



Maria Juusela

Yrityksen kuoritusongelma ja kirjekuorien ajettavuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Mediatekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
13.4.2011

Tekijä Otsikko	Maria Juusela Yrityksen kuoritusongelma ja kirjekuorien ajettavuus
Sivumäärä Aika	70 sivua 13.4.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	mediatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	graafinen tekniikka
Ohjaaja Ohjaava opettaja	tuotantopäällikkö J. B. yliopettaja Pentti Viluksela
<p>Insinööri­työ tehtiin informaatiologiikkaan erikoistuneelle yritykselle, jonka yksi avainprosessi on personoitujen painotuotteiden kirjekuoritus. Työn tavoitteena oli selvittää, mistä yrityksen kuoritusprosessissa esiintyvät ongelmat johtuvat ja pyrkiä ratkaisemaan ne, jotta tuotannon tehokkuutta voidaan parantaa. Käsiteltävä ongelma kohdistui kahteen samantyyppiseen kirjekuoreen, joita hankittiin yritykseen kahdelta eri toimittajalta. Kirjekuorien ajettavuudessa oli eroja, sillä toinen niistä toimi käytännössä paremmin kuin toinen. Kirjekuorien välisiä eroja ja erojen vaikutusta kuoritusprosessiin tutkittiin materiaali- ja kuoritustestien avulla. Lisäksi selvitettiin kuoritus­koneen muuttujien vaikutus kokonaisuuteen, sillä ne olivat kirjekuorien lisäksi merkittävä tekijä kuoritusprosessissa.</p> <p>Kirjekuorien ja kuoritus­koneen muuttujia testattiin koesuunnittelun periaatteiden mukaisesti suunnitelluissa kuoritustesteissä. Ensin testattiin kirjekuoren ja kuoritus­koneen muuttujien yhteisvaikutuksia, minkä jälkeen kuoritus­koneen asetukset vakioitiin ja keskityttiin kirjekuoren muuttujien testaamiseen. Tulokset analysoitiin tilastolaskentaohjelman avulla, jolla myös testitaulukko toteutettiin. Kirjekuorien välisiä eroja selvitettiin myös tutkimalla niiden materiaaleja vetolujuus-, repäisy­lujuus-, ilmanläpäisevyys- ja karheusmittauksilla. Nämä paperin ominaisuudet vaikuttavat kirjekuorien käyttäytymiseen ja ajettavuuteen kuoritusprosessissa.</p> <p>Kuoritusprosessin ongelmat johtuivat pääasiassa kirjekuoren ominaisuuksiin liittyvistä tekijöistä, joita olivat sulkijäläpän liiman leveys ja taitoksen terävyys, sisusvärin määrä, pakkaustapa ja sivuläppien alareunan malli. Kirjekuoren muuttujien keskinäiset vaikutukset analysoitiin ja niistä löydettiin parhaiten toimiva yhdistelmä, jonka perusteella huomattavasti paremmin toimivat kirjekuoret päätettiin valmistaa jatkossa uudella tavalla. Tämä osoittautui oikeaksi ratkaisuksi, koska kuoritusprosessi toimii nykyään yhtä hyvin molemmilla kirjekuorilla. Kuoritus­koneen asetuksia säädettiin parhaisiin mahdollisiin asentoihin, jotka löydettiin testien perusteella, mutta ne eivät olleet pääsyy ongelmiin.</p> <p>Yrityksen kannalta hyvin onnistunut projekti oli kannattava, koska tuotannon läpimennon ennustaminen ja optimointi on entistä helpompaa, kun ongelma saatiin ratkaistua. Projektin kustannukset pysyivät kohtuullisina saatuun hyötyyn nähden, ja samalla saatiin varmuus siitä, että pääasiallinen ongelma ei johtunut yrityksen kuoritus­koneista eikä toimintatavoista.</p>	
Avainsanat	kirjekuori, kuoritus­kone, kuoritusprosessi

Author Title	Maria Juusela Company's enveloping process problem and runnability of envelopes
Number of Pages Date	70 13 April 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Media Technology
Specialisation option	Graphic Technology
Instructor Supervisor	J. B., Production Manager Pentti Viluksela, Principal Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was made for company, which specializes in information logistics, and one of its key processes is enveloping of personalized printed matters. The target of this project was to find out where the enveloping process problems come from and try to solve them. With some improvements, the company's production can be more efficient and successful. Their problem is related to two similar envelopes from two different suppliers. A difference in runnability was detected between these two envelopes. The purpose was to compare differences between envelopes and figure out how these differences affect during the enveloping process. The results also point out possible problems with the enveloping machine and how its variables affect to the whole process.</p> <p>Envelope and enveloping machine variables were tested in enveloping tests, which were planned with basics of Design of Experiments (DoE). The first test was about envelope and enveloping machine variables and how they cooperate in action. After that the enveloping machine variables were set in best position and the focus was in testing of envelope variables. The results were analyzed with statistical and process management software, with which the test table was also made. Differences between envelopes were also found when studying the materials in tensile strength, tearing strength, permeability and roughness tests. These paper properties affect to behavior and runnability of envelopes in enveloping process.</p> <p>Problems of enveloping process derive mainly from envelope characteristics, which are closing flap glue and its folding, the amount of inside color, packing style and design of sideflaps. Synergy of the envelope variables was solved in order to find the best combination of them for the manufacturing in future. This turned out to be right decision, because the enveloping process works well with both envelopes nowadays. Enveloping machine variables were also adjusted to better options, which were found in enveloping tests, but they were not the main reason to problems.</p> <p>This project turned out to be a useful one because both assuming and optimizing have become easier for the company. A limited part of production was solved and now the production flow can proceed freely. Expenses of the project were kept in reasonable limits and at the same time the company can be sure, that the main problem was not related to enveloping machines or working methods.</p>	
Keywords	envelope, enveloping, enveloping process

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	5
2	Kirjekuori ja kuorituskone	7
2.1	C5-isoikkunakirjekuori ja kirjekuoren valmistusprosessi	7
2.2	Projektin lähtötilanne	9
2.3	Yleistä kuoritusprosessista	11
2.4	Kuorituskoneen toimintaperiaate	13
2.5	Kuoritusprosessin ongelmat	23
3	Paperin valmistus ja koesuunnittelu	27
3.1	Paperin ominaisuudet	27
3.2	Monimuuttujakoe	33
4	Paperin materiaalitekniset ominaisuudet	34
4.1	Yleistä papereista ja materiaalitesteistä	34
4.2	Vetolujuus	35
4.3	Repäisylujuus	40
4.4	Ilmanläpäisevyys	43
4.5	Karheus	46
5	Kuoritustestit	49
5.1	Kirjekuoriversiot	49
5.2	Kuorituskoneen asetukset	51
5.3	Kuoritustestien ensimmäinen osa	52
5.4	Kuoritustestien toinen osa	54
5.5	Kuoritustestien tulokset	55
6	Yhteenveto	60
	Lähteet	64
	Liitteet	66
	Liite 1: Vetolujuuden mittaustulokset – konesuunta	66
	Liite 2: Vetolujuuden mittaustulokset – poikkisuunta	67
	Liite 3: Repäisylujuuden mittaustulokset	68
	Liite 4: Ilmanläpäisevyyden mittaustulokset	69
	Liite 5: Karheuden mittaustulokset	70

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää, mistä yrityksen kuoritusprosessissa esiintyvät ongelmat johtuvat ja pyrkiä ratkaisemaan ne. Työ tehdään kansainväliselle yritykselle, jonka Suomen toimipiste on erikoistunut informaatiologiikkaan. Yritys tarjoaa palveluitaan muille yrityksille ja toimii yritysmarkkinoilla tarjoten kokonaisratkaisuja tiedonvälitykseen. Liiketoiminnan ydin on auttaa asiakasyrityksiä viestimään tehokkaammin omien asiakkaidensa kanssa ja auttaa heitä optimoimaan asiakasviestintäänsä. Yrityksen toiminta perustuu tiedon vastaanottamiseen asiakasyrityksiltä, sen muokkaamiseen haluttuun muotoon ja toimittamiseen suoraan loppuasiakkaille. Informaatiologiikka toteutuu parhaimmillaan silloin, kun tieto saadaan välitettyä oikealle henkilölle, oikealla tavalla, toivotun kanavan kautta ja sopivalla kustannuksella. Yritys pystyy tarjoamaan useita viestintäratkaisuja, ja asiakas voi valita, siirretäänkö tieto paperille tai esimerkiksi sähköiseen muotoon ja miten se välitetään sen asiakkaille. Saman tiedon välittäminen eri medioihin on myös mahdollista. Tavoitteena onkin yhdistää tehokas tuotanto ja aikaa ja kustannuksia säästävät toimitusratkaisut.

Vaihtuvan tiedon painaminen on keskeinen osa informaatiologiikkaa, joten yritys on keskittynyt digitaaliseen painotuotantoon. Digitaaliset painokoneet mahdollistavat vaihtuvan tiedon painamisen, koska niillä voidaan tehdä jokaisesta painettavasta sivusta erilainen. Vaihtuvaa tietoa sisältävät dokumentit kuoritetaan kirjekuoriin yrityksen sisällä ja toimitetaan postin kautta suoraan loppuasiakkaille, joten valmiita tuotteita ei tarvitse toimittaa asiakasyrityksen kautta. Nämä dokumentit ovat muun muassa erilaisia laskuja, tiliotteita, asiakaskirjeitä ja muita vastaavia. Yrityksen tuotantovolyymi on kuukausittain monta miljoonaa A4-kokoista arkkia, jotka on painettu joko arkki- tai rullapaperille. Tämän vuoksi myös kuorituskapasiteetin on oltava riittävä, jotta tuotteet saadaan lähetettyä eteenpäin tehokkaasti.

Yrityksen sisällä huomattiin eroa kahden eri toimittajan välittämien kirjekuorien välillä, koska ne eivät toimineet samalla tavalla kuoritusprosessissa. Kirjekuorien pitäisi käytännössä olla samanlaisia, mutta toinen niistä aiheuttaa selvästi enemmän ongelmia prosessin aikana. Yritys haluaa selvittää, mistä ero johtuu ja miten mahdolliset eroavaisuudet vaikuttavat kirjekuoren käyttäytymiseen kuorituskoneella. Ongelmaan halutaan löy-

tää ratkaisu, koska tavoitteena on jatkossakin käyttää kahden eri toimittajan välittämiä kirjekuoria. Tämä on kuitenkin mahdollista vain, mikäli saadaan selvitettyä, miksi toimittaja A:n kirjekuori ei toimi yhtä hyvin kuin toimittaja B:n. Kahden toimittajan malli on tuotannon jatkuvuuden kannalta tärkeää, koska silloin toiminta ei ole yhden toimittajan varassa. Kirjekuoret ovat kriittinen osa yrityksen kuoritusprosessia, joten tuotannossa tulee ongelmia, mikäli tarvittavia tuotteita ei ole jatkuvasti saatavilla.

Projektin käynnistämisen jälkeen kuoritusprosessista mitattiin reprint-prosentteja, joiden avulla saatiin selville, että ongelmalla on merkittävä vaikutus tuotantoprosessiin. Tämän perusteella otettiin yhteyttä kirjekuoritoimittajaan, jonka toimittamien kirjekuorien ajettavuus oli heikompaa. Toimittaja A oli halukas yhteistyöhön, joten ongelmaa lähdettiin selvittämään yhdessä. Aluksi tutkittiin päällisin puolin kirjekuorien eroja ja pohdittiin, kuinka voidaan selvittää tiettyjen ominaisuuksien vaikutus prosessiin. Materiaaleille päätettiin tehdä testejä, jotta saadaan tietoa niiden välisistä eroista ja erojen vaikutuksesta kirjekuoriin. Lisäksi toimittaja A:n kanssa päätettiin tehdä kirjekuorista erilaisia versioita, joita testataan kuoritustesteissä, joissa otetaan huomioon kirjekuorien ja kuorituskoneen muuttujat. Testien avulla pyritään löytämään optimaaliset asetukset sekä kuorituskoneelle että kirjekuorelle.

Projektin tavoitteena on parantaa kuoritusprosessin toimivuutta ja muokata kirjekuorista sellaisia, että ne toimivat mahdollisimman sujuvasti koko prosessin ajan. Tämä aihe valittiin insinööriyökseni, koska olen kiinnostunut materiaalien tutkimisesta ja niiden välisistä eroista. Paperi- ja materiaalitekniikka on haastavaa, koska aihe on niin laaja ja haluan syventää osaamistani tällä osa-alueella. Paperin vaikutus painoprosessiin on todella suuri, sillä se vaikuttaa painojälkeen ja ennen kaikkea lopputulokseen. Oikeanlaisen paperilaadun valitseminen työhön on tärkeä osa kokonaisuutta ja se vaikuttaa joko positiivisesti tai negatiivisesti loppukäyttäjän tuntemuksiin, jotka painotuote herättää. Paperin ominaisuudet alkavat muodostua siinä vaiheessa, kun valitaan, minkälaisesta puusta paperi tehdään ja millä menetelmällä. Paperin valmistusprosessissa vaikuttaminen alkaa massan valmistuksesta ja päättyy paperikoneen loppupäähän, jossa valmis paperi kerätään rullalle. Tähän väliin mahtuu useita vaiheita, joilla vaikutetaan lopputulokseen, ja paperin ominaisuuksia voidaan muokata lukemattomilla eri tavoilla. Tässä

työssä kiinnitetään erityisesti huomiota niihin ominaisuuksiin, jotka ovat tärkeitä paperin ajettavuuden kannalta.

2 Kirjekuori ja kuorituskone

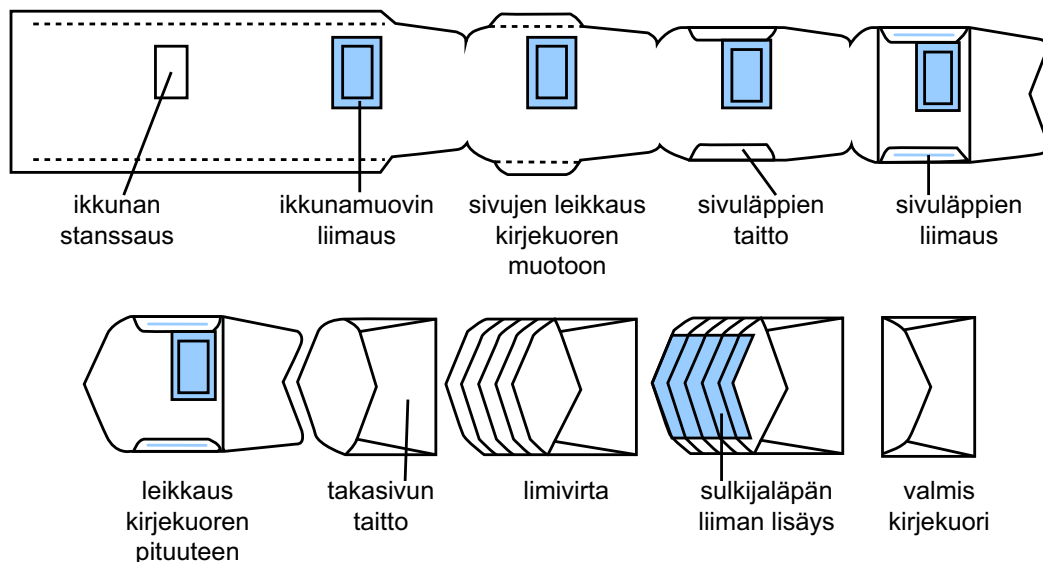
2.1 C5-isoikkunakirjekuori ja kirjekuoren valmistusprosessi

Insinööriöprojektissa tarkastelun kohteena olivat C5-kokoiset standardin mukaiset isoikkunakirjekuoret, joita käytetään osassa yrityksen tuotannon kuoritustöistä. Näitä kirjekuoria käytetään yrityksessä noin 30 miljoonaa kappaletta vuodessa. Toimittaja B:ltä tilataan vuositasolla noin 19 miljoonaa kirjekuorta, mikä on hieman enemmän kuin toimittaja A:lta vuoden aikana tilattavat 11 miljoonaa kirjekuorta. [1.] Kirjekuoret ovat vaakamuotoisia, ja niissä on isokokoinen ikkuna postitustietojen näkymistä varten. C5-kokoinen kirjekuori on kooltaan 162 x 229 millimetriä, ja sen sisään mahtuu A5-kokoinen arkki, jonka koko on 148 x 210 millimetriä. Yleensä kirjekuoriin laitetaan yrityksessä tulostettuja A4-kokoisia (210 x 297 millimetriä) dokumentteja, jotka taitetaan puoliksi kuorituksessa, jolloin ne ovat A5-kokoisia. Isoikkunakirjekuoressa etupuolen ikkunan koko on 60 x 90 millimetriä, ja se sijaitsee vasemmassa yläkulmassa, 18 millimetriä vasemmasta reunasta ja 15 millimetriä yläreunasta. [2.] Standardin mukaisessa vakiokirjekuoressa etupuoli on täysin valkoinen eli siinä ei ole minkään yrityksen logoa tai mitään merkkejä postitusta varten. (Kuva 1.)



Kuva 1. C5-kokoinen isoikkunakirjekuori.

Toimittaja A:n kirjekuoret tehdään valmiiksi yhden prosessin aikana, eli ne valmistetaan kerralla valkoisesta paperirullasta pahvilaatikoihin pakatuiksi kirjekuoriksi. Kirjekuoren valmistusprosessi on havainnollistettu vaihe vaiheelta kuvassa 2. Prosessin alussa kapea paperirulla kiinnitetään kirjekuorikoneen alkupäähän, josta se ajetaan koneeseen. Ensimmäisenä paperirata kulkee painoyksikön läpi, jossa siihen painetaan sisusväri flekso-painomenetelmällä. Sisusvärin tarkoituksena on estää kirjekuoren sisällön tarkasteleminen, joten sisäpuolelle painetaan läpinäkyvyyden estävä kuvio (ks. kuva 1) ja tässä tapauksessa myös yrityksen logo. Seuraavaksi paperirata kulkee mittausyksikön läpi, joka pituusmittaa radan, jotta ikkunan aukko, taitteet ja leikkaukset tulevat oikeisiin kohtiin. Tämän jälkeen paperirataan stanssataan ikkunalle aukko, jonka päälle liimataan rullalta tuleva ikkunakalvo. [3.]



Kuva 2. Kirjekuoren valmistuksen vaiheet [4].

Kirjekuoren muoto saadaan tehtyä leikkaamalla rotaatioleikkurilla, joka leikkaa kirjekuoren pituudelta radan kirjekuoren muotoon yhdellä pyörähdyksellä. Tässä vaiheessa kirjekuorien malliin reunoiltaan leikattua paperirataa ei vielä leikata poikkisuunnassa kirjekuorien pituuteen, vaan taittokone kääntää kirjekuoreen tulevat sivuläpät sisäänpäin. Juuri taitettuihin sivuläppiin lisätään liima ja radan leveys mitataan, jotta kuoret pysyvät oikean kokoisina leveydeltään. Vasta seuraavassa vaiheessa rata leikataan poikkisuunnassa kirjekuorien muotoon ja oikeaan pituuteen. Tämän jälkeen taustapuoli taite-

taan oikeasta kohdasta, jolloin se asettuu paikoilleen ja liimautuu kiinni sisäänpäin taitettuihin sivuläppiin, joihin on levitetty liima jo aiemmassa vaiheessa. [3.]

Valmiiksi taitetut kirjekuoret, joissa on sulkijäläppä kuitenkin vielä auki, kerätään yhteen nippuun limittäin eli päällekkäin siten, että jokaisesta kirjekuoresta näkyy vain sulkijäläppän yläreuna. Seuraavassa vaiheessa sulkijäläppään levitetään liima, jonka kostuttamalla kirjekuoren käyttäjä sulkee kirjekuoren. Kirjekuoret kulkevat edelleen limittäin kuivatusuunin läpi, jolloin kaikki niihin levitetty liimat kuivuvat lopullisesti. Uunin jälkeen kirjekuorirata asetetaan suoraan linjaan seuraavaa vaihetta varten, jossa sulkijäläppä taitetaan kiinni. Kirjekuori ei kuitenkaan sulkeudu, koska sulkijäläppään levitetty liima on juuri kuivunut eikä tartu kiinni. Tämän jälkeen kirjekuoret kerätään pystyasentoon liukuhihnalle, josta ne siirtyvät pakkausrobotille. Pakkausroboti ottaa liukuhihnalta 500 kappaleen erän kirjekuoria kerralla ja asettaa ne laatikkoon. Näitä 500 kappaleen eriä kerätään yhteen laatikkoon kaksi, joten yksi laatikko sisältää 1 000 kirjekuorta. Roboti pakkaa kirjekuoret tiiviisti ja joutuu puristamaan niitä paljon, jotta kaikki mahtuvat. Nämä aaltopahvilaatikot kerätään lavoille, ja niihin lisätään tarrat, jotka kertovat laatikon sisällön. Lavat siirretään varastoon ja sieltä eteenpäin kirjekuoria ostaneille yrityksille. [3.]

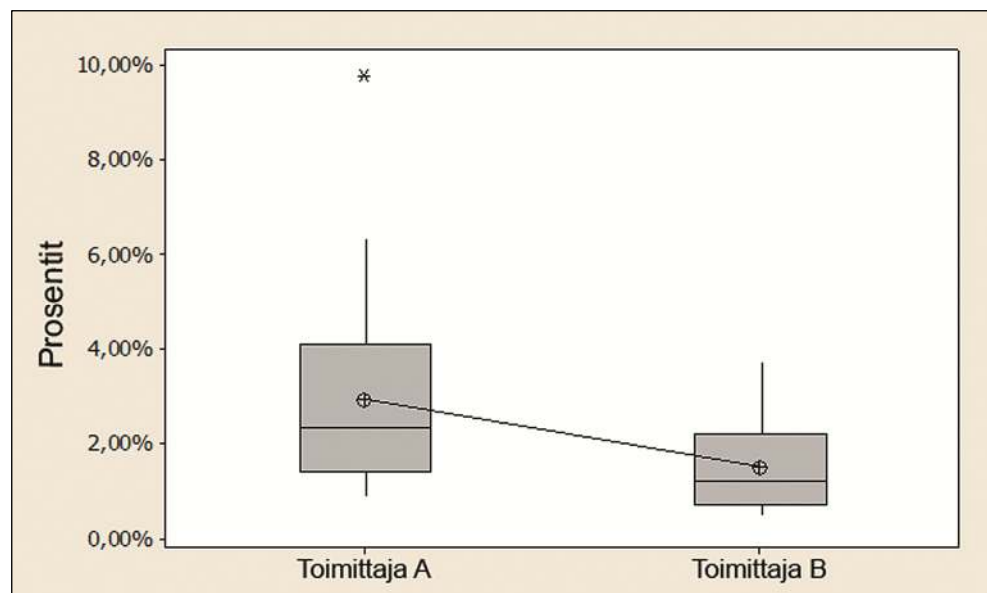
2.2 Projektin lähtötilanne

Yrityksessä huomattiin, että toimittaja A:n ja toimittaja B:n toimittamien kirjekuorien välillä on eroa. Kirjekuorien välinen ero tulee esille kuorituskoneella, jossa rullapaperille painetut sivut laitetaan kirjekuoriin. Mikäli kirjekuori ei toimi kuten pitäisi ja kuoritustapahtuma ei suju halutulla tavalla, joudutaan kirjekuori ja sen sisälle menevät sivut hylkäämään. Näin ollen syntyy suuri määrä makkelia (viallinen lopputuote) ja hylätyt sivut joudutaan tulostamaan uudelleen. Tästä lasketaan reprint-prosentti, joka kertoo, kuinka monta kirjekuorta suhteessa työn kirjekuorien kokonaismäärään joudutaan kuorittamaan uudelleen. Uudelleen kuorittavat kirjekuoret rasittavat tuotantoa, ja siitä syntyy lisäkustannuksia yritykselle.

