



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TOMMI BISTER
SILIKONISIIRTYMÄ LAMINOINTIPROSESSISSA

Diplomityö

Tarkastaja: prof. Jurkka Kuusipalo
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
30 marraskuuta 2007

TIIVISTELMÄ

Tommi Bister: Silikonisiirtymä laminointiprosessissa

Diplomityö, 73 sivua, 0 liitesivua

22. Lokakuuta 2018

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Paperinjalostus- ja pakkaustekniikka

Tarkastaja: professori Jurkka Kuusipalo

Avainsanat: Silikonisiirtymä, laminointiprosessi, tarralaminaatti

Tässä työssä tutkitaan tarralaminaatin valmistusprosessissa tapahtuvaa silikonisiirtymää, kun käytetään on-line-silikonointia. Pyrkimyksenä on löytää silikonisiirtymän syntymekanismi ja miten sen määrää voitaisiin hallita ja vähentää. Silikonisiirtymä on ilmiö, missä tarranirrokemateriaalin silikonoinnin yhteydessä silikonia siirtyy irrokepaperin taustaan, josta se tarralaminaattia kiinnirullatessa siirtyy laminaatin pintakalvoon. Pintakalvoa painettaessa silikoni aiheuttaa reikäisen painojäljen. Silikonisiirtymän määrää arvioidaan visuaalisesti painopinnan reikäisyyden perusteella.

Työn painopiste on kokeellisessa osiossa, missä on tutkittu prosessiolosuhteiden vaikutusta silikonisiirtymään. Työ on tehty Tampereen UPM Raflatac Oy:n CM4:lle. Työssä on aluksi selvitetty silikonisiirtymän perustaso CM4:llä normaalin ajon aikana ja havaittu, että se vaihtelee merkittävästi. Syitä vaihteluun on prosessiolosuhteiden muutokset ja mittausmenetelmän tuottama virhe. Työssä on selvitetty taustamateriaalin ja liiman vaikutusta silikonisiirtymän määrään keräämällä näytteitä eri tilanteista. Prosessiolosuhteiden kuten kuivatuslämpötilan, silikonisivelyn määrän ja nippipaineen vaikutusta siirtymään on testattu koeajoin CM4:llä. Työssä tehtiin myös koeajo niitä varten rakennetulla pilot-linjalla. Todettiin, ettei se soveltunut silikonisiirtymän tutkimiseen. Prosessi ja olosuhteet eivät olleet tarpeeksi samanlaiset ja siirtymäilmiötä ei saatu halutulla tavalla esille. Työssä on arvioitu silikonisiirtymän mittausmenetelmän luotettavuutta ja todettu, että riittävillä näytemäärillä sen avulla voidaan mitata silikonisiirtymän määrää. Mittausmenetelmään liittyy tosin epävarmuustekijöitä kuten näytteiden käsin painaminen, testikalvoerä ja visuaalinen arviointi.

Tutkimuksissa havaittiin, että silikoni siirtyy online-silikonoinnin yhteydessä irrokeen taustaan läpituokeutumalla paperin läpi. Prosessi olosuhteita tutkittaessa tärkein muuttuja oli kuivatuslämpötila, jonka noustessa silikonisiirtymän määrä väheni. Kun silikoni kuivatetaan hyvin, niin siitä ei ole mahdollista irrota komponentteja, jotka siirtyisivät. Paras tapa vähentää silikonisiirtymän määrää on käyttää riittävää kuivatuslämpötilaa ja varmistaa, että silikoni kuivuu mahdollisimman täydellisesti. Toinen tapa on käyttää riittävän tiivistä taustamateriaalia kuten muovia, jonka läpi silikoni ei pääse.

ABSTRACT

Tommi Bister: Silicone transfer in label laminating process

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 73 pages, 0 Appendix pages

22 October 2018

Master's Degree Program in machine technology

Major: Paper converting and packaging technology

Examiner: Professor Jurkka Kuusipalo

Keywords: Silicon transfer, laminating process, label

This paper examines the silicon-transfer in the production process of the label laminate. It is a discovery to find a mechanism for the emergence of silicon transfer and how it could be controlled and reduced. Silicon transfer is a phenomenon where, during silicone coating of release paper some silicon particles transfer back of the release paper and during label laminate winding process in to label face. When the surface of the film is pressed, the silicone causes holes in the printing surface. The amount of silicone transfer is measured on visually based on the printing surface quality.

The focus of the work is in the experimental section where the effect of process conditions on silicon transfer has been studied. The work has been done at Tampere UPM Raflatac CM4. Initially, the basic level of silicon transfer in CM4 was studied during normal driving conditions and it was found that it varies significantly. The reasons for fluctuation are the changes in process conditions and the error generated by the measurement method. The effect of the background material and glue on the amount of silicon transfer was investigated by analyzing samples from different situations. The effect of the process conditions such as drying temperature, amount of silicone and nip pressure on the silicon transfer has been tested in CM4 experimentally. A test run was also carried out on a pilot line for trial runs. It was found that it was not suitable for studying the silicon transfer. The process and conditions were not sufficiently similar, and the migration phenomenon was not readily expressed. The work has evaluated the reliability of the silicon transfer measurement method and it has been found that sufficient number of samples can be used to measure the amount of silicon transfer. The measurement method involves, however, uncertainty factors such as manual sample printing, test film batch and visual evaluation.

The studies found that silicone transfers through release paper. When investigating the conditions of the process, the most important variable was the drying temperature. When the silicone is well dried, there is no components that would pass. The best way to reduce the amount of silicon shift is to use a sufficient drying temperature to ensure that the silicone dries as perfectly as possible. Another way is to use an enough tight background material such as a plastic through which silicone cannot reach.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
	KIRJALLINEN OSA	2
2.	TARRALAMINAATTI	2
2.1	Pintamateriaali.....	2
2.1.1	Pinnan käsittelyt.....	3
2.2	Taustamateriaali	4
2.2.1	Kraft- ja glassiini-irrokepaperi.....	5
2.2.2	Penetroituminen	6
2.3	Silikoni ja liima	6
2.4	Laminaatin valmistus	8
2.5	Laminaatin jatkojalostus	9
3.	SILIKONIT	11
3.1	Silikonikomponentit.....	11
3.2	Silikonin verkottumismekanismi ja kuivatustapahtuma	13
3.2.1	Verkottumisen jälkeiset reaktiot	15
4.	SILIKONOINTI JA PROSESSILAITTEET	19
4.1	Silikonin kuivattaminen	20
4.2	Pölyn syntyminen huuviin.....	22
5.	PAINATUS	24
5.1	Visuaalinen painojäljen arvostelu	26
5.2	Koneellinen painojäljen arviointi	27
6.	SILIKONISIIRTYMÄ	28
6.1	Syntymekanismi ja siihen vaikuttavat tekijät.....	28
6.2	Silikonisiirtymä CM 4:lla.....	31
6.3	Aikaisemmat tutkimukset silikonisiirtymästä	31
6.4	Silikonin kypsymisen ja siirtymisen testimenetelmät.....	32
	KOKEELLINEN OSA	33
7.	TUTKIMUSMENETELMÄT	33
7.1	Tutkittavat laadut ja näytteiden otto.....	33
7.2	Silikonisiirtymä-testi	33
7.3	ImageJ kuva-analyysi.....	36
7.4	Silikonimäärän mittaaminen.....	37
7.5	Aktivoitumattoman silikonin määrittäminen uuttamalla	37
7.6	Silikoniaseman nippipaineen määrittäminen.....	38
7.7	Release-tason mittaaminen	40
7.8	Taguchi-menetelmä ja SPC	40
8.	TULOKSET JA ANYLYSOINTI	42
8.1	Silikonisiirtymän mittaustestimen luotettavuus	42
8.1.1	Silikonisiirtymätestin arviointi ja kehittäminen.....	44
8.2	Silikonisiirtymän perustason määrittäminen	45

8.3	Huuvissa syntyvän pölyn vaikutus painojälkeen	48
8.4	Suodattimien likaisuuden vaikutus.....	48
8.5	Taustamateriaalin vaikutus silikonisiirtymään.....	49
8.6	Liiman vaikutus painojälkeen	50
8.7	Pilot-linjan soveltuvuus silikonisiirtymän tutkimiseen.....	51
8.8	CM4 Koeajo 1 kevään parametrikoe.....	54
8.9	CM4 Koeajo 2 syksyn parametrikokeet.....	56
9.	YHTEENVETO	67
	LÄHTEET.....	69

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CM4	Coating machine 4, Laminointikone 4
CMC	Carboxymethyl cellulose, karboksimeetyliselluloosa
HDPE	High-density polyethylene, korkeatiheyksinen polyeteeni
LDPE	Low-density polyethylene, matalatiheyksinen polyeteeni
MIBK	metyyli-isobytyyliketoni
PDMS	Polydimethylsiloxane, polymetyylisiloksaani
PE	Polyethylene, polyeteeni
PET	Polyethylene terephthalate, polyetyleenitereftalaatti
PP	Polypropylene, polypropeeni
Primer	Esikäsittelyaine, jolla parannetaan tarttuvuutta
PVA	Polyvinyl alcohol, polyvinyylialkoholi
SPC	Statistical process control, tilastollinen prosessin ohjaus

1. JOHDANTO

Tämä työ on tehty UPM Raflatacille Tampereen tehtaalle. Raflatac on osa UPM-konsernia. UPM Raflatac valmistaa paperipohjaisia ja synteettisiä tarralaminaatteja sekä radioaaltotunnistetarroja, joita käytetään tuote- ja informaatioetikointiin. Tuotteet menevät kosmetiikka-, lääke-, teknokemian-, elintarvike- ja juomateollisuuden sekä kaupan, logistiikka- ja toimistoalan tarpeisiin. Raflatac on saanut alkunsa Raf. Haarla Oy:stä, joka aloitti toimintansa vuonna 1971 Tampereella, jossa on vieläkin yrityksen pääpaikka. Tuotantoprosessissa käytettiin jo silloin edistyksellistä, ympäristöystävällistä, liuotinvapaata silikonointi-menetelmää, joka on käytössä nykyäänkin.

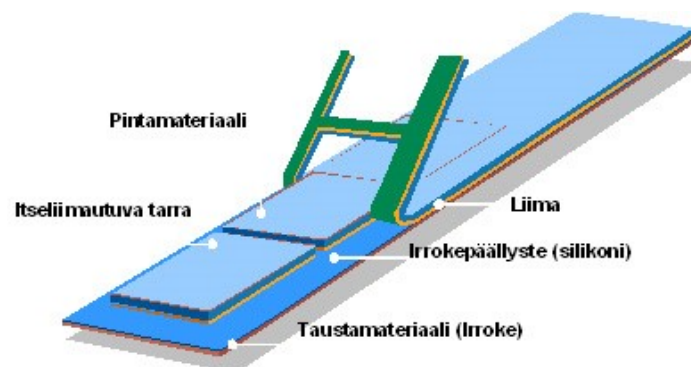
Diplomityön tarkoitus on selvittää laminointikone CM 4:sen prosessiolosuhteiden vaikutusta silikonisiirtymään. Työssä pyritään tutkimaan, miten silikonisiirtymä syntyy ja mitkä asiat siihen vaikuttavat. Myös silikonisiirtymän mittausmenetelmää on tarkoitus arvioida ja mahdollisesti kehittää. Työn painopiste on kokeellisessa osuudessa, tavoitteena saada selville, miten silikonisiirtymä-tasoa voidaan vähentää ja hallita. Työssä selvitetään silikonisiirtymän yleistaso sekä tutkitaan prosessiolosuhteiden, kuten kuivatuslämpöjen, puhallustehojen, kuivainten likaantumisen, silikonimäärän ja nippipaineen vaikutusta silikonisiirtymään. Tutkimuksessa kerätään näytteitä koneen normaalista tuotantoajasta ja suoritetaan koeajoja, joissa prosessiolosuhteita muutetaan. Silikonisiirtymä ilmenee valmiin tarralaminaatin pintaa painettaessa painopinnan reikäisyytenä. Silikonisiirtymän määrää arvioidaan painopinnan laadun perusteella. Silikonisiirtymä on ilmiö, jossa tarralaminaatin irrokkeen taustapuolelle kulkeutuu jollain tavoin silikonia, joka sitten valmiissa laminaattirullassa siirtyy irrokkeen taustasta laminaatin pintakalvoon. Työtä aloittaessa epäiltiin, että pöly ja silikonihöyryt ovat mekanismi, millä silikoni siirtyy irrokkeen taustaan. Tarkkaa tietoa siirtymämekanismista ei kuitenkaan ollut. Silikonisiirtymän tason vaihtelu oli suurta. Silikonisiirtymästä tässä muodossa ei löydy aikaisempia tutkimustuloksia. Tiedetään kuitenkin, että silikonit sisältävät lyhytketjuisia molekyylejä, jotka helposti siirtyvät paikasta toiseen ja hyvin pienet silikonimäärät riittävät aiheuttamaan kontaminaation.

Työ koostuu alussa olevasta teoriaosasta ja loppupuolen kokeellisesta osasta. Aluksi teoriaosassa käydään läpi tarralaminaatin rakenne ja tarralaminaatin valmistusprosessi. Rakenneeseen kuuluu pinta, irroke, silikoni ja liima. Seuraavaksi tutkitaan tarkemmin silikonin koostumusta ja sen kuivamistapahtumaa sekä silikonipölyn syntymistä, painatusta ja prosessilaitteita. Teoriaosan loppupuolella käsitellään silikonisiirtymäilmiötä, mikä se on ja mitkä ovat sen mahdollisia syntytapoja. Kokeellisessa osassa esitellään työssä käytetyt mittaus- ja tutkimusmenetelmät sekä näytteenotto. Lopuksi on koeajosuunnitelmat, koeajot ja niistä saadut tulokset sekä yhteenveto.

KIRJALLINEN OSA

2. TARRALAMINAATTI

Tarralaminaatti koostuu seuraavista osista: pintamateriaali, taustamateriaali, liima ja irrokekerros. Pinta- ja taustamateriaalina voidaan käyttää paperipohjaisia tai synteettisiä materiaaleja.



Kuva 1. Tarralaminaatin rakenne. [1]

Pinta- ja taustakerroksien paksuudet ovat suuruusluokkaa 50-70 mikrometriä; liimakerroksen paksuuden ollessa noin 20 mikrometriä. Silikonikerros on ohuin näistä, sen paksuus on vain 1 mikrometri. Kuvassa 1 on esitetty tarralaminaatin rakenne [1]

2.1 Pintamateriaali

Tarralaminaatin pintamateriaalina käytetään perinteisesti eniten paperipohjaisia materiaaleja. Synteettisten kalvojen osuus kuitenkin kasvaa jatkuvasti ja esimerkiksi Tampereen CM 4:lla laminoidaan pelkästään synteettisiä kalvoja. Muovikalvot ovat mekaanisesti ja kemiallisesti kestäviä, eivätkä ole herkkiä ilmaston tai olosuhteiden muutoksille. Muovikalvot koostuvat yleensä useasta eri kerroksesta. Eri kerroksilla saadaan parannettua ja muokattua kalvon ominaisuuksia. Kalvon rakenne voi olla esimerkiksi seuraava. Pinnassa on kerros, jolla on hyvät pintaominaisuudet painatusta varten. Keskellä on kerros, joka antaa jäykkyyttä, sekä kerros, jolla voidaan säädellä opasiteettia ja väriä. Taustassa on kerros, joka kestää liimassa olevia ainesosia ja johon liima ankkuroituu hyvin.

Kalvot voidaan valmistaa joko puhallus- tai tasokalvotekniikalla. Tasokalvotekniikalla valmistetut filmit ovat hyviä optisilta ominaisuuksiltaan, paksuusvaihtelu on pientä ja

pinta sileä. Filmin bi- tai mono-orientointi vaikuttaa filmin lujuus- ja repeävyysominaisuuksiin. Mono-orientoidut filmit repeävät herkästi. Puhalluskalvotekniikalla saadaan valmistettua edullisia ja sitkeitä kalvoja, joissa on hyvä puhkaisu- ja repäisylujuus. Optiset ominaisuudet ja paksuusprofiili ovat huonompia kuin tasokalvoissa. Yleisesti käytettyjä kalvomateriaaleja ovat korkea- ja matalatiheysiset polyetyleenit (HDPE ja LDPE), polypropyleeni (PP) sekä polyesteri (PET).

Paperipinnat ovat sellusta, mekaanisesta massasta tai niiden yhdistelmistä valmistettuja. Pintoja on moniin eri käyttötarkoituksiin, niitä on päällystämättömiä, päällystettyjä, värjättyjä, märkälujia pullojen etiketöintiin sekä thermal-papereita, jotka reagoivat lämpöön. Thermal papereita käytetään tulostimissa, missä painojälki tehdään lämmön avulla. Pintamateriaalien neliöpainot vaihtelevat välillä 27–220 g/m² muovien ollessa ohuimpia ja keveimpiä ja thermal papereiden raskaimpia. [1, 4, 2, 43]

Pintamateriaalilta vaaditaan monia ominaisuuksia, joiden täytyy olla tasapainossa keskenään. Vaaditaan sopivaa joustavuutta ja taipuisuutta, jotta tarra asettuu hyvin esimerkiksi kaareville pinnoille, mutta kuitenkin riittävää jäykkyyttä, jotta tarra irtoaa dispensoinnin yhteydessä. Mittojen tulisi pysyä stabiilina esimerkiksi kosteuden ja lämpötilan vaihdellessa, jottei laminaatti käyristyisi. Jalostusoperaatioissa kuten stanssauksen yhteydessä tahtuvassa roskaradan poistossa vaaditaan repäisy- ja vetolujuutta. [43]

2.1.1 Pinnan käsittelyt

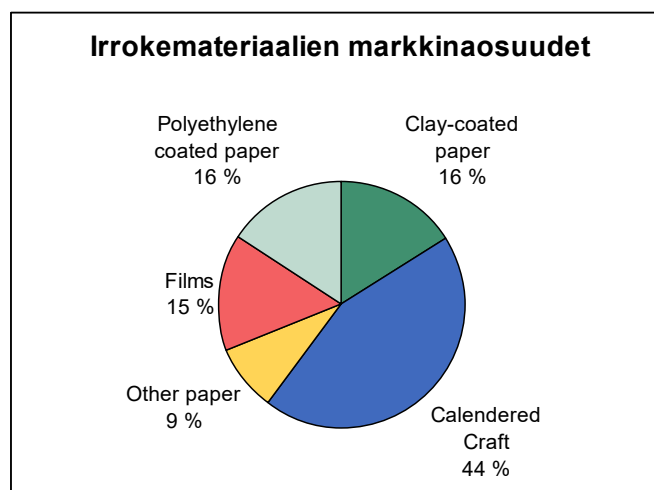
Pintakalvolle tehdään erilaisia käsittelyjä, jotta sille saadaan kuhunkin tuotteeseen sopivat ominaisuudet. Lakkaus parantaa kalvon painettavuutta ja pastapäällystys antaa tuotteelle halutun ulkonäön sekä parantaa painettavuutta. Lakkaus voidaan tehdä myös laminoinnin yhteydessä lakka-aseamalla. Pastan levitys tehdään yleensä offline-päällystyksenä. Korona-käsittelyllä saadaan parannettua kalvon painettavuutta tai liiman ankkuroitumista. Primerointi puolestaan tehdään estämään liiman tunkeutumista paperin sisälle ja parantamaan liiman ankkurointia. Metalloinnilla saadaan parannettua kalvon ulkonäköä ja vähennettyä kaasun ja valon läpäisyyä. Yleisin prosessissa käytetty metalli on alumiini. Sen applikointi tehdään tyhjiössä höyrystämällä se noin 1500 celsiusasteessa radan pintaan. [1, 3, 4]

Pintamateriaalilta vaaditaan sopivaa imukykyä ja sileyttä painatusta varten. Lakkauksen avulla saadaan parannettua PP ja PE muovipintojen painettavuutta ja edistettyä painoväriin ankkurointia, lakattuja kalvoja ei tarvitse koronoida painotaloissa. Lakkauksella saadaan pinnalle myös eri kiiltotasoja. [43]

2.2 Taustamateriaali

Taustamateriaalina käytetään ylivoimaisesti eniten paperipohjaisia materiaaleja. Paperilla on riittävän hyvät ominaisuudet useimpiin käyttötarkoituksiin. Vaativissa tuotteissa, joissa vaaditaan tasaista irrotusominaisuutta tai liimapinnan virheettömyyttä, käytetään muovitaustaa. Muovitaustaa käytetään myös ohuiden muovipintojen kanssa haettaessa no-label-lookia. Muovitaustana voidaan käyttää esimerkiksi puolikiteistä polyeteenitereftalaattia (PET).

Paperitaustat ovat sellupohjaisia, korkeatiheyksisiä ja kalanteroituja papereita. Pitkälle jalostetuin paperilaatu on pintaliimattu ja voimakkaasti superkalanteroitu glassiini -paperi. Se on profiililtaan tasainen ja pinnaltaan sileä sekä hyvin läpikuultava. Kraft -laadut ovat päällystettyjä tai päällystämättömiä kone-, soft- tai superkalanteroituja sellupohjaisia papereita. Alla olevassa kuvassa 2 on esitetty irrokkeena käytettyjen laatuojen markkinaosuudet. [4, 5]



Kuva 2. Irrokemateriaalien markkinaosuudet [38]

Taustapaperilta vaaditaan tasalaatuisuutta, jotta tarra ja roskarata irtoaisivat tasaisella voimalla taustasta. Jos näin ei ole, siitä aiheutuu ratakatko jalostuskoneessa. Paperissa ei saa olla reikiä, pölyä tai ryppyjä. Päällystyksessä silikoni ei saa tunkeutua paperin rakenteeseen. Paperin pinnan on oltava sileä ja hyvin suljettu, mutta kuitenkin sellainen, että silikoni pystyy ankkuroitumaan ja verkottumaan siihen. [5]

Glassiinipaperi on superkalanteroitua sileää, tiheää ja läpikuultavaa. Paperi on lujaa, mutta suhteellisen herkkä kosteuden aiheuttamalle käyritykselle. Valmistukseen käytetään hyvin jauhattua puukuitua, jotta saadaan tiheä ja sileä kuituverkko. Läpikuultavuus on tärkeä ominaisuus, koska valokennot paikoittavat radan sen avulla jalostus- ja dispen-

sointikoneissa. Kraft-paperit on valmistettu pitkistä kuiduista ja ne toimivat hyvin stanssauksen yhteydessä joustavuutensa ansiosta. Ne soveltuvat hyvin myös arkitukseen, koska eivät ole niin niin herkkiä kosteuden aiheuttamalle käyritykselle. Kraft voidaan päällystää myös PE-kalvolla. Tämä vähentää silikonin imeytymistä paperiin ja näin voidaan käyttää pienempiä päällystemääriä [43] Euroopassa valmistettu supekalanteroitu kraft- ja glassiinipaperi ovat samantapaisia paperilaatuja. Glassiinipaperi on kuitenkin läpinäkyvämpi, voimakkaammin kalanteroitu ja siinä käytetään ohuempaa pintaliimausta. Amerikassa kraftlaaduilla tarkoitetaan myös pigmenttipäällystettyjälaatuja. [44]

2.2.1 Kraft- ja glassiini-irrokepaperi

Irrokepaperilta vaaditaan hyvät fysikaaliset sekä pinta- että kemialliset ominaisuudet. Tärkeimpiä ominaisuuksia ovat hyvä lujuus, sileys, mittapysyvyys, vähäinen paksuusvaihtelu sekä hyvä päällysteen ankkurointikyky. Kraft- ja glassiinipaperit valmistetaan sellusta ja niissä ei käytetä juurikaan täyteaineita tai pigmenttejä. Paperit ovat usein online-pintaliimattuja, liimaus tasoittaa paperin pintaa ja parantaa silikonin ankkuroitumista sekä muodostaa barrierin, joka estää silikonin tunkeutumista paperiin. Pintaliima sisältää tärkkelystä, PVA:ta eli polyvinyylialkoholia, proteiineja sekä muita aineita, jotka edistävät filminmuodostumista. Lisäksi paperit ovat offline-superkalanteroituja, kalanterointi vähentää huokoisuutta ja tasoittaa pintaa. Pinnan sileys on tärkeä, jotta saavutettaisiin tasainen peittävä silikonikerros pienellä silikonimäärällä. Pinnan mekaaniset ominaisuudet vaikuttavat myös silikonin ankkuroitumiseen. [37, 58]

Taustapaperin täytyy selviytyä silikonin ja liiman levityksen, laminoinnin, painatuksen stanssauksen, roskaradanpoiston ja dispensoinnin sille asettamista vaatimuksista. Näissä operaatioissa vaaditaan erityisesti hyvää lujuutta ja mittapysyvyyttä sekä tasaista paksuutta. Silikonin kuivatuksessa taustapaperin kosteus laskee kuudesta kolmeen prosenttiin, tämän seurauksena lujuus ja erityisesti repäisyjujuus laskee, samalla tapahtuu myös radan kutistumista ja käyritystä. Kosteustasapaino vaikuttaa myös silikonipäällysteen penetroitumiseen. Tämän vuoksi paperin kosteushallinta on tärkeää. [37]

Matalakosteuksinen paperi on jäykkää ja haurasta, se repeää helposti rasituksessa. Kuiva paperi kestää vetoa mutta ei venymistä. Kostutettu paperi ei kestä niin paljon vetorasitusta, mutta se on elastisempaa ja sen takia kestää paremmin jalostusoperaatioissa. Kostutus vaikuttaa paperiin molekylaarisella tasolla pehmentäen siinä olevaa hemisellulosa. Kuitujen väliset sidokset löystyvät kostutuksen lisääntyessä ja lopulta kuidut irtoavat ehjänä toisistaan kostutuksen jatkuessa. [41]

Irrokkeen pinnan kemiallisten ominaisuuksien täytyy mahdollistaa silikonin sitoutuminen paperiin häiritsemättä silikonin kuivamistapahtumaa. Siloksaani-ryhmät kiinnittyvät pa-

perin pinnassa olevan pintaliiman hydroksyyliiryhmiin. Jotkut kraftlaadut saattavat inhiboida silikonin ja estää kuivatustapahtumaa. Paperissa oleva aluna saattaa aiheuttaa irtoarvon nousua. [37]

2.2.2 Penetroituminen

Penetraatio-ominaisuuksiin vaikuttaa paperin imukyky ja vettähylkivyyys. Paperin pinta- ja sisäisellä liimauksella voidaan vähentää nesteiden penetroitumista paperiin. Penetroitumisen hallinta on tärkeää jalostuksen yhteydessä tapahtuvissa päällystyksissä, painatuksessa sekä loppukäytössä esimerkiksi pakkauksissa. Neste voi penetroitua paperiin eri tavoilla: [42]

- Täyttämällä pinnan huokokset ja kuopat.
- Tunkeutumalla materiaalissa oleviin kapillaareihin, huokosiin ja reikiin.
- Migratoitumalla kuidun pintoja pitkin kuidusta toiseen.
- Kuidun sisäisen penetraation seurauksena imeytymällä kuidun sisään ja kulke- malla siellä eteenpäin.
- Kaasufaasin avulla migratoitumalla höyrystymisen ja kondensoitumisen kautta.
- Sorptio-desorptio mekanismeilla tai kemisorption seurauksena.

Läpätunkeutumismekanismeja ei voida tarkasti kaikissa tapauksissa erottaa toisistaan vaan tunkeutuminen tapahtuu useammalla tavalla yhtä aikaa. Materiaalin ja nesteen ominaisuuksilla sekä olosuhteilla kuten lämpötilalla, paineella ja ajalla on vaikutusta tunkeutumisen määrään. [42]

2.3 Silikoni ja liima

Silikonin tehtävänä on estää tarraliiman tarttumista taustapaperiin ja mahdollistaa tarran aukeaminen sitä käytettäessä. Irrokepäällysteiden tehtävä on antaa laminaatille haluttu ja tasainen release eli irtoavuus, joka ei saisi muuttua ajan kuluessa. Silikonin sivellä noin 0,7-1,5 g/m². Koska silikoni on kallista, sitä pyritään sivelemään mahdollisimman ohut kalvo, mutta kuitenkin niin, että saadaan ehjä ja peittävä pinta aikaan. Silikonikerroksen paksuus on noin 1 mikrometri ja sen osuus tarralaminaatin hinnasta on noin 5 %. [3, 8] Silikoneja ja niiden kuivatustapahtumaa käsitellään työssä myöhemmin vielä tarkemmin silikonit osiossa.

