieni pisara, että kosketuspinnan yläpuolista kalottia voidaan pitää pallomaisena. Kosketuskulma lasketaan kosketuspinnan halkaisijasta ja pisaran korkeudesta. Pintaenergian määrittämiseen voidaan käyttää joko kahta tai kolmea nestettä. Kun pintaenergia määritetään kahden nesteen (Ro-vesi ja diiodimetaani) kosketuskulman avulla, voidaan tuloksista laskea pintaenergia, mikä koostuu kahdesta eri komponentista, dispersio- ja poolisuuskomponentista. Kun pintaenergia määritetään kolmen nesteen (Ro-vesi, diiodimetaani ja etyleeniglykooli) kosketuskulman avulla, koostuu pintaenergia dispersio-osuudesta ja happoemäskomponentista. Tohtorikoneen näytteistä selvitettävä pintaenergia on määritetty kahden nesteen (Ro-vesi ja diiodimetaani) kosketuskulman avulla. Mittaustuloksissa tarkastellaan pisaran kosketuskulmaa kolmena eri hetkenä, 0,1 s, 0,5 s ja 1,0 s. (Tutkimuskeskus, 2014, Kosketuskulman mittaus ja pintaenergian laskenta, työohje) Kuvissa 40, 41, 42 ja 43 on esitetty suurennos vesipisaran vaiheista mittauksessa, mitkä ovat juuri ennen irtoamista 0,0 s, sekä 0,1 s, 0,5 s ja 1,0 s irtoamisen jälkeen.



Kuva 40. Pisara ennen irtoamista (0,0 s) Kuva 41 Pisara 0,1 s irtoamisen jälkeen



Kuva 42. Pisara 0,5 s irtoamisen jälkeen Kuva 43. Pisara 1,0 s irtoamisen jälkeen

Paksuuden määrittämiseen käytetään tarkkuusmikrometriä. 100 kPa:n staattinen paine kohdistetaan näytteen pinnalle 200 mm²:n alueelle. Menetelmä soveltuu useimmille paperi- ja kartonkilaaduille lukuun ottamatta aaltopahveja ja muita pehmeitä laatuja. Näyte asetetaan mittapään väliin. Mittapää nousee automaattisesti

ylös ja alas tarkkuusmikrometrin takana olevasta napista. Näyte tulee asettaa mittapään alle siten, että näyte on vähintään 2 cm:n päässä näytteen reunasta. Normaalisti yhdestä näytteestä pyritään tekemään yhteensä 20 mittausta, kuten tohtorikoneen näytteille tehtiin. (Tutkimuskeskus, 2007, Paksuuden, tiheyden ja bulkin määrittäminen Lorentzen & Wettren 250 – laitteella, työohje)

Kitka määritettiin siten, että näyte kiinnitetään kelkkaan ja kelkkaa vedetään vaakasuoralla ja kiinteällä alustalla olevaa metallilevyä vasten. Kelkkaa vedetään nopeudella 200 mm/min (3,33 mm/s) 10 cm:n matkan verran. Mittauksissa pyrittiin määrittämään sekä lepokitkakerroin että liikekitkakerroin. Lepokitkakerroin on yhteydessä voimaan, joka saattaa kappaleen liikkeeseen. Liikekitkakerroin on yhteydessä voimaan, joka ylläpitää tätä liikettä. (Tutkimuskeskus, 2010, Kitkakerroin määrittäminen, työohje) Alla olevassa kuvassa 44 on esimerkkikuva kitkan määrittämisestä.



Kuva 44. Kitkan määrittäminen

Näyte siis kiinnitettiin kelkkaan ja vedettiin kuvanmukaisesti metallilevyä vasten.
Mittaus suoritettiin seitsemän kertaa molemmin puolin yhtä näytepalaa kohden.

9 Tulokset ja niiden analysointi

Laatumittauksilla ei varsinaisesti ole mitään tiettyä oikeaa arvoa, vaan lopputuotteen käyttötarkoitus määrittää sen, mikä on tietylle laatumittaukselle hyväksyttävä arvo. Tietysti tarkoituksena on aina saada aikaan mahdollisimman hyvälaatuista tuotetta. Tutkimuskeskuksella tehdyistä laatumittauksien tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako tohtorikoneella rullan rullaaminen useaan otteeseen rullan ominaisuuksiin. Tohtorikoneen tarkoituksena on mahdollistaa rullien epäkohtien poistaminen tai merkkäminen, mutta siitä ei olisi mitään hyötyä, jos tohtorikone muuten vaurioittaa tuotetta. Tohtorikoneen vaikutus tuotteeseen selvitettiin vertaamalla näytettä, joita ei tohtorikoneella oltu käsitelty niihin näytteisiin, mitä oli käsitelty. Alla olevasta taulukosta 3 nähdään rullauskertojen vaikutus tuotteeseen.

Property	Unit	13017 rullattu 4x	13110 rullattu 3x	13125 rullattu 2x	13008 rullattu 1x	13017 rullattu 0x
Contact angle water 0.1s, ts	°	81,7	83,1	82,8	81,4	84,7
Contact angle water 0.5s, ts	°	82,7	83,7	83,9	82,2	84,4
Contact angle water 1.0s, ts	°	83	83,8	83,9	81,9	84,9
Contact angle water 0.1s, bs	°	96,3	97	92,8	96	89,1
Contact angle water 0.5s, bs	°	96,4	97	92,5	95,3	89,5
Contact angle water 1.0s, bs	°	96,8	97,2	92,7	95,7	89,9
Contact angle DIM 0.1s, ts	°	49,3	45	46,4	47,1	45,4
Contact angle DIM 0.5s, ts	°	49,3	45,4	46,8	47,1	46
Contact angle DIM 1.0s, ts	°	49,6	45,7	46,9	47,5	46,3
Contact angle DIM 0.1s, bs	°	51,8	52,6	53,8	52,9	48,9
Contact angle DIM 0.5s, bs	°	51,8	52,2	54	52,7	49
Contact angle DIM 1.0s, bs	°	51,4	52,5	54	52,9	49,1
Solid dispersion, ts	mJ/m ²	31,6	34,2	33,4	32,8	34,1
Solid dispersion, bs	mJ/m ²	32,8	32,4	30,6	31,9	33,1
Polar component, ts	mJ/m ²	4,37	3,42	3,58	4,32	3,08
Polar component, bs	mJ/m ²	0,61	0,56	1,54	0,82	1,9
Surface energy 2 liquid, ts	mJ/m ²	36	37,6	37	37,1	37,2
Surface energy 2 liquid, bs	mJ/m ²	33,4	32,9	32,2	32,7	35
Thickness, single sheet	µm	474	467	468	469	476
PPS smoothness 1.0 MPa, ts	µm	3,16	3,2	3,06	3,1	3,23
PPS smoothness 1.0 MPa, bs	µm	6,4	6,08	6,41	6,14	6,44
PPS smoothness 2.0 MPa, ts	µm	2,02	2,34	2,11	2,14	2,07
PPS smoothness 2.0 MPa, bs	µm	4,87	4,87	5,13	4,94	5,06
Friction static ts/metal, md		0,532	0,435	0,389	0,429	0,453
Friction static bs/metal, md		0,432	0,378	0,367	0,453	0,434
Friction kinetic ts/metal, md		0,576	0,446	0,369	0,445	0,493
Friction kinetic bs/metal, md		0,489	0,387	0,381	0,525	0,495
PE-adhesion, bs, dry		2	2	2	2	2
PE-adhesion, ts, dry		1	1	1	1	1
Visking, bs	mN/m	32	32	32	32	32
Visking, ts	mN/m	38	38	38	38	38

Taulukko 3. Tutkimuskeskuksen laatumittausten tulokset

Taulukossa 3 on vasemmalla sarakkeella kerrottu, mikä laatumittaus on kyseessä ja kummalta puolelta näytettä mittausta on suoritettu. Näytteet otettiin pintapuolelta (ts) ja pohjapuolelta (bs). Ainoastaan paksuusmittausta ei suoritettu molemmin puolin. Viereisessä sarakkeessa on kerrottu saadun mittauksen yksikkö. Viimeiset viisi saraketta kertovat saadut tulokset kullekin rullauskerralle.