Alun perin kuorien välisestä erosta tekivät havainnon yrityksen kuoritusoperaattorit, jotka käyttävät kuorituskoneita. Heidän mielestään kuorittaminen oli paljon ongelmallisempaa toimittaja A:n kirjekuorilla, sillä ne jäivät jumiin koneeseen eivätkä toimineet

halutulla tavalla. Kuorituskonetta jouduttiin säätämään jatkuvasti, jotta kuoritusprosessi saatiin onnistumaan. Tämä lisää työn määrää, ja yhden vuoron aikana saatiin kuoritettua vähemmän materiaalia, kuin tavoitteena olisi ollut. Toimittaja B:n kirjekuorilla samantaisia ongelmia ei havaittu, vaan työlle ja kirjekuorelle sopivien asetusten säätämisen jälkeen materiaalin kuorittaminen sujui ilman kirjekuoreen liittyviä ongelmia. [5.]

Tuntumaan ja mielipiteisiin perustuvilla tiedoilla ei kuitenkaan voi lähteä tekemään yrityksen toimintaan vaikuttavia johtopäätöksiä, joten yrityksen tuotannossa päätettiin aloittaa tarkemmat toimenpiteet ongelman todenmukaisuuden selvittämiseksi. Aluksi lähdettiin mittaamaan molempien kirjekuorien reprint-prosentteja, jotta nähtiin, kuinka suuri ero todellisuudessa on. Prosessia hyvin kuvaavan tuloksen aikaansaamiseksi mitattiin riittävän suuri määrä kuoritustapahtumia, jotta operaattorin vaikutus saatiin eliminoidua tuloksesta. Lisäksi mitattiin vain sellaisia kuoritustapahtumia, joissa kirjekuoriin ei lisätty liitteitä. Näin voitiin poistaa myös mahdollisten liitteiden vaikutus prosessin toimivuuteen. Mittaustuloksista (kuva 3) saatiin näiden keinojen avulla mahdollisimman todenmukaisia, ja ne keskittyivät kirjekuorien vaikutukseen. Tulosta voidaan pitää myös luotettavana, koska se sisältää 2,5 miljoonan kirjekuoren otoksen.



Kuva 3. Lähtötilanteen reprint-prosentit molemmille kirjekuorille [1].

Kuten kuvasta 3 voidaan havaita, kahden eri kirjekuoren reprint-prosenttien välillä on merkittävä ero. Toimittaja A:n kirjekuoren keskimääräinen reprint-prosentti on 2,9 % ja

toimittaja B:n kirjekuoren 1,5 %. Noin 1,4 %:n ero on huomattava ja tuottaa vuositasolla merkittävän määrän lisäkustannuksia yritykselle. Dokumenttien uudelleen tulostaminen ja kuorittaminen tuovat lisäkustannuksia muun muassa materiaalin, henkilötyövoiman, konekapasiteetin ja tuotannon suunnittelun muodossa. Keskihajonta toimittaja A:n kirjekuorissa on noin 2 % ja toimittaja B:n kirjekuorissa noin 1 %. Keskihajonta kuvaa kyseisen tekijän havaintoarvojen poikkeamaa keskiarvosta, joten toimittaja A:n kohdalla mittausarvot poikkeavat enemmän toisistaan kuin toimittaja B:llä.

Edellä olevan tulkinnan lisäksi mitatuille arvoille suoritettiin kahden näytteen T-testi. T-testillä testataan normaalijakautuneiden satunnaismuuttujien keskiarvoja, ja se tehdään laskemalla t-arvo, jota verrataan t-jakaumasta poimittuun raja-arvoon. Raja-arvo riippuu valitusta merkitsevyydestä, joka yleisimmin on 0,05, kuten tässäkin tapauksessa. Laskenta suoritettiin tilastolaskentaohjelmalla, ja se tehtiin kahden otoksen testin periaatteella, jossa molemmat muuttujat ovat riippumattomia ja normaalijakautuneita. Tällä menetelmällä voidaan testata muuttujien keskiarvojen yhteneväisyyttä. [6.]

T-testillä toimittaja A:n ja toimittaja B:n kirjekuorien reprint-prosenttien väliseksi eroksi saatiin tarkalleen sama 1,4 %. Valitulla 95 %:n luottamusvälillä saatiin minimiarvoksi 0,6 % ja maksimiarvoksi 2,2 %. T-arvoksi ohjelma antoi laskennan jälkeen 3,56 ja p-arvoksi 0,001. Vapausaste df oli tässä tapauksessa 41. P-arvo on tilastollisessa hypoteesin testauksessa todennäköisyys, ja se kertoo, onko tulos tilastollisesti merkittävä. Tässä tapauksessa t-testin tulos on tilastollisesti merkittävä, koska p-arvo on alle 0,05, jota pidetään yleisesti tilastollisen merkittävyyden raja-arvona. Koska tulos on tilastollisesti merkittävä ja tämä on huomattavissa jo alkuperäisten mittaustuloksien eroavaisuudesta, on perusteltua selvittää ongelman syyt ja ratkaista ne, jotta jatkossa voidaan toimia mahdollisimman tehokkaasti ilman häiriöitä. [7, s. 193–195.]

2.3 Yleistä kuoritusprosessista

Tämän työn kohteena olevia kirjekuoria käytetään yrityksessä Kern-merkkisillä kuorituskoneilla, joita on kahta eri mallia. Kern 3500 -kuorituskone on tarkoitettu rullapaperille painettujen dokumenttien kuorittamiseen, ja Kern 2500 -kuorituskoneella puolestaan laitetaan kuoriin suoraan arkipaperille painettuja dokumentteja. Tässä insinööri-työssä selvitettävä ongelma koskee vain Kern 3500 -kuorituskonetta, koska toimittaja

A:n kirjekuorien toimivuus on heikompaa tällä koneella. Kern 2500 -kuorituskoneen rakenne ja kuoriasema ovat erilaisia, joten ongelma ei ilmene tällä toisella koneella yhtä merkittävästi. Todennäköisesti kirjekuoren ongelmien selvittäminen ja parantaminen kuitenkin vaikuttaa positiivisesti kirjekuorien ajettavuuteen myös Kern 2500 -kuorituskoneella.

Kern 3500 -kuorituskoneen (kuva 4) teoreettinen maksiminopeus täydellä teholla on 22 000 kirjekuorta tunnissa. Kernin kuorituslinjan lukijalaitteet ja monipuolinen paperinkulun seuranta varmistavat, että dokumenttien kuoritusta valvotaan koko prosessin läpi alusta loppuun asti. Näin kaikki tarvittavat dokumentit saadaan kuoritettua oikeisiin kirjekuoriin eikä tietovuotoja pääse syntymään. Kuorituskoneen liiteasemien avulla voidaan hallita useita liitteitä ja erilaisia dokumenttiryhmiä, joten näin voidaan turvata vaaka ja luotettava kuoritustapahtuma.



Kuva 4. Kern 3500 -kuorituskoneen keskiosa.

Kern 3500 on käyttäjäystävällinen, koska kuoritusoperaattori voi ohjata sen toimintaa helposti ja nopeasti monipuolisten ja useiden kuoritusohjelmien avulla suoraan kosketusnäytöllisestä ohjauspaneelistä (kuva 5). Kuorituslinjan suora, lineaarinen muoto edistää sen käyttäjäystävällisyyttä ja helpottaa paperin käsittelyä. [8.]



Kuva 5. Kuorituskoneen ohjauspaneeli.

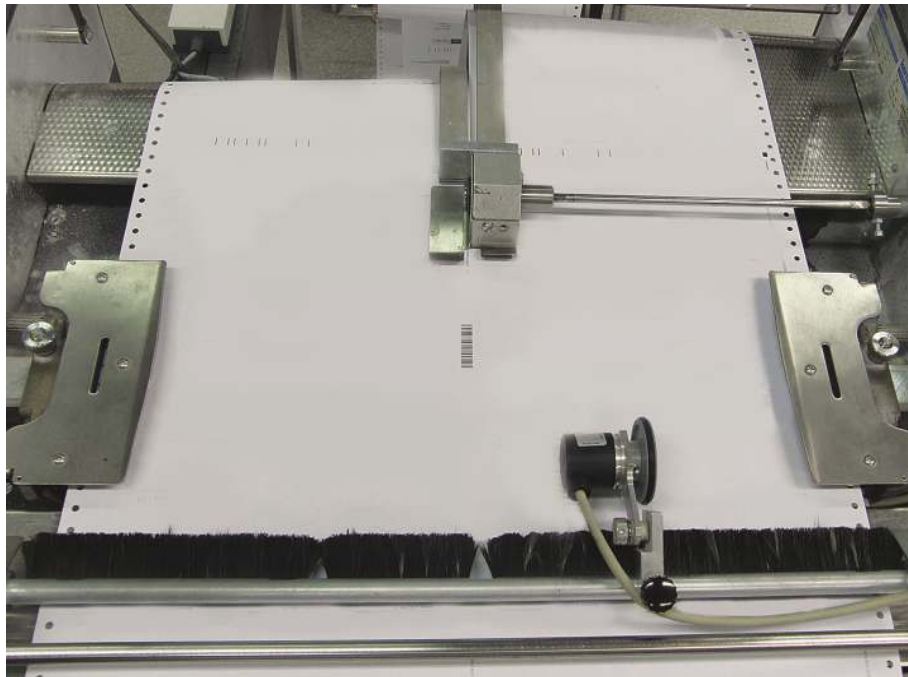
Rullapainokoneella painetaan A4-kokoiset dokumentit rullapaperille siten, että ensimmäisessä painoyksikössä painetaan paperin yläpuoli, minkä jälkeen paperirata kulkee kääntötangon kautta toiseen painoyksikköön, jossa painetaan paperin alapuoli. Näin saadaan painettua kaksipuolisia dokumentteja, joita mahtuu kaksi vierekkäin paperiradalle (asemointi 2UP eli kaksi päällä). Dokumentit painetaan peräkkäin siten, että niissä on ohut valkoinen kaistale välissä ja reunoilla. Muun sisällön ohella jokaisen dokumentin yläpuoleen painetaan joko viivakoodi tai OMR-merkit (Optical Mark Reading) kuorituskonetta varten. Näistä merkeistä kuorituskone lukee, mitkä arkit kuuluvat samaan kirjekuoreen. Yrityksessä tulostettavista dokumenteista suurin osa on kaksipuolisia sivuja, ja keskimäärin yhteen kirjekuoreen menee enemmän kuin yksi arkki [1].

2.4 Kuorituskoneen toimintaperiaate

Kuorituslinjan alkupäässä on ensin aukirullain, johon painokoneelta tuleva painettu paperirulla kiinnitetään (kuva 6). Aukirullaimen tehtävä on pyörittää paperirullaa ja syöttää paperia kuorituskoneelle. Kuoritusprosessin toinen vaihe on paperiradan leikkaaminen kahtia pituussuunnassa, jotta vierekkäin paperille painetut sivut saadaan erotettua toisistaan (kuva 7). Ensimmäiseltä leikkurilta paperirata jatkaa kahtena ratana, jotka ohjataan kulkemaan päällekkäin seuraavaa prosessin osaa varten.

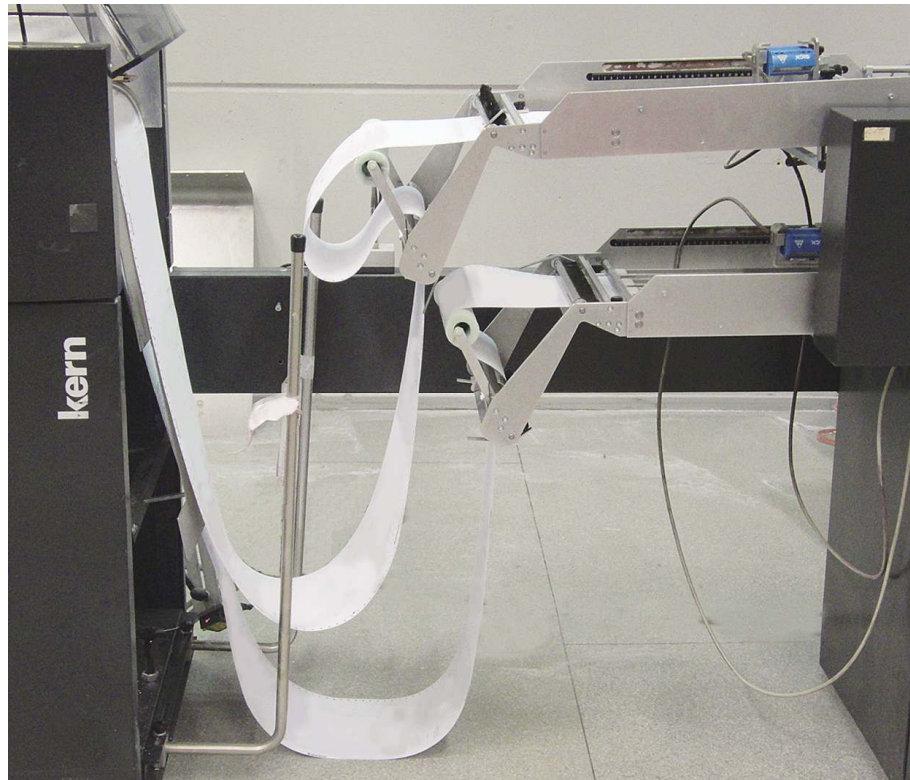


Kuva 6. Aukirullain.



Kuva 7. Paperiradan leikkaus pituussuunnassa.

Nämä radat siis kulkevat kahta päällekkäin ohjattua linjaa kohti toista leikkuria, ja leikkureiden välillä ratojen liikettä säädellään erilaisilla ohjausmekanismeilla, jotka myös säätelevät radan etenemistä (kuva 8). Radan etenemistä säädellään siksi, että toinen paperirata pysähtyy toisen paperiradan leikkaamisen ja eteenpäin viemisen ajaksi.



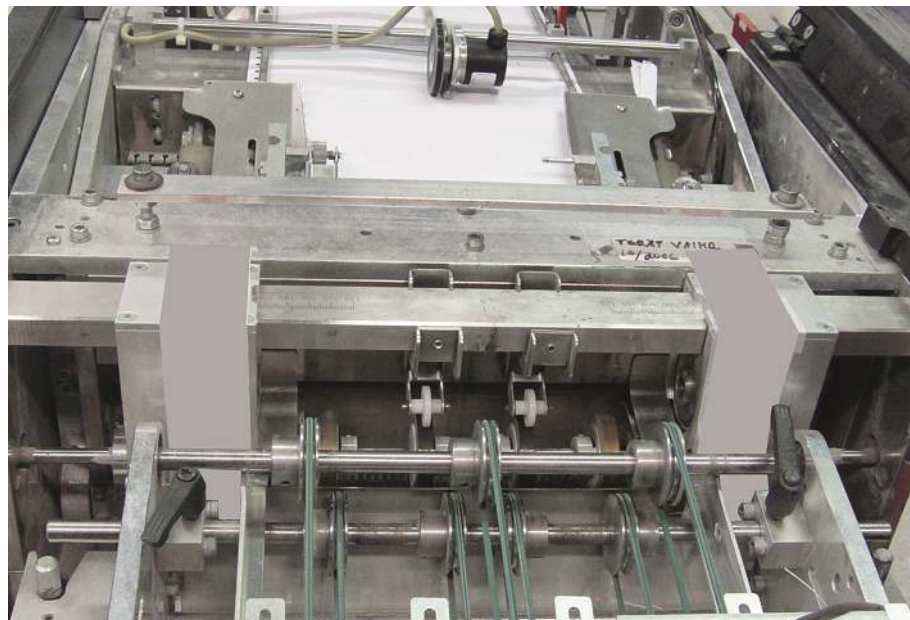
Kuva 8. Päällekkäin ohjatut radat.

Arkit tunnistetaan viivakoodin lukevalla kameralla (kuva 9), minkä perusteella seuraavaksi tapahtuva paperiradan leikkaus ja arkkien keräily voidaan suorittaa oikein.



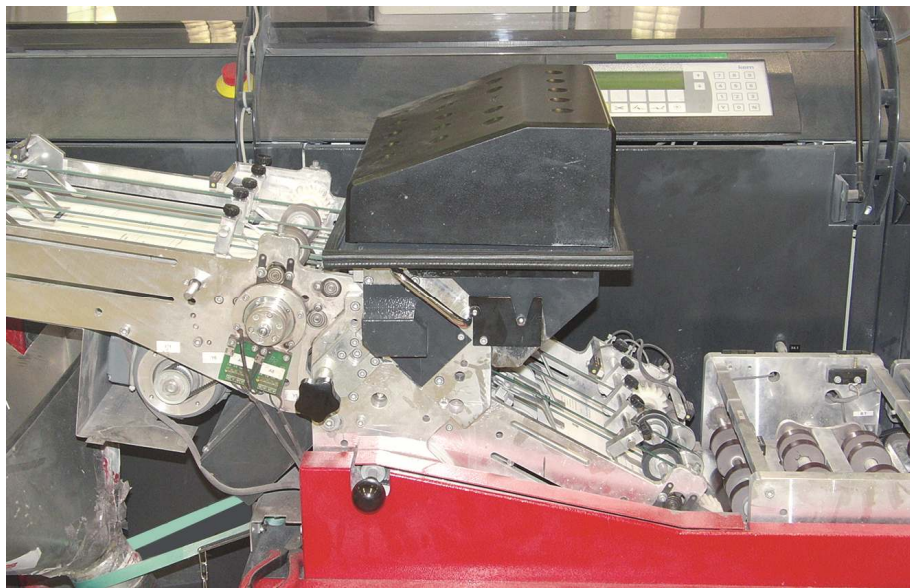
Kuva 9. Viivakoodin lukeva kamera.

Toisella leikkurilla molemmista paperiradoista leikataan ulkoreunasta paperia eteenpäin kuljettavat reiät ja ylimääräinen valkoinen osuus pois pyörivässä telassa olevalla rotaatioleikkurilla. Samalla paperirata liikkuu eteenpäin, ja se leikataan arkeiksi poikkisuuntaisella leikkurilla. Tämä vaihe toistetaan vuorotellen molemmille paperiradoille, eli ensin leikataan ylemmästä linjasta yksi arkki ja sitten alemmasta linjasta yksi arkki ja niin edelleen. (Kuva 10.) Näin paperiradoista saadaan A4-kokoisia arkkeja.



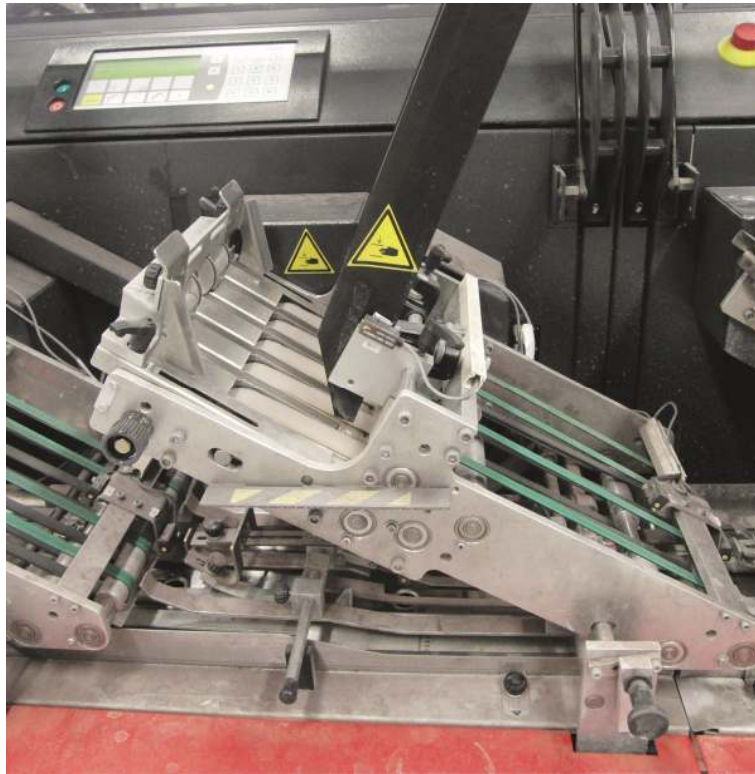
Kuva 10. Rotaatio- ja arkkileikkuri.

Samalle asiakkaalle eli samaan kirjekuoreen menevät arkit kerätään leikkuun jälkeen päällekkäin kuljetinhihnalle, minkä jälkeen ne siirtyvät taittoon. Arkit taitetaan taskutaittoperiatteella, eli arkit siirtyvät taittolaitteen taskuun ja arkkien reunan törmätessä ”taskun pohjaan” arkit taittuvat keskeltä puoliksi. Näin arkit jäävät sisäkkäin ja ovat sopivan kokoisia C5-kokoiseen kirjekuoreen. Taittolaitteen taskun pituus ja asento määritellään kuoritettavan työn perusteella. Tasku voidaan asettaa ylä- tai ala-asentoon, periaate kuitenkin on se, että taiton jälkeen arkissa oleva osoite on ylöspäin ja se kulkee eteenpäin taitettu reuna edellä. Tarvittaessa taitetut arkit käännetään tämän jälkeen osoite alaspäin, jolloin niihin voidaan lisätä liitteitä. (Kuva 11.)



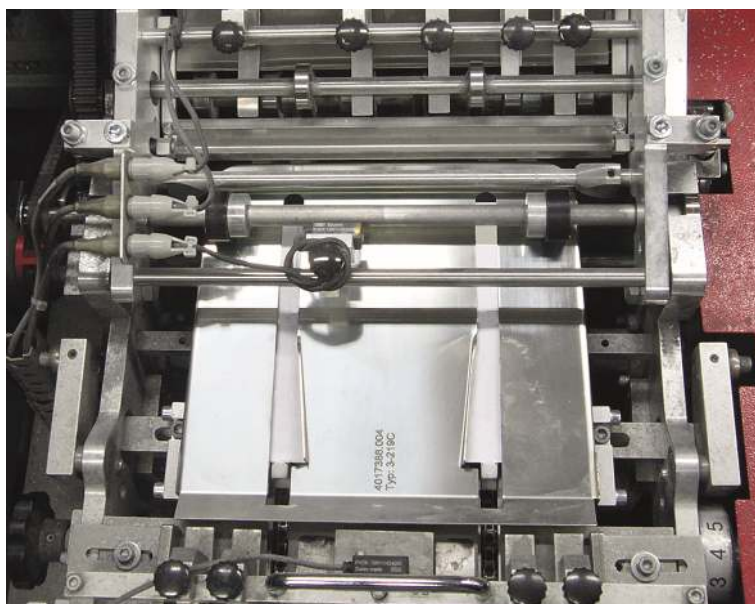
Kuva 11. Arkkien keräys hihnalle, taskutaittolaitte ja kääntäjä.

Liiteasemien ohi arkit kulkevat metallisten tappien avulla, jotka kuljettavat aina yhteen kirjekuoreen tulevat arkit eteenpäin hihnalla. Näin arkkien, joissa on osoite alaspäin, päälle voidaan lisätä tarvittavat liitteet liiteasemista (kuva 12). Tämän yrityksen Kern 3500 -kuorituskoneissa on mahdollisuus lisätä neljä erilaista liitettä. Liite ja arkit osuvat päällekkäin metallisten tappien avulla, jotka työntävät materiaalit eteenpäin siten, että niiden reuna on tapeissa kiinni. Liitteiden lisäämisen jälkeen arkit liitteineen käännetään taas siten, että osoitteet ovat ylöspäin kirjekuoreen laittamista varten. Mikäli työhön ei lisätä liitteitä, ei arkkeja tarvitse kääntää ympäri, vaan ne voidaan kuljettaa suoraan osoite ylöspäin kirjekuoreen laitto varten. Tällöin ne kulkevat liiteasemien alta, jotka eivät ole käytössä, joten arkit kulkevat vain niiden ohi.



Kuva 12. Liiteasema.

Arkit kulkevat osoite ylöspäin kuoritaskuun, joka avaa kuoriasemasta tulleen kirjekuoren (kuva 13). Tässä vaiheessa kirjekuori on kuoritaskun ympärillä ja arkit siirtyvät sen sisään oikealla hetkellä valkoisten muovitappien avulla.