Liimat perustuvat synteettisiin hartseihin ja kumeihin. Niitä on mahdollista modifioida eri käyttötarkoituksiin. Akryyli-liimat on valmistettu synteettisistä polymeereistä, joilla on hyvät kiinnittymisominaisuudet normaalissa huoneenlämpötilassa. Akryyli-liimat kestä-

vät hyvin UV-valoa ja tarttuvat hyvin polaarisiin materiaaleihin kuten lasiin. Akryyliliimat ovat useissa tapauksissa syrjäyttäneet kumipohjaiset liimat, koska ne eivät ole niin herkkiä ilmasto-olosuhteille eivätkä korkeille lämpötiloille. Niiden väri on kirkas eikä muutu ajan kuluessa.

Kumipohjaiset liimat voidaan valmistaa joko synteettisestä kumista tai luonnonkumista. Kumipohjaisissa liimoissa käytetään säätöaineita ja liimahartseja, koska kumi ei luonnostaan ole erityisen tarttuvaa. Liimat soveltuvat hyvin käytettäväksi matalissa lämpötiloissa ja ne eivät ole herkkiä liuottimille. Kumipohjaiset liimat tarttuvat hyvin PP- ja PE-kalvoihin. Prosessoitavuuden parantamiseksi liimoihin lisätään kantaja-aine. Aine mahdollistaa esimerkiksi liiman pumppaamisen. Kantaja-aine voi olla vesi tai jokin liuotin. Vesipohjaisia liimoja sanotaan dispersioiksi. Hot meltit ovat liimoja, joissa ei ole lainkaan kantaja-ainetta vaan ne saadaan juoksevaksi lämmittämällä. Jäähdyessään ne muodostavat tarttuvan pinnan. Niiden ongelmana on kuitenkin se, että korkeissa lämpötiloissa kiinnitys heikkenee. Uusimpana tulokkaana ovat UV-kuivatettavat liimat. Niissä liiman kuivuminen perustuu UV-valon aiheuttamaan ristisilloittumisreaktioon. Kuvassa 3 on esitetty liimojen ryhmittely käyttötarkoituksen, fysikaalisen koostumuksen ja kemiallisen koostumuksen mukaan. [6]

Käyttötarkoitus	Fysikaalinen koostumus	Kemiallinen koostumus
Permanentit	Dispersiot	Kumipohjaiset
Irrotettavat	Liuotinpohjaiset	Akrylaatit
Pakaste	Sulateliimat	
Erikois		

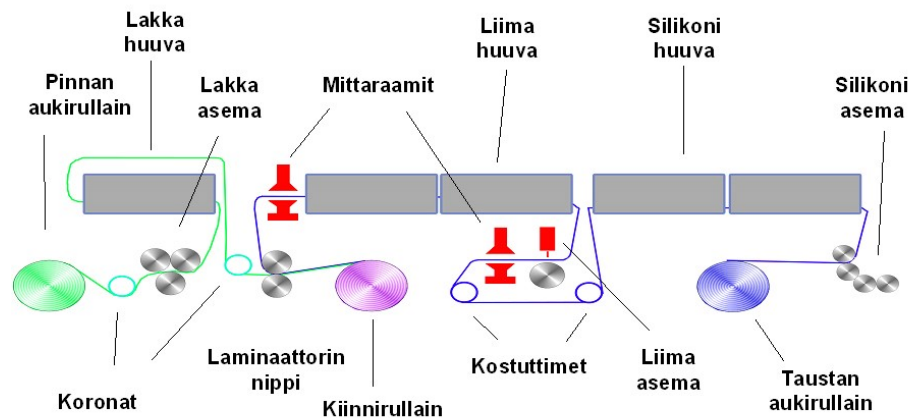
Kuva 3. Tarraliimojen ryhmittely [60]

Tarraliimat ovat korkeaviskositeettisiä usein luonteeltaan tiksotrooppisia nestemäisiä aineita. Liimat ovat jossain määrin juoksevia kuivuessaankin. Tarraa kiinnittäessä liima tunkeutuu alustan epätasaisuuksiin ja näin molekyylien väliset vuorovaikutukset kiinnittävät tarran. [40]

2.4 Laminaatin valmistus

Laminoinnilla tarkoitetaan kahden tai useamman materiaalin yhteenliittämistä. Monissa käyttökohteissa materiaalit liitetään pysyvästi, jotta valmiiseen tuotteeseen saadaan sen osakomponenttien yhdistelmäominaisuudet. Tarralaminaatissa tausta toimii tarran kuljetusalustana, joka heitetään pois käytön yhteydessä.

Tarralaminaatin valmistusprosessi on seuraava. Ensin tausta silikonoidaan ja silikoni verkkoutetaan huuvassa lämmön avulla. Sen jälkeen rata menee jäähdytysryhmän läpi kostutukseen. Kostutuksen tehtävänä on palauttaa paperiin kosteus, joka siitä haihtuu silikonihuuvissa. Sillä voidaan hallita myös taustan poikkisuuntaista käyrystymistä. Toisessa vaiheessa taustaan sivellään liima verho- tai gravuuripäälystysasemalla. Verhoasemassa liimaverho saadaan aikaan pitkänomaisen suuttimen avulla, josta liima pumpun avustuksella valutetaan radalle. Liima kuivataan liimahuuvissa. Tämän jälkeen rata menee jäähdytyshuuvaan. Kolmannessa vaiheessa tausta ja pinta yhdistetään laminointinipissä, minkä jälkeen valmis laminaatti kiinnirullataan. Pinta voidaan tuoda laminointinipille suoraan ilman minkäänlaista käsittelyä. Pintaa on kuitenkin mahdollista koronoida tai lakata tarpeen mukaan. Kuvassa 4 on esitetty kaaviokuva Tampereen CM 4 laminointikoneesta.

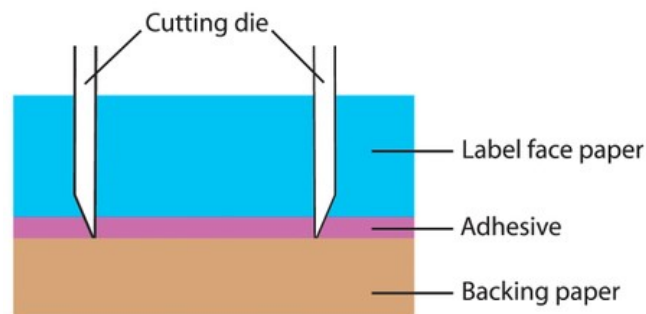


Kuva 4. Esimerkki kuva laminointikoneesta [1]

Kriittisiä tekijöitä laminoinnissa ovat radan kireys, kosteus sekä lämpötila eri vaiheissa. Lämpötila vaikuttaa myös liiman prosessoitavuuteen. Laminointi tapahtuu metalli- ja kumitelan välisessä nipissä, jonka telarakoa voidaan säätää. Teloissa on vesikierto estämässä nipin kuumenemista. [4]

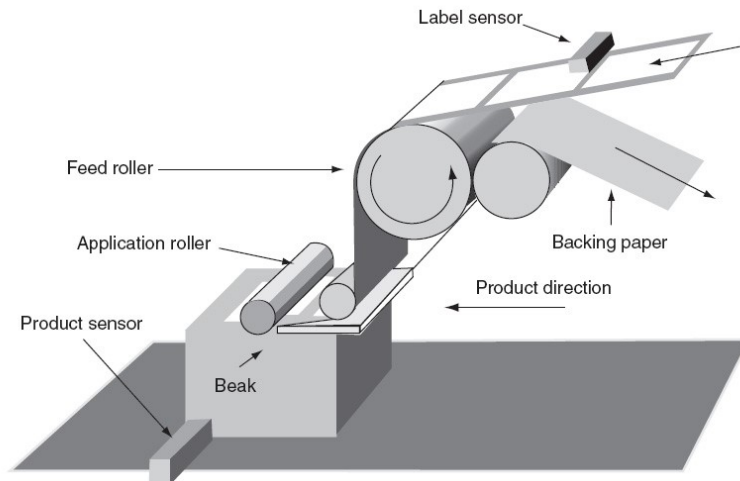
2.5 Laminaatin jatkojalostus

Etiketti irrotetaan valmiista laminaatista stanssauksen avulla. Stanssauksessa etiketti leikataan terällä painamalla laminaatista irti. Laminaatin leikkaus esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. laminaatin leikkaus stanssilla [45]

Tämä voi tapahtua radan ollessa paikallaan tai liikkuvasta radasta rotaatiostanssilla. Tarkoituksena on leikata etiketti ja liimakerros irti silikonikerroksen ja irrokemateriaalin vahingoittumatta. Operaatio vaatii laminaatilta tasalaatuisuutta varsinkin irrokkeen suhteen. Jos irrokkeen paksuus vaihtelee, niin stanssi saattaa rikkoa silikonipinnan ja liima pääsee tarttumaan taustaan, toisaalta jos stanssi ei mene tarpeeksi syväälle niin liima ei katkea. Kummassakin tapauksessa ilmenee dispensointi ja roskaradan poisto-ongelmia. [45, 3]

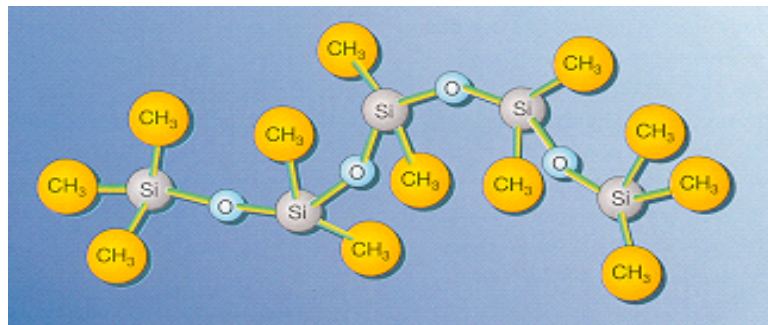


Kuva 6. automaattinen dispensointikone [43]

Stanssauksen jälkeen radasta poistetaan stanssauksessa irronnut roskaratamatriisi. Kuvassa 6 on esitetty automaattinen dispensointikone. Roskaradan poisto vaati onnistuneen stanssauksen eli irrotuksen sekä tasaisen irtoarvon laminaatilta. Jäljelle jää irrokerata, jossa on halutun muotoiset etiketit. Etiketit liimataan kohteeseen dispensointikoneen avulla. Dispensoinnissa etiketti irrotetaan taustasta dispensointikärjen avulla. [43]

3. SILIKONIT

Silikonit ovat hiekasta saatavasta piistä, orgaanisesta hiilestä sekä vedystä koostuvia ketjumaisia polymeeriyhdisteitä. Silikoniatomit liittyvät toisiinsa hapen avulla ja vapaisiin valensseihin kiinnittyy yleensä orgaanisia metyyliryhmiä. Ketjuttuneita polymeerejä kutsutaan polyorganosiloksaaneiksi. Poly tarkoittaa suurta määrää rinnakkain liittyneitä monomeerejä, organo viittaa Si-C sidoksiin ja siloksaani tarkoittaa Si-O-Si-sidoksia. Kuvasssa 7 on esitetty lineaarinen polydimetyylisiloksaani ketju, joka on yleinen rakenneosakaiken tyyppisissä silikoni-irrokepäällysteissä.



Kuva 7. Polydimetyylisiloksaanin rakenne [21]

Silikoni on joustavaa ja sillä on alhainen pintaenergia sekä pintajännitys. Pintajännitys on luokkaa 22 dynes/cm. Silikonoidusta pinnasta irtoaa helposti lähes mikä tahansa tarttuva tai tahmainen aine. Silikonit ovat hydrofobisia, mutta läpäisevät vesihöyryä ja muita kaasuja. [14, 16, 22, 25, 26]

3.1 Silikonikomponentit

Tampereen Raflatacilla käytetään liuotinvapaita silikoneja, joiden kuivatus tapahtuu lämmön avulla huuvinissa. Liuotinvapaissa silikoneissa ei ole juurikaan kuivatuksessa haihtuvia komponentteja vaan silikoni verkkoutuu kokonaisuudessaan radan pintaan. Muita silikonityyppejä ovat UV-silikonit, liuotinpohjaiset- ja emulsiosilikonit. /35/

Liuotinvapaa silikoni koostuu useammasta erillisestä komponentista. Komponentit annostellaan ja sekoitetaan laminointikoneella vähän ennen käyttöä. Valmis silikoni säilyy käyttökelpoisena noin 5-12 tuntia sekoittamisen jälkeen. Valmiin silikonin käyttökelpoista ikää voidaan pidentää pakastamalla. Ohuena filminä silikoni säilyy noin 1-2 tuntia. Silikoni toimitetaan yleensä kolmessa eri osassa, osat ovat ristosilloittaja, katalyytti sekä

peruspolymeeri, joka sisältää inhibiitin. Lisäksi voidaan käyttää releasesäätöainetta halluttaessa korkeampia irtoarvoja. [21]

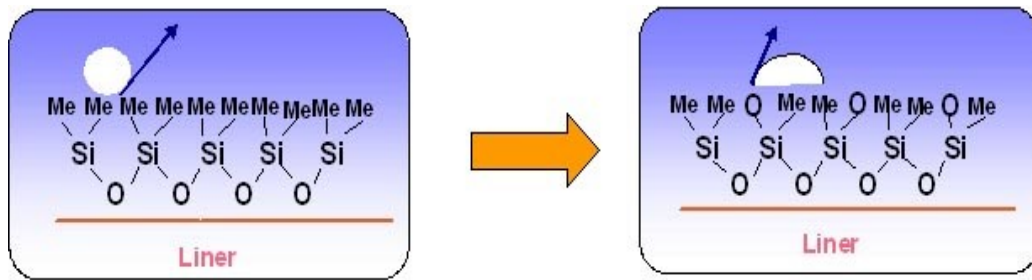
Peruspolymeerinä käytettävä polymetyylisiloksaani on silikonin pääkomponentti, johon muut aineet lisätään. Silikonipolymeerin toiminnallisten sivuryhmien määrällä ja sijainnilla voidaan vaikuttaa polymeerin rakenteeseen ja sitä kautta päällysteen ominaisuuksiin. Kuten release-profiiliin ja ankkurointiin sekä silikonin, viskositeettiin että kuivatustarpeeseen.

Liutinvapaissa silikoneissa polymeeriketjun pituus on lyhyt verrattuna esimerkiksi liuotinsysteemeissä käytettyihin polymeereihin. [15, 21] Tiheästi verkottuneella lyhyellä polymeeriketjulla saavutetaan kova hartsimainen pinta, jolla on alhainen release-taso. Release-taso ei muutu kovin jyrkästi eri aukaisunopeuksilla. [16]

Crosslinkerin eli ristosilloittajan tehtävä on verkottaa silikonipolymeeri. Crosslinkerin toiminnallisena ryhmänä on Si-H-ryhmä, jossa vety voi korvaantua substituutioreaktion seurauksena. Ristosilloittajan ja peruspolymeerin kohdatessa tapahtuu olefiini-additioreaktio. Reaktio tarvitsee tapahtuakseen katalyytin. Ristosilloittajana käytetään polymetyylihydroxiloksaania. Ristosilloittumisen määrä vaikuttaa polymeerin kovuuteen. Mitä enemmän ristosilloittumista tapahtuu, sitä kovempi polymeeristä tulee, mutta samalla elastisuus vähenee.

Prosessi- ja ympäristöolosuhteilla voidaan vaikuttaa ristosilloittumisen määrään. Silikonin ja hiilivetyjen väliset sidokset ovat kohtalaisen lujia ja vakaita. Joitakin reaktioita voi tapahtua myös kovettumisen jälkeen esimerkiksi vinyyliryhmään voi liittyä halogeenejä. Crosslinkeriä annostellaan aina ylimäärä verrattuna sen laskennalliseen tarpeeseen kemiallisessa reaktiossa. [17, 26, 27] Crosslinkeriä käytetään ylimäärin, koska se parantaa silikonin ankkurointia ja samalla saavutetaan kovempi silikonipinta. Release-ominaisuudet saattavat kuitenkin kärsiä. [30]

Release-säätöaineella voidaan lisätä irrokkeen release-arvoa eli voimaa, joka tarvitaan tarran irrottamiseksi taustasta. Säätöaineena käytetään dispersoituja silikonihartseja. Säätöaineen tehokkuus riippuu aktiivisen hartsin määrästä. Annostelumäärä vaihtelee 0-50%. Korkea säätöainemäärä vähentää silikonin reaktiivisuutta. Säätöaine rikkoo silikonipolymeerin ehjän hydrofobisen metyylikerroksen ja nostaa release-tasoa. Tapahtuma on esitetty kuvassa 8. [15, 28]



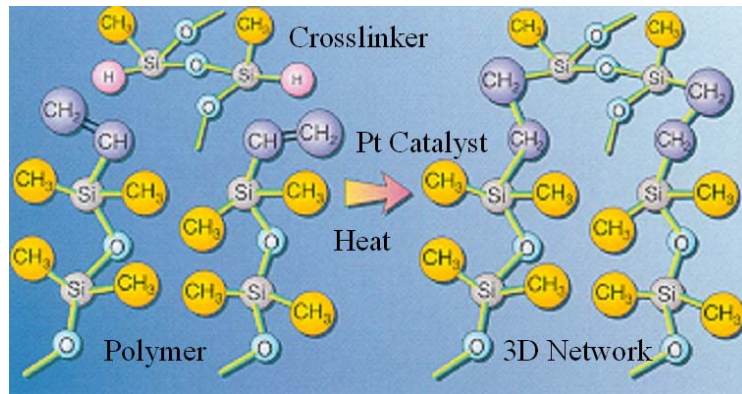
Kuva 8. Säättöaineen vaikutus silikonipintaan. Vasemmalla silikonipinnoite ilman säättöainetta, normaali release. Oikealla silikonipinnoite, johon on lisätty säättöaine, seurauksena korkea release. [28]

Katalyyttinä käytetään Platina ja Rhodium jalometalleja. Nämä metallit katalysoivat jo pienissä määrin tehokkaasti additioreaktiossa tapahtuvaa ristosilloittumista. Katalyyttiä annostellaan 50-150 miljoonasosaa silikonireseptiin. Katalyytti on sekoitettu vinyylisilikoninesteeseen. [16, 18, 30]

Inhibiittorit ovat lisäaineita, jotka hidastavat additioreaktiota ja pidentävät valmiiksi sekoitetun silikonin prosessointiaikaa. Inhibiittori muodostaa kompleksin katalyytin kanssa ja näin estää sen ennenaikaisen toimimisen. Katalyytti vapautuu lämmön vaikutuksesta inhibiittorin höyrystyessä ja haihtuessa. Kuivatusuunissa osa inhibiitista sitoutuu silikoniverkkoon. Ilman inhibiittoria silikonin kuivamisreaktio alkaisi hyvin pian heti sekoituksen jälkeen, seurauksena on viskositeetin voimakas nousu. Inhibiitti vaikuttaa myös siihen, miten nopeasti silikonin kuivaminen huuvinna alkaa ja tätä kautta vaikuttaa silikonin kypsyasteeseen. Inhibiittorit ovat hyvin keskeisessä roolissa additioon perustavassa liuotinvapaassa silikoniteknologiassa. [15, 16, 47]

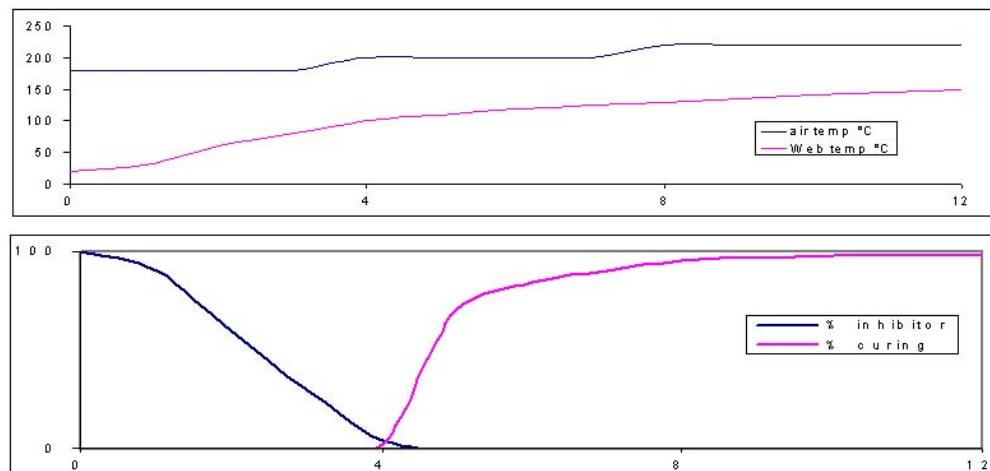
3.2 Silikonin verkottumismekanismi ja kuivatustapahtuma

Liuotinvapailla silikoneilla verkottuminen eli kuivuminen tapahtuu hydrosilaatio additioreaktion seurauksena peruspolymerin ja ristosilloittajan reagoidessa keskenään. Verkottuminen on sarja tapahtumia, jossa ristosilloittajan reaktiiviset Si-H-ryhmät ja peruspolymerin -CH=CH₂-vinyyliryhmät liittyvät katalyytin läsnä ollessa toisiinsa. Tuloksena on tiheä kolmiulotteinen silikoniverkko. Verkottuminen on esitetty kuvassa 9. [16, 23, 24]



Kuva 9. Silikonin verkottuminen [21]

Silikoni kuivatetaan lämmön avulla silikonihuvissa. Yleensä lämpötila on 80-200°C asteen välillä. Kuivumisreaktion on mahdollista tapahtua jo huoneenlämpötilassa, mutta reaktio on puskuroitu inhibiittorin avulla. Silikonin kuivuminen huvissa alkaa vasta kun inhibiittori on haihtunut ja katalyytti pääsee toimimaan. Kuvassa 10 on esitetty ylhäällä radan lämpötilan nousu huvissa ja alhaalla inhibiittorin haihtumisen ja kuivamisen välinen yhteys. Silikonin additioreaktioon perustuva kuivatustapahtuma on nopea ja kestää 2-20 sekuntia riippuen lämpötilasta ja konenopeudesta, joka on tyypillisesti välillä 120-600 m/min. [16, 8] Voimakkaasti inhiboidun silikonin kuivatusta voidaan tehostaa lisäämällä lämpötilaa ja verkottumisaste yleensäkin riippuu voimakkaasti kuivatuslämpötilasta [19] Perusedellytys onnistuneelle silikonipäällysteelle on tasainen ja jatkuva päällystekerros, joka on kunnolla kuivattu. Hyvä kuivatus vähentää reagoimattomien silikonikomponenttien kuivumisen jälkeisiä reaktioita. [29] Silikonin epätäydellinen reagoitusaste on yleistä, kun nostetaan nopeutta kasvaneiden tuotantotavoitteiden seurauksena. [33]



Kuva 10. Radan lämpötilan nousu, inhibiitin haihtuminen ja silikonin kuivuminen [8]

Tarvittavaa kuivatuslämpöä voidaan alentaa käyttämällä enemmän katalyyttiä, samalla kuitenkin joudutaan lisäämään inhibiittorin määrää, jos halutaan säilyttää sama säiliöikä. Kuivatuslämpöä voidaan myös alentaa käyttämällä nopeasti kuivuvaa crosslinkeriä, vähentämällä inhibiitin määrää tai korvaamalla peruspolymeerin vinyyliryhmiä heksenyyli-ryhmillä. Näillä muutoksilla on kuitenkin vaikutusta valmiin silikonin säilytysikään, ankkurointiin sekä pidempiaikaiseen stabiilisuuteen. Liuotinvapaita silikoneja käytettäessä joudutaan etsimään tasapaino kuivatusominaisuuksien ja säiliöiän kanssa. Pitkä säiliöikä vaatii pitkän kuivatuksen. [39, 30]

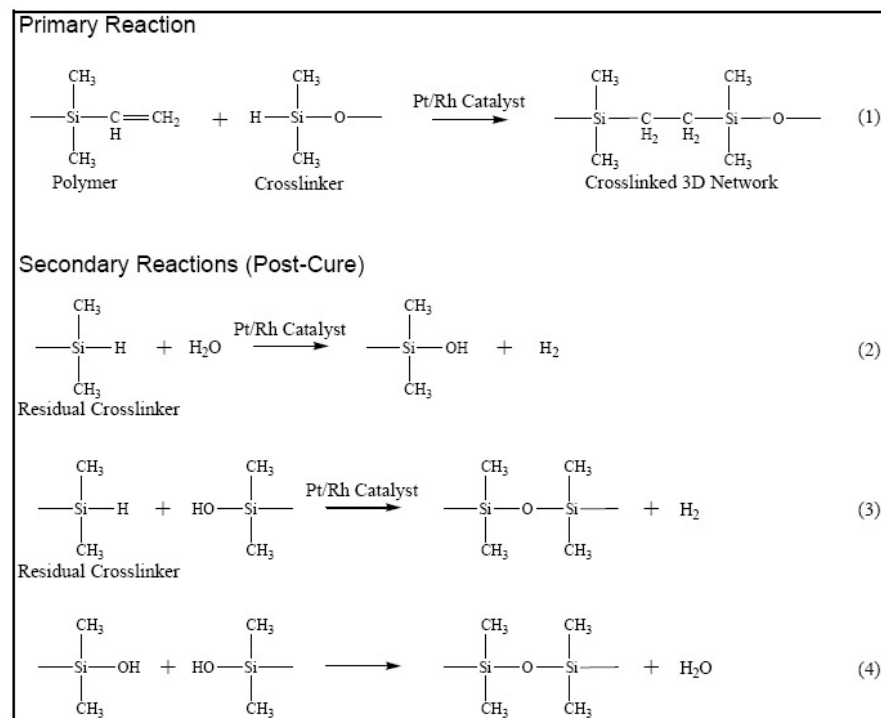
Jotta saavutetaan silikonipinta, josta ei siirry eikä migratoidu mitään silikonikomponenttia, polymeeriketjujen täytyy olla tiukasti sitoutuneita toisiinsa ja muodostaa yhtenäinen filmi. Tähän vaikuttaa ristosilloittumis- ja kuivumistapahtumien kemia. Alhaisen releasen saavuttamiseksi täytyy maksimoida käytettävän peruspolymeerin määrä, nopea kuivattaminen taas vaatii katalyytin ja ristosilloittajan määrän maksimointia. [47]

3.2.1 Verkottumisen jälkeiset reaktiot

Verkottumisen jälkeen silikonissa tapahtuu jälki-kuivumisreaktioita, joilla on merkittävä rooli silikonin lopullisessa kiinnittymisessä paperiin. [29]

Hydrosilaatio-additioreaktioon perustuva silikonin verkottumismekanismi toimii yleensä varmasti ja on helposti kontrolloitavissa. On kuitenkin varmistettava, ettei katalyytti pääse myrkyttymään ja että silikoni on kunnolla kuivattu. Näin kuivumisen jälkeisiä reaktioita kuten migraatiota, blockingia ja rubboffia tapahtuu mahdollisimman vähän. [30]

Jälkikuivumis- eli post curereaktioiden seurauksena tapahtuu silikonin lopullinen kiinnittyminen paperin pintaan. Jälkikuivumisreaktioita tapahtuu etenkin silloin kun crosslinkeriä käytetään reilusti ylimäärin. Kuvassa 11 on esitetty verkkottuminen ja silikonin jälkikuivumisreaktioita. Ensimmäisessä kohdassa on esitetty silikonin verkkottumisreaktio, joka käsiteltiin edellisessä kappaleessa. Toisessa kohdassa ristosilloittajan silikonihydridiryhmät (SiH) muodostavat hydrolyysin seurauksena silanoli-ryhmiä (SiOH). kolmannessa kohdassa SiOH-ryhmät reagoivat SiH -ryhmien kanssa muodostaen Si-O-Si sidoksia. Neljännessä kohdassa on esitetty kondensaatioreaktio, missä kaksi silanoliryhmää liittyy toisiinsa. [29]

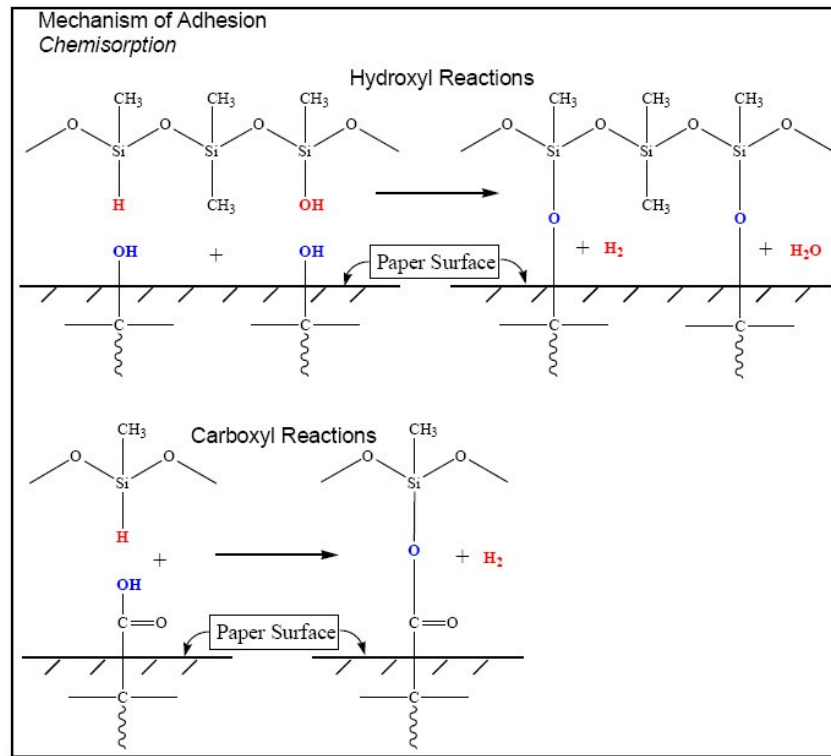


Kuva 11. Silikonin jälkikuivumisreaktiot [29]

Silikonin kiinnittyminen paperin pintaan: silikonit ovat kemialliselta luonteeltaan matalan pintaenergian aineita, mikä on seurausta silikonin polaarisesta joustavasta ketjurakenteesta. Edellä mainitusta johtuen silikonin hyvän ankkuroinnin saavuttaminen on haasteellista.