Tuloksissa ensimmäisenä on käsitelty kosketuskulma (contact angle). Kosketuskulmaa määritettiin kahdella eri nesteellä, vedellä (water) ja diijodimetaanilla (DIM). Pisaran kosketuskulmaa on tarkkailtu molemmin puolin kolmena eri aikana. Tuloksissa seuraavana on kosketuskulmien avulla selvitetty dispersio- ja poolisuuskomponentit, joita tarvitaan pintaenergian määrittämiseen. Pintaenergia (surface energy) saadaan selville ynnäämällä näytteen samalta puolelta otettujen komponenttien arvot. Thickness-sarakkeessa on määritelty näytteiden paksuus. Tämän jälkeen tuloksissa on ilmoitettu 1MPa:n ja 2MPa:n paineella selvitetty sileyys (PPS-smoothness). Metallia vasten määritetty lepokitka (friction static) ja liikekitka (friction kinetic) on esitetty seuraavana. Kahtena viimeisenä asiana on ilmoitettu adheesio sekä visking-taso.

Tuloksista voidaan nopeasti silmäilemällä havaita, että mitään suurta muutosta tuloksissa ei ole tapahtunut. Kolme tärkeintä tarkastelun kohdetta olivat sileyys, visking-taso ja adheesio seuraaminen. Sileyden arvon tulisi olla mahdollisimman pieni, sillä hyvä sileyys vaikuttaa tuotteen painettavuuteen. Suurempi merkitys sileydellä on pintapuolella, sillä painatus tapahtuu kyseiselle puolelle. Tuloksista voidaan havaita, ettei pintapuolen eikä pohjapuolen sileyys ole muuttunut käsittelemättömään näytteeseen verrattuna. Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty yksittäiset mittaustulokset, joista keskiarvo on laskettu.

PPS smoothness 1.0 MPa, ts	13017 rullattu 4x		3,05	2,93	3,2	2,76	2,47	2,81	3,75	3,58	3,87
	13110 rullattu 3x	2,96	3,12	3,65	3,6	3,14	3,21	3,01	3,18	2,75	3,39
	13125 rullattu 2x	3,01	2,93	2,94	2,87	2,78	2,95	3,5	3,29	3,11	3,2
	13008 rullattu 1x	3	3,04	3,47	2,98	2,98	3,4	2,87	2,82	2,7	3,73
	13017 rullattu 0x	3,51	2,9	3,57	3,41	2,93	3,01	3,09	3,03	3,49	3,33
PPS smoothness 1.0 MPa, bs	13017 rullattu 4x	6,46	6,32	6,59	6,4	6,31	6,29	6,27	6,5	6,65	6,18
	13110 rullattu 3x	6,08	5,99	6,18	6,12	5,98	6,05	6,17	6,05	5,81	6,39
	13125 rullattu 2x	6,2	6,39	6,45	6,47	6,32	6,56	6,43	6,14	6,51	6,64
	13008 rullattu 1x	5,85	6,11	6,25	6,29	6,36	6	6,01	5,99	6,21	6,3
	13017 rullattu 0x	6,23	6,4	6,79	6,4	6,31	6,57	6,39	6,39	6,37	6,56
PPS smoothness 2.0 MPa, ts	13017 rullattu 4x	2,04	1,77	2,09	2,04	1,9	1,79	2,19	2,45	1,91	1,99
	13110 rullattu 3x	2,23	2,7	2,22	2,38	2,51	2,12	2,21	2,37	2,25	2,38
	13125 rullattu 2x	1,89	2,19	2,31	2,01	1,99	2,29	2,2	2,03	2,03	2,18
	13008 rullattu 1x	1,89	2,04	2,09	2,41	2,07	2,18	2,2	2,06	2,35	2,1
	13017 rullattu 0x	1,85	2,29	2,1	2,08	2,36	1,8	2,26	1,85	2,24	1,82
PPS smoothness 2.0 MPa, bs	13017 rullattu 4x	4,78	4,82	4,95	4,86	4,87	4,9	4,97	4,88	4,81	4,82
	13110 rullattu 3x	4,91	4,91	4,84	4,83	4,75	4,93	4,87	5,14	4,82	4,73
	13125 rullattu 2x	5,11	5,14	5,12	5,07	5,05	5,37	5,12	5,08	4,97	5,3
	13008 rullattu 1x	5,05	5,07	5,1	4,87	5,05	4,9	5,13	4,8	4,78	4,65
	13017 rullattu 0x	4,94	5,12	5,2	5,25	5,28	5,26	4,79	4,9	5,12	4,78

Taulukko 4. Sileyden yksittäiset tulokset

Visking-tason seuraaminen oli tärkeää, sillä se vaikuttaa myös tuotteen painettavuuteen, joten tässäkin tapauksessa pintapuolen tulokset ovat tärkeämpiä tuloksia. Tohtorikoneessa on kaiken kaikkiaan kolme metallitelaa, minkä epäiltiin mahdollisesti heikentävän muovipäällystetyn kartongin visking-tasoa. Hyväksyttävä visking-taso yleisesti on 38 mN/m, mutta päällystyslinjalta valmistuneen tuotteen visking-taso pyritään saamaan arvoon 42 mN/m, sillä visking-taso heikkenee itsestään jo ajan myötä. Tuloksista voidaan nähdä, että visking-taso ei tohtorikoneen käsittelyn jälkeen heikkene ainakaan neljän rullauksen jälkeen. Pintapuolen visking-taso oli ennen tohtorikoneen käsittelyä 38 mN/m, mikä on hyväksyttävällä tasolla ja viimeisen rullauksen jälkeen visking-taso oli edelleen sama. Pohjapuolen visking-taso oli lähtötilanteessa 32 mN/m, eikä sekään muuttunut rullauksien jälkeen.

Adheesio on myös suuri, sillä muovipäällyste ei saa irrota kartongista. Lähtötilanteessa näytteen adheesio oli pintapuolelta arvoltaan 1, mikä on tutkimuskeskuksen arvosteluasteikolla paras mahdollinen. Pohjapuolelta adheesio ei ollut niin hyvä kuin pintapuolella, mutta adheesio oli silti riittävän hyvä. Adheesio ei muuttunut pintapuolella, eikä pohjapuolelta missään vaiheessa, joten voidaan todeta, että tohtorikoneen käyttö ei vaikuta tuotteen adheesioon ainakaan näin vähäisillä rullauskerroilla.