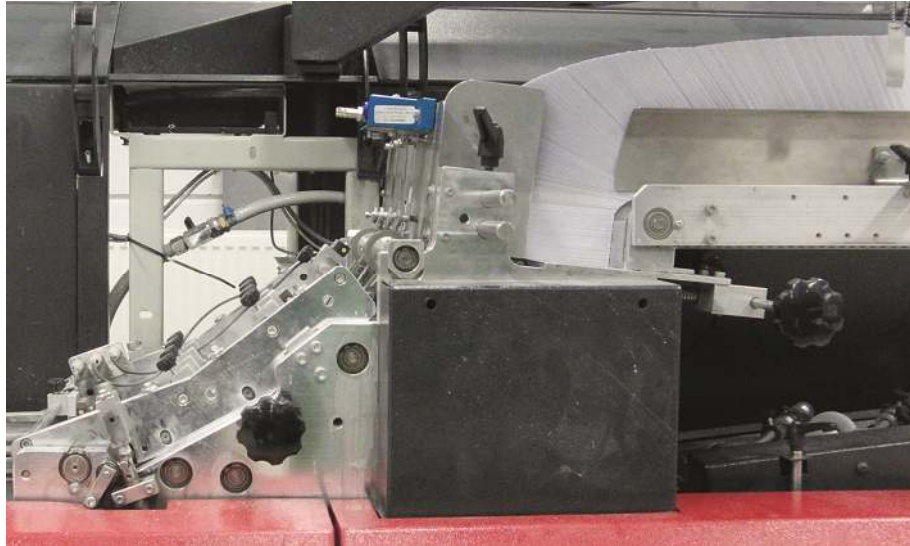
Kuva 13. Kuoritasku.

Kirjekuoret laitetaan kuljetuslaatikoista liukuhihnalle, joka kuljettaa ne varsinaiseen kuoriasemaan. Kirjekuoret ladotaan hihnalle pystyasentoon siten, että kirjekuoren takaosa osoittaa eteenpäin eli läppäpuoli on edellä. (Kuva 14.)



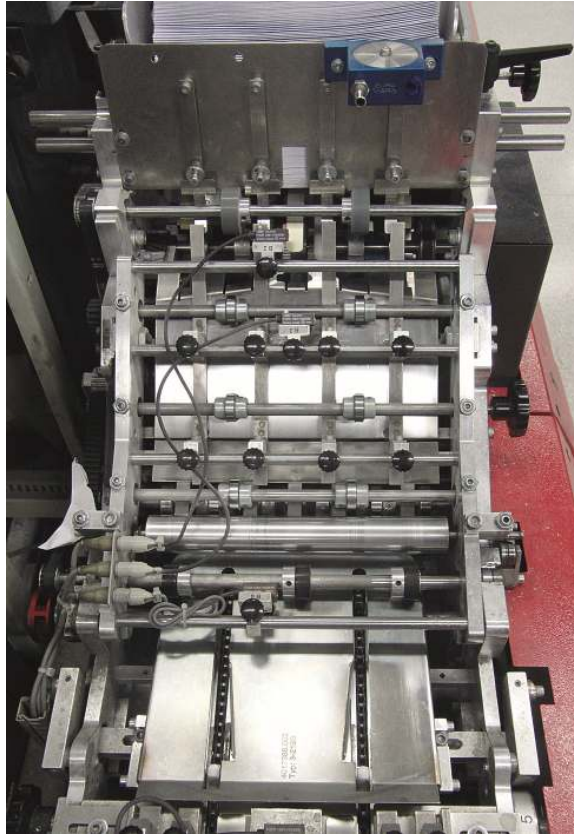
Kuva 14. Kirjekuorien kuljetus liukuhihnalla.

Kirjekuoret ”kaatuvat” liukuhihnalta tasaisena virtana vaaka-asentoon kuoriaseman kynsien varaan, jotka pitävät kirjekuoren sopivassa asennossa ja sopivalla korkeudella naukkareita varten (kuva 15). Tässä vaiheessa kirjekuoret ovat kuoriasemassa siten, että kirjekuoren läppäpuoli on alapuolella. Läppä on kiinni, mutta vielä irti kuoresta ja läppäreuna on kynsien varassa. Akselin ympäri pyörivät naukkarit nappaavat kuoresta kiinni ja vetävät sen eteenpäin. Naukkareita on viisi, ja niistä keskimäinen ja molemmissa reunoissa olevat naukkarit ovat hieman edempänä. Ensimmäisenä kirjekuoreen koskettavat kolme etummaista naukkaria ottavat kiinni kirjekuoresta ja avaavat sen sulkijäläpän, sitten kaksi muuta tarttuvat lisäksi kirjekuoreen. Näin kirjekuori siirtyy kynsien varasta eteenpäin sulkijäläppä avoinna, minkä jälkeen siihen tarttuvat kuljetusrullat ja pyörivä tela. Kirjekuori siirtyy tässä vaiheessa kuoritaskun ympärille, jolloin arkit ja liitteet voidaan siirtää sen sisään.



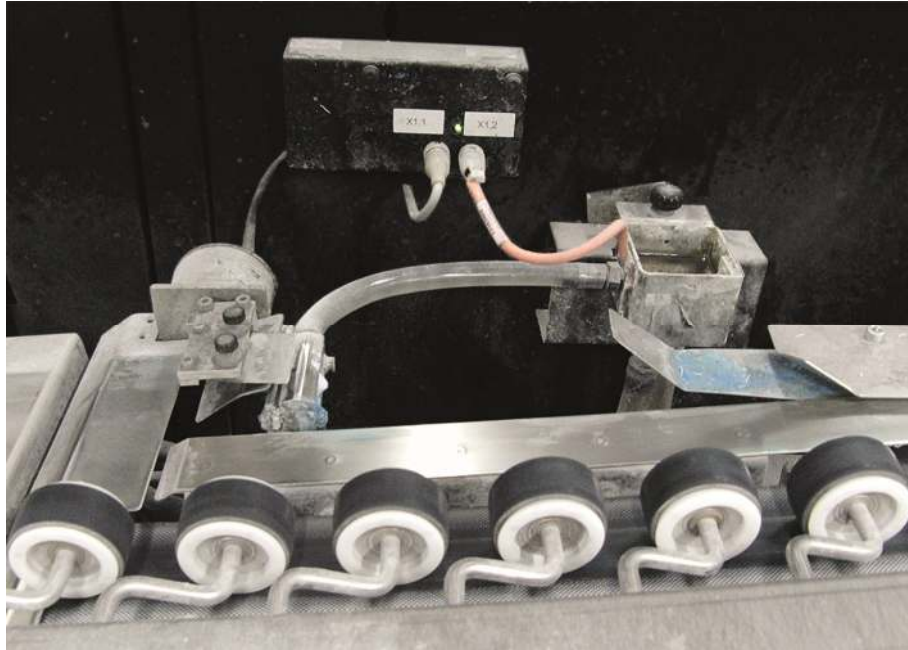
Kuva 15. Kirjekuoret asettuvat kuoriasemaan.

Pyörivä tela ottaa kirjekuoresta kiinni samalla, kun valkoiset muovitapit työntävät arkit kirjekuoren sisälle. Kun arkit ovat kuoritaskun sisällä, työntävät tapit myös kirjekuorta eteenpäin lyhyen matkan. Tappien ja telan avulla kirjekuori sisältöineen siirtyy pois kuoritaskusta. Kirjekuoren sulkijaläppä on auki ääriasennossaan, kun kirjekuori jatkaa matkaansa hihnalla ja sen alareuna kulkee edellä. Seuraavassa vaiheessa kirjekuori käännetään 90 astetta, jolloin sen lyhyt sivu kääntyy edelle (kirjekuoren etupuolelta katsottuna oikea reuna) ja edelleen auki oleva sulkijaläppä on koneen takareunaan päin. (Kuva 16.)



Kuva 16. Yleiskuva kuoriasemasta.

Hihna kuljettaa kirjekuorta eteenpäin, ja matkan varrella kirjekuoren läppä kulkee vesipisteen läpi, joka kastelee läpässä olevan liimaraidan. Vesipiste on pieni laatikko, johon vesi tulee johtoa pitkin, ja laatikossa on kapea rako, josta vesi pääsee kosketuksiin kirjekuoren kanssa ja kastelee läpän liimakohdan. Liimapinnan kostuttamisen jälkeen kirjekuori jatkaa eteenpäin hihnalla ja läppä taivutetaan kiinni metallisen ohjaimen avulla. Läppä kääntyy alaspäin, ja ohjain ohjaa sen täysin kiinni, jolloin kostutettu liimapinta tarttuu kirjekuoreen kiinni ja kirjekuori saadaan kokonaan suljettua. (Kuva 17.)



Kuva 17. Vesipiste ja sulkijäläpän kiinnityksen ohjaus.

Kuorituslinjassa on kirjekuoren sulkemisen jälkeen tarkastuslaatikko, johon putoavat jo täytetyt kirjekuoret esimerkiksi kuorituskoneen pysähdyksen jälkeen. Inhimillisen erehdyksen vaara halutaan minimoida, eikä turhia riskejä oteta, joten kaikki tarkistukseen menevät kirjekuoret hylätään. Kuorituslinjassa on erikseen myös makkelilaatikko, johon menevät suoraan hylätyt kirjekuoret. Hylkääminen voi tapahtua esimerkiksi sen perusteella, että painokoneella on tullut ongelmia, minkä vuoksi rullassa on kaksoiskappaleita eli samoja sivuja. Ne pitäisi ottaa rullan katkoskohdassa pois kuorituskoneella, mutta inhimillisiltä erehdyksiltä ei aina voida välttyä. Lisäksi on olemassa myös muita syitä, joiden vuoksi kaikki arkit ja kirjekuoret eivät päädy lähetettäväksi asti. Syitä ovat muun muassa seuraavat:

- Painokoneella on jouduttu poistamaan osa rullasta tulostuksen yhteydessä, tai osa tiedostosta on jäänyt painamatta (huonon laadun tai tulostusongelmien vuoksi).
- Kaksoiskappaleiden poistamisen yhteydessä on poistettu liikaa sivuja.
- Kuorituskone on pysähtynyt, jolloin osa arkeista tai kirjekuorista on jouduttu poistamaan prosessista.
- Arkki tai kirjekuori on jostain syystä rypistynyt, revennyt tai muuten hajonnut prosessin aikana, joten se on jouduttu poistamaan prosessista.

Yrityksellä on käytössä automaattinen kuorituksen valvontajärjestelmä, jossa jokainen kirjekuori luetaan tietokantaan tarkistusta varten. Valvontajärjestelmän ja tietokannan avulla muodostetaan automaattisesti tieto uudelleen kuoritettavista kirjekuorista, minkä perusteella uudelleen tulostus ja kuoritus tapahtuu. Kaikki kunnossa olevat kirjekuoret jatkavat eteenpäin linjalla ja kulkevat kääntöhihnojen kautta, jotka kääntävät kirjekuoren pystyasentoon luovutusta varten. Pystyasentoon käännetty kirjekuoret asettuvat tiiviisti peräkkäin liukuhihnalle, josta ne kerätään kuljetuslaatikkoon ja ne voidaan lähettää eteenpäin (kuva 18).



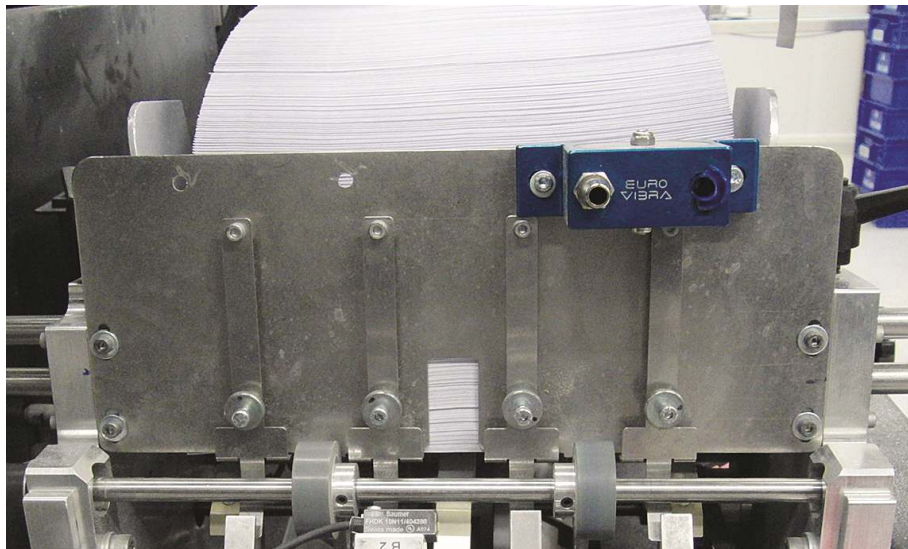
Kuva 18. Kirjekuorien luovutus.

2.5 Kuoritusprosessin ongelmat

Kuoritusprosessissa esiintyvät ongelmat keskittyvät yleisimmin kuoriasemaan ja siihen, että toimittaja A:n kirjekuoret eivät kulje sen läpi niin sujuvasti kuin mahdollista. Tähän voivat vaikuttaa sekä kirjekuoren ominaisuudet että kuoriaseman asetukset, joten molemmat oli otettava tarkastelussa huomioon. Kuitenkin toimittaja B:n toimittamat kirje-

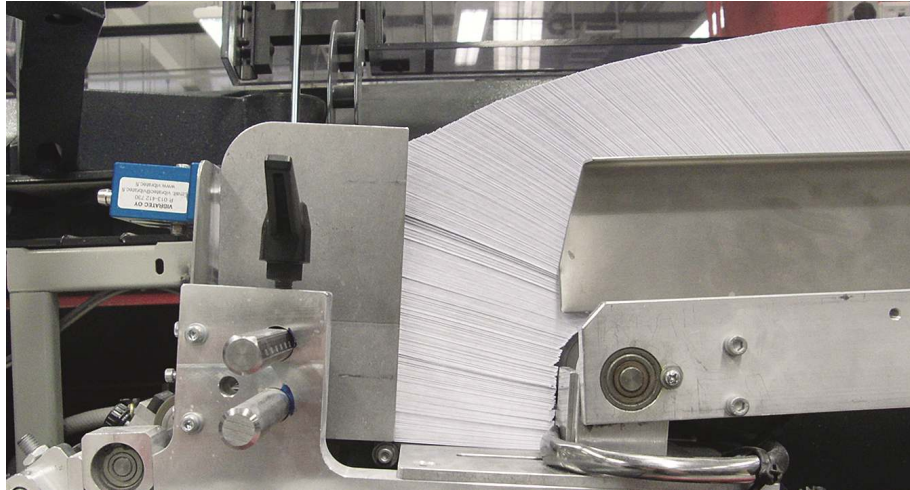
kuoret kulkevat huomattavasti sujuvammin prosessin läpi, joten sen perusteella huomio keskittyy pääosin kirjekuorien ominaisuuksiin.

Kuoriasemassa on tästä huolimatta paljon muuttujia, joita voidaan säätää kirjekuoren mukaan ja jotka voivat vaikuttaa prosessin toimivuuteen. Kirjekuoret asetellaan liukuhihnalle, josta ne ”kaatuvat” kuoriaseman kynsien varaan. Liukuhihnan syöttökulma voidaan pitää vaakatasossa tai yläviistossa. Kirjekuorien tulisi kulkea jatkuvasti tasaisena virtana ja asettua vaaka-asentoon ilman välejä tai pykäliä. Kirjekuorien asettumista valvoo valosilmä, joka liikuttaa liukuhihnaa tarvittaessa. Liukuhihna pysähtyy, kun kirjekuoria on riittävästi kuoriasemassa, ja liikuttaa niitä eteenpäin tarvittaessa tasaisena virtana. Toimittaja A:n toimittamien kirjekuorien kanssa on ollut ongelmia myös tässä kohdassa, koska kirjekuoret eivät liiku tasaisesti ja asetu halutulla tavalla vaaka-asentoon. (Kuva 19.)



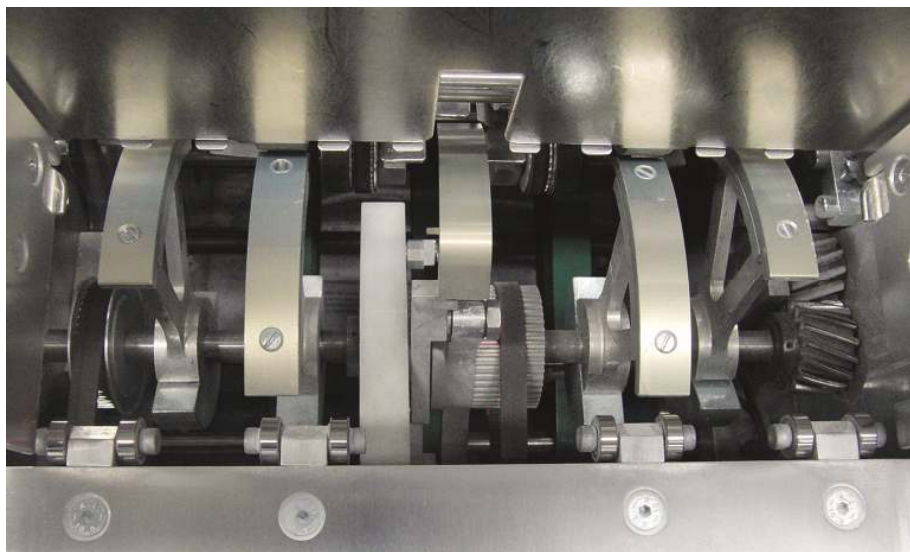
Kuva 19. Kirjekuorien asettuminen kuoriasemaan.

Vaaka-asentoon asettuessaan kirjekuoren etureuna on kynsien varassa ja takareuna levyn varassa. Näiden kahden välistä pituutta voidaan säätää kirjekuoren koon mukaan liikuttamalla takareunan levyä (kuva 20).



Kuva 20. Etu- ja takareunan välinen etäisyys.

Etareunassa on myös levy, mutta sitä voidaan säätää vain pystysuunnassa. Sekä etareunan levyn korkeussäätö että kynsien asennon säätäminen vaikuttavat siihen, kuinka hyvin kirjekuori lähtee kuoriasemassa eteenpäin, kun naukkarit tarttuvat siihen kiinni. Etareunassa olevia kynsiä on kahdeksan, mutta ne ovat liitettynä toisiinsa kahden kappaaleen pareina. Näin ollen kynsiä katsotaan olevan neljä, koska yhtä säädettäessä siirtyy kaksi kuvassa 21 näkyvää metallilaattaa. Esimerkiksi vain toisen reunan uloimman kynnen säätäminen ääriasentoon saa kirjekuoren toisen etukulman laskemaan tai nousemaan liikaa, minkä seurauksena todennäköisesti kirjekuori rypistyy ja pysäyttää kuorituskonetta.



Kuva 21. Kuoriaseman etulevy, kynnet ja naukkarit.

Kaikkien muuttujien säätäminen vaikuttaa yleisesti kirjekuoren kulkemiseen kuoriase-
massa, joten sopivien asetusten löytäminen tietyille kirjekuorityypille vaatii aluksi kaik-
kien muuttujien tarkistamista. Optimaaliset asetukset saadaan asetettua hienosäätämällä
tarvittavia muuttujia. Isoikkunakirjekuoressa yksi mahdollinen ongelma on kirjekuoren
ikkunan suuri koko ja sijainti lähellä kirjekuoren yläreunaa, joka laskeutuu kynsien va-
raan. Kun naukkarit avaavat kirjekuoren läpän, saattaa kirjekuoren reuna jäädä etule-
vyyn jumiin eikä läppä pääse avautumaan heti kunnolla. Kirjekuoren yläreuna tarttuu
etulevyyn, koska ikkunareuna ei pääse joustamaan riittävän suoraksi. Ilmiö tapahtuu
joko siksi, että ikkuna taivuttaa kirjekuoren reunaa tai pitää sen niin jäykkänä, ettei se
kykene suoristumaan riittävän nopeasti. Kuoriaseman asetusten tulee olla optimaaliset,
jotta kirjekuorella on mahdollisuus kulkea sujuvasti siitä läpi. Muuttujien asetuksiin
kiinnitetään lisää huomiota kuoritustestien yhteydessä, joista voi lukea luvussa 5.2 Kuo-
rituskoneen asetukset.

Kuoritusprosessissa on myös muita osia, jotka ovat mahdollisia ongelmakohtia proses-
sin etenemisen kannalta. Prosessin alkupäässä on varmistettava, että paperirulla pyörii
aukirullaimessa oikein ja paperirata lähtee etenemään sujuvasti oikeassa linjassa eteen-
päin. Ensimmäisellä leikkurilla paperiradan tulisi olla suorassa ja sopivalla kireydellä,
jotta se saadaan leikattua tasaisesti pituussuunnassa. Paperia eteenpäin liikuttavat rattaat
tulee säätää sopivalle leveydelle, jotta leikkaus kohdistuu oikein keskelle paperirataa.
Paperiradan oikea kulkureitti on varmistettava kaikissa prosessin osissa ja tarvittaessa
tehtävä toimenpiteitä, jotta paperi kulkee sujuvasti koko prosessin läpi. Kuljetinhihnojen
ynnä muiden paperia eteenpäin vievien osien puhtaudesta on pidettävä huolta, jotta py-
sähdyksiä ei tule epäpuhtauksien vuoksi. Sama koskee kaikkia paperin kulkua valvovia
kamaroita, valosilmiä ja muita tunnistimia. Nämä paperin kulkua valvovat komponentit
tulee myös säätää oikein, jotta ne toimivat halutulla tavalla ja kohdistuvat oikeille alu-
eille. Kuorituskone pysähtyy, mikäli esimerkiksi viivakoodin lukeva kamera ei ole sää-
detty oikealle kohdalle, jolloin se ei voi lukea haluttua viivakoodia.

Taittolaitteen pituus ja asento tulee tarkistaa ennen työn aloittamista, jotta se taittaa arkit
heti alusta alkaen kuten pitääkin. Liitteet tulee laittaa käyttöön valittuun liiteasemaan ja
varmistaa, että ne pääsevät lähtemään sujuvasti. Tämän jälkeen prosessi etenee kuo-
riasemaan, minkä jälkeen kuoret käännetään sulkemista varten. Läppäliima kastellaan

veden avulla, ja operaattorin tulee tarkistaa, että vettä syötetään sopiva määrä kasteluyksikköön. Sulkemisen jälkeen kirjekuoret kulkevat valvontajärjestelmän läpi, jossa varmistetaan niiden oikeellisuus. Tämän jälkeen kuoret kulkevat kääntöhihnojen kautta luovutukseen, ja hihnojen toimintaa tulee säätää, mikäli luovutuksessa esiintyy ongelmia. Kuoret saattavat rypistyä tai taittua luovutushihnalle siirrettäessä. Luovutushihna tyhjennetään manuaalisesti, ja jos se pääsee täyttymään, kuorituskone pysähtyy, koska se ei voi ottaa luovutushihnalle lisää kirjekuoria.

3 Paperin valmistus ja koesuunnittelu

3.1 Paperin ominaisuudet

Molemmat tässä insinööriyössä käsiteltävät kirjekuoret, sekä toimittaja A:n että toimittaja B:n toimittamat, on valmistettu puuvapaista päällystämättömistä paperilajeista. Puuvapaat paperilajit valmistetaan kemiallisesta massasta, jota kutsutaan selluksi. Sel-lupohjaisen paperilajin parhaita ominaisuuksia ovat lujuus, vaaleus ja arkistointikelpoisuus sekä laaja käyttöalue ja päällystämättömällä paperilla lisäksi pinnan karheus. Paperin hinta on kuitenkin kalliimpi mekaanisella menetelmällä valmistettuihin papereihin verrattuna ja sen opasiteetti on alhaisempi. [9.]