Silikonin ankkuroituminen taustapaperiin tapahtuu sekä kemiallisin että mekaanisin sidoksin. Silikoni on herkästi juoksevaa ainetta ja voi tunkeutua helposti huokoiseen materiaaliin kuten paperiin muodostaen kuivaessaan mekaanisia sidoksia. Irrokepaperit, kuten superkalanteroitu kraft- ja glassiinipaperi, ovat rakenteeltaan mahdollisimman tiiviitä, jotta tunkeutuminen olisi mahdollisimman vähäistä. Lisäksi ne ovat yleensä vielä pinta-

liimattuja. Liimat sisältävät PVA:ta, CMC:tä ja tärkkelystä. Mekaanisten sidosten merkitys onkin vähäinen silikonin ankkuroitumisessa verrattuna kemiallisiin sidoksiin. [29, 31]



Kuva 12. Silikonin kiinnittyminen paperiin ja siihen johtavat reaktiot. [29]

Silikonin kemiallinen kiinnittyminen paperin pintaan tapahtuu vasta verkottumisreaktion jälkeen. Silikonissa on aina ylimäärin crosslinkeriä, näin ollen silikonin verkottuessa jää reagoimattomia SiH-ryhmiä ja niistä hydrolyysin seurauksena syntyviä SiOH-ryhmiä. Edellä mainitut ryhmät reagoivat paperin pinnassa olevien hydroksyyli- (OH) ja karboksyyli-ryhmien (COOH) kanssa, jolloin tapahtuu silikonin kiinnittyminen paperin pintaan. Silikonin kiinnittyminen paperin pintaan on esitetty kuvassa 12. [29]

Liuotinvapaissa silikononeissa käytetään lyhytketjuista peruspolymeeriä, jotta viskositeetti saataisiin riittävän alhaiseksi. Seurauksena kuitenkin on, että silikoni penetroituu paperiin. [30] Tunkeutuminen on esitetty kuvassa 13. Lyhytketjuiset silikonit, joilla on alhainen viskositeetti, tunkeutuvat huokoiseen selluloosamatriisiin herkemmin kuin pitkäketjuiset kumimaiset silikonit. [16] Silikonivalmistajan edustajan mukaan on mahdollista, että silikonin komponentteja menee myös paperin läpi. [20]



Kuva 13. Silikonin tunkeutuminen paperiin [30]

Rub off on käänteinen reaktio silikonin ankkuroitumiselle. Ajan kuluessa silikonin kemialliset sidokset purkautuvat. Silikonipinnan joutuessa mekaanisen rasituksen alaiseksi myös mekaaniset sidokset katkeavat ja pinnoite irtoaa. Tähän vaikuttavat paperin pintarakenne, silikonin penetroitumisaste sekä liimasta liukenevat komponentit. Rub offia tapahtuu silikonin vanhetessa ja pidempiaikainen säilytys voi huonontaa silikonin ankkurointia irrokepaperiin. Erityisesti korkea säilytyslämpötila aiheuttaa Rub offia. [29, 32]

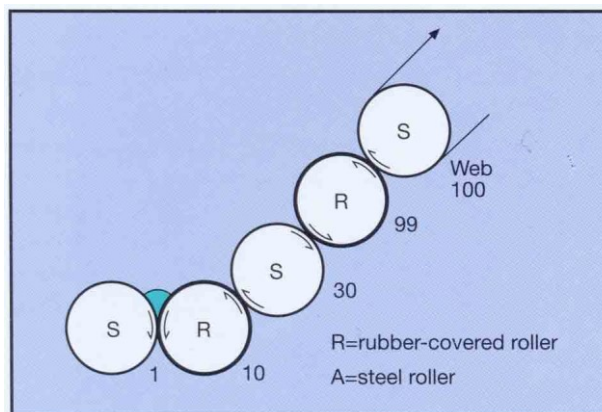
Katalyyttimyrkyt hidastavat verkottumista. Pt- eli platinakataloidut liuotinvapaat silikonit ovat suhteellisen herkkiä myrkyttymiselle. Myrkyttyminen tapahtuu katalyytin muodostaessa kompleksin jonkin toisen aineen tai yhdisteen kanssa, minkä seurauksena katalyytin toiminta estyy. Inhibiittorit toimivat myös tällä tavalla, mutta inhibiittoreina käytetään aineita, jotka lämmön vaikutuksesta haihtuvat kuivatustapahtumassa. Katalyyttimyrkkyjä ovat esimerkiksi tietyt metalliyhdisteet, klooria sisältävät liuottimet, alkoholit ja asetaatit kuten etyyliasetaatti. Edellä mainittuja aineita voi esiintyä irrokepaperissa ja prosessiympäristössä. [15, 28, 30] Taustamateriaalissa tai pintaliimoissa olevat aineet saattavat toimia inhibiittorina. Aina kun otetaan uusi materiaali käyttöön, on syytä tarkistaa, onko sillä inhiboivia vaikutuksia. [51]

4. SILIKONOINTI JA PROSESSILAITTEET

Aplikointimenetelmät voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään: Menetelmiin, joissa silikonia annostellaan ensin ylimäärin ja kaavataan pois ja menetelmiin, joissa silikonia annostellaan juuri oikea määrä. Ensiksi mainittuja ovat sauvakaavin, ilmaterä ja teräpäälystysasemat. Jälkimmäiseen ryhmään kuuluvat offset gravure sekä monitela-asemat, ne ovat suosittuja, koska niillä voidaan sivellä tarkasti vähäisiäkin päällystemääriä. TELA-asemalla voidaan annostella päällystettä 0,1-3 g/m².

Liuotinvapaissa silikoneissa on 100 % kiintoainepitoisuus ja 1 g/m² sively vastaa noin 5 mm pisaraa, joka levitetään neliömetrille. Näin pienen määrän levittäminen neliömetrille tasaiseksi kalvoksi on haasteellinen tehtävä. TELA- ja gravureasemat soveltuvat parhaiten tähän tehtävään. Pohjois-Amerikassa käytetään paljon gravure tyyliä asemia, kun taas Euroopassa suositaan sileäpintaisia monitela-asemia.

Monitela-asemalla saavutetaan paras silikonointijälki ja -peitto. Rakenne on suhteellisen monimutkainen ja vaatii nippipaineiden ja pyörimisnopeuksien hyvää hallintaa. Silikoni annostellaan nippiin, josta se filmin halkeamisen seurauksena siirtyy telalta toiselle ja lopulta radan pintaan. Telojen pyörimisnopeus kiihtyy rataa kohti mennessä. Kuvassa 14 on esitetty 5-tela aseman periaatekuva. Telat vasemmalta oikealle ovat annostelutela 1, annostelutela 2, Siirtotela, sivelytela ja vastatela. Annostelutela 2 nopeudella säädetään päällystemäärää. [47, 15]



Kuva 14. 5-tela silikonointiasema [47]

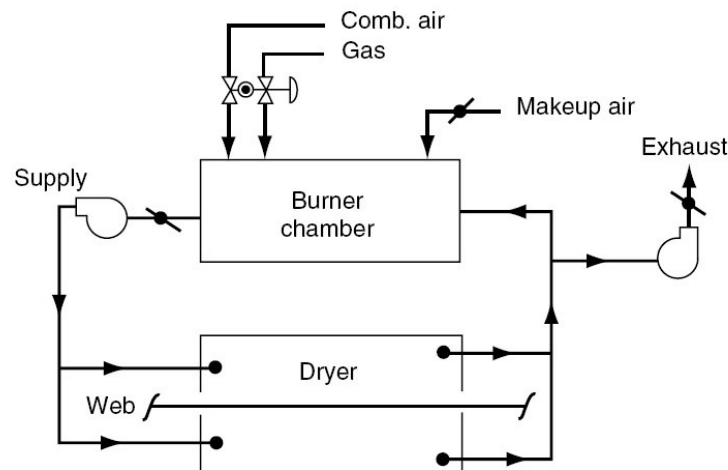
Silikonin annostelu: Silikoni sekoitetaan useammasta komponentista. Komponentit pumpataan ensin omiin punnitussäiliöihinsä, joista ne punnituksen jälkeen annostellaan

tietyssä järjestyksessä sekoitussäiliöön. Sekoitussäiliössä silikonista sekoitetaan tarvittava aika, jonka jälkeen sikoni pumpataan silikoniasemalle applikoitavaksi.

4.1 Silikonin kuivattaminen

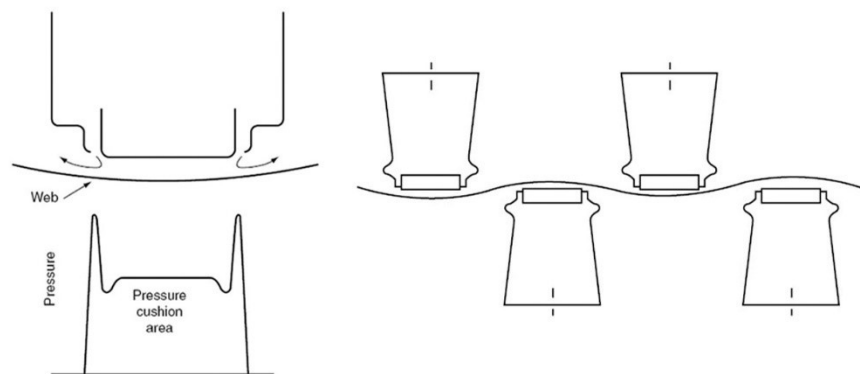
Silikonin yleisin kuivatustapa on kuivatusuuni, jossa rataa puhalletaan suuttimista kuumaa ilmaa. Ilman lämmittäminen tapahtuu useimmiten maakaasupolttimilla tai höyryllä. Rata voidaan viedä huuviin telojen tai ilmapuhallusten avulla. Joissain sovelluksissa kuivatuskanaali on asennettu kaaren muotoon, tämä helpottaa radan hallintaa ja vähentää käyristymistä. Leijuhuuviin rataa puhalletaan kuumaa ilmaa molemmin puolin ja näin saavutetaan hyvä kuivatusteho. Telojen avulla rataa viettäessä kuivatus tapahtuu vain yläpuolelta. Tämä alentaa kuivatustehoa mutta vähentää myös radasta haihtuvaa kosteutta. IR-kuivaimet soveltuvat myös silikonin kuivattamiseen, niitä voidaan käyttää yhdessä tai erikseen leijukuivaimien kanssa. [47, 49]

Kuvassa 15 on esitetty maakaasukäyttöinen huuva, jossa on lämmitetyn ilman takaisinkierrätys. Ilman kierrätys voidaan tehdä suoraan kuten kuvassa tai lämmönvaihtimien kautta. Lämmönvaihtimen hyötynä on, että kuivatuksessa syntyvät epäpuhtaudet eivät pääse takaisin huuvin ilmakiertoon. Huuva koostuu seuraavista osista: polttokammioista, kiertoilmapuhaltimesta, poistoilmapuhaltimesta sekä kuivatusuunista. Maakaasuhuuviin ilman lämpötila voi saavuttaa 400°C höyryllä lämmittäessä päästään 200 °C. [49]



Kuva 15. Maakaasukäyttöinen huuva [49]

Leijuhuvissa rataa viedään ilmasuuttimien avulla. Suutinrakenteita on monenlaisia; suuttimen koko, muoto ja reikien määrä vaihtelee. Suuttimen lämmönsiirtokerroin paranee reikien määrää lisättäessä. Kuvassa 16 on esitetty radan vieni suuttimien avulla sekä kaksirakoisen suuttimen rataan kohdistama painejakauma. Suuttimen tehtävä on kuljettaa rata hallitusti huuviissa niin, ettei rata osu suuttimiin eikä esimerkiksi hallitsemattomia lepatuksia ilmene. Kaksirakoisia suuttimia käytettäessä rata kulkee siniaallon lailla. Tämä vähentää käyristymistä ja antaa radalle hyvän hallittavuuden ja mahdollistaa radan vienin eri etäisyyksillä ja suutinpaineilla. [49, 50]



Kuva 16. Suuttimen rataan aiheuttama painejakauma ja radan kulku puhallusten välissä [49]

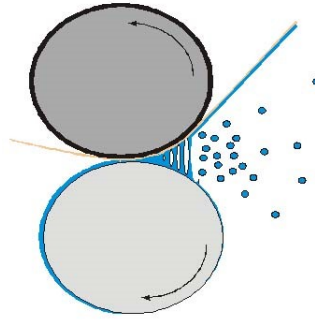
Infrapunakuivaimia on kahta tyyppiä; kaasulla ja sähköllä toimivia. Kennon lämpötila on yleensä välillä 600-1200 °C. Korkeasta lämpötilasta johtuen on olemassa tulipaloriski etenkin ratakatojen yhteydessä. Säteilijän aallonpituus vaikuttaa siihen miten syvälle materiaaliin säteily uppoaa. Aallonpituutta lyhennettäessä säteily tunkeutuu materiaaliin syvemmälle. Yleensä on toivottavaa, että lämpö uppoaa materiaaliin syvemmälle. Jos lämpö jää vain pintaan seurauksena on päällysteen nahkoittuminen ja kupliminen. Lämmönsiirtymiseen vaikuttaa materiaalin väri- ja heijastusominaisuudet. Radan lämpiäminen tapahtuu pääasiassa säteilyn seurauksena. [49]

Liutin vapaan silikonin kuivattaminen tulee tehdä nousevalla lämpötilaprofililla. Filmin halkeamisen seurauksena tuleva pinta on hieman appelsiinimainen ja tarvitsee hieman aikaa tasoittuakseen. Lämpötila auttaa tasoittumista, mutta jos kuivatustapahtuma alkaa liian äkkiä liian korkean lämpötilan johdosta niin tasoittumista ei ehdi tapahtua. Kuivatusajat ja lämpötilat, jotta saavutetaan hyvin ankkuroitunut silikonipinta, ovat uuni- ja sovelluskohtaisia. [47]

4.2 Pölyn syntyminen huuviin

Höyrystyminen: Silikonin verkkouttamiseen käytetään uuneja, joissa puhalletaan kuuma ilmaa suurella nopeudella kohti rataa. Uunit ovat tehokkaita ja näin kuivatustunnelin ei tarvitse olla kovin pitkä. Tämä johtaa kuitenkin siihen, että kuivamisajat jäävät lyhyeksi alle jopa 2,5 sekunnin ja kuivatuslämmöt nousevat korkeiksi jopa 260°C, jotta silikonin kunnollinen verkottuminen tapahtuu. Tästä seuraa paperin kuivumista ja silikonin huomattavaa höyrystymistä. Höyrystyminen on iso ongelma etenkin liuotinvapaissa silikoneissa, koska niissä molekyyliketjujen pituudet ovat lyhyitä. Tämän seurauksena Crosslinkerin SiH-ryhmät saattavat höyrystyä pois ja tämä voi aiheuttaa huonon verkottumisen. Toinen höyrystymiseen liittyvä ongelma on pölyn syntyminen huuviin. Pöly syntyy, kun höyrystynyt silikoni menee lämmitysilmän uudelleen kierrätykseen, jossa se hapettuu silikonipölyksi. Silikonipöly tarttuu huuvan kanavistoihin ja suuttimiin aiheuttaen useasti toistuvan puhdistustarpeen. Suositeltavaa onkin käyttää pitkiä uuneja, joissa ulostulolämpötila on kohtuullinen välillä 120-150° C ja kuivatus aika noin 5 sekuntia. Silikonipölyä esiintyy huuvisissa enemmän kun käytetään helposti haihtuvaa lyhytketjuisesta croslinkeriä. Pölyä voidaan vähentää vaihtamalla croslinker pidempiketjuiseen, joka ei ole niin herkkä höyrystymään. [16, 20]

Sumuaminen: Sumua syntyy, kun silikonifilmi halkeaa kovan leikkauksen alla silikoniaseman teloilla. Kuvassa 17 on esitetty sumun syntyminen. Mitä kovempi on linjanopeus, sitä enemmän sumuamista esiintyy. Sumu esiintyy pieninä pilvinä. Sumua alkaa syntyä jo varsin alhaisilla ratanopeuksilla, mutta yli 500 m/min ratanopeuksilla silikonisumun syntyä on mahdoton kokonaan estää. Suuri osa silikoniasemalla syntyvästä sumusta menee radan imussa huuviin. Siellä se aiheuttaa huuviin pölyntymistä. Sumu saattaa kulkeutua myös radan taustapuolelle ja aiheuttaa ongelmia jatkojalostuksessa [32, 48]



Kuva 17. Silikonin sumuaminen filmin halkeamisen seurauksena [8]

Silikonisumu kertyy myös prosessilaitteisiin ja altistaa myös alueella työskenteleviä henkilöitä silikonihöyrylle. [32, 48] Sumun määrää voidaan mitata tietokoneeseen kytketyillä antureilla, jotka mittaavat partikkeleiden massaa ja kokoa. Toinen vaihtoehto on pumpata ilmaa filterin läpi, joka on vaa`an päällä. Henkilöiden altistusta voidaan mitata asusteisiin kiinnitetyllä kapselilla. [32, 48]

Sumun aiheuttamia haittoja voidaan estää vähentämällä sen syntymistä tai poistamalla sitä tehokkaammin. Sumua voidaan imeä kohdepoistojen avulla nipeistä, missä sumua syntyy. Ongelmaksi kuitenkin usein muodostuu suodattimien tiheä vaihto tarve. Syntyvä sumu voidaan rajoittaa tietylle alueelle koteloimalla asema ja poistamalla ilmaa sieltä. Tämä auttaa vähentämään sumua työympäristössä, mutta ei niinkään estä prosessilaitteiden ja tuotteen kontaminaatiota. Päällystyslaitteita kehittämällä voidaan vaikuttaa jossain määrin sumun syntymiseen, tämä on kuitenkin vaikeaa koska konenopeudet sekä laatu- ja tehokkuusvaatimukset kasvavat. Sumun määrää on yritetty vähentää muuttamalla päällystemäärää, linjanopeutta, telojen pyörimisnopeuseroja ja nippipaineita. Tuloksena kuitenkin on, että linjanopeus vaikuttaa eniten syntyvän sumun määrään. Uusimpiin koneisiin on asennettu halkaisijaltaan suurempia teloja. Tämä auttaa alentamaan nipin aukeamisnopeutta ja samalla alentaa telojen pyörimisnopeutta.

Silikoniresepti määräytyy yleensä silikonipinnalta vaadittujen ominaisuuksien mukaan kuten releasen ja kuivamisnopeuden mukaan. Silikonin viskositeetti, joka riippuu polymeeriketjun pituudesta vaikuttaa syntyvän sumun määrään. Tutkimuksissa on havaittu niin pilot-linjoilla kuin tuotannossa, että viskositeetin nousu aiheuttaa lisääntyvää sumuamista ainakin hitailla linjanopeuksilla. Todella matalan viskositeetin silikonitkin alkavat kuitenkin sumuta tietyissä olosuhteissa kovilla linjanopeuksilla. Korkeisiin nopeuksiin tarkoitettujen crosslinkerit, jotka sisältävät antimisting-aineita vähentävät merkittävästi sumuamista tuotteen avainominaisuuksien siitä kärsimättä. [32, 48, 51]

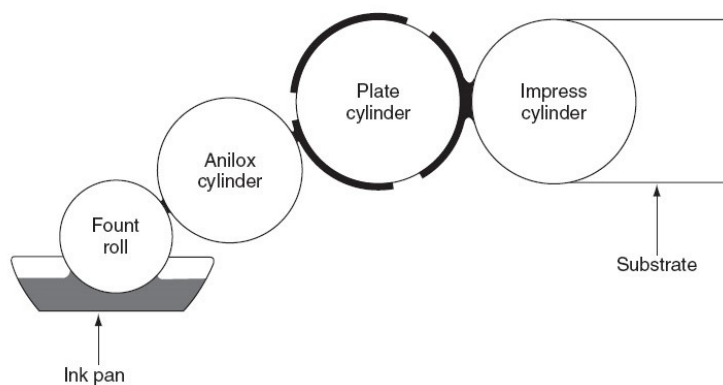
5. PAINATUS

Tarroja painetaan usealla eri menetelmällä. Painatustavan valinta riippuu mitä asioita tuotteessa pidetään tärkeinä, halutaanko esimerkiksi hyvä painojälki vai nopea ja edullinen painatus. Kaikilla painatustavoilla on omat ominaispiirteensä painojäljen ja painatustavan suhteen. Offsetpainolla saadaan tarkka kuva, jossa on hyvät yksityiskohdat. syväpaino tuottaa voimakkaat värit. Fleksopainatus on nopea ja peittävyys on hyvä. Silkkipainatuksella saadaan paksu ja läpinäkymätön värikerros. Painatukset voidaan tehdä arkkeina tai ratana. [43]

Synteettisille materiaaleille tehdään usein koronointi ennen painoprosessia tai sen yhteydessä. Koronointi parantaa painoväriin levittymistä ja ankkuroitumista. Painoprosessin yhteydessä voidaan tehdä myös stanssaus ja reunanauhanleikkaus. Valmiin painopinnan kestävyyttä voidaan parantaa ylilaminoinnilla tai lakkauksella. Monissa painomenetelmissä kuvan eri värit painetaan useammassa vaiheessa ja kohdistuksen takia on tärkeää, että laminaatti on suoraa eikä vetele koneessa kulkiessaan. [3]

Painoväriin painettavuuden kannalta tärkeimpiä ominaisuuksia ovat viskositeetti, tarttuvuus, tiksotrooppisuus ja kuivatusominaisuudet. Paksuja musteita, jotka eivät valu herkästi käytetään koho- ja offsetpainossa. Ohuita herkästi juoksevia musteita käytetään flekso- ja syväpainossa. UV-Fleksovärit ovat edellä mainittujen väliltä. Menetelmä vaatii tarkan painoväriin viskositeetin hallinnan, jottei paino-ongelmia ilmenisi. Painoväriin kuivuminen voi tapahtua hapettumisen, höyrystymisen tai ristisilloittumisen seurauksena tai värissä olevan liuottimen imeytyessä painettavaan materiaaliin. [43]

Fleksopainomenetelmä soveltuu hyvin erilaisten vaativienkin pintojen painamiseen ja sitä käytetään paljon juuri tarrojen painamiseen. Nykyään menetelmällä saavutetaan erittäin hyvä ja nopea painotulos, joka pystyy kilpailemaan hyvin myös laadullisesti muiden menetelmien kanssa. Fleksopainatuksessa väri levitetään kohokuvioidulla joustavalla painopinnalla. Jokainen väri levitetään omassa telayksikössä. UV-Fleksopainatuksessa väri kuivataan heti kunkin väriyksikön jälkeen UV-lampulla. Kohokuvioissa voidaan käyttää rasterointia, jolla pystytään säätämään värin määrää. Näin saadaan eri sävyjä aikaiseksi. Painolevy valmistetaan valoherkstä kumista valottamalla ja viimeistellään laserilla. Menetelmässä voidaan käyttää öljy ja vesipohjaisia musteita sekä UV-kuivuvia värejä. Kuvassa 18 on esitetty fleksopainatustapahtuma. Väri voidaan siirtää rasteritelalle kuten kuvassa siirtotelan tai sitten aniloxtelan voi pyöriä suoraan väriastiassa ja ylimääräinen muste kaavataan pois. Rasteritelasta väri siirtyy painolaatan pintaan, josta se siirtyy substraattiin. [3, 43, 57]



Kuva 18. *Fleksopainolaitteisto*

Offset on epäsuora painomenetelmä, siinä kuva siirtyy painolevyltä ensin kumitelalle ja siitä painoalustaan. Sileälle painolevylle kuva muodostetaan kemiallisella käsittelyllä. Kohdat, joihin ei haluta väriä käsitellään hydrofiilisesti. Sylinterin ympärille taivutettu painolevy kostutetaan ja hydrofiilisiin kohtiin tarttuu vesikerros. Tämän jälkeen sivellään väri, joka tarttuu hydrofobisiin kohtiin, näin kuva muodostuu painolaatalle. Menetelmällä saavutetaan hyvä painojälki ja painolevyt ovat nopeita valmistaa. Menetelmä soveltuu hyvin suurimittaiseen tuotantoon. [3, 43, 57]

Syväpaino on nopea menetelmä, joka soveltuu suurien määrien painamiseen. Painojälki muodostuu, kun painoväri siirtyy kuparisylinteriin kaiverrutusta rasterikuvioista substraatin pintaan. Sylinterit ovat kalliita tehdä, pinnan kestoja voidaan parantaa kromauksella. Ei sovellu pienten määrien painamiseen. [3, 43, 57]

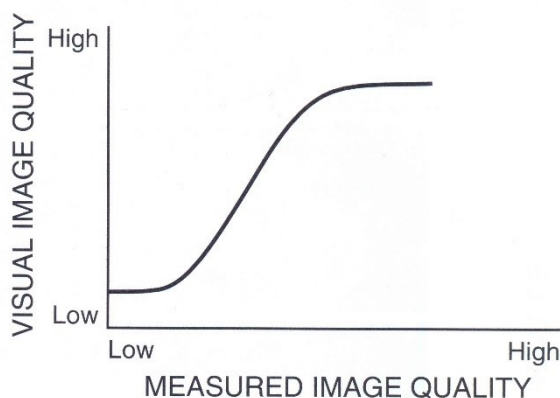
Silkkipainossa kuva saadaan painamalla painoväri seulakankaassa olevan reikäkuvion läpi. Seulakankaat valmistetaan valoherkästä kumista sabluunan avulla valottamalla. Menetelmä soveltuu monenlaisten pintojen painamiseen. [3, 43, 57]