Kitkaan tuli muutosta sekä lepo- että liikekitkakertoimiin ainoastaan pintapuolelle. Mitä enemmän rullaa käsitteli tohtorikoneella, sitä suuremmaksi pintapuolen kit-

kakertoimen arvo nousi lähtöarvoon verrattuna. Pohjapuolen kitkakerroin ei tullut juurikaan muutosta. Vaikka prosentuaalisesti kitkakerroin muuttui eniten, on muutos lähtötasoon verrattuna niin pientä, ettei sillä ole käytännön merkitystä. Taulukossa 5 on esitetty kitkamittausten jokaisen testin antama arvo.

Friction static ts/metal, md	13017 rullattu 4x	0,537	0,531	0,566	0,494	0,528	0,53	0,54
	13110 rullattu 3x	0,376	0,478	0,482	0,445	0,464	0,42	0,38
	13125 rullattu 2x	0,43	0,4	0,36	0,38	0,37	0,39	0,39
	13008 rullattu 1x	0,432	0,473	0,413	0,406	0,385	0,443	0,452
	13017 rullattu 0x	0,458	0,5	0,442	0,466	0,444	0,43	0,428
Friction static bs/metal, md	13017 rullattu 4x	0,422	0,446	0,454	0,456	0,419	0,41	0,42
	13110 rullattu 3x	0,4	0,356	0,362	0,36	0,354	0,41	0,4
	13125 rullattu 2x	0,34	0,34	0,37	0,38	0,38	0,37	0,39
	13008 rullattu 1x	0,46	0,463	0,458	0,458	0,429	0,449	0,456
	13017 rullattu 0x	0,44	0,431	0,454	0,444	0,428	0,422	0,422
Friction kinetic ts/metal, md	13017 rullattu 4x	0,584	0,575	0,621	0,551	0,555	0,57	0,58
	13110 rullattu 3x	0,352	0,508	0,504	0,466	0,499	0,44	0,35
	13125 rullattu 2x	0,44	0,39	0,32	0,36	0,33	0,37	0,37
	13008 rullattu 1x	0,428	0,479	0,446	0,437	0,4	0,462	0,466
	13017 rullattu 0x	0,511	0,54	0,488	0,51	0,482	0,451	0,469
Friction kinetic bs/metal, md	13017 rullattu 4x	0,463	0,519	0,522	0,538	0,451	0,47	0,46
	13110 rullattu 3x	0,407	0,376	0,357	0,366	0,372	0,42	0,41
	13125 rullattu 2x	0,35	0,35	0,38	0,39	0,41	0,38	0,41
	13008 rullattu 1x	0,537	0,542	0,535	0,521	0,495	0,511	0,535
	13017 rullattu 0x	0,511	0,487	0,526	0,5	0,481	0,473	0,488

Taulukko 5. Kitkan yksittäiset tulokset

Pintaenergian tuloksia tarkasteltaessa voidaan jälleen todeta, ettei tohtorikoneen käyttö vaikuta tuotteeseen negatiivisesti. Pintaenergia pintapuolella on lähtötilanteessa 37,2 mJ/m² ja viimeisen rullauksen jälkeen 36 mJ/m², joten merkittävää muutosta ei ole tapahtunut. Pohjapuolelta voidaan todeta sama. Lähtötilanne oli hiukan pintapuolta alhaisempi 35 mJ/m² ja viimeisen rullauksen jälkeen arvo laski arvoon 33,4 mJ/m². Pintaenergia on rullauksien jälkeen hiukan alhaisempi kuin lähtötilanteessa, mutta muutos on niin vähäistä, että voidaan todeta rullauksen olevan turvallista tuotteen laatua ajatellen.

Jäljellä olevat mittaukset, eli kosketuskulma, dispersio- ja poolisuuskomponentit ovat yhteyksissä kaikki pintaenergiaan. Pintaenergia kun ei ole käytännössä muuttunut lähtökohdasta, eivät myöskään pintaenergian muodostaneet komponentit ole voineet muuttua. Tuloksista voidaankin havaita, että nämä jäljellä olevat kolme tarkastelukohtaa eivät ole lähtötilanteesta myöskään merkittävästi muuttuneet.

10 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda yleiset ajo-ohjeet tohtorikoneelle, määrittää riskialueet sekä suorittaa koeajo. Koeajon tarkoituksena oli selvittää tohtorikoneen toiminta sekä suorittaa laatumittauksia.

Tohtorikone on pienikokoinen ja yksinkertainen rullain, eikä siinä ole montaa riskialuetta. Vaarallisimmat alueet tohtorikoneessa ovat molemmat rullaimet ja painotelan ympäristö. Nämä alueet voivat aiheuttaa vakaviakin tapaturmia. Tietysti tohtorikoneella voi sattua tapaturmia muissa kohdissa myös, mutta ne ovat sellaisia tapaturmia, joita voi tapahtua missä tahansa, esimerkiksi kompastuminen. Huolellisuudella tohtorikoneesta saa vaarattoman rullaimen.

Tohtorikoneella saadaan huonostakin rullasta tarvittaessa hyvänlaatuinen rulla, mikäli pysytään tiettyjen ajonopeuksien rajojen sisällä. Vaikka tohtorikoneen maksimijonopeus on 500 m/min, ei ole rullan laadulle järkevää saavuttaa maksiminopeutta. Operoidessa ilman radanohjainsensoria ajonopeus olisi hyvä olla maksimissaan 400 m/min. Radanohjainsensorin ollessa käytössä on suositeltavaa pitää ajonopeus alle 200 m/min ja heittokohdissa alle 75 m/min. Mitä hitaammin heittokohdat käsitellään, sitä paremmin tohtorikone heittokohdan poistaa.

Laatumittaustuloksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että tohtorikone ei vaikuta ainakaan vielä neljän rullauskerran jälkeen rulliin. Pieniä eroja mittaustuloksissa oli, mutta ei kuitenkaan merkittävästi.

Paras mahdollinen tilanne olisi, jos tohtorikonetta ei käytettäisi ollenkaan. Se tarkoittaisi sitä, että päällystyslinjalta tullut tuote on joko ollut moitteetonta tai tarvittavat epäkohdat on saatu jo pituusleikkurilla otettua pois aiheuttamatta ruuhkaa valmiille konerullille. Tohtorikoneen käyttämättömyys ei aiheuta päällystystehtäälle lisäkustannuksia, sillä koneella ei omaa henkilökuntaa ole, vaan tarvittaessa joku henkilökunnasta siirtyy operoimaan tohtorikonetta. Jossain vaiheessa tohtorikone maksaa siis itsensä takaisin, jos sillä pelastetaan laadultaan huonoja asiakasrullia. Hankinta- ja asennushinnan takaisinmaksu voi viedä aikaa, mutta lisäkustannuksia tohtorikone ei enempää aiheuta.

Tällä hetkellä tohtorikone ei ole tuotannossa vielä mukana ja on hieman vaikeakäyttöinen. Uskon kuitenkin, että sen jälkeen, kun tohtorikone otetaan tuotantoon mukaan, sen käytettävyys helpottuu henkilökunnan kehitysideoiden ansiosta.

Kuvat

Kuva 1. Stora Enson henkilöstö alueittain, s. 6.

Kuva 2. Ilmakuva Imatran Stora Ensosta, s. 7.

Kuva 3. Sivukuva PE-linjasta, s. 9.

Kuva 4. Kartongin liekkikäsittely, s. 11.

Kuva 5. Ekstruuderin rakenne, s. 12.

Kuva 6. Sähkökorona, s.14.