Kemiallinen massa valmistetaan keittämällä, mikä tehdään Suomessa sulfaattimenetelmällä. Sulfaattimenetelmän etuja ovat paremmat lujuusominaisuudet ja pienemmät rikkipäästöt. Vaihtoehtoista sulfiittimenetelmää käytetään kuitenkin edelleen muualla maailmassa. Sellun valmistus perustuu kemialliseen kuidutukseen, jossa kemikaalien ja lämmön avulla liuotetaan pois kuituja toisiinsa sitova ligniini. Keiton aikana kokonaissaanto pienenee huomattavasti, koska ligniinin ohella massasta poistuu muitakin aineita, muun muassa hemiselluloosaa. Tämä vähentää kokonaissaantoa noin 50 %, joten yhtä massatonna varten tarvitaan kaksi tonnia puuta (5–6 m³). Valkaisematon sulfaattisellu on väriltään ruskea. Keiton jälkeen massasta mitataan ligniinipitoisuus, jonka perusteella valkaisu suoritetaan. Massan valkaisulla pyritään poistamaan jäännösligniini kokonaan, ja vanha kloorivalkaisu (ympäristömyrky) on nykyisin korvattu kokonaan happivalkaisulla tai otsonivaiheella massan valmistuksessa. [10, s. 31.]

Massa voidaan valmistaa havu- tai lehtipuusta, ja raaka-aineen valintaan vaikuttaa lopputuotteen käyttötarkoitus. Pitkäkuituisesta havupuusta valmistettu sulfaattisellu soveltuu lujuutta vaativiin paperilaatuihin, sillä pitkät kuidut muodostavat lyhyitä kuituja vahvemman verkoston. Valkaisemattoman havupuusulfaattimassan lujuus on lisäksi valkaistua massaa parempi. Lehtipuukuituja käytetään massan valmistuksessa silloin, kun paperista halutaan tasaisempaa (tasainen formaatio) ja opasiteetiltaan parempaa. Lehtipuukuitujen pituus on noin puolet tai kolmasosa havupuukuitujen pituudesta, ja ne ovat myös havupuukuituja ohuempia, joten lehtipuutonissa on selvästi enemmän kuituja kuin havupuutonissa. Lisäksi sulfaattimassan kuitujen pintaa käsitellään jauhamalla, sitoutumiskykyisen pinnan aikaan saamiseksi, ennen varsinaisen paperirainan muodostamista paperikoneella. [10, s. 32; 11.]

Massan valmistuksen yhteydessä siihen lisätään erilaisia täyteaineita haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi ja kustannuksien kohtuullistamiseksi. Täyteaineet ovat hienojakoisia valkoisia pigmenttijauheita, joiden tarkoitus on täyttää kuitujen välisiä huokosia paperissa. Päälystämättömän puuvapaan paperin täyteainepitoisuus vaihtelee välillä 5–20 % tuotteesta riippuen [9]. Täyteainepartikkelit eivät muodosta massassa sidoksia, kuten kuidut muodostavat, joten paperin lujuus ja jäykkyys laskee täyteaineita lisättäessä. Täyteaine korvaa kuitua ja näin ollen asettuu myös mahdollisten kuitusidosten väliin, jolloin paperin tiheys kasvaa. Paperin ajettavuusominaisuudet heikkenevät, koska kuidut ja niiden väliset sidokset luovat nämä ominaisuudet. Painettavuus kuitenkin lisääntyy, ja täyteaineiden lisääminen on halvempaa kuin kuitujen lisääminen. Täyteainelisäyksen etuja ovat muun muassa parempi opasiteetti, vaaleus, sileys, formaatio ja mittapysyvyys, tasaisempi absorptio sekä pienempi läpipainatus. Täyteainelisäyksen haittoja ovat puolestaan lujuuden ja jäykkyyden huononeminen, alkuperäismärkälajuuden lasku, kasvava pölyäminen ja rainan retention (tasapuolisuus) huononeminen. [10, s. 37–38.]

Paperin valmistusprosessissa voidaan käyttää paperin laatuun ja valmistusprosessin toimivuuteen vaikuttavia apuaineita. Paperin ominaisuuksiin vaikuttavia aineita ovat kuivalujaliimat (parantavat kuivalujuutta ja sitoutumista), märkälujaliimat (parantavat paperin lujuutta märkänä), hydrofobiliimat (parantavat vedenhylkimistä), värit ja optiset kirkasteet, rasvan hylkimistä ja paperin syttymistä vähentävät aineet, ruosteenestoaineet,

elintarvikkeiden säilyvyyttä parantavat aineet, tuoksua ja makua antavat aineet, imukykyä parantavat aineet, kitkaa pienentävät aineet ja jälkiliimaantumisen estoaineet. Paperissa raaka-aineet ovat jakautuneet epätasaisesti tason suunnassa ja arkin paksuussuunnassa, lisäksi raaka-aineiden seossuhde saattaa vaihdella eri kohdissa. Paperi sisältää noin 2–20 miljoonaa kuitua yhtä grammaa kohti, ja ne flokkautuvat valmistusvaiheessa erikokoisiksi kuitukimpuiksi. Kuidut ovat tärkein paperin rakenteeseen vaikuttava tekijä, koska se rakentuu kuitujen muodostamasta kuituverkostosta. Paperikoneella kuidut suuntautuvat lähes poikkeuksetta enemmän kone- kuin poikkisuuntaan, ja paperin tason suuntaisen jakauman epäsymmetrisyyttä kutsutaan kuituorientaatioksi. Kuitujen orientoitumisen aiheuttaa paperikoneella suotautuvan sulpun ja jo muodostuneen kuitumaton välinen konesuuntainen nopeusero. Kuitujen orientaatio vaikuttaa paperin ominaisuuksiin kone- ja poikkisuunnassa sekä ylä- ja alapuolelta mitattuna. Kuituorientaationsuhde voidaan määrittää jakamalla poikkisuuntainen vetolujuus konesuuntaisella vetolujuudella. Näin saadaan selville, kuinka vahvasti paperin kuidut ovat suuntautuneet konesuuntaan. [10, s. 42, 55–57.]

Puuvapaan päällystämättömän paperilaadun optiset ja vaaleusominaisuudet ovat hyvät, eikä valkaistu ligniinitön paperi kellastu UV-valossa. Korkea vaaleus johtuu valkaistun sellun ja paperissa käytettävän täyteaineen, kalsiumkarbonaatin, yhdistelmästä. Päällystämättömien paperien pääasiallisia käyttötarkoituksia ovat kirjoitus, kopiointi ja tulosutus, mutta esimerkiksi kirjekuoret ovat yksi suurimmista käyttökohteista. Tämän paperilajin neliömassa vaihtelee alle 70 g:sta/m² aina yli 200 g:aan/m². Insinööriydessä tarkasteltavien kirjekuorien neliömassa on 80 g/m², joka on myös standardi neliömassa kopiopaperille Pohjoismaissa. Muun muassa kopiopapereiden kohdalla bulkki on erittäin tärkeä ominaisuus, koska se antaa paperille jäykkyyttä ja opasiteettia. Puuvapaat paperit eivät saisi vettyä herkästi, eli niiden tulisi olla hydrofobisia. Hydrofobisuus saadaan aikaan lisäämällä valmistusvaiheessa sulppuun hydrofobiliimaa. Lähes kaikki tällä tavalla liimatut paperilajit pintaliimataan vielä tärkkelyksellä paperikoneen kuivatusosassa sijaitsevalla pintaliimauslaitteella, jolloin paperille saadaan parempi pintalujuus ja jäykkyys. Lisäksi tämä toimenpide parantaa pölyämättömyyttä ja absorptio-ominaisuuksia. [10, s. 66–67.]

Tiheys ja bulkki ovat paperin rakenteellisia ominaisuuksia, jotka voidaan laskea paksuudesta ja neliömassasta. Tiheys on neliömassa jaettuna paksuudella, ja sen yksikkö on kg/m^3 . Bulkki taas puolestaan on tiheyden käänteisluku, jonka yksikkö on cm^3/g . Paperilta toivotaan yleensä pientä tiheyttä, jolloin bulkki on suuri. Tämä tuo paperille hyvän opasiteetin, kokoonpuristuvuuden, repäisyjuuuden ja suuren jäykkyyden. Bulkki yleensä huononee, mikäli paperissa halutaan olevan sileä pinta ja hyvä vetolujuus. Tiheys muodostuu paperin raaka-aineiden tiheydestä ja paperin huokososuudesta, joka tarkoittaa ilmatilaa kuitujen ja täyteaineiden välillä. Paperien pintarakenteella tarkoitetaan lähinnä pinnan karheutta, jota voidaan mitata erilaisilla mikro- tai makrokarheutta kuvaavilla menetelmillä erilaisissa paineissa. Yleisimpiä paperin karheuden mittaamenetelmiä ovat tasaisen metallipinnan ja paperin pinnan välistä virtaavan ilman mittaavat menetelmät. Tässä työssä käytetty Bendtsen-menetelmä kuvaa makrokarheutta. Karheus ja sileys käsitteinä kuvaavat yleisesti paperin pinnan vaihteluita. [10, s. 83–84.]

Formaatiolla tarkoitetaan paperin pienimittakaavaista neliömassan vaihtelua. Pienimittakaavaisuus kuvaa sitä, miten huomattavaa vaihtelua on pienillä aallonpituuksilla. Formaatio on sitä parempi, mitä vähemmän vaihtelua on, eli paperi on näin ollen koostumukseltaan tasaisempaa. Formaatio ilmaisee, miten paperin kuidut ovat verkostossa asettuneet keskenään paperin tason suunnassa. Formaation tasaisuus vaikuttaa huokosrakenteen ja paksuuden tasaisuuteen ja paperin toiminnallisiin ominaisuuksiin, kuten vetolujuuteen ja hajontaan. Mikäli neliömassan vaihtelun aallonpituus on yli kaksi senttimetriä, sitä mitataan erillisenä neliömassavaihteluna. Kun formaatio on huono, paperin vetolujuus, murtovenymä ja yleistä kestävyyttä kuvaava puhkaisulujuus huononevat, mutta repäisyjuuuteen tällä ei ole vaikutusta. [10, s. 59–60.]

Paperin huokoisuus vaikuttaa erityisesti nesteiden ja kaasujen virtaukseen materiaalissa. Paperin ilmanläpäisykyky riippuu huokoisuudesta ja huokoskoon jakautumisesta. Yleisimmin käytetty läpäisevyyden mittari on ilmanläpäisevyys, jonka avulla saadaan viitteitä esimerkiksi nesteiden tunkeutumisesta paperiin. Huokoisuudesta ja ilmanläpäisevyydestä puhutaan usein samassa yhteydessä, jopa samana asiana, vaikka ne ovat kaksi erillistä ominaisuutta. Ilmanläpäisyn alentaminen parantaa painettavuusominaisuuksia, koska huokokset pienenevät ja paperin pinta on sileämpi. [10, s. 88.]

Ajettavuus on yksi paperin toiminnallisista ominaisuuksista, ja se on keskeisessä osassa tässä insinööriyössä. Ajettavuusongelmat näkyvät tuotannon hidastumisena tai tuotantokatkoina ja alentavat tuottavuutta. Äkilliset ajettavuushäiriöt keskeyttävät tuotannon äkillisesti, kun taas hidastavat ajettavuushäiriöt laskevat tuotantotehoa. [9.] Paperin ajettavuutta voidaan tarkastella mittaamalla vetolujuutta, repäisyjuuutta, jäykkyyttä, pintalujuutta, venymää, käyritysvastusta, kosteutta, tasaisuutta ja pituusvaihtelua. Paperin painettavuus huononee ja valmistuskustannukset kasvavat, kun sen ajettavuutta halutaan parantaa. Yksinkertaisin paperin ajettavuuteen vaikuttava toimenpide perustuu paperikoneella ajettavan rainan kireyden ja paperin vetolujuuden erotuksen dynamiikkaan. Paperikoneella pyritään säätämään tietty keskiarvokireys, mutta todellinen kireys vaihtelee hetkellisesti todella paljon tämän kireyden ympärillä rainan eri kohdissa. Ajettavuuden kannalta olisi paras valmistaa kaikilta ominaisuuksiltaan mahdollisimman tasaisista paperia sekä kone- että poikkisuunnassa. [10, s. 93.]

Paperin ajettavuuden parantamiseksi tulisi siis paperin ominaisuuksista saada mahdollisimman tasaisia, eikä vaihtelua saisi esiintyä. Paperin ominaisuuksista tässä yhteydessä puhuttaessa on ensimmäiseksi käsiteltävä paperin voima-venymäominaisuuksia ja repäisyjuuutta. Ne ovat paperin reologisia ominaisuuksia, jotka kuvaavat materiaalin käyttäytymistä voimavaikutusten eli rasituksen alaisena. Paperin vetolujuus on suurin vetokuormitus, jonka paperiliuska kestää murtumatta. Näin ollen se on voima-venymäkäyrän loppupiste ja mittaus suoritetaan erikseen kone- ja poikkisuuntaan. Vetolujuus kasvaa paperin neliömassan kasvaessa. Paperin vetolujuus ja venymä riippuvat osin toisistaan; usein vetolujuutta lisättäessä venymä vähenee. Esimerkiksi paperikoneella saadaan suurempi vetolujuus, mutta pienempi venymä, kun estetään paperin kuivumiskutistuma. Paperin voima-venymäkäyrästä voidaan mitata sen alle jäävä pinta-ala ja laskea siitä murtotyö, joka on käytetty energia paperin pinta-alaa kohden. [9; 10, s. 94.]

Repäisyjuuudella kuvataan tilannetta, jossa rainan reunassa on esimerkiksi reikä tai muu repeämä. Tämänkaltaisessa tapauksessa repeämän jatkamiseen tarvitaan pienempi voima kuin ehjän rainan repäisyyn. Repäisyjuuteen vaikuttavat kuitujen pituus, kuitujen lujuus ja sitoutumisaste. Repäisyjuuus mittaa työtä, joten on oleellista, menevätkö kuidut repeämäkohdassa poikki vai repeävätkö ne verkostosta ehjinä irti. Tämä työ on voima kerrottuna matkalla, joten suurempi repäisyjuuus saadaan, kun kuidut repeävät

ehjinä irti. Kuitujen pitäisi käytännössä säilyä ehjinä, mikäli ne ovat sitoutuneet sopivasti lujuteensa ja pituuteensa nähden. Repäisyjuuus heikkenee ja kuidut katkeilevat, jos ne ovat heikkoja ja liian tiiviisti toisiinsa sitoutuneita. Repäisyjuuus on heikko myös siinä tapauksessa, että kuidut eivät ole ollenkaan toisiinsa sitoutuneita. Sellukuiduilla repäisyjuuus ja vetolujuus kehittyvät eri suuntiin kuitujen sitoutumisasteen kasvaessa. Repäisyjuuus ilmoitetaan voimana, joka tarvitaan repeämän jatkamiseen. Jos tämä voima leviää laajalle alueelle repäisykohdan kärjessä, on repäisyjuuus suuri. Vastaavasti repäisyjuuus on pieni, jos voima kohdistuu pistemäisesti repäisykohdan kärkeen. Repäisyjuuus poikkisuunnassa on kriittinen, sillä jos raina repeää, kokonaisvoima lisääntyy vielä repeämättömässä osassa ja repeämä todennäköisesti edistyy. Ratakatko on tällaisessa tilanteessa hyvin todennäköinen ja pysäyttää tuotannon välittömästi. Poikkisuunnan repäisyjuuutta voidaan yrittää lisätä suuntaamalla kuituja entistä enemmän konesuuntaan. Kalanterointi pienentää paperin paksuutta ja jäykkyyttä, joten se vaikuttaa repäisyjuuteen yllättävän paljon. [10, s. 98–99.]

Kalanterointi tarkoittaa paperikoneella tapahtuvaa prosessia, jossa paperi puristetaan kahden tai useamman telan välistä. Paperi muuttuu muotoaan tason suunnassa ja paksuussuunnassa puristuspuheen sekä leikkaus- ja kitkavoimien vaikutuksesta. Tämä on viimeinen paperinvalmistuksen vaihe, jolla voidaan vaikuttaa merkittävästi paperin ominaisuuksiin ja saada siitä käyttötarkoitukseensa sopiva. Kalanteroinnin pääsyyt ovat paperin paksuusprofiilin hallinta ja pintaominaisuuksien muokkaaminen mahdollista tulevaa painomenetelmää vastaavaksi. Paperissa on valmistuksen vakioimisesta huolimatta aina neliömassa- ja kosteusvaihteluita, jotka tulisi minimoida kalanteroimalla hyvän rullanmuodostuksen ja paremman ajettavuuden takaamiseksi. Kalanteroinnin yhteydessä pintaominaisuuksien positiivisten muutoksien kanssa tapahtuu haitallisia muutoksia paperin paksuudesta riippuvissa ominaisuuksissa, kuten jäykkyys, lujuus ja optiset ominaisuudet. Kalanterointitapa ja sen voimakkuus tulisi säätää siten, että lopputulos on halutun mukainen. Tämä edellyttää kompromissia hyvien ja huonojen muutosten kesken. [10, s. 204.]

Valmiissa paperissa tapahtuvat muutokset tulisi minimoida ottamalla huomioon olosuhteet paperin varastoinnin ja kuljetuksen aikana. Paperi on orgaaninen materiaali, joka on herkkä kosteus- ja lämpötilavaihteluille sekä muille ominaisuuksiin vaikuttaville teki-

jöille. Tämän vuoksi paperin käsittely ja varastointiolosuhteet ovat tärkeitä, jotta paperi soveltuu niidenkin jälkeen haluttuun käyttötarkoitukseen. Kun kuidut kostuvat, ne laajenevat, ja kuivuessaan ne kutistuvat. Laajeneminen kuitenkin tapahtuu pääasiassa leveysuunnassa, ja kuitujen pituus pysyy lähes samana koko ajan. Muutos on noin kolme kertaa suurempi poikkisuuntaan kuin konesuuntaan, ja kuitujen paksuus voi vaihdella jopa 30 %. Suuret kosteusvaihtelut voivat aiheuttaa pysyvää vahinkoa, eikä paperi enää palaudu ennalleen alkuperäisiin mittoihin. Tämä ilmenee ongelmina paperin ajettavuudessa ja painettavuudessa. Erityisen herkkiä ovat paperit, joiden molemmilla puolilla on erilaiset pinnat, koska ne reagoivat olosuhdemuutoksiin eri tavoilla. Paperin varastoinnissa tärkein tekijä on ilmankosteus, joka on sidottu lämpötilaan. Yleensä suositellut olosuhteet puuvapaalle paperilajille ovat 50 %:n ilmankosteus ja 20 asteen lämpötila. Näiden olosuhteiden tulisi pysyä vakiona ympäri vuoden, jotta paperi ei altistuisi olosuhdemuutoksille. Paperi kuitenkin altistuu myös kuljetuksen aikana erilaisille lämpötiloille ja kosteusvaihteluille. Tämän vuoksi paperit pakataan yleensä polyeteenimuovikääreisiin, jotka pitävät kosteuden vakiona kuljetuksen ajan. Jos kuljetus on hyvin pitkä, tämäkään ei välttämättä riitä, joten kuljetuksen saavuttua perille on tärkeää antaa paperin mukautua vallitseviin olosuhteisiin muovikääreissään ennen käyttöönottoa. Näin voidaan parhaiten välttyä paperin vahingoittumiselta. [12, s. 317–318.]

3.2 Monimuuttujakoe

Kuoritus-testit päätettiin suorittaa monimuuttujakokeena, koska testattavia muuttujia ja niiden arvoja oli todella runsaasti. Lisäksi haluttiin selvittää muuttujien keskinäisiä vaikutuksia. Testit olisi voitu suorittaa myös siten, että jokaisen testimuuttujan vaikutus kuoritusprosessiin olisi selvitetty yksitellen ja myös analysoitu yksitellen. Tällainen menettelytapa on kuitenkin hyvin tehoton ja aikaa vievä, eikä sen perusteella voida selvittää muuttujien välisiä vuorovaikutuksia. Design of Experiments (DOE) eli tutkimussuunnittelu on tilastomenetelmä, joka luo pohjan laadun ja tuottavuuden kehittämiseksi. Koesuunnittelun avulla voidaan kerätä prosessista dataa siten, että sitä voidaan analysoida tilastollisesti. Kokeen muodostaminen ja tulosten analysointi on matemaattisesti vaikeaa, joten apuna käytettiin Minitab-tilastolaskentaohjelmaa. Tilastolaskentaohjelman avulla koesuunnittelu helpottuu huomattavasti, ja se antaa mahdollisuuden monipuolisten kokeiden suunnitteluun. [13.]

Koesuunnitteluun sisältyviä osia ovat tekijät, niiden tasot ja niistä saatavat vastaukset. Tekijät voidaan jakaa kahteen osaan, hallittuihin ja hallitsemattomiin muuttujiin, eli tekijöitä ovat testissä käytettävät muuttujat. Tekijöiden tasot puolestaan ovat näiden muuttujien asetusarvoja, joiden perusteella niitä säädetään. Näistä kahdesta saatavat vastaukset ovat luonnollisesti testituloksia, joista voidaan analysoida hyvin tarkasti tekijöiden ja tekijöiden tasojen vaikutukset lopputulokseen. Monimuuttujakoe on suunniteltu useiden tekijöiden ja niille asetettujen useiden tasojen määrittämiseen. Yhdellä muuttujalla voi siis olla useampia arvoja. Monimuuttujakoe suoritettiin siten, että muuttujia ja niiden arvoja testattiin täydellisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki muuttujat testattiin kaikilla mahdollisilla arvoilla ja kaikilla mahdollisilla yhdistelmillä muiden muuttujien ja niiden arvojen kanssa. Parhaimmillaan monimuuttujakoe on silloin, kun se sisältää muutaman muuttujan ja vain 2–3 arvoa muuttujaa kohden. Näin testi pysyy taloudellisuuden ja käytännöllisyyden rajoissa, mikäli se toteutetaan oikeasti. Etuna on, että kaikki parit voidaan testata, mutta testikertojen määrä pysyy järkevissä rajoissa. Lisäksi testikertojen määrä kasvaa eksponentiaalisesti, kun tekijöitä lisätään tällaiseen yhdistelmään. [14.]

4 Paperin materiaalitekniset ominaisuudet

4.1 Yleistä papereista ja materiaalitesteistä

Kuten aiemmin on todettu, toimittaja A:n ja toimittaja B:n toimittamat kirjekuoret on molemmat valmistettu päällystämättömästä offsetpaperista, jonka neliömassa on 80 g/m^2 . Siusvärin paksuutta ei tarkemmin selvitetty, koska sen vaikutus paperin ominaisuuksiin ei todennäköisesti ole tässä tapauksessa merkittävä. Molempien kirjekuorien paksuudet vastasivat toisiaan, joten mahdollisista paksuuseroista ei löydy syytä ongelmiin. Paperin kuitusuunta muodostuu paperikoneella, kun paperi valmistetaan. Kuidut asettuvat paperikoneen mukaisesti kone- ja poikkisuuntaan, joista konesuunta on lähes poikkeuksetta vahvempi. Tämän perusteella voidaan olettaa, että paperin kuitusuunta on muodostunut paperirullan pituussuuntaan. Paperikoneelta tuleva suuri paperirulla leikataan pienemmiksi asiakasrulliksi, jotka sitten toimitetaan kirjekuoritehtaille. Kirjekuoritehtaalla kirjekuoret valmistetaan suoraan näistä rullista, jolloin paperin kuitusuunta on edelleen paperirullan pituussuuntainen. Kuten kirjekuoren valmistusprosessista kertovassa luvussa (2.1 C5-isoikkunakirjekuori ja kirjekuoren valmistusprosessi) selvitetään, valmistetaan kirjekuoret rullan pituussuunnassa, jolloin paperin kuitusuunta kulkee kir-

jekuoressa pystysuorassa. Toisin sanoen kuitusuunta on samansuuntainen kirjekuoren lyhyen sivun kanssa. Jäljempänä tarkasteltavat mittaustulokset todistavat tämän teorian oikeaksi, ja se pätee molempien toimittajien toimittamiin kirjekuoriin.