Digitaalisissa painomenetelmissä kuvan syöttö painokoneeseen tapahtuu tietokoneohjatusti. Menetelmät soveltuvat hyvin pienien määrien ja vaihtelevan informaation painamiseen, koska kuvien vaihtaminen on helppoa ja nopeaa eikä uuden asetteen teko vaadi fyysisiä muutoksia tai koneen pysäyttämistä. Menetelmät toimivat idealtaan vastaavasti kuin tietokoneessa oleva tulostin. Elektroniset painomenetelmät voidaan jakaa tooneripohjaisiin ja ei-tooneripohjaisiin menetelmiin. Tooneria käyttävissä menetelmissä kuva muodostetaan sähkövarausten tai magneettikenttien avulla painorummulle, josta se siirretään kohteeseen. Poikkeuksena elektrografia, jossa kuva muodostetaan suoraan kohteeseen. Väriaine on yleensä jauhemaista pulveria. Poikkeuksena indigomenetelmä, jossa käytetään mustetta. Ei-tooneripohjaisissa menetelmissä kuva muodostetaan suoraan koh-

teeseen ja vaiheiden lukumäärä on pieni. Menetelmiä ovat mustesuihkutulostus ja termografia. Termografiassa kuva muodostuu suoraan lämmön vaikutuksesta lämpöherkkään erikoispaperiin tai sitten kuva siirretään lämmön avulla värinauhasta substraattiin. Valmiit pinnat voidaan lakata parantamaan värin pysyvyyttä [3, 43, 57]

5.1 Visuaalinen painojäljen arvostelu

Kuvan visuaalisella laadulla tarkoitetaan mielikuvaa, joka syntyy painojälkeä tai kuvaa katsottaessa. Painopinnasta voidaan subjektiivisesti arvioida esimerkiksi tummuutta, kontrastia, kiiltoa, väriä, pikselikokoa tai reikien määrää. Ihmissilmä pystyy havaitsemaan eroja, mutta silmällä ei pysty absoluuttisesti määrittämään esimerkiksi värin intensiteettiä. Verrattaessa visuaalista arviota koneella saatuihin tuloksiin huomataan, että silmällä voidaan erottaa vain tietty väli hyvän ja huonon väliltä. Silmällä on lähes mahdoton nähdä eroa kahden hyvän tai kahden huonon hieman erilaisen näytteen välillä, vaikka koneella arvosteltuna niillä on selkeä ero. Arvostelujen välinen riippuvuus on esitetty kuvassa 19. [46, 54]



Kuva 19. *Silmämääräinen arvostelu verrattuna koneelliseen [46]*

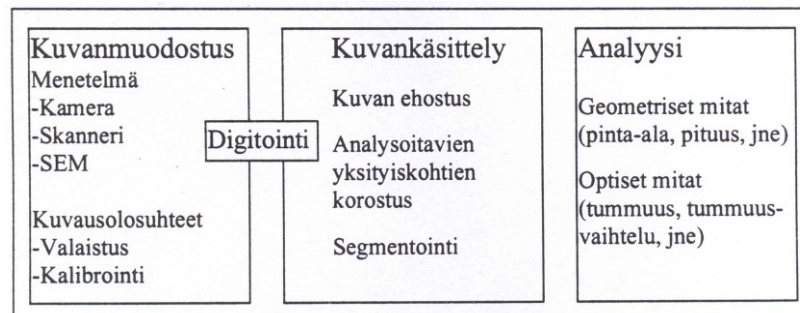
Visuaalinen arvostelu tulisi tehdä useamman henkilön toimesta. Arvosteluperusteet on määritettävä tarkkaan ja arvostelun olosuhteisiin tulee kiinnittää huomiota. Arvostelut voidaan tehdä:

- Pisteytysmenetelmällä
- Paremmuus arvostelulla: Järjestämällä näytteet paremmuus järjestykseen
- Parivertailuna

Painojäljen laadun mittauksessa pyritään toistettavuuteen ja siihen, että olisi mahdollista verrata eri aikoina saatuja tuloksia. Tulosten merkitsevyyttä voidaan arvioida luottamusvälitarkastelulla. Visuaalisen arvostelun tulokset saattavat kuitenkin hajota paljon ja luotettavien sekä vertailukelpoisten tulosten saanti voi olla haasteellista. Tämä voi johtua siitä, että arvosteltavassa ominaisuudesta on epäselvyyttä tai näytteiden väliset erot ovat pieniä. Arviointitulos riippuu myös arvioijan kokemuksesta, mieltymyksistä ja vireystilasta. [52, 53]

5.2 Koneellinen painojäljen arviointi

Tietokonepohjaista kuva-analyysiä voidaan soveltaa satelliittikuvien analysoinnista mikrokooppisen pienten kohteiden tutkimiseen. Menetelmää käytetään myös teollisuudessa laadun valvontaan. Kuvaa käsittelemällä saadaan esille tutkittavan kohteen mielenkiintoiset yksityiskohdat. Näiden määrät, muodot ja pinta-alat voidaan ilmoittaa numeerisesti mikä luo pohjan tieteelliselle tutkimukselle ja mahdollistaa matemaattisten operaatioiden käytön. [54]

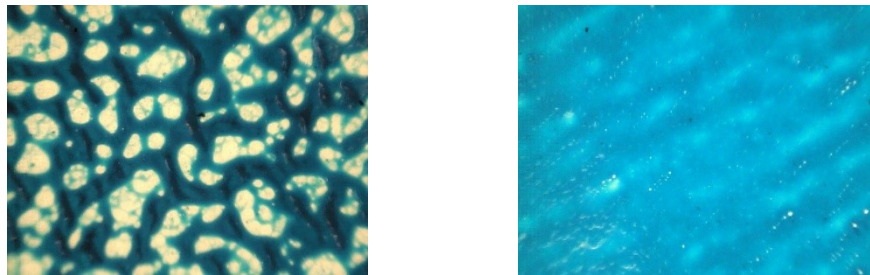


Kuva 20. Kuva-analyysin vaiheet [52]

Kuvan analysointi tapahtuu kolmessa eri vaiheessa. Ensiksi näyte on kuvattava sopivalla menetelmällä ja tarkkuudella, tähän voidaan käyttää kameraa skanneria tai mikrokooppikameraa. Kuvausvaiheessa on pidettävä huoli, että kuvausasetukset ja valaistusolosuhteet pysyvät vakioina. Toisessa vaiheessa kuva käsitellään niin, että halutut yksityiskohdat erottuvat. Kuvalle voidaan tehdä erilaisia suodatuksia ja määritellä mitä värejä ja sävyjä kuvasta erotellaan. Tämän jälkeen analyysiohjelmalla mitataan esimerkiksi kuvassa esiintyvien pisteiden pinta-aloja tai määriä. kuvassa 20 on esitetty kuva-analyysin vaiheet. [52, 54]

6. SILIKONISIIRTYMÄ

Silikonisiirtymä eli silicon transfer on ilmiö, jossa silikoinnin yhteydessä silikonia tai silikonin reagoimatonta komponenttia kulkeutuu myös irrokemateriaalin taustapuolelle. Kiinnirullatussa rullassa pintakalvon pinta ja irrokemateriaalin taustapuoli ovat vastakkain. Näin silikoni pääsee siirtymään pintakalvoon, jossa se aiheuttaa ongelmia pintakalvoa painettaessa.

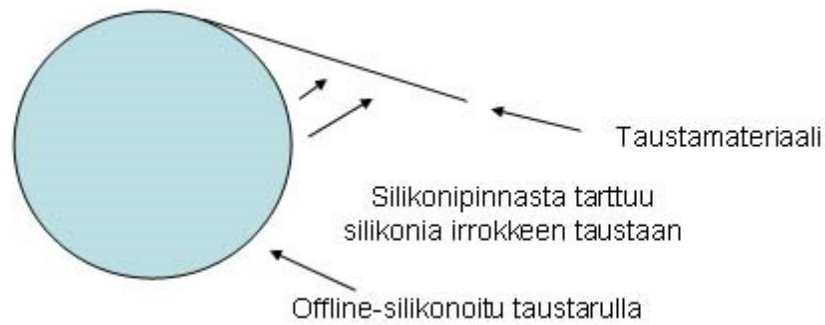


Kuva 21. Vasemmalla painojälki pinnalla, jolla on silikonisiirtymää. Oikealla painojälki puhtaalla pinnalla.

Laminaatin pintaa painettaessa silikonisiirtymä ilmenee painopinnan reikäisyytenä. Vertaamalla kuvassa 21 olevia painonäytteitä voidaan havaita silikonisiirtymän huonontava vaikutus painojälkeen. Kuvat on otettu valomikroskooppikameralla kaksinkertaisella suurennoksella.

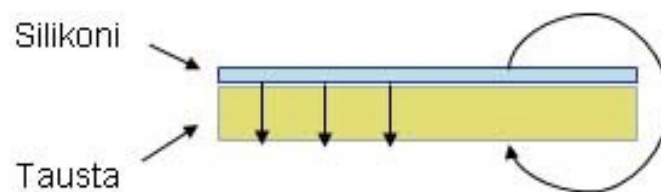
6.1 Syntymekanismi ja siihen vaikuttavat tekijät

Silikonisiirtymä-ilmiö ja sen vaikutus painojälkeen kuvattiin yleisellä tasolla aiemmin. Seuraavaksi käydään läpi tarkemmin siirtymän taustalla olevia ilmiöitä. Tausta voidaan silikonoida joko laminaatin valmistuksen yhteydessä online- tai offline-prosessina erillisellä silikonointi-linjalla. Offline-silikonoinnissa irrokepaperi kiinnirullataan, jolloin silikonipinta on suoraan vasten irrokepaperin taustaa ja silikonin irtonaisten komponenttien on mahdollista siirtyä rullassa irrokeen taustaan. Tapahtumaa on havainnollistettu kuvassa 22. Kitkamittauksissa on myös havaittu, että offline-silikonoiduissa muovitaustoisissa on matalampi kitkakerroin kuin online-silikonoiduissa, tämä johtunee juuri siirtyneestä silikonista. Alentunut kitka puolestaan johtaa löysempiin rulliin pituusleikkureiden kiinnirullaimilla.



Kuva 22. Silikonin siirtyminen raakarullassa silikonipinnasta irrokkeen taustaan

Silikonin on mahdollista siirtyä irrokkeen taustaan myös silikonointi- ja laminointiprosessin yhteydessä tai vasta ajan kuluessa valmiissa laminaattirullassa. Kuvassa 23 on havainnollistettu kahta silikonin mahdollista siirtymäreittiä. Ensimmäinen mahdollisuus on, että silikoni menee läpätunkeutumisen seurauksena taustamateriaalin läpi. Läpätunkeutuminen voi tapahtua nipeissä, huuviissa tai kostuttimissa. Silikonin tunkeutuminen taustan läpi voi myös tapahtua vasta ajan kuluessa paineen vaikutuksesta valmiissa laminaattirullassa. Toinen tapa on, että silikoni siirtyy pölyämisen, höyryämisen tai sumuamisen seurauksena. Sumuamista tapahtuu filmin haljetessa silikoniaseamalla. Sumusta likaantuneet telat voivat myös levittää silikonia. Pölyämistä ja höyryämistä tapahtuu silikonihuuviissa silikonin kuivaessa.

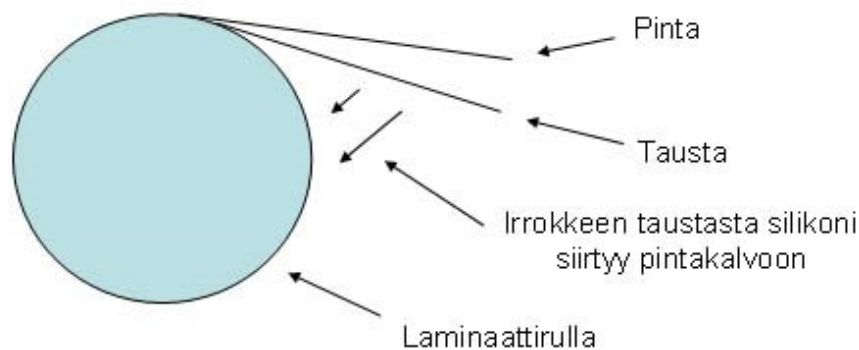


Kuva 23. Silikonin siirtyminen online-prosessissa irrokkeen taustaan läpätunkeutumisen, pölyämisen, sumuamisen tai höyrystymisen seurauksena

Läpätunkeutuminen on mahdollista oletettavasti pelkästään paperitaustalla. Muut siirtymämekanismit ovat mahdollisia yhdessä ja erikseen paperille sekä muoville. Yllä esitetyt siirtymämekanismit ovat hypoteettisia. Silikonisiirtymän yksityiskohdista ei kuitenkaan ole tarkkaa tietoa. Ei ole tiedossa, mikä komponentti silikonista siirtyy, eikä tiedetä missä vaiheessa prosessia ja millä mekanismeilla siirtymä tarkalleen tapahtuu. Alla on esitetty vielä yhteenveto mahdollisista silikonin siirtymätavoista irrokkeen taustaan.

- Silikonisiirtymän mahdollisia syntytapoja:
 - Silikoni siirtyy valmiiksi silikonoidussa taustarullassa
 - *Ongelmana offline-silikonoinnissa*
 - Pölyämisen seurauksena silikonihuuviissa
 - Pöly syntyy silikoniasemalta tulevasta sumusta ja
 - kuivatuksessa silikonista haihtuvista komponenteista
 - Kuivatuksessa syntyvät höyryt tiivistyvät irrokepaperin taustaan
 - Silikoni penetroituu taustapaperin läpi

Edellä kuvattiin silikonin siirtyminen irrokkeen taustaan. Silikonin siirtyminen pintakalvon painopintaan tapahtuu vasta valmiissa laminaattirullassa. Kiinnirullatessa irrokkeen tausta tulee laminaatin pintaa vasten, jonka seurauksena siirtyminen pääsee tapahtumaan. Laminaattirullan sisässä vallitsee paine, mikä tehostaa pinnan ja taustan välistä kontaktia. Kuvassa 24 on esitetty silikonin siirtymä irrokkeen taustasta laminaatin pintaan.



Kuva 24. Silikonin siirtyminen irrokkeen taustasta laminaatin pintakalvon painopintaan

Silikonisiirtymä on ongelma lähes yksinomaan lakatuilla muoveilla, koska niitä ei koronoida painotaloissa. On todettu, että myös lakan laatu vaikuttaa siihen muodostuuko siirtymästä ongelma vai ei. Tämä on havaittu myös silikonisiirtymää testatessa. Eri erissä ajetuista testikalvoista toinen osoitti selvän silikonisiirtymän, kun taas toisen pintaa painettaessa silikonisiirtymää ei havaittu. Lakkaamattomilla kalvoilla siirtymä ei aiheuta huonoa painojälkeä. Ilman lakkausta olevat kalvot koronoidaan ennen painamista, jolloin silikonijäämät oletettavasti palavat pois. Koronoinnilla on mahdollisuus poistaa silikoni

myös taustan taustapuolelta, mutta se vaati, että tausta on riittävän vanhaa. Tämä johtunee siitä, että penetroituminen on ehtinyt tapahtua eikä uutta enää tapahdu. Näyttää siltä, että taustan koronointi vasta-ajetulla laminaatilla ei poista silikonisiirtymäongelmaa. [9, 10]

6.2 Silikonisiirtymä CM 4:lla

Tällä hetkellä silikonisiirtymä on ongelma niin synteettisillä kuin paperitaustoilla, mutta siirtymän syntymekanismit ovat osittain erilaiset. Paperitaustojen silikonointi tehdään nykyään CM 4:lla online-päällystyksenä. Aikaisemmin paperitausta tuli Tervasaaresta valmiiksi silikonoituna. Tämä ei ole kuitenkaan vaikuttanut juurikaan siirtymätasoon, vaikka nykyisessä online-prosessissa raakarullassa tapahtuva siirtyminen onkin jäänyt pois. [9, 10]

Laminointikoneella ajettavat muovitaustat ovat tällä hetkellä toimittajan offline-silikonoinimia. Muovitaustoilla silikoni siirtymän oletetaan pääasiallisesti tapahtuvan raakarullassa suoran kosketuksen kautta. Online-silikonoinnissa raakarullassa tapahtuvasta siirtymästä päästään eroon.

6.3 Aikaisemmat tutkimukset silikonisiirtymästä

Silikonisiirtymä syntyy, kun irrokemateriaali päällystetään nestemäisellä silikonilla. Nykytekniikalla silikonია ei saada täysin aktivoitumaan vaan silikonineste pääsee kulkeutumaan irrokkeen taustapuolelle. Rullauksen yhteydessä silikoni siirtyy laminaatin pintaan. PE päällystetyt paperit ja PVC kalvot ovat erityisen herkkiä silikonisiirtymälle. Vesipohjaista mustetta käyttävillä mustesuihkutulostimilla painettaessa painopintaan tulee reikiä tai muste ei tartu kunnolla pintaan. Elektronista tooneria käyttävät tulostimet ovat myös herkkiä siirtymälle. Liuotinpohjaiset musteet ja silkkipainomenetelmä eivät ole niin herkkiä silikonisiirtymälle. Ongelmaan on keksitty ratkaisu päällystämällä irrokkeen taustapuoli patentoidulla lakalla, joka imee silikonin itseensä ja lukitsee sen sisäänsä. Näin silikonisiirtymä estyy. [34]

Silikonipinnoite on pehmeää ja joustavaa ja vaikka silikoni olisi kuinka hyvin kuivattu on mahdotonta saavuttaa pinta, josta ei siirry mitään toiseen sitä vasten olevaan pintaan. Silikonია siis siirtyy laminaatissa sitä vasten olevaan liimakerrokseen sekä offline-päällystyksessä rullauksen yhteydessä irrokkeen taustapuolelle. Siirtymäongelmasta ei ole mahdollista päästä kokonaan eroon mutta sovelluskohde määrää sen, mikä taso on hyväksyttävä. [47]

Silikoni kontaminaatio Silikoneja käytettäessä silikonია leviää helposti ympäriinsä odottamattomiin paikkoihin. Siirtymien mittaaminen tai määrittäminen on puolestaan

erittäin vaikeaa, koska määrät ovat erittäin pieniä ja niitä ei suoranaisesti voida välttämättä edes havaita vaan silikoni ilmenee esimerkiksi niin kuin tässä tapauksessa huonona painopintana. Edellä mainitun vuoksi kirjallisuudessa on paljon paikkansa pitämättömiä raportteja. Näytteiden keruu ja analysointi on hyvä hoitaa saman henkilön toimesta, että tiedetään tarkasti, mistä näytteet on kerätty sekä miten ne on käsitelty ja säilytetty. [26]

Polydimetyylisiloksaani eli PDMS nesteiden viskositeetin alentamiseen käytetään syklisiä pienimolekyylipainoisia silikoninesteitä. Näitä komponentteja syntyy myös pitkäketjuisten silikoninesteiden valmistuksen yhteydessä. Nämä molekyylit siirtyvät helposti paikasta toiseen tai haihtuvat vaikka varsinainen peruspolymeeri ei näin käyttäytyisikään. Epätäydellisesti kuivaneesta silikonista voi siis vapautua pienimolekyylipainoisia komponentteja. [59]

Asiakkaat vaativat tasalaatuisia ominaisuuksia irrokepaperilta. Prosessin vaihtelu on pidettävä minimissään mukaan lukien silikonin sekoitus ja aplikointitapahtuma. Irrokkeissa ei saisi ilmetä silikonisiirtymää. Silikonin sekoitusta ei saa siirtää liimaan eikä taustapuolelle. Valmistajat pyrkivät jatkuvasti parantamaan toimintaansa tavoitteena vakaa silikonointiprosessi, missä silikoni on mahdollisimman hyvin kypsytetty ja kiinnittynyt alustaansa. Silikonin siirtyminen irrokkeen taustapuolelle on pulmallinen ongelma, jota ei aina pystytä välttämään. Usein aliarvioidaan, miten tarkasti silikonin sekoitus päällystys- ja kuivatus-tapahtuma on kontrolloitava, jotta saadaan tasalaatuisia irrokkeita erästä toiseen. [48]

6.4 Silikonin kypsymisen ja siirtymisen testimenetelmät

Silikonin kypsyminen vaikuttaa silikonin siirtymiseen. Hyvin kypsyneestä pinnasta silikonia irtoaa mahdollisimman vähän. Silikonin kypsyminen ei ole koskaan täydellistä vaan aina jää reagoimattomia komponentteja. Silikonipinnan kypsymistä voidaan testata useammalla tavalla. Suuntaa antava tulos saadaan pintaa hankaamalla ja katsomalla tuleeko pintaan jälki tai irtoaako siitä mitään. Releasen pidempiaikainen stabiilisuus kertoo hyvin kypsyneestä silikonipinnasta. Uutto-testillä saadaan tarkka tulos kypsymisasteesta, myös ristisilloittumisen tiheyttä mittaamalla voidaan määrittää kuivamisaste tarkasti, mutta testit eivät ole nopeita tehdä. [47]

Siirtynyttä silikonia on mahdollista tutkia IR-spektrometrian ja kaasukromatografian avulla. Siirtyneen silikonin määrä voidaan myös tutkia pintaenergian muutosten avulla pudottamalla nestepisarointinäytteen pinnalle ja mittaamalla kontaktikulmia. Liimapintaan siirtynyttä silikonia on mahdollista tutkia laminaatista otetun etiketin uudelleen tarttuvuuden perusteella. [47, 59]

KOKEELLINEN OSA

7. TUTKIMUSMENETELMÄT

7.1 Tutkittavat laadut ja näytteiden otto

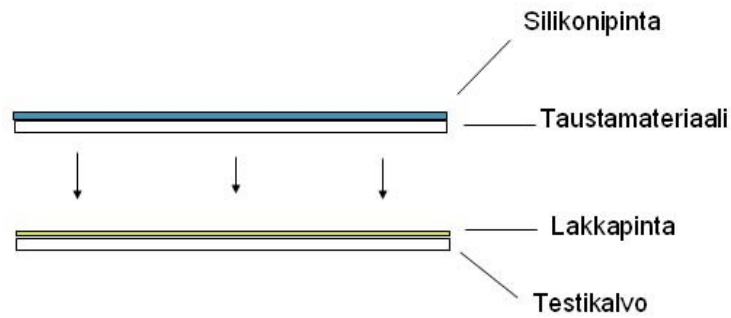
Työssä silikonisiirtymää on pääosin tutkittu paperitaustaisista muovipintaisista tarralaminaateista. Jonkin verran siirtymätestejä on tehty myös muovitaustoille. Paperitaustat ovat olleet superkalanteroitua glassiinipaperia. Pinnat ovat olleet synteettisiä muovipintoja, joista osa on ollut lakkaamattomia ja osa lakattuja. Laminaatin pinnalla ei ole havaittu olevan vaikutusta irrokkeen taustaan siirtyvän silikonin määrään.

Laminaatista otetut näytteet stanssataan A4 arkeiksi. Laminaatti taitellaan ennen stanssausta siten, että taustat ovat taustaa vasten ja pinnat pintoja vasten. Näin menetellään, jottei arkkien säilytystavan vuoksi siirtymämääriin tule eroja tai ettei taustoissa oleva silikoni säilytyksessä siirry taustasta laminaatin pintaan vaan siirtyminen tapahtuu vasta testikalvoon.

Radasta poikkisuuntaan saadaan kuusi kappaletta A4 näytteitä. Silikonisiirtymä testeihin on otettu 3-18 näytettä per rulla riippuen halutusta tarkkuudesta. Rullien silikonisiirtymätasoa on arvioitu radan poikkisuuntaan kerätyistä näytteistä ja niiden keskiarvo edustaa kunkin rullan siirtymätasoa. Silikonisiirtymätestejä on tehty irrokkeen taustasta sekä myös suoraan silikonipinnasta. Näytteitä on säilytetty vähintään kolme päivää painossa olosuhdehuoneessa ennen siirtymätestin tekoa.

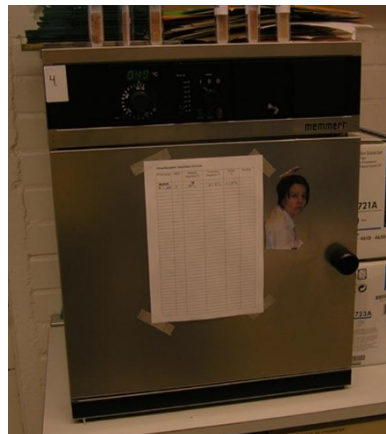
7.2 Silikonisiirtymä-testi

Menetelmällä saadaan selville, onko tarralaminaatin irrokkeen taustapuolella silikonia. Testi perustuu siihen, että painopinnan laatu korreloi silikonisiirtymän määrään. Menetelmällä pystytään havaitsemaan hyvin vähäisiä silikonimääriä, joiden havaitseminen muutoin on erittäin vaikeaa. Testissä käytetään synteettistä lakattua kalvoa, joka asetetaan lakkapuoli irrokkeen taustaa vasten. Lakka sisältää ainesosia, jotka ovat tehokkaita imeämään itseensä silikonia. Näytteen valmistelua on havainnollistettu kuvassa 25.



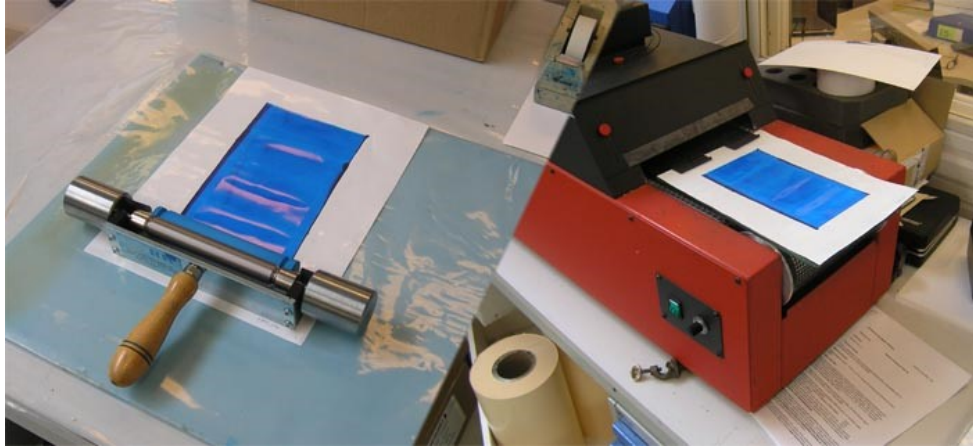
Kuva 25. Silikonisiirtymätestin näytteen valmistelu, testattava tausta asetetaan testikalvon päälle

Tämän jälkeen päällekkäin olevat A4 arkit asetetaan pahvien ja kahden lasilevyn väliin. Pino laitetaan vanhennukseen 50 asteiseen uuniin kolmeksi päiväksi 8 kg:n painojen alle, jonka aikana silikonit siirtyy irrokkeen taustasta testikalvon pintaan. Uunivanhennus jäljittelee laminaatin rullassa vanhenemista. Uuni on esitetty kuvassa 26. On todettu, että kolme päivää uunissa vastaa neljää viikkoa rullassa olemista.



Kuva 26. Näytteiden vanhennukseen käytettävä uuni

Tämän jälkeen laminaatin taustaa vasten olleet kalvot painetaan sinisellä UV-kuivuvalla painovärillä. Värinä voidaan käyttää Sigwerkin Sicura 39-6 tai XSYS Sigma väriä. Painamiseen käytetään käsitelä, jossa painoväri annostellaan kumisen ja metallisen rasteritelan väliseen nippiin. Rasterinkupin koko on 400/5 mesh. Sively on noin 10 g/m². Painettu kalvo kuivataan painamisen jälkeen UV-kuivurilla, jossa hihna kuljettaa painetun kalvon lasilevyllä UV-lampun alta. Kuvassa 27 on esitetty näytteen painatus ja kuivaus.