Kuva 7. Profiilinmittaus, s. 15.

Kuva 8. Vianilmaisin ja sen kertomat tiedot, s. 16.

Kuva 9. Päälystyskone 2 sivukuva, s. 18.

Kuva 10. Päälystyskone 3 sivukuva, s. 18.

Kuva 11. Päälystyskone 5 sivukuva, s. 19.

Kuva 12. Raakakartonkivika. Likaa kartonkikoneelta, s. 21.

Kuva 13. Raakakartonkivika. Painaumaa ja vekkiä, s. 21.

Kuva 14. IR-kameran havainto muoviloikasta, s. 22.

Kuva 15. Muovinauhut, s. 23.

Kuva 16. Kärytipa, s. 24.

Kuva 17. Naarmu, s. 25.

Kuva 18. Reunapalstautumaa, s. 26.

Kuva 19. Pohjavekki, s. 27.

Kuva 20. Sivukuva tohtorikoneesta, s. 28.

Kuva 21. Tohtorikoneen ulkomitat, s. 29.

Kuva 22. Vakavien tapaturmien riskialueet, s. 30.

Kuva 23. Rullan kuljetuskelkka, s. 31.

Kuva 24. Nostopöytä yläasennossa, s. 31.

Kuva 25. Painotela, s. 32.

Kuva 26. Rullan stoppari, s. 32.

Kuva 27. Hätäseis-painikeiden sijainti, s. 32.

Kuva 28 Ohjauspaneeli, s. 33.

Kuva 29. Pääsivu 1, s. 34.

Kuva 30. Pääsivu 2, s. 35.

Kuva 31. Tohtorikoneen radanvienti, s. 37.

Kuva 32. Tohtorikoneen käynnistys ja pysäytys, s. 37.

Kuva 33. Radanohjainsensori, s. 38.

Kuva 34. Radanohjainsensorin käynnistyspainike, s. 39.

Kuva 35. Radanohjainsensorin seuranta pois päältä, s. 39.

Kuva 36. Radanohjainsensorin seuranta päällä, s. 40.

Kuva 37. Adheesion määrittäminen, s. 47.

Kuva 38. 36, 38, 40 ja 42 pintaenergian omaavat kynät, s. 48.

Kuva 39. Testikynien jäljet näytteessä, s. 48.

Kuva 40. Ennen irtoamista (0,0 s), s. 50.

Kuva 41. 0,1 s irtoamisen jälkeen, s. 50.

Kuva 42. 0,5 s irtoamisen jälkeen, s. 50.

Kuva 43. 1,0 s irtoamisen jälkeen, s. 50.

Kuva 44. Kitkan määrittäminen, s. 51.

Taulukot

Taulukko 1. Koeajon rullaussuunnitelma, s. 40.

Taulukko 2. Heittojen korjausten ajonopeudet, s. 41.

Taulukko 3. Tutkimuskeskuksen laatumittausten tulokset, s. 53.

Taulukko 4. Sileyden yksittäiset tulokset, s. 55.

Taulukko 5. Kitkan yksittäiset tulokset, s. 56.

Lähteet

Dalla & Vittorelli, Preliminary information on machine

Kataikko, J. 2016. Extrusion coating at Imatra mills, Asiakasesittely.

Muhonen P, Oppareiden laatukoulutus, esittelymateriaali.

Paperin ja kartongin jalostus, 2000.

Puusta paperiin M-606, 1983, Kartonkijalosteiden valmistus, s. 95.

Stora Enso Intranet.

Tutkimuskeskus, 2010, Kitkakertoimen määrittäminen, työohje.

Tutkimuskeskus, 2014, Kosketuskulman mittaus ja pintaenergian laskenta, työohje.

Tutkimuskeskus, 2011, Muovipäällystetyn adheesio-ominaisuuden määrittäminen, työohje.

Tutkimuskeskus, 2007, Paksuuden, tiheyden ja bulkin määrittäminen Lorentzen & Wettren 250-laitteella, työohje.

Tutkimuskeskus, 2012, PPS-sileyden määrittäminen, työohje.

Tutkimuskeskus, 2011, Visking-määrittäminen, työohje.

Tutkimuskeskus, 2012, PPS-sileyden määrittäminen, työohje.

Huuskonen J, Palsanen J, Sierilä P, Levlin J, Niemi T, Sundquist J, Wartiovaara I, 2013. Yhteenveto innovaatioista sellu-, paperi- ja kartonkiteollisuudessa, https://www.puunjalostusinsinorit.fi/site/assets/files/1356/innovaatioiden_yhteenveto_2014_painoversio.pdf Luettu 11.04.2017.

Palmroos, M. 2015. Paperin jalostus. <https://prosessistars-tredu.wikispaces.com/file/view/Ekstruusio+prosessi,+wikisivu.pdf> Luettu 22.11.2016.

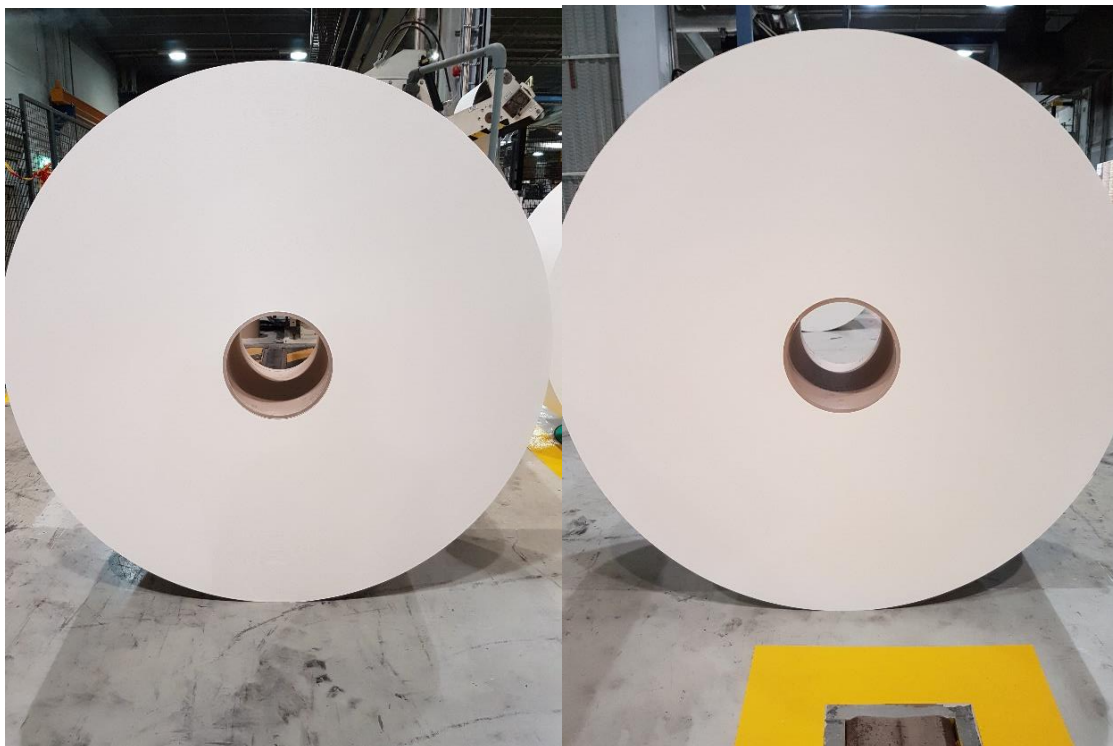
Palosuo, A. 2007. Roll hardness measurements, Lahti University Of Applied Sciences. Plastics engineering. Bachelor's thesis. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11686/2008-03-25-10.pdf?sequence=1> luettu 25.4.2017.