Kirjekuoripaperien ominaisuuksien testaamisessa kiinnitettiin huomiota paperin ajettavuuteen ja käyttäytymiseen vaikuttaviin ominaisuuksiin. Testattaviksi ominaisuuksiksi valittiin paperin vetolujuus, repäisyjujuus, ilmanläpäisevyys ja karheus. Kaikki mittaukset suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun laboratoriossa työohjeiden mukaisesti. Kaikkia mittauksia tehtiin riittävä määrä, jotta mittaustulokset ovat luotettavia ja tuloksien hajonnan vaikutus saatiin poistettua lopputuloksesta. Kaikkien mittauskertojen yksittäisistä mittausrvoista laskettiin mittauksen keskiarvo, ja nämä mittausten keskiarvot löytyvät tarkemmin tämän insinööriyön liitteistä. Mittauksissa käytetyt näytteet leikattiin kirjekuorista siten, että näytekappaleen alueella on vain tasaista paperipintaa. Näin tulokset keskittyvät paperin ominaisuuksiin, eikä niihin vaikuta esimerkiksi perferoidun pinnan tai taitteen osuminen näytteen alueelle. Kirjekuori A on toimittaja A:n ja kirjekuori B on toimittaja B:n toimittama.

4.2 Vetolujuus

Paperin vetolujuutta mitataan Oy Lorenzen & Wettre Ab -nimisen yrityksen valmistamalla vetokoneella, jonka virallinen malli on Alwetron TH1 tensile strength tester SE 060. Mittalaite on suunniteltu paperin lujuusominaisuuksien nopeaa ja tarkkaa määrittämistä varten. Laite pystyy itsenäisesti korjaamaan näytteen esijännityksen ja löysästi kiinnitetyn näytteen vaikutukset tulokseen, eli laite antaa samoilla asetuksilla tehdyt tarkat tulokset paperille tulostettuna. Ennen koneen käynnistämistä virtakytkimestä tulee tarkistaa, että mittalaitteen painemittari näyttää noin 0,4 MPa. Mittauksessa käytettävä esiasetettu ohjelma valitaan painamalla F2-näppäintä ja asettamalla tässä tapauksessa ohjelman numeroksi 30. Yleensä kaikki asetukset vahvistetaan kyllä-näppäimellä laitteen näppäimistöä. Ohjelma kysyy myös testattavan näytteen neliömassaa, joka on näissä kirjekuoripapereissa 80 g/m^2 . Seuraavaksi hyväksytään mittalaitteen ehdotus, jonka mukaan konesuuntaiset näytteet mitataan ensin. [15.]

Mittausta varten molempien kirjekuorien tasaisilta alueilta leikattiin molempiin kuitusuuntiin 15×130 millimetrin kokoisia näyteliuksia. Mittalaite pyytää ensimmäistä

näytettä, jolloin näytesuikale asetetaan pidikkeisiin. Vihreät led-valot ilmaiseva, koska näyte on oikein paikallaan. Tämän jälkeen mittaus aloitetaan painamalla kyllä-näppäintä. Paperi katkeaa vetolujuuden voimasta ja näyttöön ilmestyvät näytteen arvot, jotka hyväksytään ja tulostetaan kyllä-näppäimellä paperille. Mittalaite pyytää tulostuksen jälkeen seuraavaa näytettä, ja mittaus toistetaan esiasetetun ohjelman mukaisesti kymmenen kertaa. Konesuuntaisten näytteiden jälkeen mittalaite kysyy, halutaanko heti mitata myös poikkisuuntaiset näytteet. Tämä hyväksytään, ja kymmenen poikkisuuntaisen näytteen mittaus suoritetaan samalla tavalla kuin konesuuntaisten näytteiden mittaus. [15.]

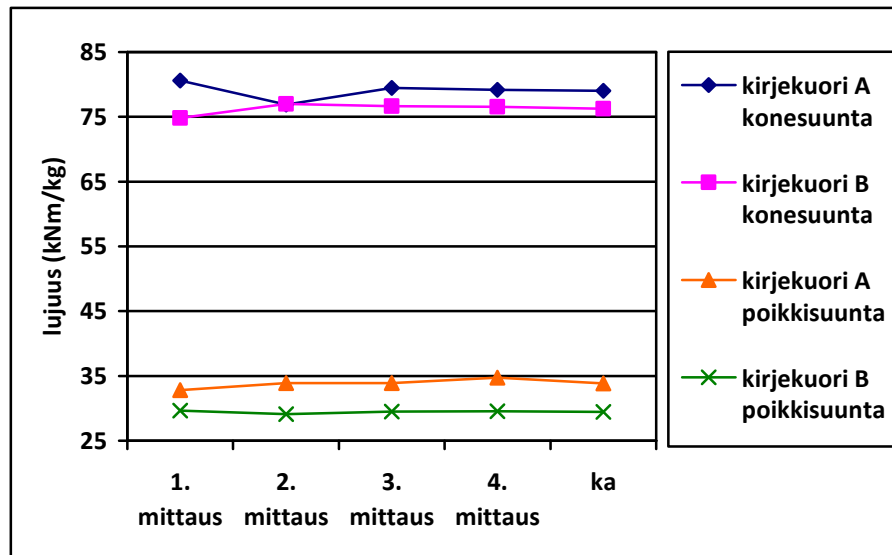
Mittalaite tulostaa yksittäisten mittauksien tulosten lisäksi niiden perään yhteenvedon mittauksesta. Tästä yhteenvetoraportista käyvät ilmi kyseiseen kuitusuuntaan hyväksytyjen tuloksien määrä sekä lujuuden, venymän ja murtotyön keskiarvot. Mittaustulokset löytyvät kokonaisuudessaan liitteistä 1 ja 2. Mittauksien keskiarvot näkyvät taulukosta 1. Raportin loppuun tulostuvat käytetyn ohjelman määrittymiset, jotka ovat seuraavat:

- murtoherkkyys 9,8 %
- aika 17,5 sekuntia
- nopeus 12 mm/min
- voima-anturi 200 N
- kiinnityspituus 100 mm [15].

Taulukko 1. Paperin vetolujuusmittauksien keskiarvot.

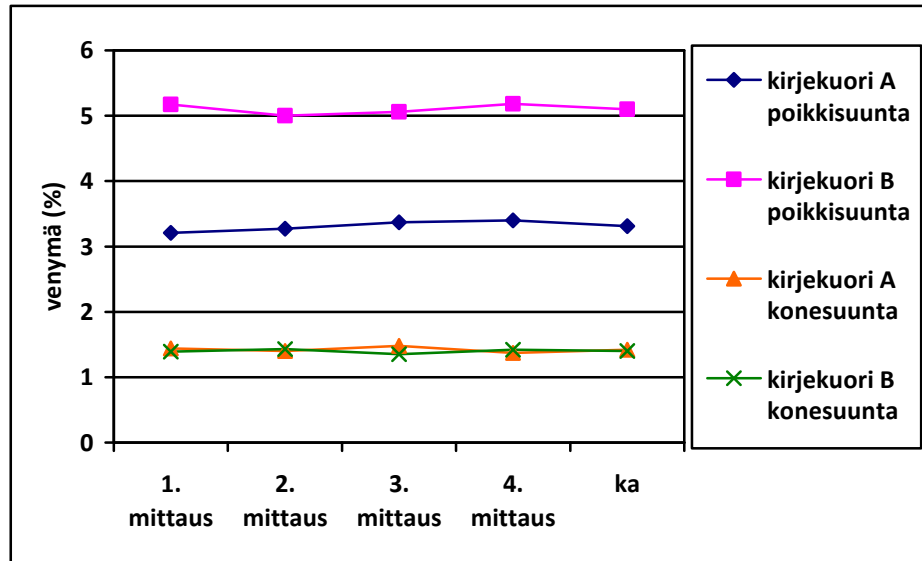
KONESUUNTA			POIKKISUUNTA		
	Kirjekuori A	Kirjekuori B		Kirjekuori A	Kirjekuori B
Lujuus	kNm/kg	kNm/kg	Lujuus	kNm/kg	kNm/kg
1. mittaus	80,59	74,82	1. mittaus	32,82	29,65
2. mittaus	76,90	76,98	2. mittaus	33,88	29,12
3. mittaus	79,48	76,65	3. mittaus	33,88	29,52
4. mittaus	79,17	76,56	4. mittaus	34,75	29,57
ka	79,04	76,25	ka	33,83	29,47
Venymä	%	%	Venymä	%	%
1. mittaus	1,44	1,39	1. mittaus	3,21	5,17
2. mittaus	1,40	1,43	2. mittaus	3,27	5,00
3. mittaus	1,48	1,35	3. mittaus	3,37	5,06
4. mittaus	1,37	1,42	4. mittaus	3,40	5,18
ka	1,42	1,40	ka	3,31	5,10
Murtotyö	J/kg	J/kg	Murtotyö	J/kg	J/kg
1. mittaus	705,00	637,30	1. mittaus	776,60	1163,00
2. mittaus	649,30	676,30	2. mittaus	815,30	1108,00
3. mittaus	716,50	629,70	3. mittaus	844,20	1135,00
4. mittaus	654,90	668,20	4. mittaus	876,60	1167,00
ka	681,43	652,88	ka	828,18	1143,25

Paperin vetolujuus on suurempi paperikoneen suunnassa (konesuunta), joten lujuusmittauksen tulokset todistavat, että kuitusuunta on määritetty oikein. Lujuuden yksikkö on kNm/kg, ja se kertoo paperin lujuusarvon vetolujuusmittauksessa. Kone- ja poikkisuuntaisten näytteiden keskiarvot ovat hyvin lähellä toisiaan, ja molempien kuitusuuntien arvot poikkeavat hyvin vähän toisistaan. Kuitenkin molemmissa tapauksissa kirjekuori A:n tulokset ovat hieman suuremmat kuin kirjekuori B:n. Ero on kuitenkin riittävän pieni, jotta voidaan todeta, että tämä ei todennäköisesti ole yksi merkittävimmistä tekijöistä kirjekuoren toimivuuden kannalta. Yleisesti voidaan sanoa, että lujuus on suurempi konesuunnassa, kun taas murtotyö on suurempi poikkisuunnassa. Lisäksi paperin karheus parantaa lujuusominaisuuksia. (Kuva 22.)



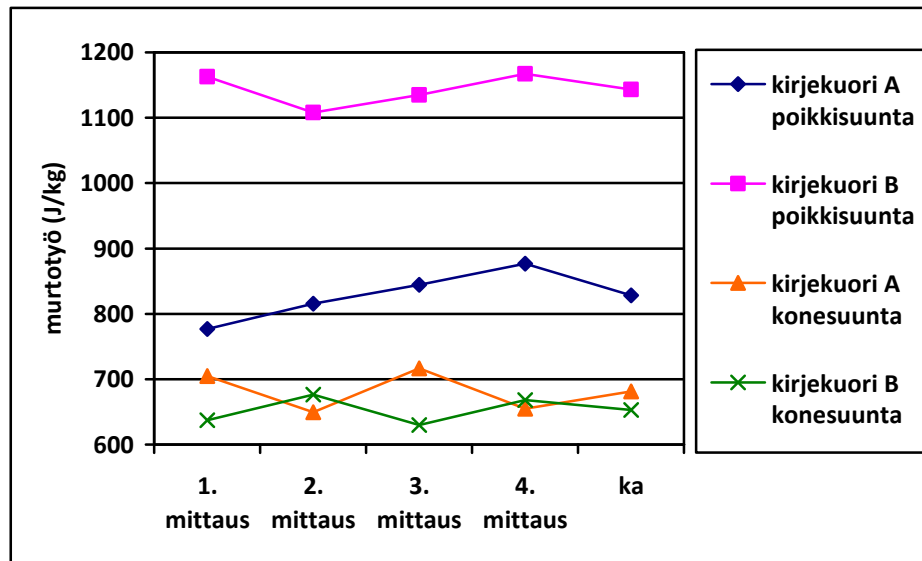
Kuva 22. Paperin lujuusominaisuudet.

Kirjekuorien venymäluku esitetään prosenttiarvona, joka kertoo paperin venymän määrän vetolujuusmittauksessa. Kirjekuorien konesuuntaisten näytteiden venymässä ei ole havaittavaa eroa, sillä ne vastaavat toisiaan lähes identtisesti ja kaikkien mittausten keskiarvoista lasketut keskiarvot (ka) ovat lähes samat. Poikkisuuntaan tehdyt mittaukset puolestaan eroavat toisistaan selvästi, sillä kirjekuori B:n venymäprosentti on suurempi kuin kirjekuori A:n. Kirjekuori B venyy tämän perusteella poikkisuuntaan noin 1,5–2,0 % enemmän kuin kirjekuori A. Tämä selittää osaksi kirjekuorien välistä jäykkyyseroa, jonka kuoritusoperaattorit olivat havainneet. Venymäominaisuuksiltaan parempi kirjekuori B on todennäköisesti myös joustavampi, joten se kulkee kuoriaseman läpi sujuvammin kuin jäykempi kirjekuori A. Jäykempi kirjekuori jää helpommin jummiin ja pysäyttää kuorituskoneen, kun taas joustavampi kirjekuori liikkuu helpommin eteenpäin, vaikka kuoriaseman asetukset eivät täysin optimaaliset olisikaan. (Kuva 23.)



Kuva 23. Paperin venymäominaisuudet.

Murtotyön yksikkö on J/kg, joka antaa tulokseksi muihin mittausarvoihin verrattuna isoja lukuja. Murtotyön mittausarvoja tarkasteltaessa voidaan havaita, että konesuuntaiset mittausarvot vaihtelevat sekä kirjekuori A:lla että kirjekuori B:llä ja ne menevät osittain myös ristiin. Kuitenkin konesuuntaisten mittaustuloksien keskiarvoista lasketut keskiarvot (ka) eroavat vain noin 30 J/kg, mikä tässä mitassa verrattuna on pieni ero. Kirjekuori A:n ja B:n poikkisuuntaiset mittausarvot puolestaan eroavat toisistaan huomattavasti. Yhden kirjekuoren mittausarvojen erot vastaavat konesuuntaisten näytteiden mittausarvojen vaihteluskaalaa, mutta kun verrataan toisiinsa kirjekuori A:ta ja B:tä, voidaan huomata eron olevan suuri. Näiden mittauksien keskiarvo (ka) eroaa noin 300 J/kg. Todennäköisesti kirjekuori B on rakenteeltaan joustavampi, sillä sen venymäprosentti oli myös suurempi. Näin ollen murtotyöhön joudutaan käyttämään paljon suurempi voima kuin kirjekuori A:lla. (Kuva 24.)



Kuva 24. Paperin murtotyöominaisuudet.

Vetoluusmittauksen yhteenvedona voi sanoa, että konesuuntaan kirjekuori A:n mitta-arvot ovat yleisesti suuremmat kuin kirjekuori B:n. Tämä tarkoittaa, että konesuuntaan kirjekuori A on vetoluusmittauksessa vahvempi eli se tarvitsee suuremman voiman hajotakseen. Poikkisuuntaisten mitta-arvojen perusteella kirjekuori A on edelleen vahvempi lujuudessa, mutta kirjekuori B on selvästi vahvempi venymän ja murtotyön osalta. Kirjekuori B kestää vetolujuuden voimaa heikommin, mutta se taas kestää venytystä ja murtotyön voimaa paremmin kuin kirjekuori A. Nämä tulokset selittävät kirjekuorien ominaisuuksia, joten vertailun jälkeen voidaan todeta kirjekuori A:n olevan vahvempi kuin kirjekuori B. Kirjekuori B kuitenkin puolestaan on joustavampi kuin kirjekuori A.

4.3 Repäisyjuisuus

Repäisyjuusmittaukset suoritettiin Oy Lorenzen & Wettre Ab:n mittalaitteella, jonka malli on Elmendorf 09 ED tearing tester. Mittalaitteen käyttövalmisteluihin kuuluvat käytettävän heilurin valitseminen, revittävien näytteiden lukumäärän asettaminen ja laitteen nollaustarkistus. Mittalaitteessa on perusarvot valmiiksi asetettuna, mikäli sillä on työskennelty vain työohjeen mukaisesti ilman muutoksia. Kaikki kohdat tulee kuitenkin tarkistaa ennen mittausten aloittamista, jotta voidaan olla varmoja arvojen oikeellisuudesta. Parhaiten soveltuva tapa mitata repäisyjuuutta tällä mittalaitteella on seurata mittalaitteen käyttöohjetta ja suorittaa mittaustulos yleisimmän käytetyn tavan mukaisesti. [16.]

Ennen laitteen käyttöä valitaan heilurivalitsimesta se asento (1, 2, 3), joka vastaa käytössä olevaa heiluria. Tässä tapauksessa valitsin asetetaan asentoon kaksi (2), koska se vastaa laboratorion mittalaitteessa vakiona käytössä olevaa heiluria. Pöytälailla asetettavien ja yhtä aikaa revittävien näytteen lukumääräksi valitaan neljä. Mikäli mittalaitteesta on ollut virta katkaistuna, sille tulee suorittaa nollaustarkistus ennen testauksen aloittamista. Nollaustarkistus suoritetaan ilman revittäviä paperinäytteitä. Reset-painikkeen painaminen tuo näyttöön ”Calibr, zero reading” -tekstin, minkä jälkeen heiluri vapautetaan pend-painikkeella ilman kalibrointipainoa. Laite kertoo tuloksen, josta näkyvät pulssit, millimetrit ja asteet. Heiluri tulee vapauttaa kolme kertaa, ja laitteen antamat tulokset eivät saa poiketa toisistaan enempää, kuin 0,1 %, 1 millimetri ja 1 aste. Nollaustarkistus päätetään painamalla call-painiketta, joka tuo näyttöön tekstin ”1450 calibrated” tai muista arvoista riippuen lähes vastaavalla luvulla varustetun tekstin. [16.]

Laitteelle tehtyjen alkutoimien jälkeen päästään tekemään varsinaisia mittauksia, joita varten kirjekuorista leikattiin 50 x 60 millimetrin suuruisia suorakulmion muotoisia näytteitä molempiin kuitusuuntiin. Ensin mitataan toinen kuitusuunta, esimerkiksi konesuuntaiset näytteet. Neljä samansuuntaista näytettä asetetaan yhtä aikaa tasaisena nipuna mittalaitteen leukojen väliin siten, että kuitusuunta on repäisy-suuntaan. Clamp-painike sulkee leuat, minkä jälkeen näytteisiin tehdään alkuleikkaus painamalla veitsen vipu pohjaan asti. Heiluri vapautetaan pend-painikkeella, jolloin näytteet repeävät ja heilurieste vapautetaan takaisin paikalleen samalla painikkeella. Näytössä lukee mittauksen tulos, joka kertoo repäisyyljuuden mN:a ja poikkeaman koesarjassa toistaiseksi hyväksytyjen tulosten keskiarvosta. Nämä vaiheet toistetaan niin monta kertaa, kuin mittaus halutaan tehdä, eli etukäteen on hyvä suunnitella, kuinka monta mittaustulosta yhdestä kuitusuunnasta on tarpeellista tehdä. [16.]

Kun kaikki tarvittavat mittaukset yhteen kuitusuuntaan on tehty, hyväksytään viimeinen tulos yes-painikkeella. Tämän jälkeen painetaan no-painiketta, jotta mittalaite laskee hyväksytyistä tuloksista yhteenvedon. Mittalaite kertoo hyväksytyjen tulosten keskiarvon (mean) ja standardipoikkeaman (S). Yes-painiketta painamalla näyttöön saadaan vielä erikseen suurin ja pienin hyväksytyt tulokset. Mittaus päätetään painamalla yes-painiketta, minkä jälkeen voidaan aloittaa toisen kuitusuunnan mittaaminen. Toisen kuitusuunnan mittaaminen päästään aloittamaan laittamalla näytteet leukojen väliin, kun

mittalaite pyytää uuden mittauksen ensimmäistä näytettä, ja sen jälkeen toistetaan edellä mainitut kohdat. [16.]

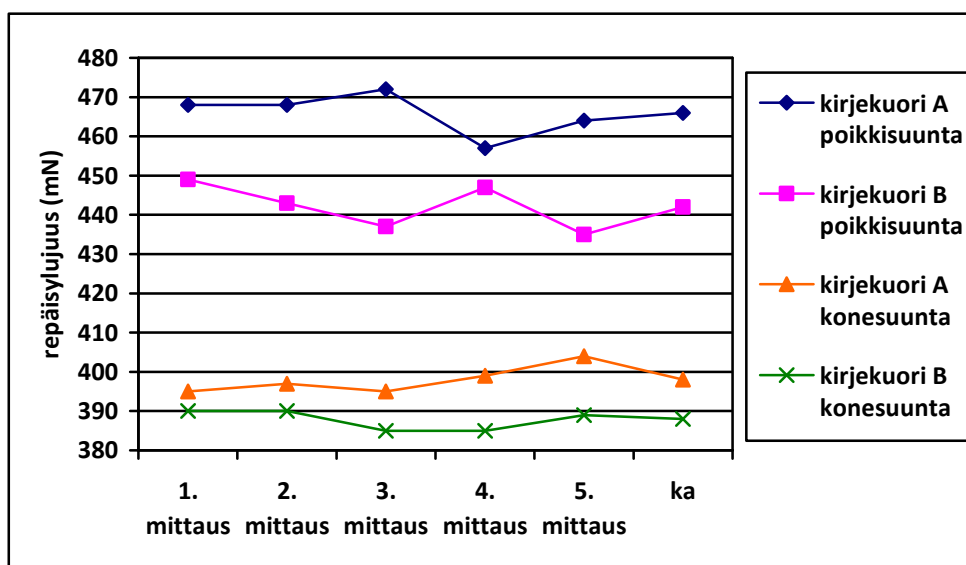
Kirjekuoripaperien repäisylujuutta testattiin molempiin kuitusuuntiin, ja kumpaankin suuntaan tehtiin viisi erillistä mittausta. Jokaisesta mittauksesta saatiin kymmenen mitaustulosta, joista mittalaite laski keskiarvon ja standardipoikkeaman. Lisäksi kirjattiin mittauksen minimi- ja maksimiarvot. Tulokset ovat nähtävissä insinööriyön liitteessä 3. Taulukosta 2 näkyvät viiden mittaussarjan keskiarvot ja näistä keskiarvoista lasketut keskiarvot.

Taulukko 2. Paperin repäisylujuusmittauksien keskiarvot.

Mittaus (mN)	Kirjekuori A konesuunta	Kirjekuori B konesuunta	Kirjekuori A poikkisuunta	Kirjekuori B poikkisuunta
1. mittaus	395	390	468	449
2. mittaus	397	390	468	443
3. mittaus	395	385	472	437
4. mittaus	399	385	457	447
5. mittaus	404	389	464	435
ka	398	388	466	442

Repäisylujuuden mittaustuloksien keskiarvoja tarkastelemalla voidaan huomata, että etukäteen selvitettyt kuitusuunnat pitävät edelleen paikkaansa. Repäisylujuus on suurempi poikkisuunnassa, kuten taulukosta voidaan havaita. Repäisylujuuden yksikkö on millinewton (mN), joka kuvaa repäisyyn tarvittavan voiman määrää. Konesuuntaisten mittaustuloksien ero on samankaltainen kaikkien mittauksien kohdalla: kaikkien mittauksien keskiarvoista lasketujen keskiarvojen (ka) perusteella eroa on noin 10 mN. Tässä suuruusluokassa se ei vaikuta merkittävästi, ja tuloksien voidaan tulkita olevan hyvin lähellä toisiaan. Poikkisuuntaisten näytteiden kaikista mittauksista lasketut keskiarvot (ka) eroavat toisistaan noin 20 mN, joka kuvaa tulosta kokonaisuudessaan hyvin. Kirjekuori A on myös tässä tapauksessa vahvempi molempiin kuitusuuntiin, mutta ero korostuu poikkisuuntaisten näytteiden kohdalla. Paperin poikkisuunta on lähes aina heikompi kuin konesuunta, ja tämä johtuu edelleen siitä, että kuidut asettuvat enimmäkseen ko-

nesuuntaan paperin valmistusvaiheessa. Poikkisuuntaisten näytteiden repäisyyn kuitenkin tarvitaan huomattavasti suurempi voima kuin konesuuntaisten näytteiden repäisyyn. Tämä johtuu siitä, että konesuuntaisia näytteitä revittäessä poikkisuuntaiset eli heikommät kuidut hajoavat. Poikkisuuntaisia näytteitä revittäessä täytyy saada katkaistua tai revittyä irti pitkät ja vahvat konesuuntaiset kuidut. Kirjekuori A:n kohdalla voidaan kuitenkin todeta, että sen poikkisuuntaiset näytteet ovat repäisyjuuusmittauksessa paljon vahvemmat kuin kirjekuori B:n. (Kuva 25.)