Kuva 27. Näytteen painaminen käsitelällä ja kuivaaminen UV-kuivurissa

Laminaatinäytteille on mahdollista tehdä erilaisia vanhennuksia eri olosuhteissa. Tässä työssä vanhennukset on tehty vakio-olosuhdehuoneessa 23 celsiusasteen lämpötilassa ja 50 % suhteellisessa kosteudessa. Lisäksi näytteille on tehty aina 3 päivän uunivanhennus 50 celsiusasteessa. Testikalvot ovat tässä tutkimuksessa olleet kummankin vanhennuksen ajan laminaatin taustaa vasten.

Silikonisiirtymän taso arvioidaan visuaalisesti painetusta pinnasta. Jos siirtymää on, painojäljessä näkyy pieniä tai isoja reikiä. Kun siirtymä on oikein paha, niin pinta on kokonaan auki. Jos siirtymää ei ole niin painopinnassa ei ole reikiä ja painopinta on tasainen. Painojälki arvostellaan seuraavasti. Kuvassa 28 arvosteluasteikko on esitetty visuaalisesti. [11]

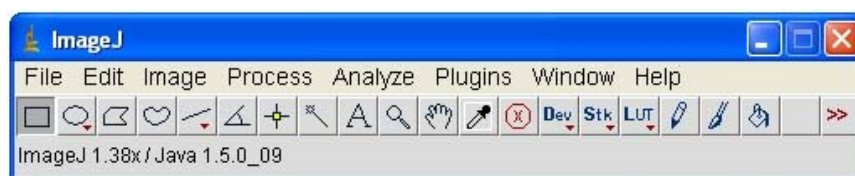
- 1= painovärialue on täynnä reikiä/ pisteitä
- 2= pisteitä/ reikiä on runsaasti
- 3= pisteitä/ reikiä on kohtalaisesti
- 4= pisteitä/ reikiä on vain vähän
- 5= painovärialueella ei ole lainkaan pisteitä/ reikiä, väri tasaisesti



Kuva 28. Silikonisiirtymän arvosteluaseikko

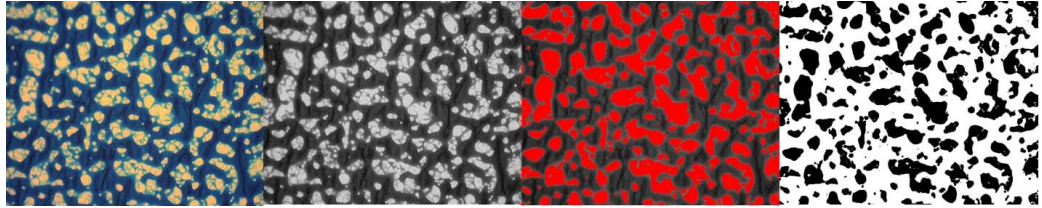
7.3 ImageJ kuva-analyysi

Painopinnan tarkka silmämääräinen arviointi on haasteellista ja vaatii useita arvostelijoita, jos tuloksista halutaan tilastollisesti päteviä. Kuva-analyysin avulla saadaan numeerisia arvioijasta riippumattomia tuloksia. Käyttökelpoisten tulosten edellytyksenä on, että näytteen teko, valmistelu ja kuvausprosessi ovat hallinnassa. ImageJ ohjelmistolla, esitetty kuvassa 30 pystytään laskemaan kuvasta esimerkiksi pinta-alasuhteita ja pilkkujen määriä. Näitä lukuja käytetään kuvaamaan arvosteltavaa ominaisuutta, tässä tapauksessa painopinnan laatua. Ohjelma on avoimen lähdekoodin sovellus, jonka voi ladata ilmaiseksi verkosta. Ohjelmaa on mahdollista muokata omiin käyttötarkoituksiin sopivaksi ja siihen on saatavilla monenlaisia valmiiksi tehtyjä lisäominaisuuksia. Ohjelmaan on mahdollista tehdä makroja, joiden avulla ohjelma esimerkiksi automaattisesti analysoi kuvia kansioista.



Kuva 29. ImageJ ohjelmisto

Kuva-analyysin kulku on seuraava. Ensin on **kuvanmuodostus** tutkittavasta kohteesta. Tämä voidaan tehdä kameralla tai skannerilla. Tässä työssä kuvat painopinnasta on otettu mikroskooppikameralla 2-kertaisella suurennoksella, tutkittava alue on noin 5x5 milliiä. Kuvaus tulee suorittaa riittävällä tarkkuudella ja niin, että halutut yksityiskohdat erottuvat selkeästi. Kuvan analysointi perustuu kuvassa esiintyviin sävyeroihin, joten analysoitava näyte kannattaa kuvata niin, että kontrastierot ovat selkeitä. Apuna voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia suotimia tai polarisaattoreita. Kun sopivat asetukset ovat löytyneet, niin on pidettävä huoli, että kaikki näytteet kuvataan samalla järjestelyllä, samoilla laitteilla ja asetuksilla samoissa olosuhteissa, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia. **Kuvankäsittely** vaiheessa kuvaa käsitellään siten, että halutut yksityiskohdat saadaan esiin, kuvassa 30 on esitetty kuvankäsittelyn eri vaiheet.



Kuva 30. kuvankäsittelyn vaiheet

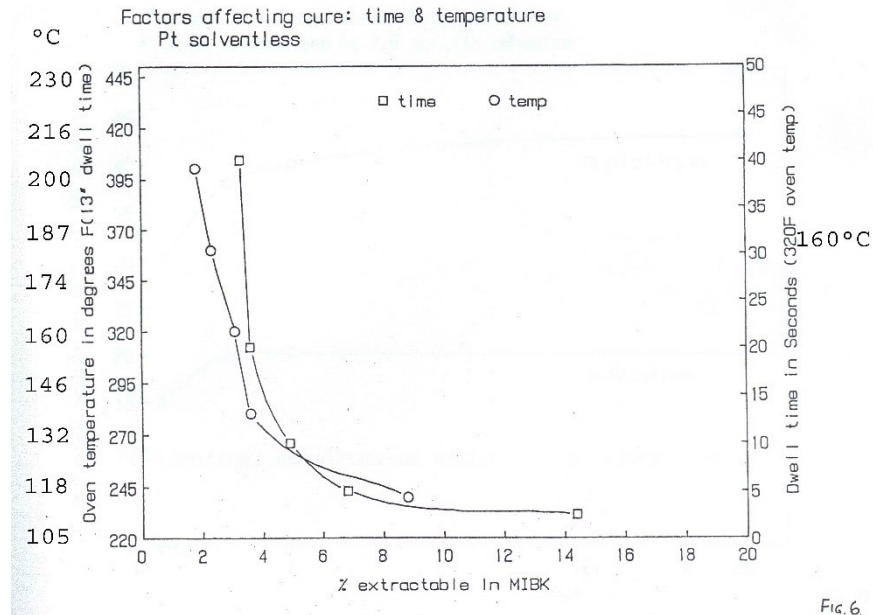
Aluksi värikuva muunnetaan mustavalkoiseksi, tämän jälkeen tehdään rajausta, jossa sävyjakaumaan pohjautuen kuvasta säädetään halutut yksityiskohdat esille. Tämän jälkeen kuvasta poimitaan erotettu alue, jolle analyysi tehdään. **Analyysivaiheessa** kohteesta lasketaan geometriset mitat kuten pinta-ala ja pisteiden määrä sekä koko.

7.4 Silikonimäärän mittaus

Silikonimäärän mittaus tehdään Oxford Lab-X3000 laitteella. Laite mittaa silikoni määrän röntgensädefluoresenssin avulla suojakaasu ympäristössä. Näytteen valmistelu; näyte eli laminaatti avataan ja siitä leikataan kiekko leikkurilla laitteeseen sopivankokoinen näyte. Näyte laitetaan pidikkeeseen ja asetetaan koneeseen. Näytettä käsitellään pinseteillä, siinä ei saa olla merkintöjä eikä siihen saa koskea käsin. Laite mittaa silikonimäärän ja ilmoittaa sen neliöpainon g/m^2 .

7.5 Aktivoitumattoman silikoni määritys uuttamalla

Aktivoitumaton silikoni saadaan selville mittaamalla näytteestä silikonimäärä ennen ja jälkeen uuton. Testillä saadaan selville minkä verran silikonia irtoaa tutkittavasta näytteestä ja miten hyvin aktivoituminen ja verkottuminen on tapahtunut. Näyte valmistellaan samalla tavalla kuin silikonimäärän mittauksessa. Sen jälkeen näyte laitetaan 100ml pulloon, johon lisätään noin 30 ml metyyli-isobytyyliketonia. Näytteitä uutetaan 24 tuntia, jonka jälkeen näytteet otetaan pois pulloista ja kuivataan nukkaamattomalla paperilla. Näytteiden annetaan kuivua sen aikaa vetokaapissa, että MIBK haihtuu, tämän jälkeen mitataan silikonimäärä. Uuttunut silikonimäärä lasketaan prosentteissa. Tavoitearvo on 5 % tai vähemmän [15]



Kuva 31. Kuivatuslämpötilan ja ajan vaikutus uuttuneen silikonin määrään. [33]

Silikonista uuttuneen silikonin määrää käytetään indikoimaan kuivumisastetta. Hyvä taso uuttuneessa silikonissa on 2-4 % joissain tapauksissa voidaan sallia jopa 5-10 % uuttunutta silikonista. Kuvassa 31 on esitetty kuivumisajan ja lämpötilan vaikutusta uuttuneeseen silikonin määrään. Havaitaan, että lämpötilan nosto ja pidempi kuivausaika vähentävät uuttuneen silikonin määrää. Kuvaajassa uuttunut silikoni on mitattu MIBK liuoksesta. Tässä diplomityössä uuttunutta silikonista on mitattu aiemmin kuvatulla tavalla. Eri mittauksilla saatujen tulosten vertailukelpoisuudesta ei ole tarkkaa tietoa. [33]

7.6 Silikoniaseman nippipaineen määrittäminen

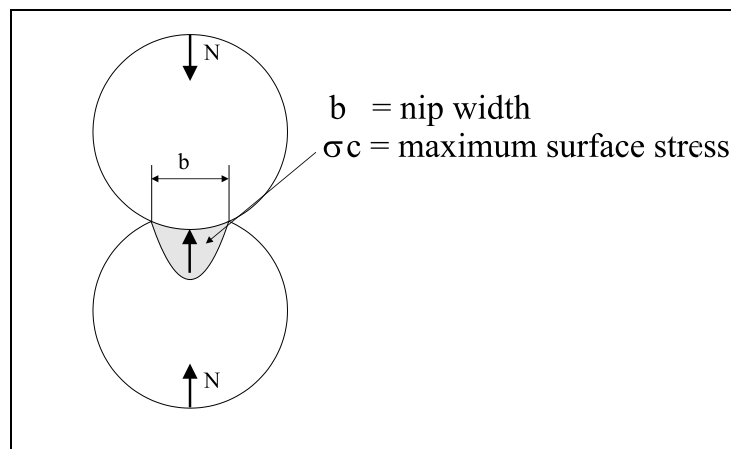
On syytä olettaa, että jos silikoni menee paperista läpi, niin silikonointiaseman nippipaineella on tähän vaikutusta. Tässä työssä lasketaan silikoniaseman kumisen sivelytelan ja teräksisen vastatelan välinen paine. Tästä paineesta riippuu hydrodynaaminen paine, joka vallitsee varsinaisessa päällystystapahtumassa, johon puolestaan vaikuttaa nesteen viskositeetti ja telanopeus. Laskenta on tehty Hertzin pintapaineteorialla. Sillä voidaan laskea keskimääräinen- sekä maksimipaine nipissä. Näiden laskemiseksi on oltava tiedossa materiaalivakiot ja telageometriat sekä muut tarvittavat tiedot.

Alla on esitetty kaavat 1 ja 2 hertzin mallin mukaisten materiaalivakioiden laskemiseen, joissa E youngin moduli, ν poissonin luku ja D telan halkaisija.

$$c = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \quad (1) \qquad k = \frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2} \quad (2)$$

Kaavojen 3 ja 4 avulla pystytään laskemaan maksimaalinen nippipaine σ_c

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{2N}{\pi ck}} \quad (3) \qquad b = 1,60\sqrt{Nck} \quad (4)$$



Kuva 32. Telojen välinen kosketus

Kaavalla 5 voidaan keskimääräinen nippipaine P

$$P = \frac{N}{b} \quad (5)$$

Nippipaineiden laskemiseksi tarvittava normaalivoima saadaan selville laskemalla se kaavasta 4. Normaalivoiman laskemiseksi täytyy tietää nipin leveys. Kuvassa 32 on esitetty nippiväli. Leveyden mittaukseen on olemassa useampia menetelmiä. Voidaan esimerkiksi käyttää paineherkkää indikaattorifilmiä tai mitata nesteen jättämän jäljen leveys teloissa. Tässä työssä leveys mitataan seuraavasti: ensin toinen teloista kostutetaan silikonilla, jonka jälkeen nippi painetaan kiinni ja tämän jälkeen mitataan nesteen jättämän jäljen leveys. Leveys voidaan vaihtoehtoisesti esimerkiksi määrittää indikaattorifilmillä. [61]

7.7 Release-tason mittaus

Testissä mitataan irrotusvoima, eli voima, joka tarvitaan pintamateriaalin irrottamiseksi taustasta. Mitattava testikappale on kooltaan 50mm x 165mm. [Työohje] Saatavaan arvoon vaikuttaa vedetäänkö laminaatista pois pinta vai tausta.

Myös irrotuskulma ja materiaalin jäykkyys vaikuttaa saatavaan arvoon. Liiman ja silikonin tyypillä ja kuivausasteella on vaikutusta releaseen. Säilytysaika ja olosuhteet vaikuttavat releaseen. [43, työohje]

7.8 Taguchi-menetelmä ja SPC

Taguchi-menetelmä on laatufilosofia, jonka avulla voidaan optimoida tuotteita ja prosesseja. Laatufilosofiaan kuuluu esimerkiksi seuraavia näkökohtia: laadun parantaminen ja kustannusten alentaminen on samanaikaisesti mahdollista pienentämällä tuotteen ominaisuuksien vaihtelua ja, että vain tavoitearvo on laatua. Menetelmässä yhdistyy tilastotekniikka ja insinööritekniikka ja se koostuu kolmesta perusvaiheesta: systeemisuunnittelu, parametrisuunnittelu ja toleranssisuunnittelu. Vaikka Taguchi-menetelmä on laaja laatufilosofia, niin se koostuu pienemmistä osista, joita voidaan käyttää myös itsenäisesti. Tässä työssä käytettävä parametrisuunnittelu on ehkä eniten käytetty yksittäinen menetelmä. Se on tehokas työkalu koeajojen suunnitteluun ja analysoimiseen. Tässä työssä taguchi-tulosten analysointi on tehty Minitab-ohjelmistolla. [12]

Parametrisuunnittelussa optimoidaan tuotteen laatu ja haetaan parhaat mahdolliset parametrikombinaatiot. Parametrit pyritään valitsemaan siten, että tuotteesta tulee mahdollisimman **robusti** olosuhteiden aiheuttamia häiriöitä vastaan. Parametrisuunnittelu on kaikkein tärkein vaihe parannettaessa tuotteen laatua. Suunnittelussa on se hyvä puoli, että kustannukset ovat pienet. Menetelmässä etsitään ne prosessitekijät, joilla tuotteen suoritusarvot voidaan parhaiten säätää. Lisäksi saadaan myös selville muuttujien keskinäisvaikutuksia. Perinteisessä koesuunnittelussa ohjausparametrien vaikutukset ratkaistaan yksi kerrallaan ja testisarjoista tulee helposti laajoja ja silti niiden tuloksista saatava informaatio on vähäistä. Taguchi-menetelmässä useita tekijöitä muutetaan samanaikaisesti ja siten pystytään käsittelemään suuri määrä muuttujia suhteellisen vähillä testeillä. Kokeet suoritetaan **ortogonaalimatriiseja** hyväksi käyttäen ja tulokset käsitellään tilastollisesti. Menetelmässä on hyvä käyttää vähintään kolmea muuttujan tasoa, jotta **epälineaarisuudet** saadaan esille. [12]

Taguchi-menetelmän tapa ratkaista ongelmia on seuraava. Ensin etsitään ongelmaan vaikuttavat tekijät > Suunnitellaan koe ortogonaalimatriiseja käyttäen > suoritetaan kokeet

ja lasketaan tulokset > Tunnistetaan tekijät, jotka vaikuttavat suoritustasoon > Suoritetaan tarkistuskoe valituilla tekijöillä.

Ortogonaalimatriisit on kehitetty 1800-luvun lopulla. Ne ovat lineaariyhtälöitä, jotka tunnettiin aikaisemmin neliöpeleinä. Koesuunnittelussa ortogonaalisuus merkitsee eriteltävissä olevaa ja balansoitua. Kukin tekijä on tasapainotettu niin että ne ovat yhtäläisessä asemassa. Matriiseilla kokeiden määrää saadaan huomattavasti vähennettyä luotettavuuden pysyessä hyvänä.

Epälineaarisuus tarkoittaa sitä, että tulos tai ulostulo ei kasva samassa suhteessa muuttujan kanssa. Epälineaarisuuksia hyväksi käyttäen prosessi on mahdollista säätää sellaiselle alueelle missä pieni muuttujan muutos ei juuri vaikuta ulostuloon ja prosessista saadaan epäherkkä muuttujan pienille vaihteluille eli robusti.

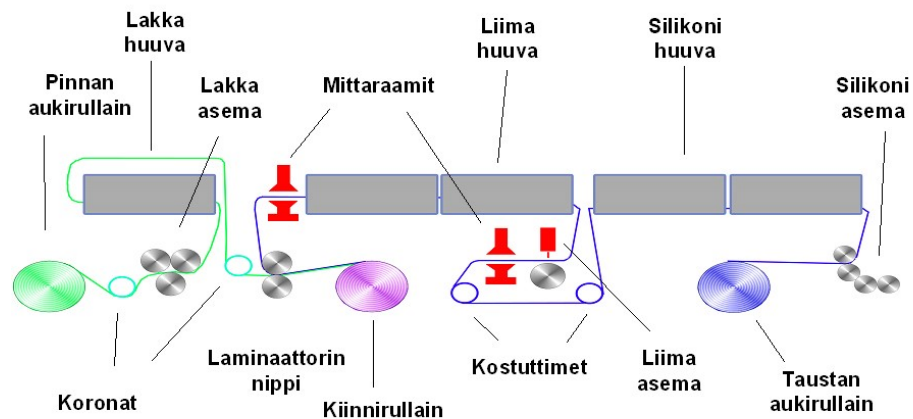
Signaali- kohinasuhde mittaa tavoitearvon ja hajonnan välistä suhdetta logaritmisesti. Tavoitearvona käytetään keskiarvoa ja hajontaa kuvaa hävikkiä. Se siis kertoo hajonnasta, jonka ulostulo saa tietyllä muuttujan arvolla. Signaalikohinasuhteelle on käyttökohteesta riippuen 3 eri esitystapaa: suurempi on parempi, pienempi on parempi tai tavoitearvo on paras. Tässä työssä käytetään kaavaa, pienempi on paras. Kaava 6 on esitetty alla.

$$S / N = -10 \log \left| 1 / n \sum_i (y_i^2) \right| \quad (6)$$

SPC eli statistic process control, on laatutyökalu, jossa prosessia valvotaan kontrollitaulukoiden avulla. Menetelmässä asetetaan tavoite järjestelmän ulostulolle Cpk-luku kuvaa miten hyvin prosessi ylittää tavoitteeseen. Cp-luku puolestaan kuvaa prosessin hajontaa.

8. TULOKSET JA ANYLYSOINTI

Tässä työssä silikonisiirtymää on tutkittu CM4:llä sekä Pilot-linjalla, joka on vastaava laminointikone kuin CM 4, mutta pienempi ja tarkoitettu tuotekehitykseen ja koeajoihin. Tampereen CM 4 on vuonna 2006 uudelleenrakennettu laminointikone, esitetty kuvassa 33. Koneella voidaan yhtäaikaaisesti laminoinnin lisäksi lakata ja koronoida pintaa sekä silikonoida taustaa. Silikoniasema on monitelatyypinen 5-tela-asema. Lakka-asema on rasteriasema teräkaavaimella. Liima-asema on verhoasema, jossa liima lasketaan suuttimen avulla radalle. Koneella ajetaan pelkästään synteettisiä pintoja, taustana käytetään paperia ja muovia. Konenopeus on 300-600 m/min ja rataleveys 2 metriä. Silikonisiirtymän kannalta kriittisimpiä vaiheita ovat silikonin applikointi ja kuivatus.



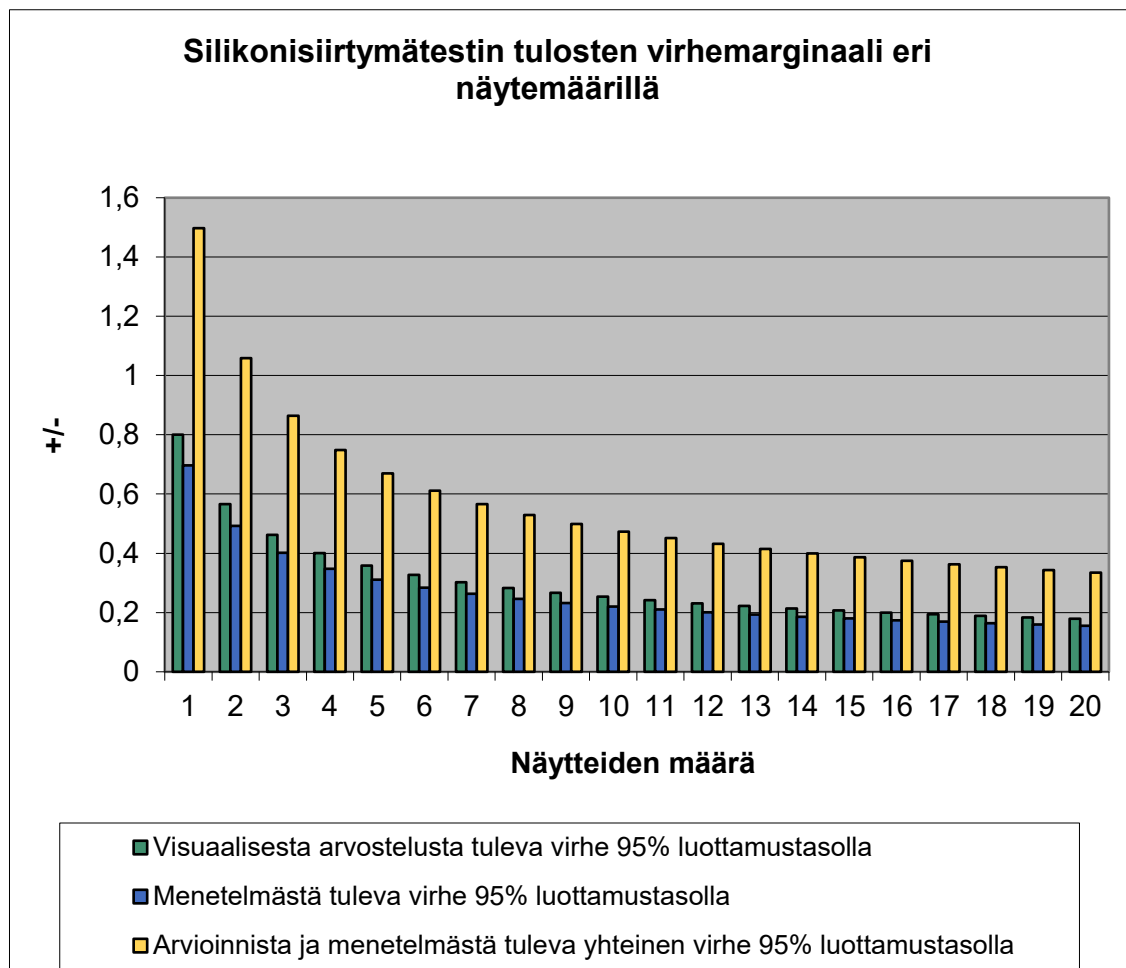
Kuva 33. Tampereen laminointikone CM 4

8.1 Silikonisiirtymän mittausmenetelmän luotettavuus

Silikonisiirtymän mittausmenetelmän virhe koostuu visuaalisen arvioinnin ja itse mittausmenetelmän tuottamasta virheestä. Visuaalisen arvioinnin luotettavuutta on tutkittu vertaamalla kahden kokeneen arvioijan antamia arvosteluja painopinnoille. Arvostelut on tehty kahtena eri päivänä kahdesta eri koesarjasta. Menetelmän tuottamaa virhettä arvioidessa on tehty oletus, että kaksi vierekkäistä näytettä radan pituus tai poikkisuuntaan ovat samoja. Vierekkäisiä näytteitä vertailemalla on tehty arvio menetelmän tuottamasta virheestä.

Silikonisiirtymätestin visuaalisen arvioinnin tuottamaa epätarkkuutta on tutkittu laske-
malla erotus eri arvostelijoiden samalle näytteelle antamista tuloksista. Erotuksista on
laskettu keskihajonta, jota puolestaan on käytetty luottamusvälitarkastelussa. Menetel-
män tuottama virhe on laskettu vastaavasti vierekkäisten näytteiden erotuksista radan
poikki- ja konesuuntaan.

Kuvaajassa 34 on esitetty keskimääräiset luottamusvälit silikonisiirtymätestistä saataville
arvoille eri näytemäärillä 95 % luottamustasoa käyttäen. Kuvaajan perusteella voidaan
arvioida, millä välillä todellinen silikonisiirtymä taso on, kun otetaan tietty määrä näyt-
teitä edustamaan tutkittavan kohteen silikonisiirtymätasoa. Kuvaajassa on eritelty erik-
seen menetelmän ja visuaalisen arvioinnin tuottama virhe sekä näistä yhdistetty yhteinen
virhe.



Kuva 34. Testimenetelmän tuottama virhe luottamusvälitarkastelua käyttäen

Kuvaajassa kuvattu yhteinen virhe kuvaa virhemarginaalia vertailtaessa eri henkilöiden
testistä saamia tuloksia. Kuvaajasta havaitaan, että visuaalinen testi pienillä näytemää-

rillä on hyvin epätarkka. Kun näytemäärä lähestyy 10 niin saadaan jo varsin tarkkoja tuloksia. Silloin voidaan verrata silikonisiirtymän tasoa tilanteessa, jossa näytteenottajat ovat erit.

8.1.1 Silikonisiirtymätestin arviointi ja kehittäminen

Silikonisiirtymätesti on visuaalinen testi, jossa painopintaa arvioidaan silmämääräisesti. Painatukset tehdään käsitelalla ja painoväri kuivataan UV-kuivurissa. Menetelmällä pysytään antamaan likimääräinen silikonisiirtymäarvo yksittäiselle näytteelle mutta esimerkiksi eri päivinä ja painetuista näytteistä saatuja tuloksia ei voida kovin suurella tarkkuudella verrata. Parhaaseen tarkkuuteen tuloksissa päästään, kun näytteet painetaan samalla kertaa ja arvostellaan vertailemalla niitä toisiinsa. Tässä työssä arvosteluja on tehty 0,25 tarkkuudella asteikolla 1-5 ja näytteet on arvioitu vertailemalla niitä toisiinsa.

Epätarkkuutta tuloksiin tuo silmämääräinen arviointi ja itse testimenetelmä. Tulokseen vaikuttaa kuka arvioinnin on tehnyt ja minkälaisissa olosuhteissa arviointi on tehty. Käsisivelytelalla painettaessa painoväri määrä ei ole vakio vaan siihen voi vaikuttaa esimerkiksi lämpötila, värin viskositeetti sekä voima ja nopeus, jolla telaa painetaan tai vedetään. Erilaisesta värimäärästä johtuen saman näytteen eri kohdat näyttävät erilaisilta. Tämä voidaan havaita, kun painoväri alkaa loppua painotelan nipistä, jonka seurauksena alussa väriä on enemmän ja lopussa vähemmän. Painatuksen ja kuivatuksen välisellä ajalla on vaikutusta siihen, miten suureksi silikonisiirtymän aiheuttamat reiät kasvavat. Painatuksesta kuivatuksen kuluva aika ei ole vakio koska näyte siirretään painosta kuivatuksen käsin. Myös näytteen sekä testihuoneen lämpötilalla voi olla vaikutusta siihen, miten nopeasti väri kuroutuu kohdista, joissa on silikonisiirtymää. Ennen painatusta näytteet otetaan 50 asteisesta uunista ja annetaan jonkin aikaa jäähtyä, jäähtyminen kuitenkin jatkuu painatusprosessin edetessä. Myös näytteiden käsittelyllä ja säilytyksellä sekä vanhentamisella voi olla vaikutusta tuloksiin.