Pasi, T. 2006. Erään hienopaperikoneen paksuusprofiilin hallinta. Lappeenrantaan Teknillinen Yliopisto. Kemiantekniikan osasto. Diplomityö <https://core.ac.uk/download/pdf/39916502.pdf> luettu 25.4.2017.

Stora Enso Oyj, 2015. Osa Stora Enson vuosikertomuksesta. http://assets.storaenso.com/se/com/DownloadCenterDocuments/Progress_Book_2015_FIN.pdf Luettu 16.11.2016.

Liiteluettelo

Liite I	Kuvat ja mittaukset rullauksen yhteydessä, rulla 13008
Liite II	Kuvat ja mittaukset rullauksen yhteydessä, rulla 13125
Liite III	Kuvat ja mittaukset rullauksen yhteydessä, rulla 13110
Liite IV	Kuvat ja mittaukset rullauksen yhteydessä, rulla 13017



Rulla ennen ensimmäistä rullausta



Patapäisyys ennen ensimmäistä rullausta



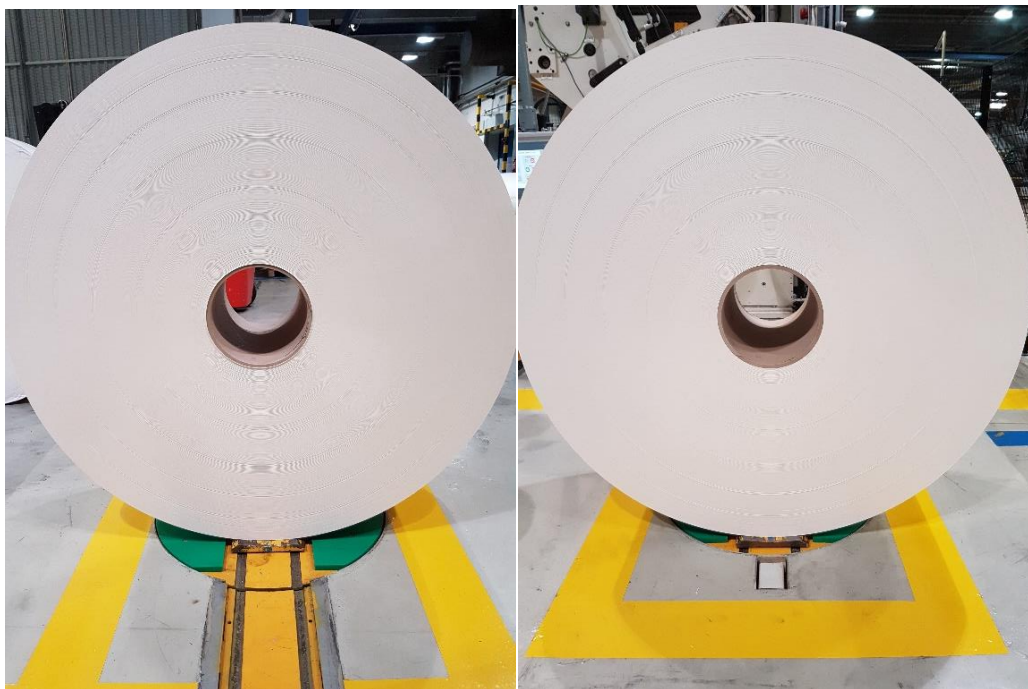
Ensimmäinen rullaus, keinotekoiset heitot