Kuva 25. Paperin repäisyjuuusominaisuudet.

4.4 Ilmanläpäisevyys

Ilmanläpäisevyyttä testattiin Oy Lorenzen & Wettre Ab:n Bendtsen tester SE 114 -mittalaitteella, jolla on mahdollista testata myös muita paperin ominaisuuksia. Ilmanläpäisevyyden mittausta varten tästä mittalaitteesta valitaan permeability-asento, jotta mittalaitteen arvot asettuvat oikein tätä mittausta varten ja kone tunnistaa oikean mittauspään, jota mittauksessa käytetään. Ennen mittausta laitteeseen tulee kytkeä virta ja odottaa noin 15 minuuttia, jotta laitteen elektroniikka saavuttaa normaalin käyttölämpötilan. Laitteen tulostimeen kytketään jännite painamalla online-painiketta, jolloin sen merkkivalo syttyy. Vasta tässä vaiheessa mittausilman valintaventtiili käännetään asentoon ”permeability”. Ilmanpaine tulee tarkistaa ennen mittauksien aloittamista, ja sen tulisi olla noin 1,42 kPa. Painamalla clear-painiketta yli kolme sekuntia saadaan poistettua muistissa olevat tulokset. Lisäksi ennen mittauksia laitteesta tulee valita 10 cm²:n mitta-

usalue painamalla permeability 10 cm² -painiketta. Mittausalueen valintakytkimen tulee yleensä olla asennossa 0–300 ml/min, mutta tässä mittauksessa näytteenä olevien kirjekuoripaperien kohdalla tämä asteikko ei riittänyt. Mittausta varten valintakytkin käännettiin asentoon 0–3000 ml/min. [17.]

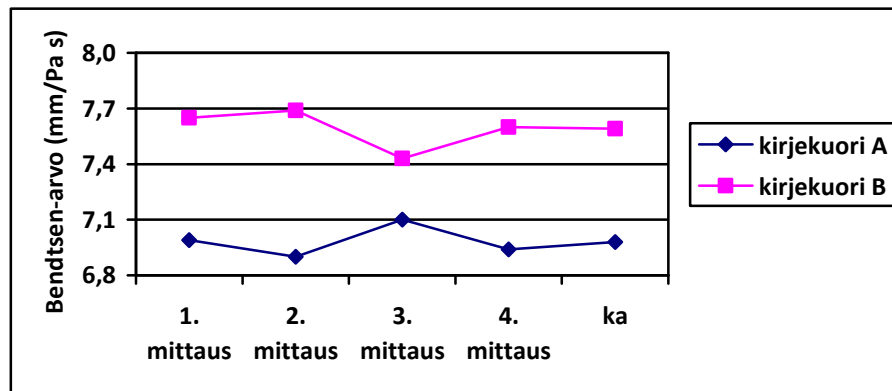
Varsinainen mittaus aloitetaan asettamalla paperinäyte mittapään ala- ja yläosan väliin. Mittapää suljetaan painamalla kahva alas, minkä jälkeen se pidetään suljettuna, kunnes mittalaitteen lukema asettuu vakaaksi. Tulos tallennetaan muistiin measure-painikkeella. Yksittäisen mittaustuloksen saa tulostettua paperille print-painikkeella, tai sen voi hylätä clear-painikkeella. Tämän jälkeen paperinäytettä siirretään hieman, jotta saadaan otettua lukema saman näytteen toisesta kohdasta. Paperinäytteen tulee olla riittävän suuri, jotta sitä voidaan mitata useasta kohdasta. Nämä vaiheet toistetaan niin monta kertaa, että saadaan tarvittava määrä mittaustuloksia. Kun mittaussarja on valmis, painetaan print report -painiketta, jolloin paperille tulostuvat hyväksytyjen mittausten lukumäärä, keskiarvo, standardipoikkeama, variaatiokerroin sekä minimi- ja maksimiarvot. Tulokset ilmoitetaan Bendtsen-arvona ml/min ja ilmanläpäisevyyslukuna $\mu\text{m}/(\text{Pa s})$. [17.]

Toisen kirjekuoripaperin ilmanläpäisevyyden mittaamiseksi mittalaitteesta pitää painaa clear-painiketta yli kolmen sekunnin ajan, jotta edellisen mittauksen tulokset poistuvat muistista. Tämän jälkeen toistetaan edellä mainittu mittaustapahtuma ja tulostetaan myös toisen paperilaadun tulokset paperille. Tarvittavien mittaustapahtumien jälkeen mittausilman valintaventtiili käännetään stand by -asentoon ja mittalaitteesta katkaistaan virta. Tässä tapauksessa molemmille kirjekuoripapereille tehtiin neljä kymmenen mittaustuloksen sarjaa. Tämän katsottiin riittävän ilmanläpäisevyyden selvittämiseksi ja kahden eri paperilaadun vertailemiseksi. [17.] Mittauksien keskiarvot näkyvät taulukosta 3 ja kaikki mittauksien tulokset insinööriyön liitteestä 4.

Taulukko 3. Paperin ilmanläpäisevyyssmittauksien keskiarvot.

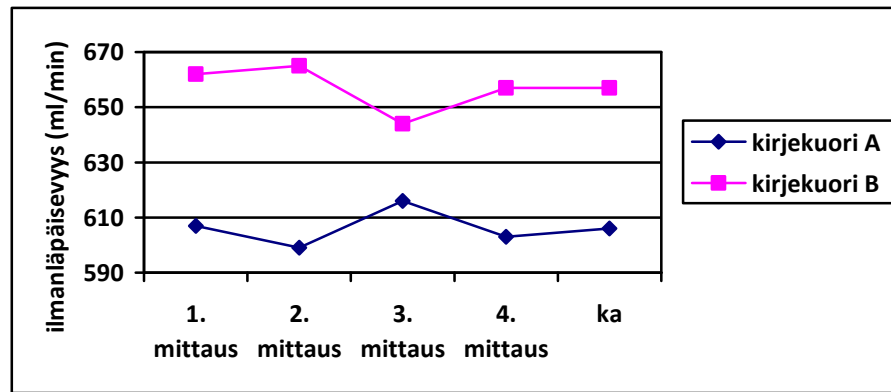
Mittaus	Kirjekuori A		Kirjekuori B	
	Bendtsen-arvo mm/Pa s	Ilmanläpäisevyys- luku ml/min	Bendtsen-arvo mm/Pa s	Ilmanläpäisevyys- luku ml/min
1. mittaus	6,99	607	7,65	662
2. mittaus	6,90	599	7,69	665
3. mittaus	7,10	616	7,43	644
4. mittaus	6,94	603	7,60	657
ka	6,98	606	7,59	657

Bendtsen-arvona esitetyn tuloksen yksikkö on mm/Pa s. Kirjekuori A:n ja kirjekuori B:n välisten mittausarvojen keskiarvojen (ka) ero on noin 0,60 mm/Pa s, mikä ei ole suuri, sillä mittaustuloksien ero on enimmilläänkin vain 0,79 mm/Pa s. (Kuva 26.)



Kuva 26. Paperin ilmanläpäisevyysominaisuudet Bendtsen-arvona (mm/Pa s).

Ilmanläpäisevyyssmittauksen tulokset esitetään myös ilmanläpäisevyyslukuna, jonka yksikkö on ml/min. Tällä tavalla esitettynä kaikista mittauksista lasketussa keskiarvossa (ka) kirjekuorien välinen ero on noin 50 ml/min, mikä ei tässä mitassa ole merkittävän suuri ero. (Kuva 27.)



Kuva 27. Paperin ilmanläpäisevyysominaisuudet ilmanläpäisevyyslukuna (ml/min).

Molemmilla tavoilla esitettynä kirjekuori B:n mittaustulokset ovat suuremmat ja kaikkien mittausten keskiarvoista laskettuja keskiarvoja (ka) tarkastelemalla päädytään samaan lopputulokseen. Ero ei ole merkittävän tuntuinen, kun lukuja tarkastelee niiden omassa mittasuhteissa. Kuitenkin on selvää, että kirjekuorien välisiä eroja voidaan analysoida tämän perusteella. Kirjekuori B:n mittauservat ovat kaikissa mittauksissa suuremmat, eikä kirjekuorien välillä ole ristiriitoja mittaustuloksissa. Tämän eron perusteella voidaan tulkita, että kirjekuori B läpäisee ilmaa enemmän kuin kirjekuori A. Näin ollen siis kirjekuori A on joko paksumpi tai muilta ominaisuuksiltaan tiiviimpi kuin kirjekuori B.

4.5 Karheus

Karheusmittaus suoritettiin kirjekuoripapereille samalla Oy Lorenzen & Wettre Ab:n valmistamalla mittalaitteella, jolla tehtiin myös ilmanläpäisevyysmittaus. Tässä Bendtsen tester SE 114 -mittalaitteessa on omat asetukset ja erilainen mittapää karheusmittausta varten. Mittalaitteelle tehtävät alkutoimet ovat muuten yhteneväiset ilmanläpäisevyysmittauksen kanssa, mutta mittauserin valintaventtiili käännetään tässä tapauksessa asentoon ”roughness”. Mittausalueen valintakytkin pidetään asennossa 300 ml/min, koska tässä tapauksessa pienempi asteikko riittää. Mittaus tehdään lasilevyn ja mittapään avulla, joiden väliin paperinäyte asetetaan. Nollaus suoritetaan painamalla clear-painiketta yli kolmen sekunnin ajan. Vasta tässä vaiheessa painetaan mittalaitteen roughness std -painiketta, minkä jälkeen tulee odottaa lukeman asettumista vakioksi. Tulos tallennetaan muistiin measure-painikkeella, ja tässäkin tapauksessa se voidaan

hylätä painamalla clear. Yksittäinen mittaustulos tulostetaan print-painikkeella, ja mitauspää siirretään sen jälkeen uuteen kohtaan näytteellä. [17.]

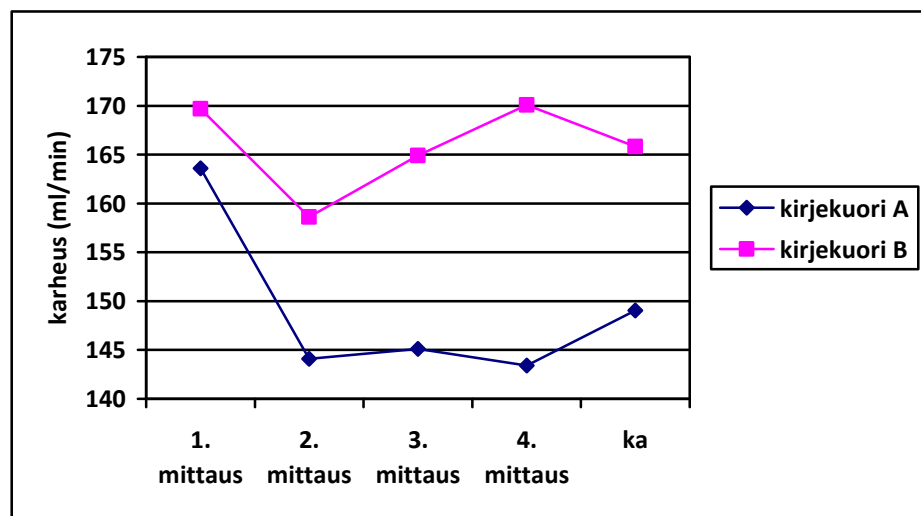
Kun tarvittava määrä mittauksia on tehty samalle paperilaadulle, painetaan print report, jolloin paperille tulostuvat hyväksytyjen mittausten lukumäärä, keskiarvo, standardipoikkeama, variaatiokerroin sekä maksimi- ja minimiarvot. Toiselle kirjekuoripaperille suoritetaan samanlainen mittaus, ja se voidaan aloittaa asettamalla näyte lasilevyn ja mittapään väliin sekä painamalla clear-painiketta yli kolme sekuntia edellisen mittauksen tuloksien poistamiseksi mittalaitteen muistista. Molemmille kirjekuoripapereille tehtiin sama määrä mittauksia, ja se oli yhteneväinen ilmanläpäisevyysmittauksen tuloksien määrän kanssa. Neljä kymmenen mittauksen sarjaa oli tässäkin tapauksessa riittävä määrä, jotta materiaaleja voidaan verrata keskenään ja hajonnan vaikutus saadaan myös näistä tuloksista poistettua. [17.] Taulukko mittaustuloksista on liitteessä 5, ja taulukosta 4 näkyvät mittauksien keskiarvot.

Taulukko 4. Paperin karheusmittauksien keskiarvot.

Mittaus	Kirjekuori A	Kirjekuori B
	ml/min	ml/min
1. mittaus	163,60	169,70
2. mittaus	144,10	158,60
3. mittaus	145,10	164,90
4. mittaus	143,40	170,10
ka	149,05	165,83

Karheusmittauksen yksikkö on ml/min, ja se kertoo, kuinka karhea paperi on. Karheuden vastakohta on luonnollisestikin sileys, ja yleisesti sillä on vaikutusta paperin painolaatuun. Tutkittavan ongelman kohdalla paperin karheus vaikuttaa kirjekuorien käsittävyyteen ja ajonaikaiseen toimivuuteen. Molempien kirjekuorien mittaustuloksien keskiarvoista yhteenlasketut keskiarvot (ka) antavat kirjekuorien väliseksi eroksi noin 15 ml/min. Tässä lukujen mitassa se vaikuttaa kohtalaiselta, mutta ei erityisen merkittävältä erolta. Lähemmässä tarkastelussa kuitenkin huomataan, että kirjekuori A:n ensimmäisen mittaussarjan keskiarvo on huomattavasti suurempi kuin muiden mittaussarjojen keskiarvot. Todennäköisesti syynä on inhimillisestä erehdyksestä johtuva mitta-

virhe tai paperikoneella paperiin sattumalta syntynyt epätasainen kohta. Mikäli molempien kirjekuorien mittaustuloksista poistetaan suurimmat arvot ja lasketaan mittauksien keskiarvoista uudet yhteenlasketut keskiarvot, tulee kirjekuorien väliseksi eroksi 20 ml/min. Tähän suuruusluokkaan verrattuna ero kasvaa merkittäväksi, ja siihen tulee kiinnittää huomiota, koska tämä saattaa olla yksi merkittävimmistä tekijöistä kirjekuorien välisissä eroissa. Mittaustulosten perusteella kirjekuori B:n materiaali on selvästi siilempi kuin kirjekuori A:n materiaali, joka puolestaan on siis karheampi. Paperilaadun karheus tuo mukanaan ongelmia, jotka ilmenevät kirjekuoria käsiteltäessä. Todennäköisesti kirjekuori A:n asettuminen tasaisesti vaakatasoon kuoriasemassa vaikeutuu karheuden vuoksi, koska kirjekuorien välillä on liikaa kitkaa. Näin ollen kirjekuoret ovat kiinni toisissaan, eivätkä pääse kaatumaan vapaasti, jolloin tasaisena linjana siirtyminen kuoriasemaan ei onnistu. Tästä johtuvat pykälät ja porrastuminen kirjekuorien kaatumisvaiheessa, jolloin ongelmia syntyy, kun kirjekuoret eivät asetu halutulla tavalla. Materiaalin karheus saattaa vaikeuttaa kirjekuoren kulkua myös muissa prosessin osissa, jolloin se jää jumiin ja kuorituskone pysähtyy. (Kuva 28.)



Kuva 28. Paperin karheusominaisuudet (alkuperäisen tuloksen mukaisesti).

5 Kuoritustestit

5.1 Kirjekuoriversiot

Projektin alkaessa tutkittiin ensin kirjekuorista visuaalisesti havaittavia eroja, jotta saatiin selville, kuinka paljon ne eroavat toisistaan ulkoisesti. Alustavasti havaittavia eroja olivat muun muassa läppäliiman leveys, sisään taitettujen sivuliimausläppien alareunan muoto, kirjekuoren aukaisua helpottavan perferoinnin muoto, sisusvärin sävy ja sulkijäläpän taitoksen kovuus. Lisäksi kuoritusoperaattorit olivat havainneet toimittaja A:n kirjekuoren olevan kokonaisuudessaankin hieman jäykemmän tuntuinen [5]. Käytännössä oli havaittu myös, että toimittaja A:n kirjekuori ”aaltoilee” pituussuunnassa eli se ei silmämääräisesti näytä olevan suora [18]. Kirjekuoret pakataan pahvilaatikoihin oletusarvoisesti robotilla, joten yksi tutkittavista asioista oli se, vaikuttaako tämä kirjekuoriin jotenkin. Esimerkiksi robotin kerralla ottamien ja laatikkoon laittamien kirjekuorien määrällä voi mahdollisesti olla yhteys kuorituskoneella esiintyvään vikatiheyteen [19].

Toimittaja A ja toimittaja B toimittivat alun perin kirjekuoret samanmallisissa, mutta erikokoisissa laatikoissa. Tähän kiinnitettiin huomiota, koska molemmissa laatikoissa oli kuitenkin sama määrä kirjekuoria eli tuhat kappaletta. Näin ollen toimittaja A:n pienempää laatikkoa varten kirjekuoret jouduttiin puristamaan tiiviimmin yhteen, jotta ne mahtuvat laatikkoon. Tällä saattaa mahdollisesti olla vaikutusta muun muassa siihen, että toimittaja A:n kirjekuoret näyttivät silmämääräisesti katsottuna käyriltä. Tämän muuttujan poistamiseksi toimittaja A toimitti kuoritustestejä varten tehdyt kirjekuorivariaatiot samankokoisissa laatikoissa, kuin toimittaja B:n kirjekuorissa on [19]. Toimenpide vähensi yhden eroavaisuuden kirjekuorien välillä, joten kuljetuslaatikon mittojen vaikutusta ei ollut tarvetta testata erikseen.

Toimittaja A:n kanssa sovittiin, että se toimittaa kirjekuorista erilaisia versioita ja niitä testataan suunnitellulla tavalla kuoritustesteissä. Kirjekuoren muuttujiksi valittiin sulkijäläpän liimamäärä (läppäliima), sisusvärin määrä (värimäärä), sulkijäläpän taitoksen kovuus (viikkaus), sivuliimausläppien malli (alareuna) ja pakkaustapa (pakkaus). Valitut muuttujat huomioiden kirjekuorista toimitettiin yritykselle kymmenen erilaista versiota, joista kahdeksan oli tarkoitettu varsinaisia testejä varten ja kaksi oli toimittajan

omia versioita samoilla muuttujilla. [1; 19.] Taulukosta 5 näkyvät kirjekuoren versio ja siinä käytetyt muuttujien arvot.

Taulukko 5. Testikirjekuorien muuttujat [19].

Versio	Läppäliima	Värimäärä	Viikkaus	Alareuna	Pakkaus
1	kapea	vähän	uusi	A	käsin
2	kapea	vähän	uusi	B	robotti
3	kapea	paljon	vakio	A	käsin
4	kapea	paljon	vakio	B	robotti
5	leveä	vähän	vakio	A	robotti
6	leveä	vähän	vakio	B	käsin
7	leveä	paljon	uusi	A	robotti
8	leveä	paljon	uusi	B	käsin
9	kapea	vähän	vakio	A	robotti
10	kapea	paljon	vakio	A	käsin

Kaikkien muuttujien kohdalla oli käytössä kaksi erilaista arvoa, jotka vaihtuvat kirjekuoren version mukaan. Taulukko on tehty koesuunnittelun periaatteiden mukaisesti, ja muuttujien arvojen vaihtelu on laskettu samalla tilastolaskentaohjelmalla, jonka avulla kuoritestit suunniteltiin kokonaisuudessaan. Muuttujien arvojen välistä eroa on tarkoituksellisesti kasvatettu (myös kuorituskoneen muuttujien kohdalla). Jos erot ovat hyvin pieniä, on mahdollista, että testeistä ei saada esiin selkeitä signaaleja, jotka kertovat eroista ja tuovat esiin eniten vaikuttavat muuttujat. Mikäli tulokseksi saadaan vain tasaista kohinaa, josta eri muuttujat eivät erotu selkeästi, ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä.

Läppäliiman kohdalla liimakerroksen paksuus pidettiin vakiona ja muuttujaksi otettiin liimaraidan leveys, joka on kapea tai leveä alkuperäisen kirjekuoren mukaisesti. Sisuvärimäärässä vaihtoehdoiksi otettiin vähän tai paljon väriä, jotka toteutettiin käyttämällä kahta erilaista väritelaa fleksopainoyksikössä. Sulkijäläpän taitteessa viikkaustapa pidettiin joko vakiona, kuten se oli ollutkin, tai tehtiin uuden tavan mukaisesti, jolloin taite tehtiin terävämmäksi vaihtamalla erilainen tela taittoyksikköön. Sisäänpäin kää-

tyvien sivuläppien, joihin takasivu liimataan kiinni, alareunan malli on toisessa vaihtoehdossa toimittaja A:n mallin mukainen (A) ja toisessa puolestaan toimittaja B:n mallin mukainen (B). Toimittaja A:n kirjekuorissa sivuläppän alareunassa on eräänlainen lisäläppä, jonka tehtävänä on tukea kirjekuoren alareunaa ja tasoittaa ylä- ja alareunan välistä paksuuseroa. Paksuusero johtuu sulkijäläpystä, jonka vuoksi kirjekuori on paksumpi yläreunasta. Lisäläppän avulla kirjekuoret saadaan pysymään pystysuorassa kuljetuslaatikossa, jolloin ne eivät pääse taipumaan. Tämä päätettiin ottaa yhdeksi testimuuttujaksi, koska lisäläpät saattavat mahdollisesti vaikuttaa kirjekuoren jäykkyyteen, jonka vuoksi se ei asetu kuorituskoneella tasaisesti kuoriasemaan. [19.]

Kaikki testimuuttujilla varustetut kirjekuoret pakattiin samanlaisiin laatikoihin, jotka olivat siis kooltaan toimittaja B:n toimittamien kirjekuorilaatikoiden kanssa yhdensuuruksia. Testimuuttujina tässä tapauksessa käytettiin pakkaustapaa, joka toteutettiin manuaalisesti, eli laatikot pakattiin käsin tai tavanomaisesti pakkausrobotilla. Testikuorituksien suorittamiseen osallistuneet operaattorit eivät tienneet etukäteen, mitkä muuttujien arvot eri kirjekuorivariaatiot sisälsivät. Näin kuoritustestit saatiin vietyä läpi ilman aikataulua hidastavia pohdintoja siitä, mitkä kirjekuoren ominaisuudet vaikuttavat kuoritusprosessiin positiivisesti tai negatiivisesti.

5.2 Kuorituskoneen asetukset

Kuorituskoneelle määritellään ennen työn aloittamista ohjelma, joka ohjaa kuorituskoneen toimintaa. Tämän ohjelman perusteella kuorituskone suorittaa halutut toiminnot kuoritusprosessin aikana. Kuorituskoneelle on asetettu etukäteen useita ohjelmia, joista valitaan ominaisuuksien perusteella työlle sopiva vaihtoehto. Lisäksi työn tietojen perusteella määritetään liiteasemien käyttö prosessin aikana: tarvitaanko niitä ollenkaan vai onko kaikki tai vain jokin liiteasema käytössä. Paperirataa leikkaavien leikkurien pituudet ja leveydet tulee myös hienosäätää kohdilleen, jotta arkeista tulee oikean kokoisia pituus- ja leveysuunnassa. [5.]