Menetelmän luotettavuutta parantaisi, jos painatukset tehtäisiin koneella. Koneella painettaessa painoväri määrä ja painamisen ja kuivatuksen välinen aika vakioituisivat. Joidakin kokeiluja näytteiden painamisesta on tehty flexiproof painokoneella. Värisivelyn vähäisyyden vuoksi painojälkeä on vaikea arvioida. Tällä hetkellä koneeseen ei ole rasteritelaa, joka antaisi enemmän sivelyä. Alustavissa kokeissa huomattiin, että jos näyte kuivataan painokoneen omalla kuivurilla välittömästi, niin silikonisiirtymää ei ilmene. Painopinnalla täytyy olla hetki aikaa aueta. Koneen painotapahtumaa voidaan hidastaa ja samalla viipymä painatuksen ja kuivatuksen välillä kasvaa. Ongelmaksi kuitenkin jossain vaiheessa alkaa muodostua testikalvon liiallinen kuumeneminen ja kupristuminen, johon viipymääjan kasvamisesta UV-lampun alla. Painokoneen käyttämistä kannattaa kuitenkin tutkia vielä lisää, jos saadaan sivelytela, joka antaa enemmän sivelyä.

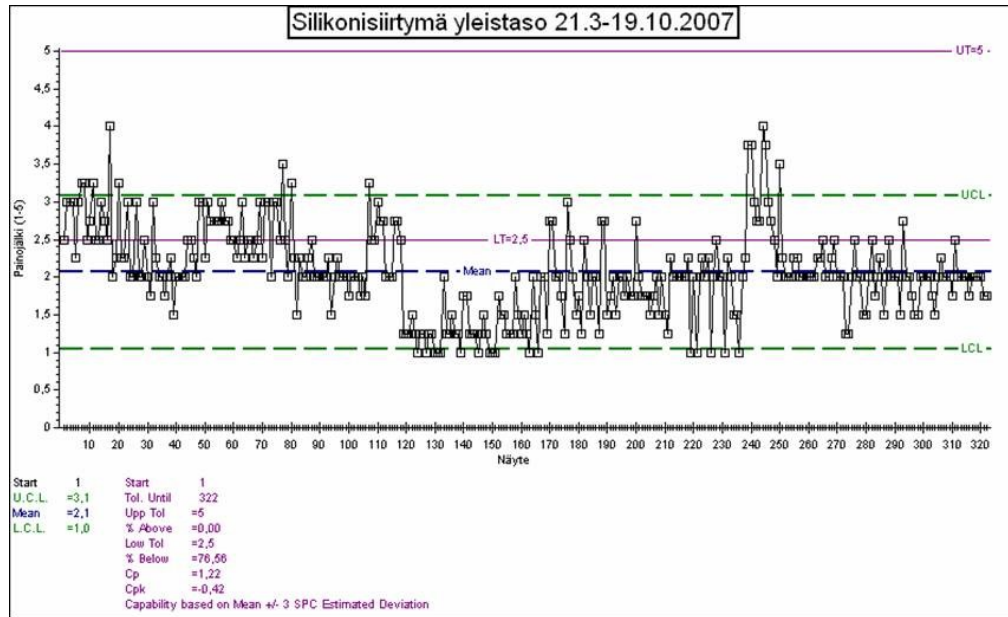
Silmämääräistä arviointia helpottamaan voidaan käyttää valopöytää, jossa näyte valaistaan alapuolelta. Painopinnan arvioinnin tarkkuutta olisi oletettavasti mahdollisuus parantaa kuvaamalla painopinta mikroskooppikameralla ja kuva-analyysiohjelmaa käyttäen laskea painopinnassa oleva reikien määrä sekä pinta-ala. Reikien määrän ja pinta-alan perusteella sitten muodostettaisiin silikonisiirtymän määrää kuvaava arvosana.

Tässä työssä tehtiin myös joitain kokeiluja itse kehitetyllä digitaalisella kuva-analyysillä. Päädyttiin kuitenkin siihen, ettei sitä oteta käyttöön, koska sen kehittäminen valmiiksi käyttökelpoiseksi menetelmäksi olisi liian haasteellista tässä yhteydessä. Tässä työssä koeajojen silikonisiirtymätulokset on arvioitu silmämääräisesti.

8.2 Silikonisiirtymän perustason määrittäminen

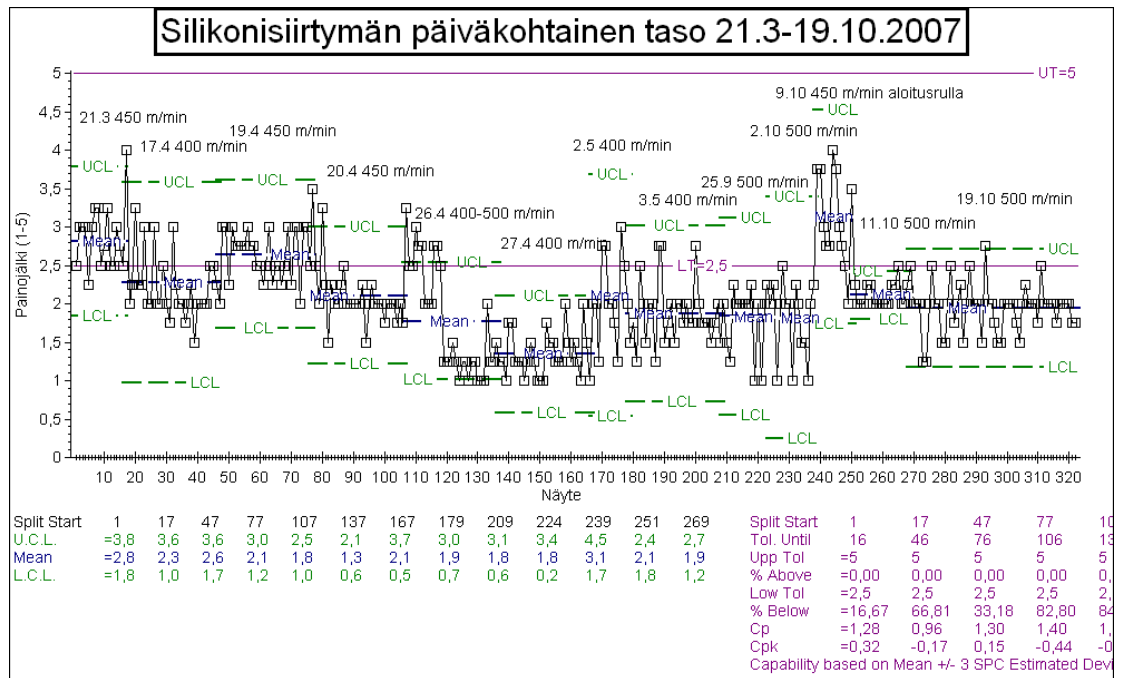
Tarkoituksena oli selvittää, mikä on siirtymän yleistaso ja arvioida prosessin suorituskykyä ja vakautta. Tason selvittämiseksi kerättiin laminaattinäytteitä kuutena eri päivänä viidestä rullasta joka päivä. Tämän lisäksi näytteitä normaaliajosta on kerätty muiden testien ja koeajojen yhteydessä. Mukana on näytteitä 13 eri päiväältä. Tuloksissa on esitetty myös tuotekehityksen saamia tuloksia uuden CM 4:sen startin jälkeisestä ajasta. Startin yhteydessä aloitettiin online-silikonointi. Kuuden peräkkäisen päivän seurannan silikonisiirtymätestit tehtiin kahteen kertaan koska ensimmäisellä kerralla käytetty testikalvo ei näyttänyt silikonisiirtymää olevan lainkaan. Uusi testikalvoerä taas näytti siirtymän selkeästi. Havaitaan, että kalvolla ja sen lakkauksella on vaikutusta siihen, haittaako silikonisiirtymä painettaessa.

Perustason määrittäminen pohjautuu noin 300 painettuun kalvoon ja arvosteluun. Kuvassa 35 on esitetty CM 4:sen silikonisiirtymätaso aikavälillä 21.3.2007-19.10.2007. Silikonisiirtymän nykyhetken taso on 2,1 arvosteltuna asteikolla 1-5. Tavoitteena on, että siirtymätaso olisi välillä 2,5-5. Silikonisiirtymää arvioidaan painojäljen perusteella ja niillä on sama asteikko, 1 tarkoittaa siis huonoa painojälkeä ja suurta siirtymätasoa. Tällä hetkellä prosessi ei SPC suorituskyky indeksiin mukaan täytä sille asetettuja vaatimuksia. Cp-luku, joka kuvaa prosessin hajontaa on tällä hetkellä 1,22 hyväksyttävän alaraja on 1,33. Prosessin suorituskykyä kuvaava Cpk-luku on -0,42, luvun ollessa alle yksi prosessi ei täytä sille asetettuja vaatimuksia.



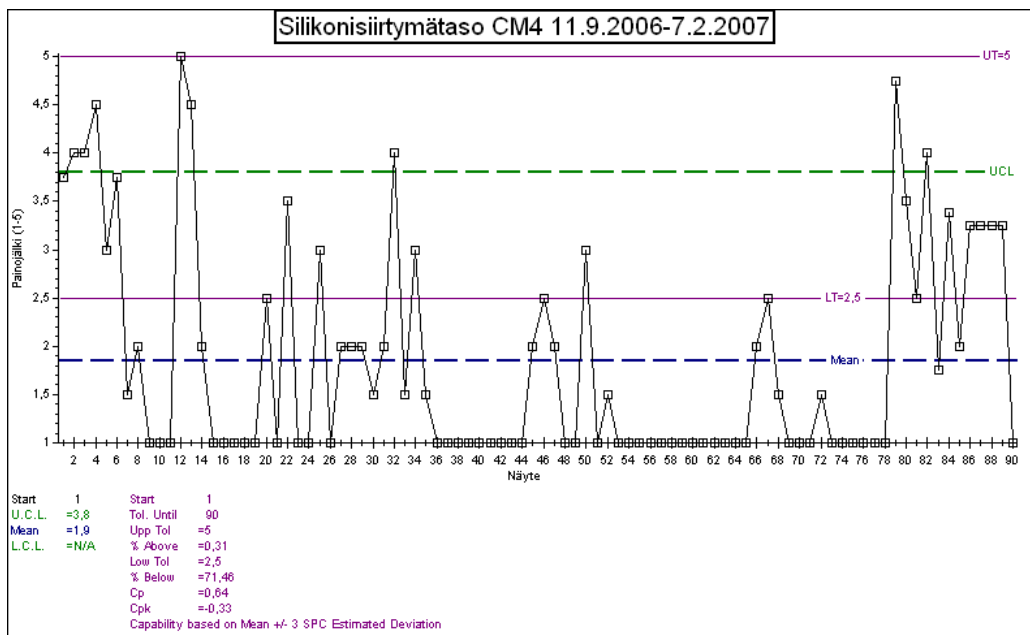
Kuva 35. Silikonisiirtymän yleistaso

Prosessin tuottama silikonisiirtymätaso vaihtelee paljon, tämä voi aiheutua seuraavista asioista. Ajonopeudet muuttuvat; eri laatuja ajetaan eri nopeuksilla. Huuvien lämpötilat vaihtelevat pienissä määrin ja aloituksissa huuvat eivät välttämättä ole ehtineet lämmitä tavoitelämpöön. Taustan ominaisuuksien vaihtelu voi vaikuttaa silikonin siirtymiseen. Silikonin annostelusekvenssissä tapahtuu joskus virheitä, annostelumäärät eivät toteudu suunnitellulla tavalla. Silikoni saattaa seistä pitkään valmiiksi sekoitettuna ennen ajon alkua tai ratakatkon yhteydessä. Silikonia pakastetaan viikonloppujen yli. Tämä ei ole suositeltavaa. Etyyliä, joka on katalyyttimyrkky, käytetään laitteiden puhdistamiseen. Silikonisiirtymän testimenetelmä tuottaa myös epätarkkuutta tuloksiin.



Kuva 36. Silikonisiirtymän päiväkohtainen taso

Kuvassa 36 on esitetty silikonisiirtymän taso päiväkohtaisesti 13 eri päivänä. Kuvaajaan on merkitty päivämäärät ja ajonopeudet. **Huomionarvoista on, että 26.4.2007 lakkaus on lopetettu ja nostettu ajonopeus 400 m/min 500 m/min tällöin silikonisiirtymän määrä on selvästi noussut.**



Kuva 37. Silikonisiirtymä CM 4:sen startin jälkeen

Tuotekehitys teki silikonisiirtymätasosta seurantaan CM 4:n startin yhteydessä, jolloin on-line-silikonointi aloitettiin. Yllä olevassa kuvassa 37 on esitetty seurannasta saadut tulokset. Silikonisiirtymätaso on pysynyt suunnilleen samana startista nykyhetkeen startissa ja sen jälkeen se oli 1,9 tällä hetkellä se on noin 2,1. Siirtymän hajonta tosin on pienentynyt Cp-luvusta 0,64 lukuun 1,22

8.3 Huuvissa syntyvän pölyn vaikutus painojälkeen

Yksi olettamuksista on, että silikonisiirtymään osallisena on pöly, joka syntyy silikonin kuivauksen yhteydessä huuvissa. Pöly voi tulla huuviin silikoniasemalta kulkeutuvasta sumusta tai kuivauksen yhteydessä silikonipinnasta haihtuvasta silikonihöyrystä.

Asian selvittämiseksi huuvista kerättiin silikonipölyä ja levitettiin sitä A4 arkeille, jotka sitten laitettiin testikalvoa vasten ja tehtiin vanhennus sekä painoväritesti. Suodattimet olivat 3 viikkoa vanhat ja silikonihuuvat olivat pölyiset. Pölytetyille näytteille tehtiin 3 päivän uunivanhennukset sekä painoväritestit. Tulokset on esitetty taulukossa 1. Testissä oli mukana viisi rinnakkaisnäytettä.

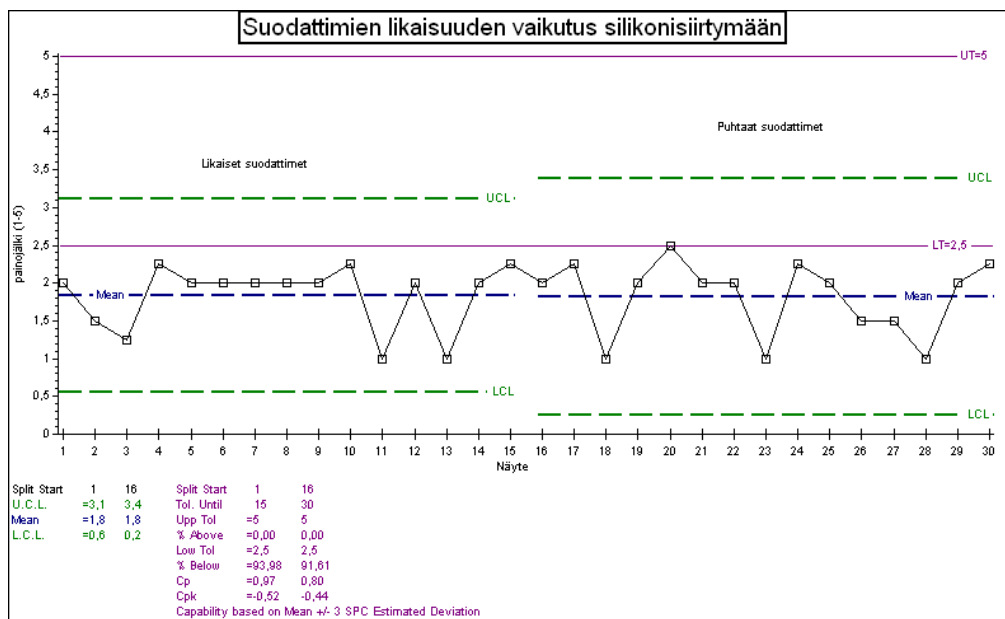
Koepiste	Painatustulos					Keskiarvo
	Näyte1	Näyte2	Näyte3	Näyte4	Näyte5	
Pölytetty paperi	4	4	4	4	4	4

Taulukko 1. Painatustulos

Silikonihuuvista kerätty pöly huononsi hieman painojälkeä mutta ei samalla tavalla kuin siirtymäilmiö yleensä. Normaalisti painoväri hylkii kohtia, joissa on silikonisiirtymää. Tässä tapauksessa ei mitään sellaista havaittu. **Johtopäätös edellisestä on, että pelkkä pöly, joka on kuivunut, ei näyttäisi aiheuttavan transfer-ilmiötä.**

8.4 Suodattimien likaisuuden vaikutus

Silikonihuuvien suodattimien likaisuuden vaikutusta painojälkeen tutkittiin ottamalla laminaattinäytteet CM 4:lta ennen ja jälkeen suodattimien vaihdon. Suodattimet vaihdetaan noin viiden viikon välein, vaihdon yhteydessä huuvat imuroidaan ja irtonainen silikonipöly poistetaan huuvista.



Kuva 38. Suodattimien likaisuuden vaikutus silikonisiirtymään

Näytteitä otettiin kolmesta rullasta ennen ja jälkeen suodattimien vaihdon. Kuvassa 38 on esitetty oikealla siirtymätaso ennen suodattimien vaihtoa ja vasemmalla tilanne suodattimien vaihdon jälkeen. **Johtopäätös on, että suodattimien vaihto ei näytä vaikuttavan silikonisiirtymän määrään.**

8.5 Taustamateriaalin vaikutus silikonisiirtymään

Kokeessa silikonoitiin PET-taustaa sekä HD 70 paperitaustaa. Koe tehtiin CM4:sella PET-koesiilikonoinnin yhteydessä. Ensin silikonoitiin PET-kalvoa, jonka jälkeen koneeseen vaihdettiin konetta pysäyttämättä paperitausta. Kummatkin taustat on siis ajettu täysin samanlaisissa prosessiolosuhteissa. Kokeessa oli tarkoitus tutkia, mikä vaikutus taustamateriaalilla on silikonisiirtymään. Kokeen perusteella voidaan tehdä myös päätelmiä tavasta, jolla silikoni siirtyy irrokkeen taustaan. Silikoni voi tämän hetkisen tietämyksen mukaan online-prosessissa siirtyä taustan taustapuolelle pölyämisen, sumuamisen, kaasufaasin tai penetroitumisen seurauksena. Testissä oletuksena on, ettei silikoni voi penetroitua muovikalvon läpi.

Taustamateriaalin paksuuden vaikutusta silikonisiirtymään tutkittiin vertaamalla kahden peräkkäisen rullan silikonisiirtymätasoa, joista ensimmäisessä taustana on TEHD 64 ja toisessa TEHD 72 tausta. Taustan paksuudella voi olla vaikutusta silikonisiirtymätasoon, jos siirtymän syntymekanismi on läpätunkeutuminen.

Testistä kerätyille näytteille tehtiin 3 päivän sekä 4 kuukauden vanhennukset. Muovitausta näytteet on otettu kahdesta ja paperitausta näytteet yhdestä rullasta. Kaikilla näytteitä on kolme rinnakkaisnäytettä. Taulukossa 2 on esitetty painatustulokset, taustamateriaalit sekä tärkeimpiä koneen ajoarvoja.

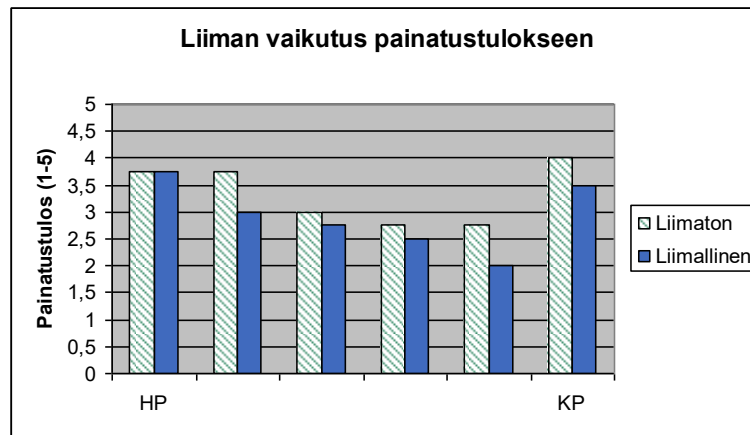
Tausta	silikoni	Sively g/m ²	Nopeus m/min	Ulostulolämpö °C	Painojälki	
					3pv	4kk
TRIAL BACKING PET 1	PET	1,07	300	121,40	5	5
TRIAL BACKING PET 1	PET	1,07	300	121,40	5	5
TRIAL BACKING PET 2	PET	1,07	300	118,40	5	5
TRIAL BACKING PET 2	PET	1,07	300	118,40	5	5
HD70 Paperi 1	PET	1,08	300	118,40	1	1
HD70 Paperi 1	PET	1,08	300	118,40	1	1

Taulukko 2. Silikonisiirtymän taso eri taustamateriaaleilla

Taulukosta nähdään, että painojälki muovitaustalla on moitteeton, kun taas paperitaustalla painojälki on huonoin mahdollinen. Paperin pienellä paksuuserolla ei tässä yhteydessä näyttänyt olevan vaikutusta. **Johtopäätöksenä on, että pääasiallinen silikonisiirtymän syntymekanismi on läpätunkeutuminen huokoisen materiaalin läpi.** Tämän perusteella voidaan myös olettaa, että silikonisiirtyminen ei tapahdu pölyämisen, sumuamisen tai kaasufaasin seurauksena tai ainakin näiden merkitys on vähäinen. Oletuksena on, että muovin ja paperin pinnan erilaisuudella ei ole merkittävää vaikutusta pölyn tarttumiseen tai höyryn kondensoitumiseen.

8.6 Liiman vaikutus painojälkeen

Aiemmin tehtyjen tutkimusten mukaan on saatu tuloksia, joiden mukaan liimalla on joissain tapauksissa vaikutusta silikonisiirtymään. Liima, joka näyttäisi lisäävän silikonisiirtymää, on tarkoitettu paperipinnoille. CM 4:lla ei paperipintoja ajeta eikä näin ollen juuri tätä liimaa käytetä. Asian tutkimiseksi kuitenkin otettiin näytteet aloitusrullasta, jossa oli pohjalla silikonioitua mutta liimatonta laminaattia ja pinnemmassa liimallista laminaattia. Näytteitä verrattiin keskenään ja saatiin selville, onko liimalla vaikutusta silikonisiirtymään. Kummatkin näytteet on otettu lusaamalla aloitusrullasta läheltä liimasivelyn alkamiskohtaa



Kuva 39. Liiman vaikutus painatustulokseen.

Testissä oli mukana kuusi rinnakkaisnäytettä radan poikkisuunnassa. Painetut kalvot asetettiin vierekkäin ja liimattomia näytteitä verrattiin liimallisiin. Liimalla ei havaittu tässä kokeessa olevan merkittävää vaikutusta painatustulokseen. Kuvassa 39 on esitetty radan poikkisuuntainen siirtymäprofiili liimallisille ja liimattomille näytteille. Liimattomissa näyttää olevan hieman paremmat painatustulokset. CM4:n tapauksessa liimalla vaikuttaa olevan lievä siirtymää lisäävä vaikutus, mutta liima ei ole luultavimmin se, joka aiheuttaa silikonisiirtymäilmiön.

8.7 Pilot-linjan soveltuvuus silikonisiirtymän tutkimiseen

Tarkoituksena oli tutkia, ilmeneekö silikonisiirtymää pilot-koneella ja selvittää onko transfer-ilmiötä jatkossa mahdollista tutkia sen avulla. Pilot-linjalla olisi helpompaa kuin isolla koneella tutkia esimerkiksi silikonireseptin vaikutusta silikonisiirtymään. Koeajossa silikonoiitiin Tervasaaren 64 grammaista paperitaustaa, jota käytetään myös CM neljällä. Silikoni oli myös otettu CM 4:n konesäiliöstä. Taustaan laminoitiin muovikalvo ilman liimaa. Tämä tehtiin estämään rullassa kosketuksen kautta tapahtuvaa siirtymää. Pilotilla ei ole mahdollista silikonoida ja levittää liimaa samanaikaisesti, koska koneessa on vain yksi kuivatusryhmä. Huuvia pilot-koneessa on kaksi, joista ensimmäinen on höyryhuuva ja toinen ala- ja yläpuolisella maakaasupolttimella varustettu. Koepisteitä ajettiin viisi, joissa muuttujana oli nopeus. Nopeus vaikuttaa silikonin kuivamisaikaan ja myös ratalämpötilaan. yhdessä koepisteessä koetettiin myös IR-kuivaimen vaikutusta siirtymän syntymiseen. Radasta mitattiin ulostulolämpötilat kummankin huuven ja infrapuna-kuivaimen jälkeen käsikäyttöisellä mittarilla. Huuvien sisälämpötilat luettiin koneen näytöistä ja lisäksi mitattiin käsimittarilla. Silikoniasema on kolmitelainen ja silikoni anosteltiin suoraan nippiin. Taustakalvona oli TEHD 64 ja pintana WPC89.

Taulukossa 3 on esitetty koeajon koepisteet, ajoarvot sekä painatustulokset. Muuttujana

tässä testissä siis oli ajonopeus, joka puolestaan vaikutti silikonipinnan kuivamisaikaan. Radan ulostulolämpötila on mitattu käsimittarilla. Esitetyt painojäljet ovat viiden painatuksen keskiarvoja. 3 päivän testit on tehty vanhalle testikalvolle ja 4 kk testit uudelle testikalvolle. Lisäksi painettiin kalvoja, jotka olivat olleet suoraan silikonipintaa vasten. Koepisteissä niiden 1-4 painojälki vastasi irrokkeen taustaa vasten olleita näytteitä. Koepisteessä 5 painatustulos oli selvästi parempi.

Kaikkien koepisteiden paitsi koepiste 5 painotulokset olivat hyviä. Viidennessä koepisteessä ajettiin koneen maksiminopeudella ja silikonipinta oli märkä radan huuvista ulostullessa. 3 päivän uunivanhennuksen jälkeen 5 koepisteen painetuissa kalvoissa silikonisiirtymä näkyi juovittain 4 kuukauden vanhennuksen jälkeen koko näytteen levyisesti. Vasta vanhennuksen myötä silikonisiirtymä tuli selvästi esiin. Tämä viittaa siihen, että silikoni tai jokin komponentti menee ajan kanssa läpi paperista. Huomioitava on kuitenkin se, että painatukset on tehty eri testikalvoerälle. 3. koepisteessä oli huuviin lisäksi infrapunakuivain päällä. Infrapunakuivaimella voidaan tehostaa silikonin kuivatusta. Tässä tapauksessa infrapunakuivain ei vaikuttanut painojälkeen.

KOEPISTE	Nopeus m/min	Viipymäaika s	Ulostulolämpötila °C	Painojälki 3 pv	Painojälki 4kk	IR päällä
1	20	12,78	86	5	4,5	
2	40	6,39	110	5	4,5	
3	40	6,39	111	5	4,5	X
4	75	3,41	110	5	4,5	
5	150	1,70	103	4 juovaa	2,5	

Taulukko 3. Pilot-koeajo, ajonopeuden vaikutus painojälkeen.