Toinen rullaus, heittojen korjaus



Patapäisyys heittojen korjauksen jälkeen



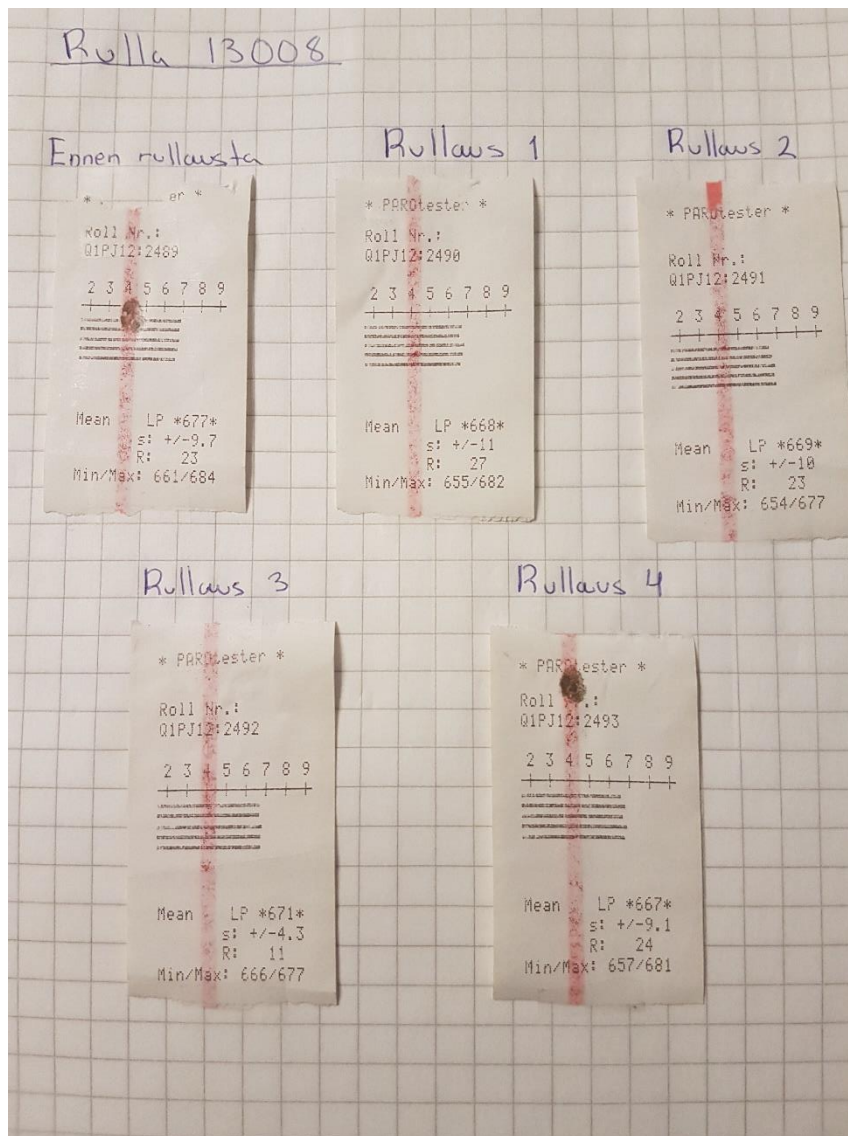
Kolmas rullaus, läpiajo



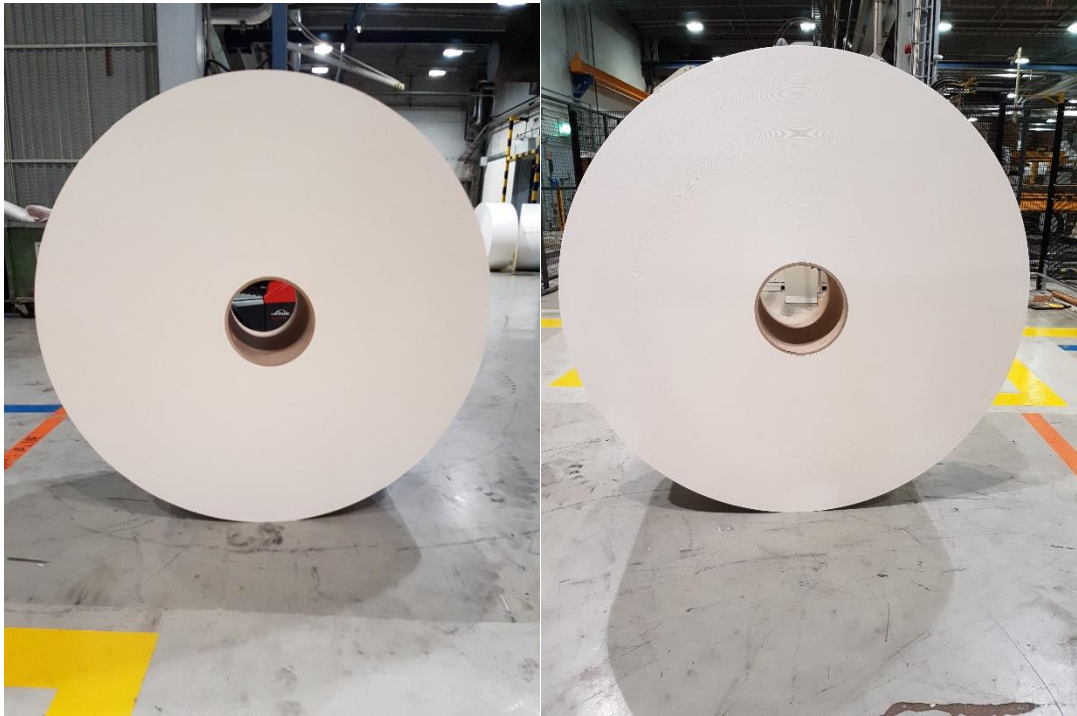
Patapäisyys kolmannen rullauksen jälkeen