Kuoritustestejä varten prosessi pelkistettiin mahdollisimman pitkälle ja käyttöön valittiin yksinkertainen ohjelma. Näin saatiin poistettua ylimääräiset häiriötekijät, kuten liitteiden lisäämisen ja kääntöoperaatioiden vaikutus prosessiin. Kun liitteitä ei lisätä, ei arkkia myöskään tarvitse kääntää ympäri kertaakaan. Valittu ohjelma ohjaa arkit yksi-

tellen prosessin läpi, jolloin jokaiseen kirjekuoreen lisätään vain yksi taitettu arkkki. Näin saatiin vakioitua arkkien määrä jokaista kirjekuorta kohden, jotta arkkien määrällä ei olisi vaikutusta prosessin toimivuuteen ja olosuhteet olisivat mahdollisimman vakiot ja yksinkertaiset kuoritustestien ajan.

Kuoritusprosessin muuttujiksi testejä varten valittiin kuoritusaseman valosilmä, kynnet 1–4, etulevyn korkeus, kuoriaseman pituus ja kirjekuorien syöttökulma. Nämä ovat oleelliset tekijät, jotka vaikuttavat kuoriaseman toimivuuteen, ja niitä voidaan säätää manuaalisesti. [1; 18.] Muuttujien arvoiksi asetettiin tarkoituksellisesti kaksi ääriarvoa, jotka poikkeavat toisistaan huomattavasti, jotta yksittäisten tekijöiden vaikutus saataisiin selvitettyä tarkasti. Jokaista testiajota varten muuttujien asetukset vaihdettiin testitaulukon mukaisesti (taulukko 6). Tämän tarkoituksena oli saada tietoa asetusten vaikutuksesta prosessiin ja löytää mahdolliset ongelmakohdat sekä mahdollisimman hyvin toimivat asetukset.

5.3 Kuoritustestien ensimmäinen osa

Kuoritustestit suunniteltiin toteutettavaksi kahdessa osassa, joista ensimmäisessä testattiin sekä kirjekuoren että kuorituskoneen muuttujia. Testiä varten tehtiin tilastolaskentaohjelmalla testisuunnitelman mukainen matriisitaulukko (taulukko 6), josta voitiin seurata jokaisella testikerralla käytössä olevia muuttujien arvoja. Tarkoituksena oli selvittää, mitkä muuttujat vaikuttavat oleellisesti kuoritusprosessiin. Taulukosta 6 nähdään kuorituskoneen muuttujien arvot jokaisella testikerralla sekä testissä käytetyn kirjekuoriversion numero. Kirjekuoriversion numeron perusteella voidaan katsoa kirjekuoren muuttujien arvot luvusta 5.1 Kirjekuorivariaatiot.

Taulukko 6. Kuoritustestin matriisitaulukko [1].

Testi- ajo	Valo- silmä	Kynsi 1	Kynsi 2	Kynsi 3	Kynsi 4	Etulevyn korkeus	Kuoriaseman pituus	Syöttö- kulma	Kuori versio
1	5	2	4	4	2	-3	2	alas	1
2	-5	4	2	2	4	3	0	ylös	1
3	-5	4	2	4	4	-3	2	alas	6
4	-5	4	4	2	2	3	2	alas	5
5	5	4	2	2	2	-3	2	ylös	8
6	-5	2	2	2	2	-3	0	alas	7
7	-5	2	4	2	4	-3	2	ylös	3
8	5	2	4	2	2	3	0	ylös	6
9	-5	2	4	4	4	3	0	alas	8
10	-5	2	2	4	2	3	2	ylös	4
11	5	2	2	2	4	3	2	alas	2
12	5	2	2	4	4	-3	0	ylös	5
13	-5	4	4	4	2	-3	0	ylös	2
14	5	4	4	2	4	-3	0	alas	4
15	5	4	2	4	2	3	0	alas	3
16	5	4	4	4	4	3	2	ylös	7

Testiajoja suoritettiin 16. Tämä määrä saatiin testien minimimääräksi koetta suunniteltaessa. Jokaisella testikerralla kuorituskoneen ja kirjekuoren muuttujien yhdistelmä on erilainen, jotta kuoritustestin aikana saatiin testattua mahdollisimman monen muuttujan yhteisvaikutus. Ensimmäistä kuoritustestiä varten tarvittiin kahdeksan erilaista kirjekuoriversiota, kuten taulukosta voidaan havaita, ja jokaista käytettiin kahdessa testiajossa. Tämä määrä oli myös realistinen toteuttaa yhteistyössä toimittaja A:n kanssa, kustannukset saatiin pidettyä kurissa ja molemmat kuoritustestit voitiin suorittaa yhden päivän aikana.

Testiajot suoritettiin yksi kerrallaan, ja kuorituskone säädettiin ensin ajokerralle asetettujen muuttujien vaatimusten mukaiseksi, minkä jälkeen ajossa käytettävät kirjekuoret asetettiin paikalleen kuoritusvalmiuteen. Testi suoritettiin siten, että jokaisesta testiajosta mitattiin kaksi kertaa MTTF (Mean Time To Failure) eli keskimääräinen vikaantumistiheys, joka tarkoittaa aikaa koneen käynnistämisestä ensimmäiseen vikaantumiseen asti [20]. MTTF mitattiin ottamalla aikaa kuorituskoneen käynnistyshetkestä ensimmäiseen pysähdykseen asti, ja tämä toistettiin kaksi kertaa yhdelle testiajolle. Tulokset kirjattiin taulukkoon, josta ne voidaan helposti siirtää analysoitavaksi.

Ensimmäinen kuoritustesti oli aikaa vievä, koska muuttujia oli paljon ja kaikkia piti jatkuvasti säätää testiajoa vastaaviksi. Kuitenkin jo kuoritustestin aikana huomattiin, että erilaisilla yhdistelmillä on eroa. Joillakin testiajoilla keskimääräinen vikaantumistiheys oli huomattavasti pidempi kuin toisilla. Tästä ei kuitenkaan voinut tehdä vielä tarkempia johtopäätöksiä, sillä tarkoituksena oli löytää ne tekijät, jotka vaikuttavat eniten kuoritusprosessin ongelmiin. Kuoritustesti sujui kokonaisuudessaan hyvin. Inhimillisen virheen mahdollisuus on kuitenkin aina olemassa asetuksia muutettaessa, kirjekuoria laitettaessa ja aikaa mitattaessa, mutta nämä tekijät olivat olemassa kaikissa testiajoissa. Kuoritustestin tuloksia analysoitaessa tekijät otettiin huomioon ja tulokset on esitetty myöhemmin keskiarvoja painottaen.

5.4 Kuoritustestien toinen osa

Kuoritustestien toisessa osassa kuorituskoneen muuttujat säädettiin optimiasentoihin, joilla kuorituskoneen on havaittu toimivan parhaiten tähän asti. Nämä asetukset pyritään pitämään jokapäiväisessä tuotantokäytössä, jotta kuoritusprosessi saataisiin vakioitua. Tämä ei kuitenkaan toteudu käytännössä halutulla tavalla, sillä erilaisten ongelmien vuoksi asetuksia joudutaan säätämään kuoritustöiden aikana. [18.] Kuoritustestien ensimmäisen osan avulla pyrittiin löytämään ratkaisu myös tähän ongelmaan selvittämällä eniten ongelmia aiheuttavat tekijät. Kuoritustestien toinen osa perustui kuitenkin kuorituskoneen muuttujien optimiasentojen säilyttämiseen vakiona ja eri kirjekuoriversioiden toimivuuden selvittämiseen. Kuoritustestien toisessa osassa oli käytössä kaikki kymmenen kirjekuoriversiota.

Myös kuoritustestien toisessa osassa saatiin tulokset mittaamalla prosessista MTTF, joka tässä tapauksessa mitattiin kolme kertaa yhdelle kirjekuoriversiolle. Kuorituskoneen muuttujien pysyessä vakiona koneeseen asetettiin kaikki kymmenen kirjekuoriversiota vuorotellen kuoritusvalmiuteen ja mitattiin kolme kertaa aika koneen käynnistämisestä ensimmäiseen pysähdykseen asti. Luonnollisesti eroavaisuuksia voitiin havaita myös tällä testitavalla, mutta keskimääräinen vikaantumistiheys oli huomattavasti pidempi kaikilla testiajoilla kuin kuoritustestin ensimmäisessä osassa. Tämä johtuu siitä, että muuttujien määrä oli tässä tapauksessa puolet pienempi, koska kuorituskoneen muuttujat pidettiin vakiona. Testin toisen osan tarkoituksena oli saada tietoa kirjekuoren muuttujien vaikutuksesta prosessiin, ja siihen tämä testitapa sopi erinomaisesti. Testin aikana

päästiin kuorittamaan pidempiä aikoja kerralla, koska kuorituskoneen muuttujat eivät vaikuttaneet negatiivisesti prosessiin.

Pidempien testiajojen myötä saatiin tarkempaa tietoa kirjekuoren muuttujien keskinäisistä vaikutuksista ja kirjekuoriversioiden toimivuudesta. Tämän perusteella päästiin analysoimaan kirjekuorien muuttujien vaikutus kuoritusprosessin toimintaan ja voitiin tehdä johtopäätöksiä parhaiten toimivista ominaisuuksista ja yhdistelmistä. Tarkoituksena oli löytää parhaiten kuoritusprosessissa toimiva yhdistelmä testatuista kirjekuoren muuttujista, ja tässä onnistuttiin, koska löydettiin ne ominaisuudet, jotka antavat yhdessä parhaan lopputuloksen.

5.5 Kuoritustestien tulokset

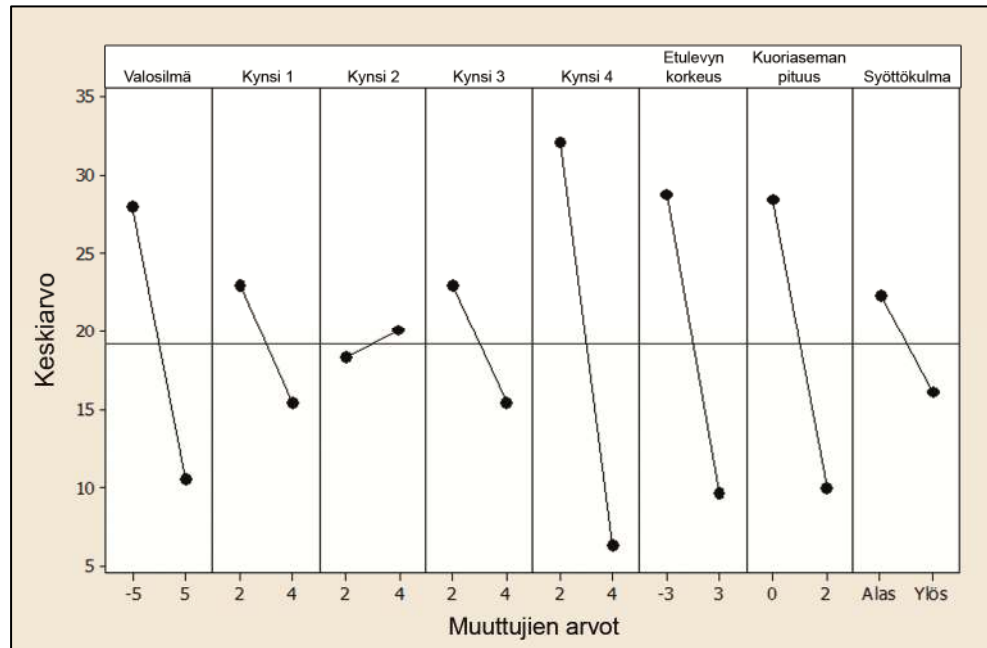
Kuoritustestien tulokset eivät olleet suoraan nähtävissä molempien testien taulukoista, joissa olivat kirjattuna kaikista testiajoista mitatut MTTF-ajat. Joitakin arvioita voitiin esittää kuoritustestien toisen osan tuloksien perusteella, mutta tarkoituksena oli selvittää tarkasti muuttujien keskinäisiä vaikutuksia, joten tulokset tuli analysoida koesuunnittelun periaatteiden mukaisesti. Testitaulukot siirrettiin analysoitavaksi tilastolaskentaohjelmaan, jonka avulla testimuuttujien vaikutukset saatiin tarkasteltua yksityiskohtaisesti. Muuttujat analysoitiin yksitellen ja yhdessä, jolloin niiden vaikutuksia voitiin tarkastella monella tavalla. Kuorituskoneen ja kirjekuoren muuttujien yhteisvaikutukset tutkittiin myös hyvin perusteellisesti, jotta tulokset olisivat mahdollisimman todenmukaisia. Lopputuloksena näiden analyysien tuloksista tehtiin kuvaajat, joissa tulokset esitetään keskiarvojen perusteella.

Kuorituskoneen muuttujat

Kuorituskoneen muuttujia oli kahdeksan, ja niistä keskiarvojen perusteella noin puolella on huomattava vaikutus kuorituskoneen toimintaan. Myös muut neljä voidaan tulkita siten, että toinen muuttujan arvoista on hieman parempi kuin toinen, mutta niillä ei ole yhtä merkittävää vaikutusta kokonaisuuteen. Valosilmä, etulevyn korkeus ja kuoriaseman pituus vaikuttavat saman verran kuoritusprosessin toimivuuteen. Valosilmän asento -5 on selvästi parempi kuin asento 5. Valosilmän ollessa alempana se reagoi kuorien vähenemiseen kuoriasemassa nopeammin kuin ylempänä ollessaan, jolloin se liikuttaa

kirjekuoria liukuhihnalla eteenpäin prosessin etenemisen kannalta sujuvammin. Etulevyn korkeus alempana asennossa -3 on parempi kuin ylempänä asennossa 3, koska alempana se vaikuttaa kirjekuoren kulkuun halutulla tavalla. Ylempänä ollessaan etulevy ei tue kirjekuoria ja niiden eteenpäin siirtymistä vaaditulla tavalla. Kuoriaseman pituus on kirjekuorelle sopivampi asennossa 0, jolloin kirjekuori asettuu paikalleen kuten pitääkin. Asennossa 2 kuoriasema olisi liian väljä ja kirjekuori mahdollisesti liikkuisi virheelliseen asentoon, mikä vaikeuttaa prosessin toimivuutta. (Kuva 29.)

Suurin ero muuttujan arvojen välillä on kynsi 4:llä, jonka asento 2 on huomattavasti parempi kuin asento 4. Näin suurella erolla on todellinen vaikutus kuoriaseman toimintaan, ja tämän tekijän vaikutus on huomioitava jatkossa tarkasti. Kynsi 4 sijaitsee kuoriaseman toisessa ulkoreunassa, joten sen asento vaikuttaa kirjekuoren reunan kulkuun. Asento 2 antaa kirjekuorelle mahdollisuuden asettua tasaisesti oikeaan kohtaan naukkareita ja eteenpäin siirtymistä varten, kun taas kynnen ollessa asennossa 4 kirjekuoren reuna ei asetu halutulla tavalla ja prosessin sujuva eteneminen ei ole mahdollista. Vähemmän kokonaisuuteen vaikuttavat muuttujat löytyvät myös kuvaajasta, ja ne ovat kynsi 1, kynsi 2, kynsi 3 ja kirjekuorien syöttökulma. Kynnet 1 ja 2 edistävät prosessin toimintaa parhaiten asennossa 2, ja myös niiden kohdalla asento 4 on huonompi vaihtoehto, vaikka ero ei ole yhtä suuri kuin kynsi 4:n kohdalla. Kynsi 2 on toinen keskimmäisistä kynsistä, ja sen asennolla ei ole erityistä merkitystä. Asento 4 on hieman parempi kuin asento 2, mikä todennäköisesti johtuu prosessissa olevien naukkareiden toiminnasta. Kirjekuorien syöttökulma eli liukuhihnan kaltevuus on parempi normaalissa asennossa eli vaakatasossa. Toinen vaihtoehto on nostaa liukuhihna ylös, jolloin kirjekuoret kulkevat kuoriasemaan yläviistosta. Tämä ei kuitenkaan osoittautunut paremmaksi vaihtoehdoksi testien perusteella. (Kuva 29.)

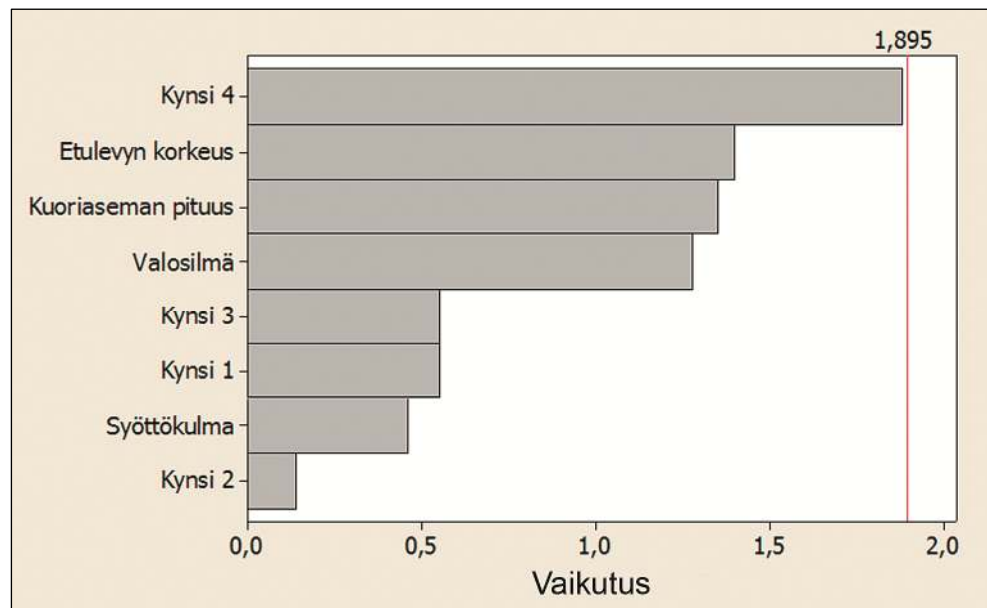


Kuva 29. Kuorituskoneen muuttujien vaikutus prosessiin.

Kuvassa 29 keskiarvon yksikkö on numeroarvo, joka saadaan vertaamalla absoluuttista standardoitua arvoa alfa-virheen avulla laskettuun referenssiarvoon. Kuoritustestien tulosten ja niistä analysoitujen muuttujien vaikutuksen perusteella tehtiin lisäksi Pareton periaatteella taulukko ja kuvaaja, joiden tarkoituksena oli selvittää toisenlaisen analyysin avulla, kuinka muuttujien vaikutukset prosessiin jakautuvat. Pareton periaatteen mukaisesti 80 % seurauksista johtuu 20 %:sta syistä. Lukujen suhde kuitenkin on harvoin tasan 80/20, ja se voi vaihdella. Tarkoituksena on kuitenkin löytää ne tekijät, jotka vaikuttavat eniten prosessissa esiintyviin vikoihin. [20.] Tämä analyysimenetelmä antoi tulokseksi kaavion, joka on yhteneväinen aikaisempien tulosten kanssa. (Kuva 30.)

Eniten vaikuttava muuttuja on edelleen kynsi 4, joka erottuu muista myös tässä kaaviossa. Ero ei kuitenkaan ole niin suuri muihin verrattuna, että kyseessä olisi yksi yksittäinen tekijä, josta 80 % prosessin ongelmista johtuisi. Edelleen etulevyn korkeus, kuoriaseman pituus ja valosilmä ovat kynsi 4:n jälkeen seuraavaksi eniten vaikuttavia tekijöitä. Nämä kolme muuttujaa vaikuttavat kuitenkin niin paljon, että kynsi 4 ei eroa niistä merkittävästi. Kynsi 4:n suuruusluokasta noin neljäsosan ovat kynsi 1, kynsi 3 ja syöttökulma. Kynsi 2 on näitäkin vähäisempi tekijä analyysin mukaan. Kaaviosta on selkeästi havaittavissa jako kahteen ryhmään tekijöiden merkittävyyden perusteella, koska

sieltä löytyy ryhmä eniten vaikuttavia tekijöitä ja toinen ryhmä vähemmän vaikuttavia tekijöitä. Tämän kahtiajaon tuovat todennäköisesti esille muuttujien keskinäiset vaikutukset, joita tutkimalla saadaan analysoitua eniten vaikuttavat tekijät. Mikäli muuttujien erot eivät korostuisi niiden keskinäisten vaikutusten vuoksi, pitäisi esimerkiksi kynsi 4:n todennäköisesti olla samassa joukossa muiden kynsien (1, 2 ja 3) kanssa ja sen pitäisi olla vaikuttavuudeltaan samalla tasolla niiden kanssa.



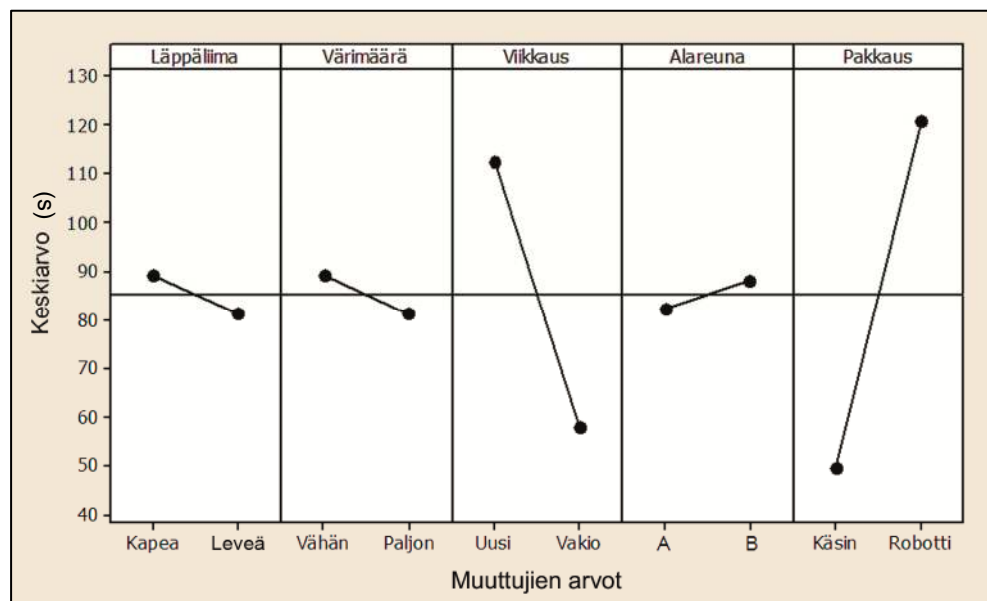
Kuva 30. Kuorituskoneen muuttujien vaikutus Pareton periaatteella.

Kirjekuoren muuttujat

Kirjekuorissa oli viisi muuttujaa, ja ne valittiin kirjekuorien erojen perusteella. Toimittaja A välitti erilaisilla muuttujien yhdistelmillä valmistettuja kirjekuoria, joiden toimivuutta testattiin kuoritusasteissa. Myös kirjekuorien muuttujien vaikutukset kuoritusprosessiin analysoitiin perinpohjaisesti tilastolaskentaohjelmalla. Selkein esitystapa tässäkin tapauksessa oli kaavio, joka näyttää tulokset keskiarvojen mukaan. Kaksi viidestä muuttujasta antoi selkeän tuloksen siitä, kumpi muuttujan arvoista on parempi prosessin kannalta. Viikkaus on kuoritusprosessin kannalta huomattavasti parempi uudella kuin vanhalla tavalla, eli kirjekuoren sulkijäläpän taitos toimii paremmin terävemmän viikkauksen kanssa. Pakkaustavan vaikutusta analysoitiin jo aiemmin, ja keskustelua syntyi robotin puristusvoiman vaikutuksesta kirjekuorien suoruuteen, sillä toimittaja A:n kirje-

kuoret näyttivät hieman aaltoilevan pituussuunnassa. Tulokset kuitenkin osoittavat, että kirjekuorien pakkaustapana robotin käyttö on selvästi parempi lopputuloksen kannalta kuin kirjekuorien pakkaaminen manuaalisesti laatikoihin. Todennäköisesti kirjekuorikoneella prosessi pysyy optimaalisena loppuun asti, kun myös pakkaus tehdään koneellisesti.