Taulukossa 4 on esitetty silikonin sivelymäärä sekä huuviin tarkempia lämpötilatietoja. Silikonisively oli koko testin ajan jotakuinkin vakio. Viidennessä koepisteestä sitä ei voitu mitata koska silikonipinta oli märkä. Radan ulostulolämpötilat on mitattu joka kuivaimen jälkeen käsimittarilla. Huuviin lämpötilat luettiin näytöltä sekä mitattiin käsimittarilla. Käsimitoituksessa saadun ja koneen näyttämän lämpötilan välinen ero on suuri. Mittaustavalla on siis vaikutusta siihen mitä lämpötilalukemia saadaan. Edellisestä johtuen on vaikea verrata lämpötiloja eri koneiden välillä.

KOEPISTE	IR	Sively	Ulostulolämpötila °C			Höyryhuuvan lämpötila °C		Maakaasuhuuvan lämpötila °C	
			#	Päällä	g/m ²	IR	Höyry	Maakaasu	Näyttö
1		1,4	22	116	86	121	150	210	120
2		1,23	22	115	110	121	150	210	120
3	X	1,35	84	119	111	121	150	210	120
4		1,27	27	110	110	121	150	210	120
5		X	25	102	103	121	150	210	120

Taulukko 4. Koeajon sively- ja lämpötilaarvot

Pilot-koee osoittaa sen, että CM 4:lla käytettävällä silikonilla on mahdollista saavuttaa vähäinen silikonisiirtymätaso. Prosessit ovat kuitenkin erilaisia ja niitä ei voida suoraan verrata. Pilotilla ei voida levittää liimaa ja silikonista yhtä aikaa ja CM 4 ajonopeudet ovat moninkertaisia pilottiin verrattuna. Pilotilla ensimmäinen huuva on höyrykäyttöinen, CM 4:lla kaikki huuvat ovat maakaasukäyttöisiä. Päädyttiin siihen, että pilot-linja ei sovellu silikonisiirtymän tutkimiseen koska sillä ei saada ilmiötä kunnolla esille muuta kuin siinä tapauksessa, kun silikoni jää raaksi. Kun pilotilla ajettiin tämä koeajo, ajatuksena oli, että silikonisiirtymä johtuu pääosin huuvissa tapahtuvasta pölyämisestä. **Tällä hetkellä vaikuttaa kuitenkin siltä, että siirtymä johtuu pääosin siitä, että silikoni tunkeutuu paperin läpi ja että silikoni, joka ei ole täysin kypsynyt aiheuttaa silikonisiirtymää.** Huuvien lämpötilalla voidaan vaikuttaa silikonisiirtymän määrään. Pilot-koee tukee tätä käsitystä koska pisteessä missä silikoni jäi raaksi silikonisiirtymä tuli esiin. Jälkeenpäin ajatellen pilotilla pitäisi olla mahdollista saada silikonisiirtymäilmiö esille ajamalla sitä alhaisilla huuvien lämpötiloilla ja nopeudella, jolla kuivatusaika on sama kuin CM 4:llä.

Kone	Koneen nopeus m/min	Huuvien pituus m	Viipymäaika huuvissa s	Ulostulo lämpötila °C	huuvien lämpötilat °C	Painatus tulokset
CM 4	300	23,187	4,64	144	154-170	2
	400	23,187	3,48	144	154-170	2
	500	23,187	2,78	144	154-170	2
	600	23,187	2,32	144	154-170	2
Pilot	20	4,26	12,78	110	120-210	4,5
	40	4,26	6,39	110	120-210	4,5
	75	4,26	3,41	110	120-210	4,5
	150	4,26	1,70	110	120-210	2,5

Taulukko 5. CM4 ja Pilot-linjan vertailu

Taulukossa 5 on vertailtu pilot-linjan prosessia CM 4:ään. Pilotin nopeus 75 m/min vastaa CM nelosen nopeutta 400 m/min, jos tarkastellaan asiaa radan huuvissa viettämän ajan perusteella. Pilotilla ei tällä nopeudella silikonisiirtymää ilmene juuri ollenkaan, kun taas

nelosella siirtymätaso on 2 luokkaa. Lämpötiloja verrattaessa huomataan, että nelosella on korkeammat ulostulolämpötilat kuin pilotilla. Pilotilla taas viimeisen maakaasuhuuvan lämpötila on korkeampi kuin nelosella. Kuten aiemmin todettiin lämpötilat riippuvat mitaustavasta ja näin ollen vertailua on vaikea tehdä konelinjojen välillä. Myös puhalluksien voimakkuus ja laitteiden erilaisuus vaikuttaa lämmönsiirtoon.

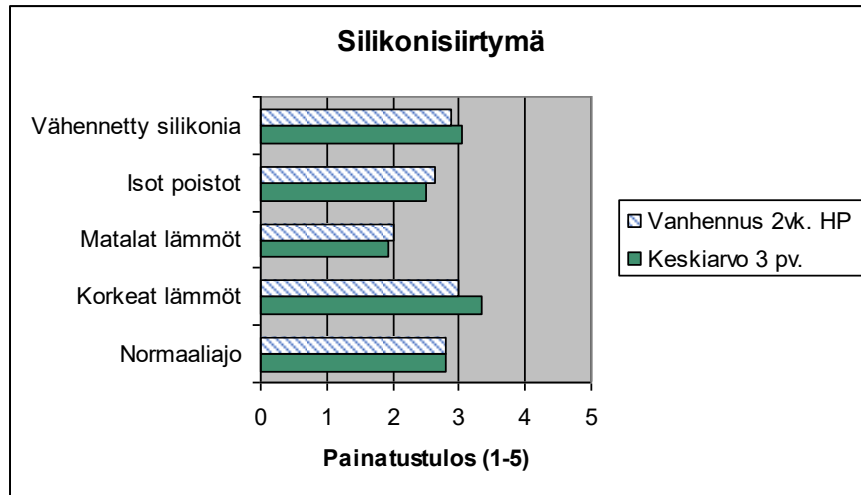
8.8 CM4 Koeajo 1 kevään parametrikoe

Tehtiin koeajo CM4:lla, jossa tarkoitus oli tutustua silikonisiirtymäilmiöön ja harjoitella testimenetelmiä. Kokeessa muutettiin silikonikuivainten ulostulolämpötilaa välillä 137–149 celsiusastetta, silikonisivelyn määrää välillä 1,21–1,55 grammaa neliölle sekä huuvista poistettavan ilman määrää välillä 50–70%. Koeajossa ajettut koepisteet ja ajoarvot on esitetty taulukossa 6. Ajoarvoja kokeessa muutettiin yksi kerrallaan muiden pysyessä vakiona. Säädot tehtiin kohtuullisen pienellä alueella, ettei tuote tai prosessi häiriinny. Esimerkiksi radan kulkeminen koneessa asettaa rajat puhalluksien muuttamiselle, eikä tarkkaa tietoa ole missä rajoissa puhalluksia ja poistoja voi säätää.

Koepiste	#	Ulostulolämpötila °C	Poistoilma 1,2,3 ja 4	SIL, Sively g/m ²
Normaaliajo	1,1	141,20	0,50	1,52
	1,2	142,70	0,50	1,50
	1,3	142,80	0,50	1,50
	1,4	142,00	0,50	1,50
Korkeat lämmöt	2,1	146,90	0,50	1,51
	2,3	149,70	0,50	1,47
Matalat lämmöt	3,1	137,50	0,50	1,55
	3,2	138,10	0,50	1,50
Isot poistot	4,1	140,00	0,70	1,51
	4,2	139,00	0,70	1,53
Vähennetty silikonia	5,1	142,40	0,50	1,27
	5,2	142,70	0,50	1,21

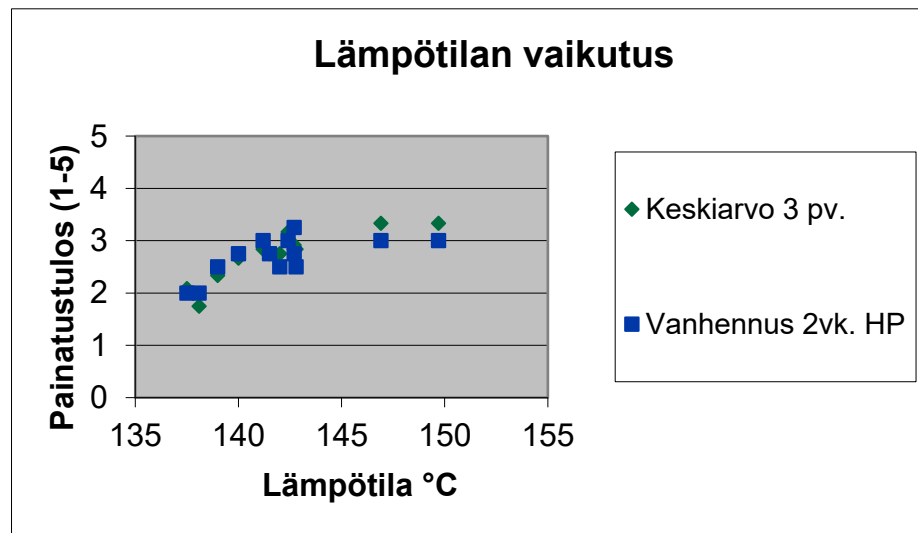
Taulukko 6. Koeajopisteet

Perusajosta otettiin näyte neljästä rullasta, johon muita koepisteitä voidaan sitten verrata. Kutakin varsinaista koepistettä ajettiin kaksi kappaletta. Kokeesta kerätyille silikonisiirtymänäytteille tehtiin 3 päivän, 2 viikon sekä 4 kuukauden vanhennukset. 4 kuukauden vanhennuksen painatukset on tehty eri testikalvolle kuin muut painatukset. Tässä esitettävissä tuloksissa on jätetty pois 4 kuukauden vanhennuksien tulokset, koska silicon transfer-testikalvo ja käsipainolaitteen rasteri- sekä painotela vaihtuivat.



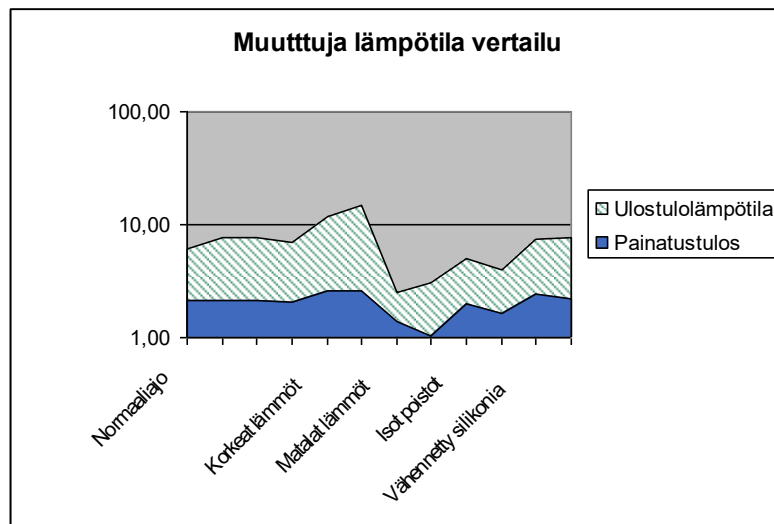
Kuva 40. Koepisteiden vaikutus painatustulokseen

Kuvaajassa 40 on esitetty koepisteet ja niiden vaikutus painatustulokseen. Kuvasta nähdään, että lämpötilan laskeminen huonontaa painatustulosta ja lämpötilan nosto parantaa sitä. Poistojen suurentaminen myös huonontaa painatustulosta mutta se johtunee siitä, että poistojen lisääminen on aiheuttanut samalla huvien lämpötilan laskun. Silikonin vähentämisellä näyttäisi olevan lievästi painatustulosta parantava vaikutus. Kuvaajassa on esitetty myös vanhennetut näytteet 2 viikon, mutta vanhennus ei juuri muuta silikonisiirtymän määrää.



Kuva 41. Ulostulolämpötilan vaikutus painatustulokseen

Prosessin ohjausjärjestelmä tallettaa joka rullan valmistumishetkellä olleet prosessiolosuhteet. Kuvassa 41 on esitetty silikonisiirtymän riippuvuus silikonihuvien ulostulolämpötilasta. Kuvaajasta voidaan nähdä, että painatustulos on selvästi riippuvainen ulostulolämpötilasta. Kun lämpötila kasvaa niin silikonisiirtymä vähenee ja painatustulos paranee.



Kuva 42. Kuvaaja 3 Painatustuloksen ja ulostulolämpötilan vertaaminen

Edellä huomattiin, että lämpötilalla on vaikutus silikonisiirtymän määrään. Kuvassa 42 on esitetty lämpötila koeajon edetessä sekä painatustulos. Kuvaajan y-akselilla on käytetty logaritmista asteikkoa, jotta erot saadaan selvemmin esiin. Koeajossa oli tarkoitus ajaa kolmella eri ulostulolämpötilan arvolla. Lämpötilaa säädetään asettamalla ulostulopyynti. Prosessi ei kuitenkaan seuraa sitä aivan tarkasti ja lämpötilamuutokset ovat hitaita. Kuvaajasta nähdään, että painatustulos seuraa hyvin tarkasti ulostulolämpötilaa. **Tämän perusteella voidaan todeta, että ulostulolämpötila on ainoa säätöparametri tässä koeajossa, joka varmuudella vaikuttaa silikonisiirtymän määrään.**

8.9 CM4 Koeajo 2 syksyn parametrikokeet

Parametrikokeessa tutkittiin prosessimuuttujien vaikutusta painatustulokseen. Kokeessa tutkittiin silikonihuvien kuivatuslämpöjen, silikonimäärän, ja nippipaineen vaikutus painatustulokseen. Alun perin koeajosuunnitelmassa oli mukana lisäksi tuoreilman poistoilman ja kiertoilman määrä. Laajempaa testisarjaa yritettiin ajaa, mutta se jäi kesken, koska huuvat eivät pysyneet päällä. Lisäksi havaittiin, että näiden parametrien muuttaminen vai-

kuttaa samalla myös huuvienv lämpötiloihin, vaikka ulostulolämpötilat olisivatkin pysyneet samana. Tämä puolestaan olisi vaikeuttanut tuloksien tulkintaa.

Koeajosuunnitelmaa laadittaessa ja tuloksia analysoitaessa käytettiin Taguchi-koesuunnittelumenetelmää, joka on esitelty teoriaosassa. Koeajosarjat on laadittu taguchi-matriisien mukaan. Muuttujien paikat matriisissa on valittu niin, että sarja on mahdollisimman helppo ajaa koneella. Esimerkiksi lämpötilojen nopea laskeminen ei ole mahdollista.

Ensimmäisessä yrityksessä pyrittiin ajamaan seuraavanlainen koesarja, esitetty taulukossa 7. Koeajossa oli tarkoitus ajaa kahdeksan koepistettä käsittävä sarja. Jokaista koepistettä ajettaisiin yksi rulla, joka sisältää 6000 metriä laminaattia Testisarjan pohjana käytettiin Taguchi L8-matriisia, jossa muuttujia oli kuusi ja kullakin muuttujalla kaksi tasoa. Muuttujina silikonihuuvienv ulostulolämpötila celsiusasteina, nippivälitys millimetreinä, tuoreilman-, poistoilman-, kiertoilmanmäärä prosentteina ja silikonisivelyn määrä g/m².

Koepiste	Ulostulolämpötila °C	Nippivälitys mm	Tuoreilma %	Poistoilma %	kiertoilma %	Sively g/m ²
1	130	0,9	30	30	30	1
2	130	0,9	30	90	90	1,5
3	130	1,5	90	30	30	1,5
4	130	1,5	90	90	90	1
5	160	0,9	90	30	90	1
6	160	0,9	90	90	30	1,5
7	160	1,5	30	30	90	1,5
8	160	1,5	30	90	30	1

Taulukko 7. Koeajomatriisi L8 ensimmäinen yritys.

Testisarjaa, joka on esitetty taulukossa 7, ei päästy ajamaan loppuun, koska silikonihuuvat eivät pysyneet päällä. Huuvan ilmakiertojen muuttaminen vaikuttaa huuvan sisällä ja polttimissa vallitseviin paineisiin. Huuvan antureiden painerajat oli aseteltu siten, että niin isoja muutoksia, joita oli tarkoitus tehdä, ei ollut käytännössä mahdollista tehdä. Testisarjasta saatiin ajettua ensimmäinen koepiste ja toista alettaessa yksi huuvista tippui pois päältä. Tämän seurauksena laminointikone meni ryöminnälle ja rata poikki. Kun rata taas saatiin koneeseen ja kone ryöminnälle, yritettiin hakea sellaiset säätöarvot, jolla huuvat pysyvät päällä. Arvot löydettiin, testisarjan säätöikkunoita kavennettiin ja matriisi laadittiin uudelleen. Uudelleen järjestelyjen jälkeen ajettiin testisarjan toinen koepiste. Kolmatta koepistettä ajettaessa huuvat tippuivat taas pois päältä. Tässä vaiheessa päätettiin, että koeajoa ei kannata enää jatkaa. Taguchi-matriisia käytettäessä tulosten analysoinnin edellytyksenä on, että koesarja ajetaan matriisin mukaan. Koko koeajoyritys katkoineen kesti noin neljä tuntia. Koeajon kulku on kuvattu taulukossa 8, siinä on kerrottu koneen ajoarvot ja merkitty ne koepisteet, jotka saatiin ajettua.

Koepiste	Ulostulolämpötila °C	Nippivälys	Tuoreilma	Poistoilma	kiertoilma	Sively g/m ² .	Selitys
1	130	0,9	30	30	30	1	1 OK
	130	0,9	30	90	90	1,5	2 Poikki
2	130	0,9	30	60	75	1,5	3 OK
	130	1,5	60	30	30	1,5	4 Poikki

Taulukko 8. Koeajon kulku ensimmäinen yritys

Toisessa onnistuneessa koeajossa päätettiin jättää tutkimatta kuivainten ilmakiertojen vaikutus silikonisiirtymään. Tämä siitä syystä, että huuvat ovat herkkiä ilmakiertojen muuttamiselle ja on suuri todennäköisyys, ettei testisarjaa saada ajettua loppuun, jos huuvia säädetään. Etenkin kun säätöjen tulisi tapahtua riittävän laajalla alueella, jotta havaittavia eroja saataisiin aikaan. Koeajossa tutkittiin silikonihuuvien ulostulolämpötilan 130–160 celsiusastetta, silikonisivelyn määrän välillä 1,2-1,6 g/m² sekä sivelytelan ja vastatelan välisen nippivälin 1-1,9 mm vaikutusta silikonisiirtymään. Nippiväli vaikuttaa nipissä vallitsevaan paineeseen. Nippipaineeseen liittyvä laskenta on esitetty teoriaosuudessa. Tässä koeajossa muuttujia oli siis kolme ja niillä kolme eri tasoa. Taulukossa 9 on esitetty L9 matriisi ja ajoarvot, jonka mukaan koeajo on ajettu. Taulukossa on mukana myös annostelutela 2 nopeus, jolla silikonisivelyn määrää säädetään. Koeajo on aloitettu pari tuntia pysähdyksissä olleella koneella ja alkuun on ajettu yksi rulla, jonka aikana prosessiolosuhteet ovat vakiintuneet.

Koepiste	Ulostulolämpötila	Sively g/m ²	Nippivälys mm	Annostelu 2 %
1	130	1,2	1	6,4
2	130	1,4	1,4	7,1
3	130	1,6	1,9	7,8
4	145	1,2	1,4	6,4
5	145	1,4	1,9	7,1
6	145	1,6	1	7,8
7	160	1,2	1,9	6,4
8	160	1,4	1	7,1
9	160	1,6	1,4	7,8

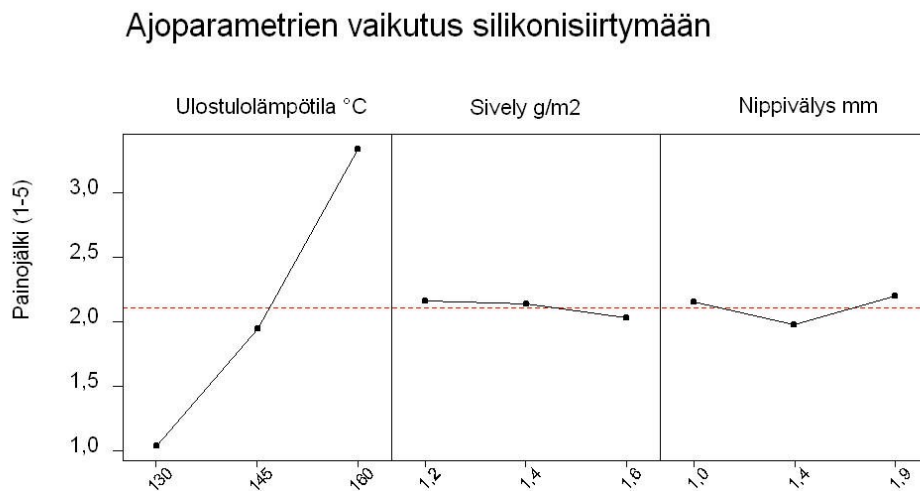
Taulukko 9. Koeajomatriisi L9 onnistunut koeajo

Näytteenotto ja testit: Jokaista koepistettä ajettiin yksi rulla. Jokaisesta rullasta otettiin kolme radanlevyistä lakanaa, joista A4 arkit stansattiin testejä varten. Heti laminaatin valmistuttua osalle rullia tehtiin tussi ja ruboff-testi sekä katsottiin silikonipinta silmä määräisesti. Laadunvalvontalaboratoriossa rullista mitattiin lowspeed release viikon vanhennuksella. Silikonisively mitattiin joka rullasta kahdestatoista kohtaa radan poikkisuunnassa. Puolelle samoista näytteistä tehtiin myös uuttotestit. Silicon transfer-testit tehtiin normaalilla 3 päivän uuni sekä 4 viikon normaaliolosuhde vanhennuksilla. Kolmen

päivän uunivanhennuksessa oli mukana kaksi radan poikkisuuntaista sarjaa, jotka kumpikin sisälsivät 6 arkkia lisäksi yksi kuuden sarja, missä testikalvot oli asetettu suoraan silikonipintaa vasten. Neljän viikon vanhennuksessa oli mukana kuusi vierekkäistä radan poikkisuuntaista arkkia. Yhteensä laminaatti arkkeja transfer-testissä oli 216 eli joka rullasta 24 kappaletta. Painatustulokset arvioitiin silmämääräisesti kahden henkilön toimesta. Painotesteissä oli mukana myös raakarullasta otettua taustaa. Tällä varmistettiin, ettei tausta itsessään aiheuta transferia.

Tuloksissa on esitetty onnistuneen koeajon tulokset. Koeajossa ajettiin 9 rullaa Taguchi-matriisin mukaan. Muuttujina olivat ulostulolämpötila, silikonisively sekä nippipaine. Tuloksissa esitetään prosessimuuttujien vaikutusta silikonisiirtymään, lisäksi tarkastellaan uutto- ja release-mittauksen tuloksia, silikoniprofilia, vanhennuksen vaikutusta siirtymään, sekä suljetaan pois mahdollisuus, että siirtymä aiheutuu raakamateriaalirullasta. Myös painojäljen silmämääräisen arvioinnin luotettavuutta tutkitaan.

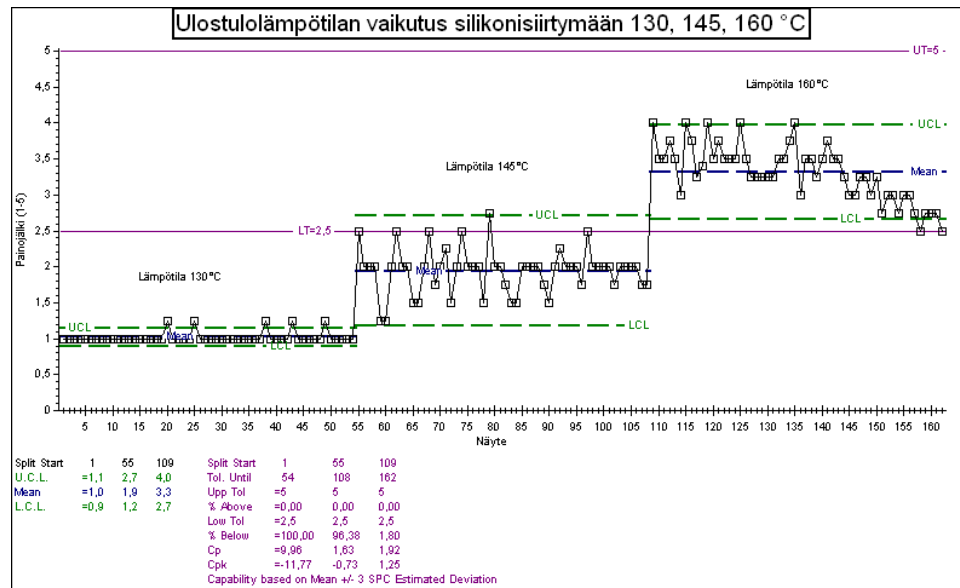
Kuvassa 43 on esitetty ajoparametrien suhteelliset vaikutukset silikonisiirtymään. Havaitaan, että ulostulolämpötilalla on suuri vaikutus silikonisiirtymän määrään. Ulostulolämpötilaa 130-160 °C vastaa silikonisiirtymäväliä 1-3,3. Sivelyllä tai nippivälyksellä ei ole Taguchi-analyysin mukaan merkittävää vaikutusta silikonisiirtymään.



Kuva 43. Ajoparametrien vaikutus silikonisiirtymään

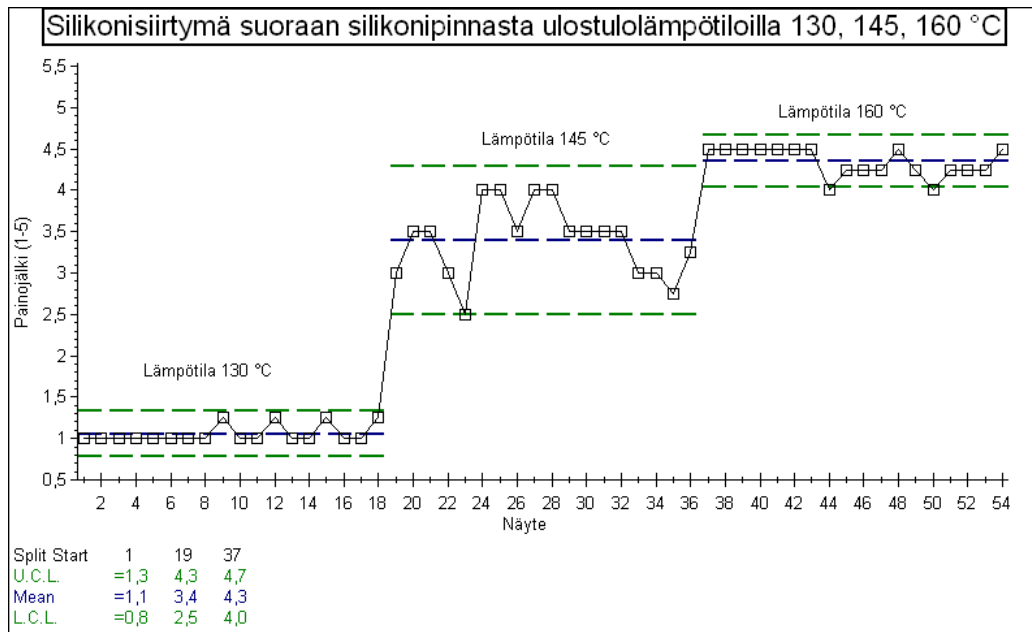
Todettiin siis, että lämpötilalla on merkittävä vaikutus silikonisiirtymän määrään. Kuvassa 44 on kuvattu tarkemmin huuvien ulostulolämpötilan vaikutusta silikonisiirtymään.

Kuvaajaan on merkitty silikonisiirtymän keskiarvot eri lämpötiloilla, SPC mukaan laske-
tut valvontarajat sekä haluttu silikonisiirtymätaso, joka on 2,5-5 arvosteltuna painojäljen
mukaan. Lämpötilalla 130 °C saavutetaan siirtymätaso 1, 145 °C päästään tasoon 1,9 mikä
on siirtymän tämän hetkinen taso, myös tehdyn seurannan mukaan. Lämpötilalla 160 saa-
vutetaan silikonisiirtymän taso 3,3. Kuvaajasta huomataan, että lopussa painatustulok-
sissa on laskeva trendi, tämä johtuu silikonisivelyn lisäämisestä, joka korkealla ulostulo-
lämpötilalla kasvattaa silikonisiirtymän määrää.