Neljäs rullaus, läpiajo



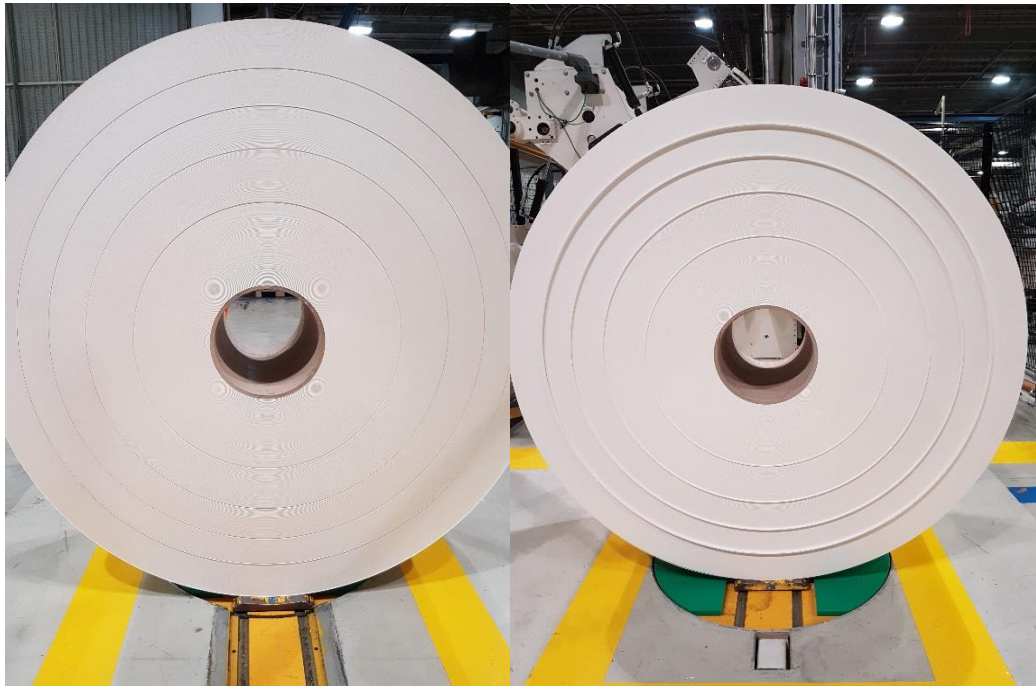
Kovuusmittauksen tulokset



Rulla ennen ensimmäistä rullausta



Patapäisyys ennen rullausta



Ensimmäinen rullaus, keinotekoiset heitot



Toinen rullaus, heittojen korjaus



Patapäisyys heittojen korjauksen jälkeen



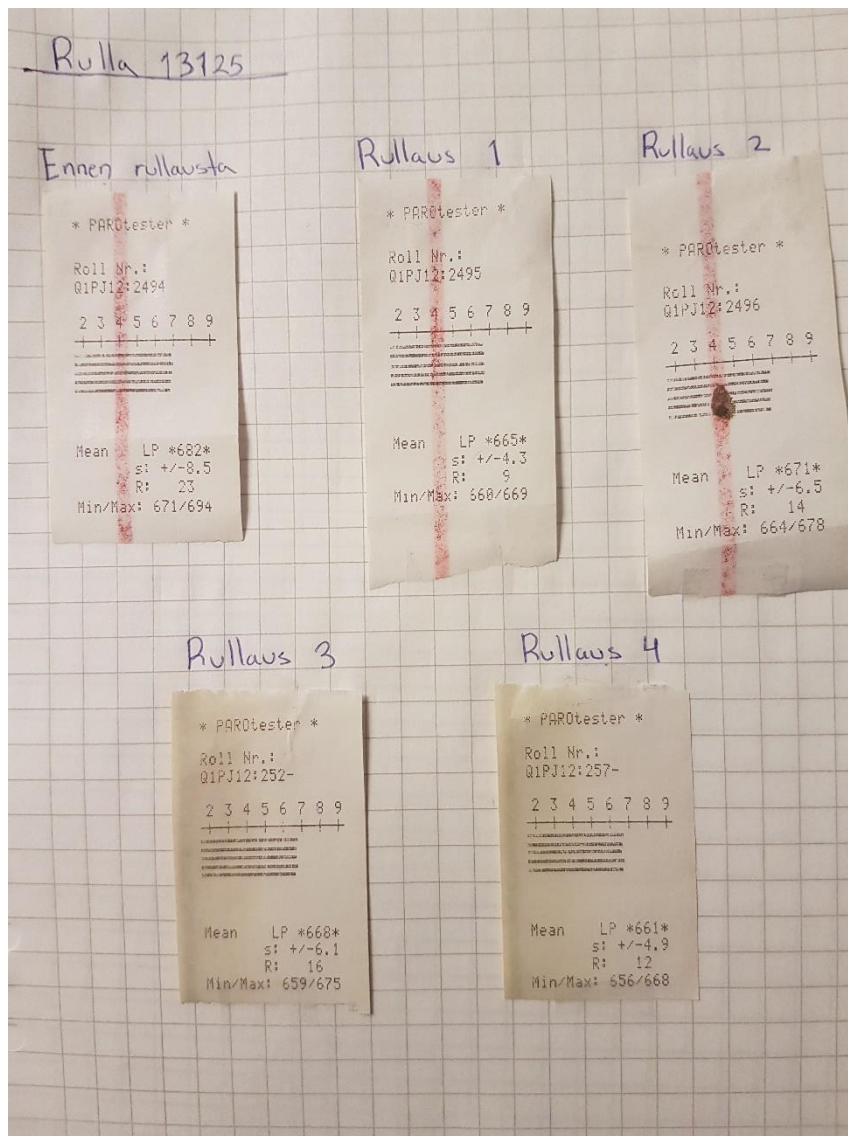
Kolmas rullaus, läpiajo



Patapäisyys kolmannen rullauksen jälkeen



Neljäs rullaus, läpiajo



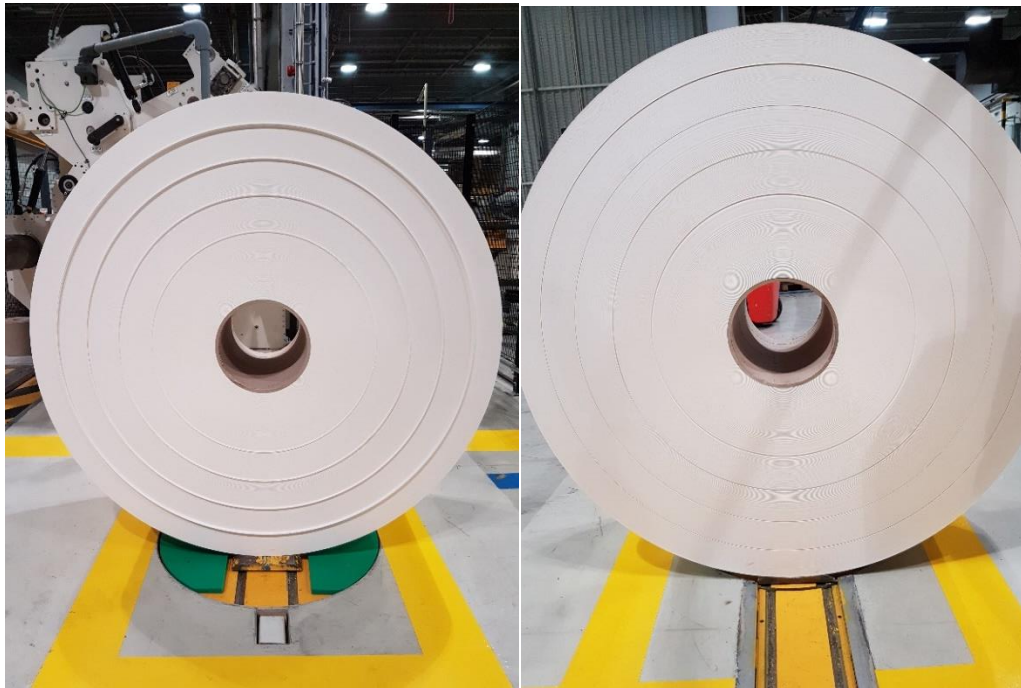
Kovuusmittauksen tulokset



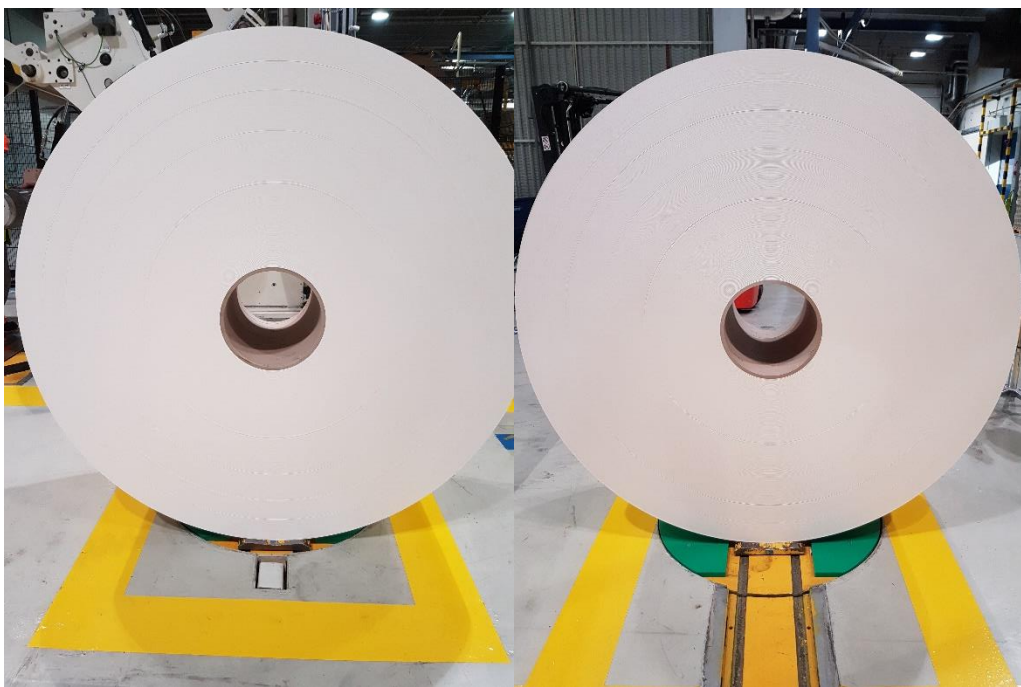
Rulla ennen rullausta



Patapäisyys ennen rullausta



Ensimmäinen rullaus, keinotekoiset heitot