Muita muuttujia ovat läppäliima, värimäärä ja alareunan muoto, jotka kaikki olivat hyvin tasaisia eivätkä todennäköisesti vaikuta kokonaisuuteen merkittävästi. Läppäliimassa parempi vaihtoehto on kapea liimaraita, jolla kirjekuori saadaan suljettua tulosten mukaan jopa hieman paremmin kuin leveällä liimaraidalla. Värimäärässä vähemmän väriä on parempi, sillä suuri värimäärä saattaa aiheuttaa muutoksia kirjekuoripaperin ja siten myös valmiin kirjekuoren olomuodossa. Kirjekuori saattaa esimerkiksi aalloilla tai venyä, jolloin se aiheuttaa ongelmia kuoritusprosessissa. Alareunan muoto on parempi toimittaja B:n kirjekuorien mukaisena, eli siinä ei ole alareunaa tukevia lisäpaloja sivuläppien alaosassa. Lisäpalojen tarkoitus oli tasata kirjekuoren ylä- ja alareunan välistä eroa, sillä yläreuna on hieman leveämpi sulkijäläpän vuoksi. Kirjekuoren paksuuden tasaaminen vaikuttaa hyvältä, mutta tulosten mukaan se aiheuttaa ongelmia kuoritusprosessissa. Lisäksi se saattaa vaikuttaa kirjekuorien aaltoilevaan profiiliin jo pakkausvaiheessa ja kirjekuorien ollessa kuljetuslaatikossa. (Kuva 31.)



Kuva 31. Kirjekuorien muuttujien vaikutus prosessiin.

Jokaisesta viidestä muuttujasta oli nähtävissä, että toinen muuttujan arvoista oli prosessin kannalta parempi, vaikka kaikilla ei yhtä laajamittaista vaikutusta kokonaisuuteen todennäköisesti olekaan. Kirjekuorien muuttujia tarkasteltiin kriittisesti ja pohdittiin, kuinka herkästi vähäisimmätkin vaikutukset aiheuttavat ongelmia prosessissa. Lopulta päädyttiin siihen tulokseen, että jatkossa yritykselle toimitettavat kirjekuoret valmistetaan kaikkien muuttujien paremman arvon mukaisesti. Näin ollen toimittaja A toimittaa yritykselle jatkossa kirjekuoria, joissa on kapea liimaraita, vähemmän sisusväriä, uusi terävämpi viikkaus, sivuläppien alareunassa ei ole lisätukia ja pakkaustapana on käytetty normaalin tavan mukaisesti pakkausrobotia. Uudella tavalla valmistetut kirjekuoret otettiin heti käyttöön, ja niiden toimivuutta ryhdyttiin seuraamaan mittaamalla kuoritusprosessin reprint-prosentteja, kuten lähtötilanteessakin tehtiin.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä olivat tarkastelun kohteena standardin mukaiset C5-kokoiset isoikkunakirjekuoret, joita käytetään yrityksessä yhteensä noin 30 miljoonaa kappaletta vuodessa. Kirjekuoret valmistetaan paperirullasta valmiiksi kirjekuoriksi yhden prosessin aikana. Kirjekuoren valmistusprosessissa paperirataan leikataan aluksi aukko ikkunalle ja liimataan ikkunakalvo kiinni, paperiradan reunat leikataan kirjekuoren muotoon rotaatioleikkurilla ja sivuläpät taitetaan kiinni, minkä jälkeen niihin levitetään liima. Sivuläppien liimauksen jälkeen paperirata leikataan kirjekuoren pituuteen ja takaosa taitetaan kiinni sivuläppiin. Lopuksi kirjekuoriin levitetään sulkijäläpän liima ja ne kulkevat kuivatusuunin läpi ennen laatikoihin pakkaamista ja varastointia.

Kirjekuoria käytetään yrityksessä Kern 3500 -kuorituskoneilla, joilla laitetaan kirjekuoriin rullapaperille painettuja dokumentteja. Kuorituskone on malliltaan lineaarinen, jotta kuoritusprosessi on mahdollisimman suora ja tehokas. Kuorituskone on suunniteltu käyttäjäystävälliseksi kaikilta osin, ja sen ohjaaminen on helppoa suuren kosketusnäytön avulla. Kuoritusprosessi alkaa paperiradan syöttämisestä kuorituskoneelle ja radan leikkaamisesta pituussuunnassa kahdeksi eri linjaksi. Molemmista linjoista leikataan vuorotellen A4-kokoisia arkkeja, jotka kerätään asiakaskohtaisesti päällekkäin, mikäli yhteen kirjekuoreen tulee enemmän kuin yksi arkki. Arkit taitetaan puoliksi taskutaittoperiaatteella, ja tarvittaessa niiden päälle lisätään taiton jälkeen liitteitä. Kirjekuoret asettuvat liukuhihnalta kuoriasemaan, jossa naukkarit avaavat kirjekuoren läpän ja siir-

tävät sen eteenpäin kuoriasemassa. Arkit kuljetetaan tappien avulla kuoritaskun ympärille siirtyneen kirjekuoren sisään, minkä jälkeen kirjekuoret käännetään sulkemista varten. Läppäliiman kastelun ja kirjekuoren sulkemisen jälkeen kirjekuoret luetaan tietokantaan ja ne kulkevat luovutukseen, josta ne kerätään manuaalisesti laatikoihin.

Insinööriyön kohteena olevat kirjekuoret ostetaan kahdelta eri toimittajalta. Molempien toimittajien toimittamat kirjekuoret on valmistettu puuvapaasta päällystämättömästä paperilajista, jonka parhaita ominaisuuksia ovat lujuus, vaaleus, arkistointikelpoisuus ja pinnan karheus. Puuvapaat paperilajit valmistetaan kemiallisesta massasta eli sellusta, jonka keittäminen tapahtuu sulfaattimenetelmällä. Paperi voidaan valmistaa käyttötarkoituksen mukaan joko havu- tai lehtipuusta. Lujuutta vaativissa paperilajeissa käytetään raaka-aineena pitkäkuituisempaa havupuuta ja tasaista formaatiota sekä hyvää opasiteettia vaativissa paperilajeissa lyhytkuituisempaa lehtipuuta. Paperin ominaisuuksia voidaan muokata halutulla tavalla lisäämällä paperimassaan erilaisia täyteaineita. Täyteainelisäys säästää myös kustannuksia, sillä täyteaineiden lisääminen on halvempaa kuin puuraaka-aineen lisäys. Paperin valmistusprosessissa käytetään lisäksi paperin laatuun ja valmistusprosessin toimivuuteen vaikuttavia apuaineita, kuten esimerkiksi kuiva- tai märkälujaliimoja. Paperin kuidut ovat lähes poikkeuksetta suuntautuneet enemmän kone- kuin poikkisuuntaan, jolloin paperin ominaisuudet ovat erilaiset molempiin suuntiin. Lisäksi myös paperin ylä- ja alapuolen välillä on eroja, jotka johtuvat paperin valmistusprosessista. Paperin valmistusvaiheessa vaikutetaan sen ominaisuuksiin, joita ovat muun muassa formaatio, tiheys, bulkki ja huokoisuus. Paperin ajettavuusominaisuuksiin vaikuttavat paperin materiaalitekniset ominaisuudet, joita ovat esimerkiksi vetolujuus, repäisylujuus, jäykkyys, pinalujuus, venymä ja käyristyminen. Paperin varastointi- ja kuljetusolosuhteiden tulisi pysyä vakiona, jotta paperi ei altistu kosteusvaihteiluille. Paperin mittapysyvyys ja muut ominaisuudet heikkenevät, mikäli paperin kuidut turpoavat ja kutistuvat vuorotellen olosuhdemuutosten vuoksi.

Yrityksen kuoritusprosessissa esiintyvää kuoritusprosessin toimivuuteen vaikuttavaa ongelmaa tarkasteltiin projektin aikana monesta eri näkökulmasta ja sitä analysoitiin monella tavalla. Eniten kuoritusprosessin toimintaan vaikuttavat kirjekuori ja kuorituskone. Nämä kaksi tekijää kuitenkin sisältävät useita muuttujia, joiden vaikutukset oli selvitettävä erikseen. Lisäksi näiden muuttujien yhteisvaikutuksiin tuli kiinnittää huo-

miota. Kirjekuorien kohdalla ongelma ilmeni lähinnä toimittaja A:n kirjekuorien kohdalla, joten niitä voitiin verrata toimittaja B:n toimittamiin kirjekuoriin. Tämän perusteella valittiin kirjekuoren muuttujat, jotka perustuvat näiden kahden kirjekuoren väliin eroihin. Kuorituskoneen muuttujiksi puolestaan valittiin osat, joiden säätäminen vaikuttaa kirjekuoren kulkuun kuoriasemassa, jossa suurin osa ongelmista esiintyy. Näiden muuttujien vaikutuksia testattiin kahteen osaan jaetussa kuoritus-testissä, joka perustui monimuuttujakokeeseen. Tämän koesuunnitteluun perustuvan kokeen avulla voidaan testata muuttujien yhteisvaikutuksia. Kuoritus-testejä varten kirjekuorista tehtiin erilaisia versioita, jotka sisälsivät valitut muuttujat erilaisina yhdistelminä.

Kaikilla kuoritus-testin muuttujilla oli kaksi toisistaan poikkeavaa arvoa, joita testattiin suunnitelman mukaisesti useilla yhdistelmillä. Kuoritus-testien tulosten perusteella voitiin analysoida, kumpi muuttujien arvoista antaa paremman lopputuloksen, ja samalla saatiin esille eniten prosessiin vaikuttavat tekijät. Kirjekuorien materiaaleihin kiinnitettiin myös huomiota, ja niiden eroja päätettiin tutkia materiaalitestien avulla. Materiaalitestissä kiinnitettiin huomiota paperin käsittelyyn ja ajettavuuteen vaikuttaviin ominaisuuksiin. Testattaviksi ominaisuuksiksi valittiin vetolujuus, repäisyjujuus, ilmanläpäisevyys ja karheus. Materiaalitestien perusteella voidaan todeta, että lujuudeltaan kirjekuori A on vahvempi kuin kirjekuori B. Kirjekuori B:n materiaali on kuitenkin joustavampi, koska sen poikkisuuntainen venymäprosentti ja murtotyö ovat suurempia kuin kirjekuori A:lla. Konesuunnassa näillä kahdella ei ole huomattavaa eroa. Repäisyjujuudeltaan kirjekuori A on myös vahvempi, mutta konesuunnassa kirjekuorien välillä ei ole yhtä paljon eroa kuin poikkisuunnassa. Kirjekuori B läpäisee ilmaa enemmän kuin kirjekuori A, joten kirjekuori A on joko paksumpi tai muilta ominaisuuksiltaan tiiviimpi kuin kirjekuori B. Karheusmittauksen tuloksia jouduttiin tarkastelemaan syvällisemmin, ja tämän perusteella saatiin selville, että kirjekuorien materiaalien välillä saattaa olla merkittävä karheusero. Kirjekuori B:n materiaali on selvästi sileämpi kuin kirjekuori A:n materiaali. Nämä kaikki vaikuttavat kirjekuoren toimivuuteen kuoritusprosessissa.

Projektin tavoitteena oli selvittää kuoritusprosessissa esiintyvän ongelman syyt ja etsiä ratkaisu näihin ongelmiin, jotta prosessi saadaan etenemään sujuvasti ja tuotannon tehokkuutta voidaan parantaa. Projekti onnistui kokonaisuudessaan hyvin, sillä asiaan perehdyttiin syvällisesti ja sen myötä päästiin tavoiteltuun lopputulokseen. Tarkasteltujen

muuttujien vaikutusta lopputulokseen analysoitiin ja pohdittiin tilastolaskentaohjelman avulla. Eniten prosessin toimivuuteen vaikuttavat muuttujat löydettiin, ja sen perusteella päätettiin ryhtyä toimenpiteisiin. Ongelman ratkaisemiseksi kuorituskoneen muuttujien arvoihin tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota kuoritusprosessin aikana, mutta konkreettiset muutokset päätettiin tehdä kirjekuorelle. Toimittaja A:n kirjekuoret toimitetaan yritykselle jatkossa parhaalla mahdollisella muuttujien yhdistelmällä valmistettuina. Tämä tarkoittaa sitä, että kirjekuoreen on valittu ne muuttujien arvot, jotka kuoritustestien perusteella toimivat parhaiten. Yritys on ollut erittäin tyytyväinen tähän ratkaisuun, koska kirjekuorien toimivuus on parantunut huomattavasti ja ne toimivat nykyään yhtä hyvin kuin toimittaja B:n toimittamat kirjekuoret. Toimittaja A:n kirjekuorien reprint-prosentin keskiarvo on hieman korkeampi kuin toimittaja B:n kirjekuorien, mutta mittaustuloksen vaihteluväli on pienempi. Tilastollisesti kirjekuorien välillä ei ole enää havaittavissa eroa. Tulevaisuudessa on tarkoitus tehdä samantyyppinen testausprojekti hieman laajemmin molempien toimittajien toimittamille kirjekuorille, jotta niiden toimivuutta voidaan parantaa edelleen. Kirjekuorien toimivuutta seurataan aktiivisesti myös jatkossa, ja toimenpiteisiin ryhdytään, mikäli ongelmia ilmenee. Tässä projektissa päästiin kuitenkin haluttuun lopputulokseen, joka oli kirjekuori A:n toimivuuden parantaminen kuoritusprosessissa.

Lähteet

- 1 Tuotantopäällikkö. Yritys Oy, Vantaa. Useat keskustelut. Syksy 2010–kevät 2011. (Tiedot salaisia.)
- 2 Kirjekuorituotteiden esite 2011. Toimittaja B. (Tiedot salaisia.)
- 3 Yritysvierailu. Kirjekuoritehdas. 6.10.2010. (Tiedot salaisia.)
- 4 Helios 102 -kirjekuorikone-esite. Winkler+Dünnebier AG. Saksa.
- 5 Kuoritusoperaattori. Yritys Oy, Vantaa. Useat keskustelut. Syksy 2010. (Tiedot salaisia.)
- 6 Mauranen, Kari. Keskiarvotestejä. (WWW-dokumentti.) Itä-Suomen yliopisto. <http://www.uku.fi/~mauranen/bis/bis7_doc.htm> 1995. Luettu 20.3.2011.
- 7 Karjalainen, Leila. Tilastomatematiikka. 8. painos. Mikkeli: Pii-kirjat, 2004.
- 8 Kern 3500: Your key to successful, flexible high-speed mailings. (WWW-dokumentti.) Kern Ltd. <<http://www.kern.co.uk/mailing-solutions-3500.asp>>. Luettu 17.11.2010.
- 9 Nieppola, Merja. Materiaalitekniikka. Luentokalvot. Metropolia Ammattikorkeakoulu, 2009.
- 10 Häggblom-Ahnger, Ulla & Komulainen, Pekka. Paperin ja kartongin valmistus. Jyväskylä: Opetushallitus, 2003.
- 11 Viluksela, Pentti. Paperitekniikka. Luentokalvot. Metropolia Ammattikorkeakoulu, 2010.
- 12 Johansson, K., Lundberg, P. & Ryberg R. A guide to graphic print production. 2nd edition. Värnamo: Fälth & Hässler, 2007.
- 13 Minitab 16. (WWW-dokumentti.) Minitab ltd. <<http://www.minitab.com/en-FI/products/minitab/default.aspx#0>>. Luettu 2.12.2010.
- 14 Design of experiments (DOE). (WWW-dokumentti.) Moresteam LLC. <<http://www.moresteam.com/toolbox/t408.cfm>>. Luettu 10.2.2011.
- 15 Alwetron TH1 tensile strength tester SE 060. Alkuperäisestä versiosta suomennettu käyttöohjekirja. Metropolia Ammattikorkeakoulun painolaboratorio.
- 16 Elmendorf 09 ED tearing tester. Alkuperäisestä versiosta suomennettu käyttöohjekirja. Metropolia Ammattikorkeakoulun painolaboratorio.

- 17 Bendtsen tester SE 114. Alkuperäisestä versiosta suomennettu käyttöohjekirja. Metropolia Ammattikorkeakoulun painolaboratorio.
- 18 Huoltoteknikko. Yritys Oy, Vantaa. Useat keskustelut. Syksy 2010. (Tiedot salaisia.)
- 19 Tuotantopäällikkö. Toimittaja A. Useat keskustelut. Syksy 2010. (Tiedot salaisia.)
- 20 Viluksela, Pentti. Laatutekniikka. Luentokalvot. Metropolia Ammattikorkeakoulu, 2010.

Liite 1: Vetolujuuden mittaustulokset – konesuunta

Lujuus:

Toimittaja A	konesuunta	V
1. mittaus	80,59 kNm/kg	4,67 %
2. mittaus	76,90 kNm/kg	6,23 %
3. mittaus	79,48 kNm/kg	3,11 %
4. mittaus	79,17 kNm/kg	1,51 %
ka	79,04 kNm/kg	3,88 %

Toimittaja B	konesuunta	V
1. mittaus	74,82 kNm/kg	3,83 %
2. mittaus	76,98 kNm/kg	5,59 %
3. mittaus	76,65 kNm/kg	5,17 %
4. mittaus	76,56 kNm/kg	4,97 %
ka	76,25 kNm/kg	4,89 %

Venymä:

Toimittaja A	konesuunta	V
1. mittaus	1,44 %	7,55 %
2. mittaus	1,40 %	10,24 %
3. mittaus	1,48 %	6,04 %
4. mittaus	1,37 %	4,43 %
ka	1,42 %	7,07 %

Toimittaja B	konesuunta	V
1. mittaus	1,39 %	7,34 %
2. mittaus	1,43 %	7,79 %
3. mittaus	1,35 %	9,21 %
4. mittaus	1,42 %	8,86 %
ka	1,40 %	8,30 %

Murtotyö:

Toimittaja A	konesuunta	V
1. mittaus	705,00 J/kg	13,32 %
2. mittaus	649,30 J/kg	16,90 %
3. mittaus	716,50 J/kg	10,27 %
4. mittaus	654,90 J/kg	6,33 %
ka	681,43 J/kg	11,71 %

Toimittaja B	konesuunta	V
1. mittaus	637,30 J/kg	12,13 %
2. mittaus	676,30 J/kg	13,71 %
3. mittaus	629,70 J/kg	15,35 %
4. mittaus	668,20 J/kg	14,99 %
ka	652,88 J/kg	14,05 %

Liite 2: Vetolujuuden mittaustulokset – poikkisuunta

Lujuus:

Toimittaja A	poikkisuunta	V
1. mittaus	32,82 kNm/kg	4,31 %
2. mittaus	33,88 kNm/kg	2,92 %
3. mittaus	33,88 kNm/kg	3,30 %
4. mittaus	34,75 kNm/kg	3,25 %
ka	33,83 kNm/kg	3,45 %

Toimittaja B	poikkisuunta	V
1. mittaus	29,65 kNm/kg	2,39 %
2. mittaus	29,12 kNm/kg	3,35 %
3. mittaus	29,52 kNm/kg	2,78 %
4. mittaus	29,57 kNm/kg	2,36 %
ka	29,47 kNm/kg	2,72 %

Venymä:

Toimittaja A	poikkisuunta	V
1. mittaus	3,21 %	7,01 %
2. mittaus	3,27 %	8,32 %
3. mittaus	3,37 %	9,05 %
4. mittaus	3,40 %	10,35 %
ka	3,31 %	8,68 %

Toimittaja B	poikkisuunta	V
1. mittaus	5,17 %	7,29 %
2. mittaus	5,00 %	9,23 %
3. mittaus	5,06 %	7,22 %
4. mittaus	5,18 %	6,25 %
ka	5,10 %	7,50 %

Murtotyö:

Toimittaja A	poikkisuunta	V
1. mittaus	776,60 J/kg	10,56 %
2. mittaus	815,30 J/kg	11,25 %
3. mittaus	844,20 J/kg	12,71 %
4. mittaus	876,60 J/kg	13,96 %
ka	828,18 J/kg	12,12 %

Toimittaja B	poikkisuunta	V
1. mittaus	1163,00 J/kg	9,66 %
2. mittaus	1108,00 J/kg	12,44 %
3. mittaus	1135,00 J/kg	9,72 %
4. mittaus	1167,00 J/kg	8,22 %
ka	1143,25 J/kg	10,01 %

Liite 3: Repäisylujuuden mittaustulokset

Toimittaja A		konesuunta			
mN	Mean	S	Max	Min	
1. mittaus	395	14	409	368	
2. mittaus	397	8	409	389	
3. mittaus	395	12	409	379	
4. mittaus	399	17	439	379	
5. mittaus	404	11	419	389	
ka	398	12	417	381	

Toimittaja B		konesuunta			
mN	Mean	S	Max	Min	
1. mittaus	390	14	409	368	
2. mittaus	390	18	409	348	
3. mittaus	385	14	409	358	
4. mittaus	385	17	409	358	
5. mittaus	389	10	409	368	
ka	388	15	409	360	

Toimittaja A		poikkisuunta			
mN	Mean	S	Max	Min	
1. mittaus	468	12	489	459	
2. mittaus	468	10	489	459	
3. mittaus	472	9	489	459	
4. mittaus	457	10	469	439	
5. mittaus	464	11	489	449	
ka	466	10	485	453	

Toimittaja B		poikkisuunta			
mN	Mean	S	Max	Min	
1. mittaus	449	12	479	439	
2. mittaus	443	8	449	429	
3. mittaus	437	10	449	419	
4. mittaus	447	10	469	429	
5. mittaus	435	17	469	399	
ka	442	11	463	423	

Liite 4: Ilmanläpäisevyyden mittaustulokset

Toimittaja A	Air permeance Bendtsen ($\mu\text{m}/\text{Pa s}$)				
	Mean	Std.dev	Var %	Max	Min
1. mittaus	6,99	0,30	4,00	7,33	6,51
2. mittaus	6,90	0,30	4,30	7,30	6,39
3. mittaus	7,10	0,20	3,00	7,40	6,83
4. mittaus	6,94	0,30	4,40	7,54	6,57
ka	6,98	0,28	3,93	7,39	6,58

Toimittaja B	Air permeance Bendtsen ($\mu\text{m}/\text{Pa s}$)				
	Mean	Std.dev	Var %	Max	Min
1. mittaus	7,65	0,20	2,80	7,95	7,28
2. mittaus	7,69	0,40	5,80	8,10	6,81
3. mittaus	7,43	0,50	6,90	8,48	6,73
4. mittaus	7,60	0,30	4,00	8,02	7,06
ka	7,59	0,35	4,88	8,14	6,97

Toimittaja A	Customary bendtsen units (ml/min)				
	Mean	Std.dev	Var %	Max	Min
1. mittaus	607	23,30	3,80	635	567
2. mittaus	599	25,00	4,20	633	556
3. mittaus	616	18,20	3,00	641	594
4. mittaus	603	25,70	4,30	653	571
ka	606	23,05	3,83	641	572

Toimittaja B	Customary Bendtsen units (ml/min)				
	Mean	Std.dev	Var %	Max	Min
1. mittaus	662	17,90	2,70	687	631
2. mittaus	665	64,50	9,70	700	592
3. mittaus	644	64,50	10,00	731	585
4. mittaus	657	25,10	3,80	693	613
ka	657	43,00	6,55	703	605

Liite 5: Karheuden mittau tulokset

Toimittaja A	Roughness Bendtsen (ml/min)				
	Mean	Std. Dev	Var %	Max	Min
1. mittaus	163,60	20,70	12,60	201,60	143,20
2. mittaus	144,10	4,30	3,00	153,80	138,70
3. mittaus	145,10	8,00	5,50	158,40	133,80
4. mittaus	143,40	13,20	9,20	162,90	125,80
ka	149,05	11,55	7,58	169,18	135,38

Toimittaja B	Roughness Bendtsen (ml/min)				
	Mean	Std. Dev	Var %	Max	Min
1. mittaus	169,70	14,60	8,60	190,20	143,40
2. mittaus	158,60	10,00	6,30	177,70	146,50
3. mittaus	164,90	18,90	11,50	198,40	133,00
4. mittaus	170,10	12,00	7,00	194,10	158,40
ka	165,83	13,88	8,35	190,10	145,33