Toinen rullaus, heittojen korjaus



Patapäisyys heittojen korjauksen jälkeen



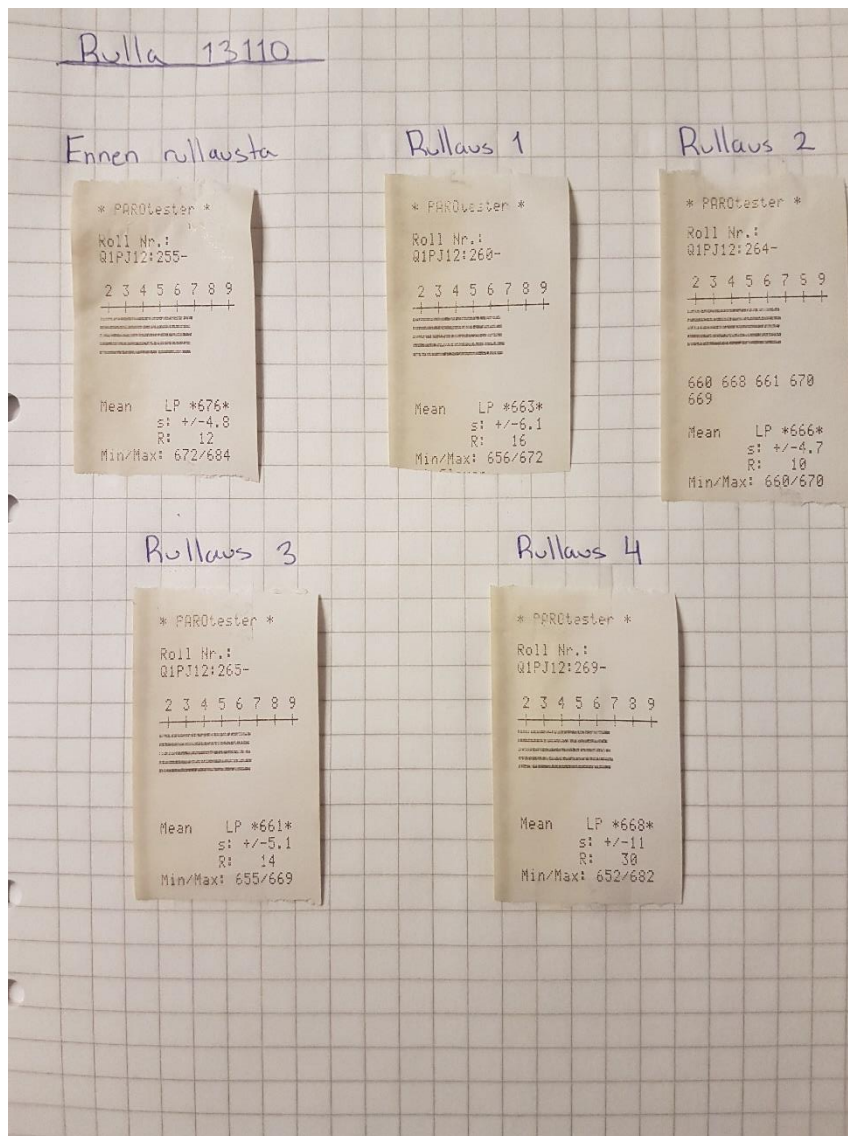
Kolmas rullaus, läpiajo



Kolmas rullaus, lähikuva läpiajetun rullan reunasta



Neljäs rullaus, läpiajo



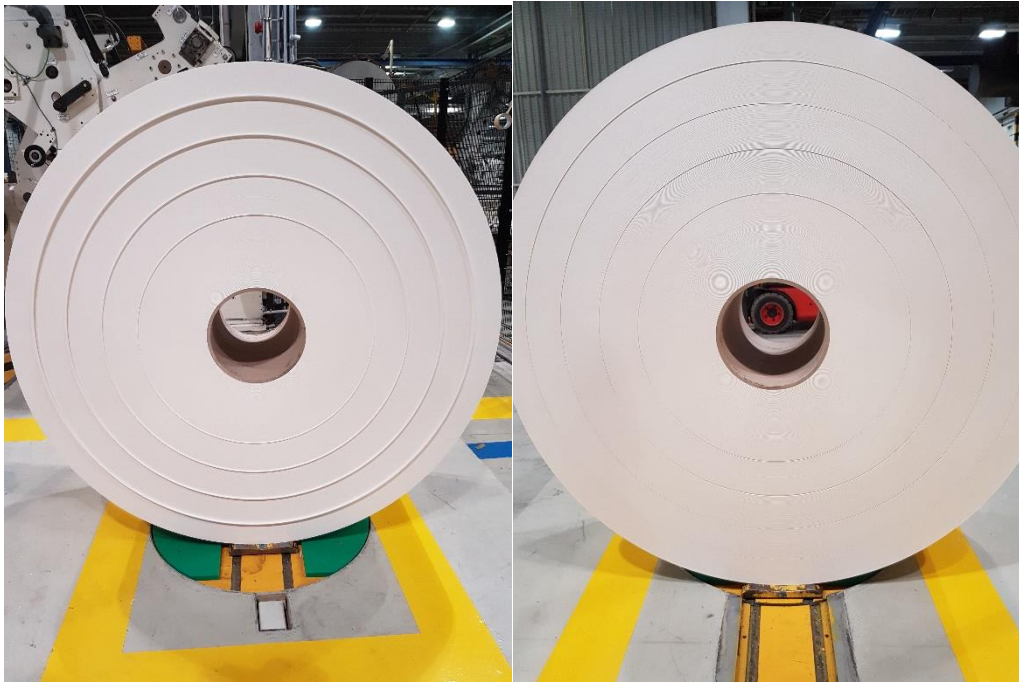
Kovuusmittausten tulokset



Rulla ennen rullausta



Patapäisyys ennen rullausta



Ensimmäinen rullaus, keinotekoiset heitot



Toinen rullaus, heittojen korjaus



Patapäisyys heittojen korjauksen jälkeen



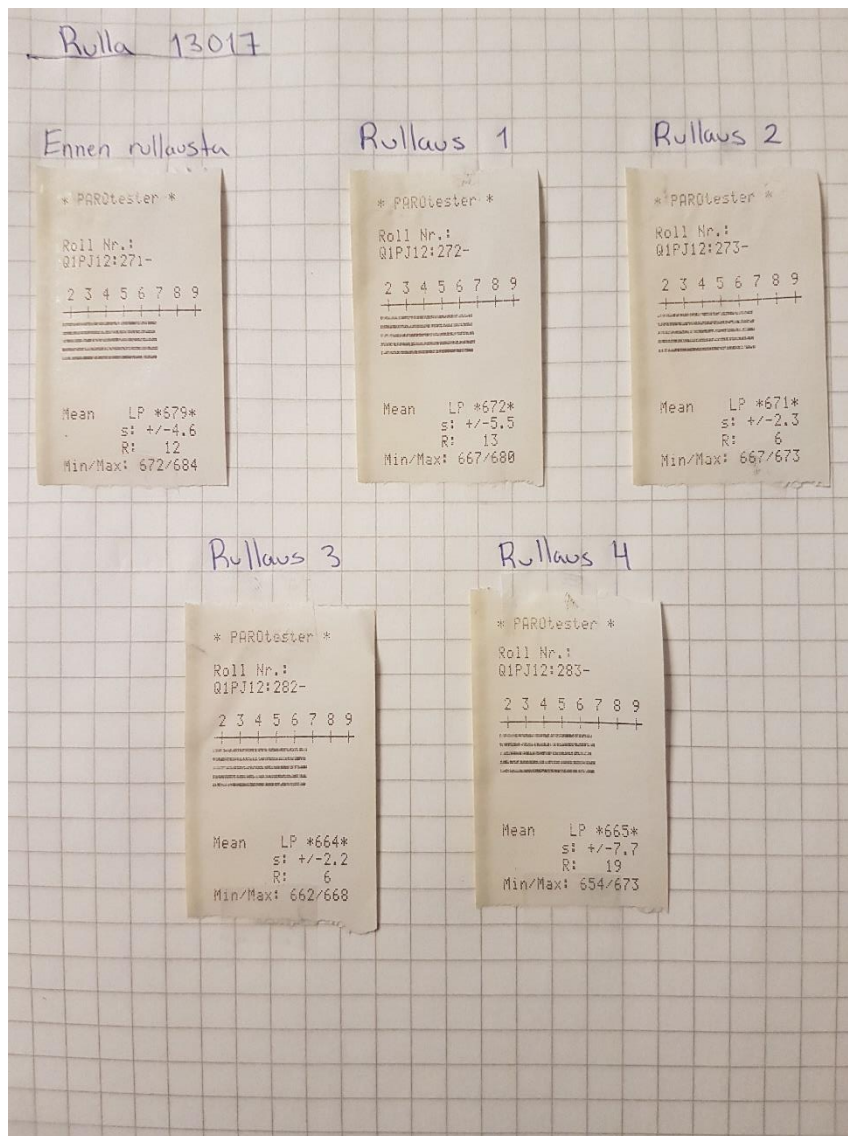
Kolmas rullaus, läpiajo



Patapäisyys kolmannen rullauksen jälkeen



Neljäs rullaus, läpiajo



Kovuusmittausten tulokset