Kuva 44. Lämpötilan vaikutus silikonisiirtymään

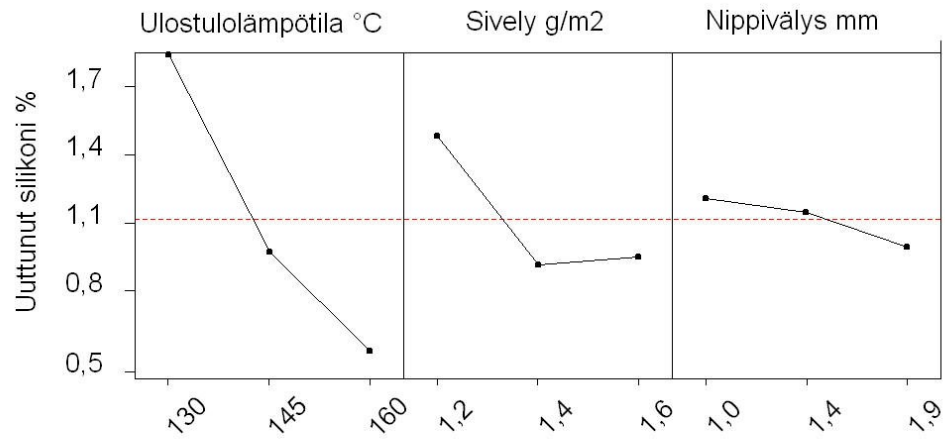
Silikonisiirtymätestit tehtiin myös suoraan silikonipintaa vasten olleille testikalvoille. Tu-
loket on esitetty kuvassa 45. Lämpötilan ja silikonisiirtymän välinen riippuvuus on vas-
taavanlainen kuin irrokkeen taustaa vasten olleilla testikalvoilla. Matalalla lämpötilalla
kuivattu silikonipinta aiheuttaa siirtymää. Korkealla lämpötilalla kuivatusta sikoni pin-
nasta ei siirry juuri mitään testikalvoon. Painojäljet ovat kuitenkin kautta linjan parempia
kuin normaali testimenettelyssä. Oletettavasti sikoni kuivaa parhaiten pintakerroksesta
ja aktivoitumattomat komponentit imeytyvät irrokepaperiin vaeltaen sen läpi ja irrokkeen
taustapuolelta aiheuttavat suuremman siirtymän kuin suoraan silikonipinnasta. Silikoni-
siirtymää ei oletettavasti aiheuta pöly, koska se lähtisi liiman mukana pois laminaattia
avattessa.



Kuva 45. Silikonisiirtymä suoraan silikonipinnalta.

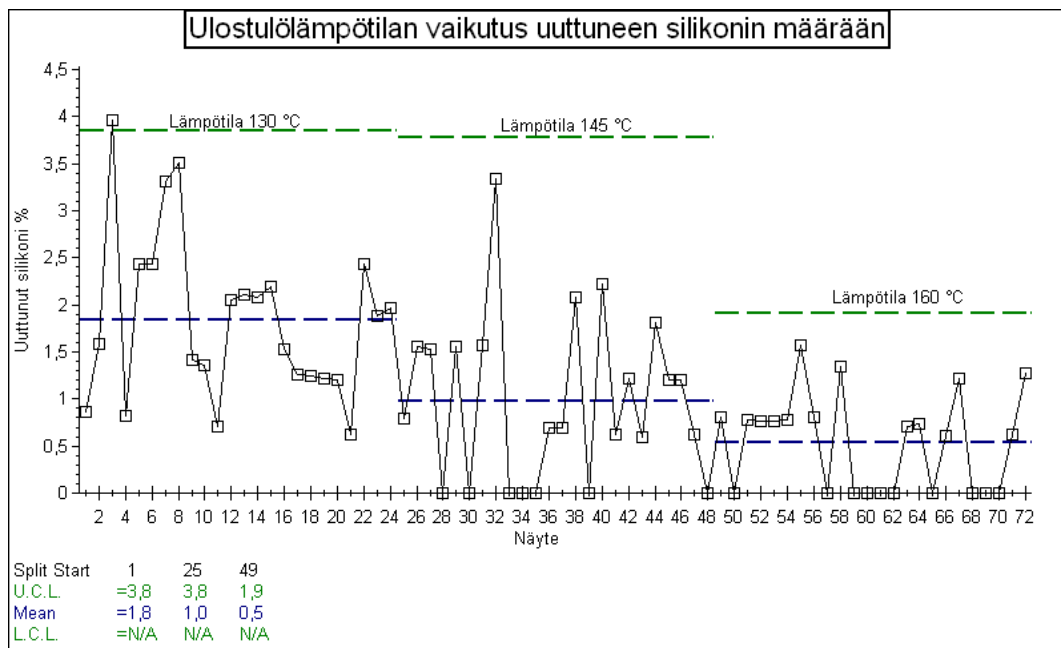
Taguchi-analyysin perusteella, esitetty kuvassa 46, havaitaan, että silikonin aktivoitumisesta kertovaan uuttotestin tulokseen eli uuttuneen silikonin määrään vaikuttaa eniten silikonihuvien ulostulolämpötila. Silikonsivelyn noustessa uuttuneen silikonin määrä prosentuaalisesti laskee. Nippivälyksellä ei ole vaikutusta uuttuneen silikonin määrään.

Ajoparametrien vaikutus uuttotuloksiin



Kuva 46. Ajoparametrien vaikutus uuttotuloksiin

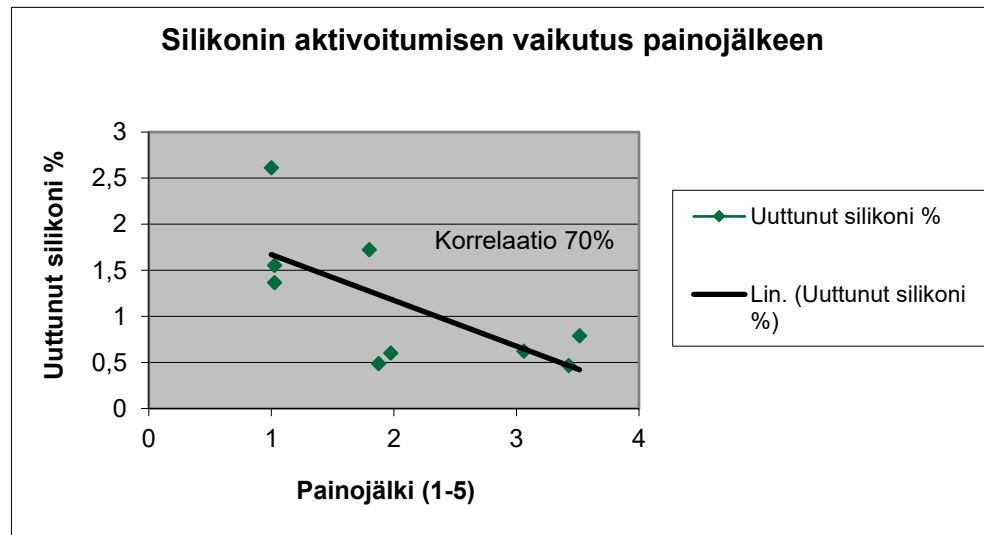
Kuvassa 47 on esitetty lämpötilan vaikutusta tarkemmin uuttotuloksiin. Vaikka tuloksissa hajonta onkin aika suurta, niin voidaan kuitenkin selvästi havaita, että ulostulolämpötilan kasvaessa silikonipinta aktivoituu paremmin ja siitä uuttuu vähemmän silikonia.



Kuva 47. Ulostulolämpötilan vaikutus uuttuneen silikonin määrään

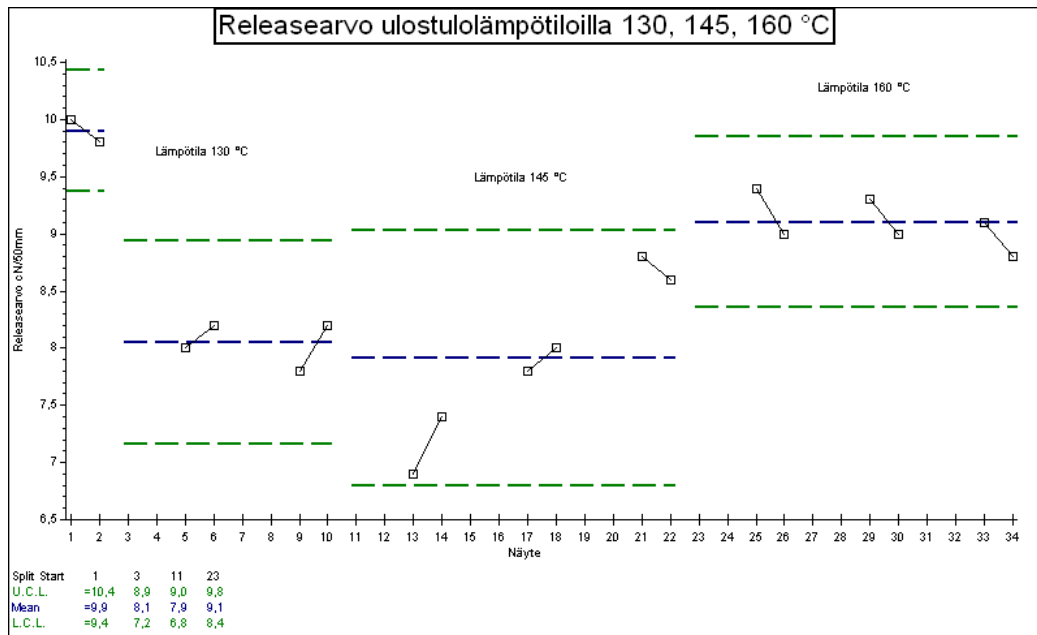
Edellä on havaittu, että silikonihuvien ulostulolämpötilan noustessa aktivoitumattoman silikonin määrä vähenee ja silikonisiirtymä vähenee. Kuvassa 48 on kuvattu silikonisiirtymän ja aktivoitumattoman silikonin välistä riippuvuutta. Niiden välinen korrelaatio on 70 %. Havaitaan että silikonin aktivoitumisella on vaikutusta silikonisiirtymään määrään.

Tästä voidaan päätellä, että epätäydellinen silikonin aktivoituminen aiheuttaa silikonisiirtymää.



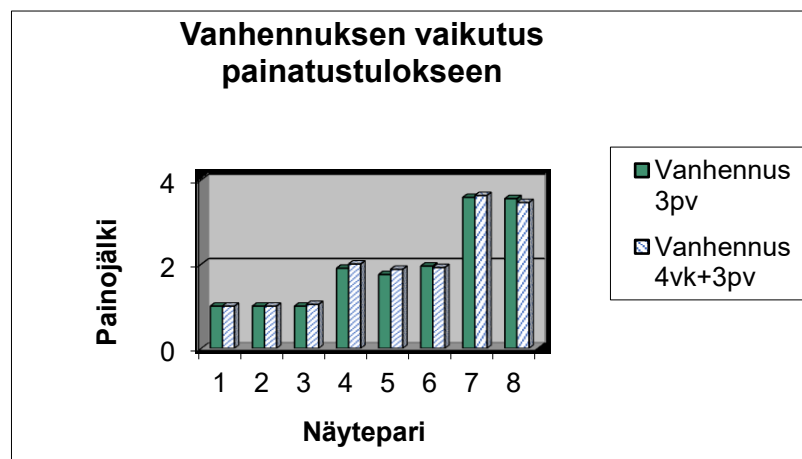
Kuva 48. Uuttuneen silikonin ja painojäljen välinen korrelaatio

Kuvassa 49 on esitetty silikonihuvien ulostulolämpötilan vaikutus releasearvoon. Mitatut arvot ovat low speed release-arvoja yhden viikon vanhennuksella. Jokaisesta 9 rullasta on tehty 2 rinnakkaismittausta. Kuvaajaa tutkimalla havaitaan, että release-arvot pysyvät lähellä 8 cN/50mm silikonihuvien ulostulolämpötiloilla 130 ja 145 °C. Ulostulolämpötilalla 160 °C release-taso nousee yhden noin kahdeksasta yhdeksään cN/50mm. Lämpötila alueella 145 °C release-tasot nousevat silikonisivelyä lisättäessä. Release-arvoon vaikuttaa myös liimahuuvien ulostulolämpötila, mikä havaitaan kuvaajan kahdesta ensimmäisestä pisteestä. Liimahuuvat eivät olleet saavuttaneet tavoitelämpöä. Matala liimahuuvien lämpötila aiheuttaa releasen nousun. Release-mittausten vähäisyyden vuoksi ei voitu todeta silikonisivelyn tai nippipaineen vaikutuksesta release-arvoihin.



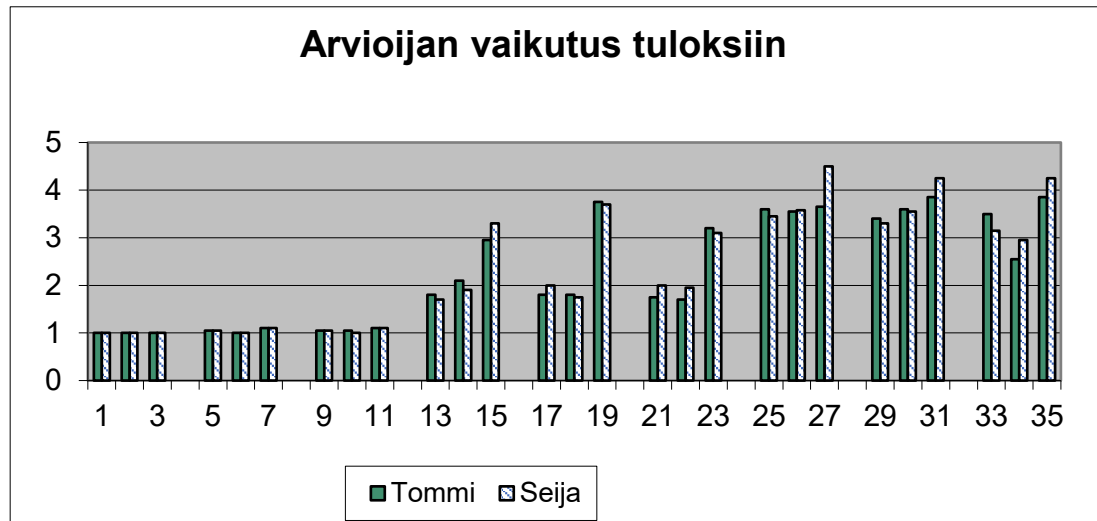
Kuva 49. Silikonihuvien ulostulolämpötilan vaikutus release-arvoon

Koeajon näytteille tehtiin silikonisiirtymä testit 3 päivän uuni vanhennuksella sekä neljän viikon vanhennuksella. Kuvassa 50 verrattu vierekkäisiä näytteitä eri vanhennuksella. Jokainen palkki on kuuden painetun kalvon keskiarvo. Havaitaan, että vanhennuksen vaikutus on hyvin vähäinen silikonisiirtymän määrään.



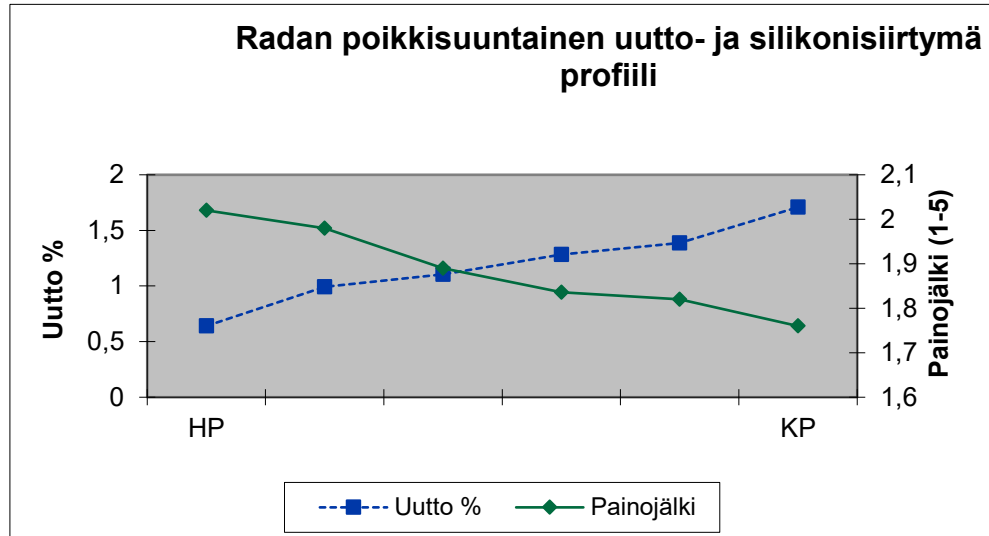
Kuva 50. Vanhennuksen vaikutus painojälkeen

Arvostelut tehtiin kahden henkilön toimesta. Kuvassa 51 vierekkäisillä palkeilla on esitetty kahden eri henkilön arvioinnit painojäljistä. Vertailu perustuu 162 painettuun kalvoon. Arvioinnit ovat lähes täysin yhtenevät ja erot ovat pieniä. Tässä tapauksessa arvioijasta johtuva ero tuloksissa on isoimmillaan 0,5.

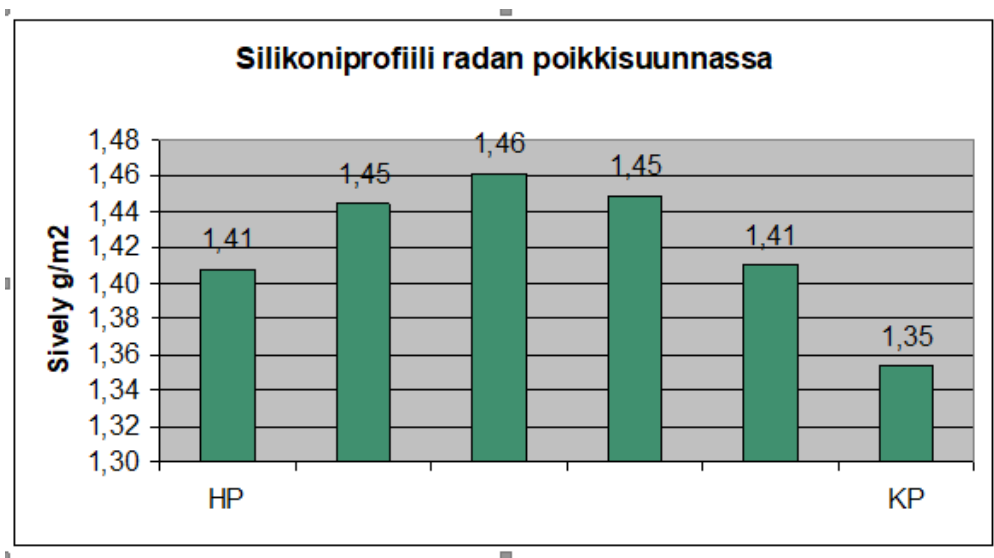


Kuva 51. Arvioijan vaikutus tuloksiin

Kuvassa 52 on esitetty kaikkien koeajossa ajettujen rullien uutto- ja silikonisiirtymätulokset radan poikkisuunnassa. Havaitaan, että radan hoitopuolella painojälki on hieman parempi ja uuttotulos alhaisempi. Käsimittarilla tehdyillä mittauksilla on havaittu, että ratalämpötila on korkeampi hoitopuolella. Hoito- ja käyttöpuolen välinen ero on noin viisi astetta. Kuvaaajassa on mukana kaikki kokeessa ajettut pisteet. Suurin vaikutus radan poikkisuuntaisella lämpötilaerolla silikonisiirtymään on kuitenkin ulostulolämpötilalla 145 °C. Johtopäätöksenä on, että prosessi on herkin pienille lämpötilamuutoksille ulostulolämpötilan 145 °C tuntumassa.



Kuva 52. Radan poikkisuuntainen uutto- silikonisiirtymä profiili



Kuva 53. Radan poikkisuuntainen silikoniprofiili

Kuvassa 53 on esitetty silikoniprofiili radan poikkisuunnassa. Silikonია on enemmän radan keskellä kuin reunoilla. Kun verrataan silikoninsivelymäärän vaikutusta radan poikkisuunnassa silikonisiirtymän tasoon ei havaita, että niillä olisi merkittävää yhteyttä.

9. YHTEENVETO

Työtä aloittaessa ei ollut tarkkaan tiedossa, mikä silikonisiirtymän tarkka syntymekanismi oli. Epäilynä oli, että silikonisiirtymä syntyy pölyämisen seurauksena huuvinissa. Silikonisiirtymän vaihteluväli oli suuri ja ei tiedetty tarkalleen mistä tämä suuri vaihtelu johtuu. Kun siirtymätaso oli suuri tarran pintakalvon paino-ominaisuudet olivat huonot.

Tässä työssä oli pyrkimyksenä löytää vastauksia seuraaviin asioihin. Mitkä asiat vaikuttavat silikonisiirtymän määrään. Miten se syntyy ja miten sen määrää voitaisiin vähentää. Miksi sen esiintymisen suuruus oli niin vaihtelevaa prosessissa. Työssä tutkittiin silikonisiirtymän mittamenetelmää ja havaittiin, että pienillä näytemäärillä mittausten tuottama hajonta oli suurta. Siihen vaikuttaa visuaalisesta arvioinnista tulevat virheet sekä itse mittausten syntyvä hajonta. Riittävällä näytemäärällä saadaan kuitenkin vertailukelpoisia tuloksia. Aluksi määritettiin silikonisiirtymän perustaso. Perustaso oli 2,1 asteikolla 1-5 missä 5 on paras painojälki. Vaihtelu oli kuitenkin suurta, välillä siirtymää oli reilusti. Tavoitteena oli, että siirtymätaso ei mene 2,5 alle.

Tehtiin myös joukko pienempimuotoisia kokeita ennen isompia koeajoja, jossa pyrittiin selvittämään yksittäisten asioiden vaikutusta silikonisiirtymän määrään. Tutkittiin silikonipölyn vaikutusta painojälkeen. Kuivunut silikonipöly ei aiheuttanut huonoa painojälkeä. Tehtiin vertailu muovitaustan ja paperitaustan välillä. Saatiin tulokseksi, että paperitaustalla silikonisiirtymää ilmeni ja muovitaustalla ei prosessiolosuhteiden ollessa samat. Johtopäätöksenä oli, että silikoni tunkeutuu paperin läpi ja näin aiheuttaa huonon painojäljen. Tutkittiin myös vaikuttaako laminaatin välissä oleva liima jotenkin silikonisiirtymään. Tuloksena oli, ettei merkittävää vaikutusta löytynyt.

Laminointikoneella CM4 tehtiin kaksi koeajoa. Ensimmäisessä tehtiin pieniä muutoksia ajoarvoihin ja tutustuttiin muutenkin koneeseen ja parametreihin, joita voidaan säätää. Koeajossa muutettiin huuvin poistoilmahuuvin määrää, silikonin annostelumäärää sekä kuivatuslämpötilaa. Tuloksena oli, että kuivatuslämpötilalla oli suurin vaikutus silikonisiirtymän määrään. Johtopäätöksenä on, että silikoni kuivuu täydellisemmin korkeassa lämpötilassa ja siitä ei irtoa niin paljon ainesosia, jotka pääsisivät tunkeutumaan paperin läpi. Toisessa koeajossa laadittiin taguchi-menetelmään perustuva koeajo, jossa muuttujina olivat nippipaine, silikonin määrä sekä kuivatuslämpötila. Tarkoitus oli myös tutkia huuvin ilmakiertojen vaikutusta mutta se ei ollut mahdollista. Huuvat tippuivat pois päältä, kun muutoksia yritettiin tehdä. Koeajon tuloksen oli, että kuivatuslämpötilalla oli selvä vaikutus silikonisiirtymän määrään.

Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella silikonisiirtymä johtuu siitä että, silikoni tunkeutuu paperin läpi. Kuivatuslämpötilan nostolla silikoni saadaan kuivumaan täydellisemmin ja näin siitä ei irtoa komponentteja, jotka pystyisivät tunkeutumaan paperin

läpi. Mahdollisia keinoja silikonisiirtymään vähentämiseen: Käyttää riittävän tiivistä taustamateriaalia, josta silikonit eivät pääse läpi. Varmistaa riittävä kuivatuslämpötila, jotta silikonit kuivuvat kunnolla. Jatkokehitysehdotuksena on tutkia silikonireseptin vaikutusta, esimerkiksi käyttää helpommin kuivuvaa vähemmän inhiboitua silikonit.

LÄHTEET

- [1] Raflatac Oy:n intranet
- [2] Raflatac Oy:n Esittely materiaali
- [3] Knowtac1.0
- [4] Savolainen, A, Papermaking science and technology, Paper and board converting, Fapet Oy, Gummerus Oy, Jyväskylä, 1998. 285 s.
- [5] Paulapuro, H, Papermaking science and technology, Paper and board grades, Fapet Oy, Gummerus Oy, Jyväskylä, 2000. 134 s.
- [6] UPM Raflatac Adhesive Book, 2006, 29 s.
- [7] Knowtac 2.0 beta
- [8] Challenges in solventless siliconizing UPM CN C&E&L Seminar Sept.2003 Raflatac

Frédéric Castellanos 35s.
- [9] Pynnönen, T., Suullinen tiedonanto 14.11.2007
- [10] Närhi, A., Suullinen tiedonanto 20.3.2007
- [11] Raflatac Oy:n Tuotekehitys laboratorion työohje. 26.7.2006 Seija Jussila.
- [12] Karjalainen, E, Tuotteen ja prosessin optimointi koesuunnittelulla Taguchi-menetelmä, Metalliteollisuuden keskusliitto, Metalliteollisuuden kustannus Oy, 1989. 95s.
- [13] Rhodia silicone presentation julkaisematon koulutusmateriaali 2007 45s.
- [14] Karhuketo H Paperin ja kartongin jalostus 2. uudistettu painos, Kemiallinen metsäteollisuus, Opetushallitus, 2004 219s.
- [15] Dow corning corporation proprietary. Silicone release coatings & Tecnology. T ampere, Raflatac Oy. Julkaisematon selvitys 25 s.
- [16] Eckberg, R. The chemistry and tecnology of thermally cured silicone release a gents. Tappi J. 70(1987)12, s. 152-155

- [17] Product information sheet release coatings 2/2004 Dow corning
- [18] <http://www.dowcorning.com>
- [19] Chemical reactions on the finished silicone crosslinking and modification of silicones http://www.silicones-science.com/chemistry_chemreaction.html
- [20] Andrew jack Suullinen tiedonanto 23.1.2008
- [21] Silikonikoulutus UPM Raflatac sisäinen koulutusmateriaali 2007
- [22] Tracton, A.Coatings technology handbook. 2005 Marcel Dekker s.936
- [23] Silicones Chemistry and Technology. Essen 1989, Vulkan-Verlag Essen, Vulkan Publishing. 125s.
- [24] Tomanek, A. Silicone & Technik. Munchen 1990, Carl Hansen verlag by Wacker-Chemie GmbH. 173s.
- [25] Silicones production and applications. Rhone-Poulenc silicones department / Techno-Nathan. Paris 1988, Techno-Nathan. 75s.
- [26] Smith A. The Analytical chemistry of silicones. Michigan 1991, John Wiley & Sons Inc. 551s.
- [27] Silicones manufacture and main uses. Paris 1988, Rhone-poulenc chimie departement Silicones. 46s.
- [28] Silikonit. Tampere 2007, Raflatac Oy. Julkaisematon selvitys 32 s.
- [29] George M. Orlych, Research & Development Manager. Silicone-Adhesive Interactions in Release Liner Applications [WWW]. Akrosil, Menasha, WI. [viitattu 5.2.2008]. Saatavissa: <http://www.pstc.org/papers/pdfs/Orlych.pdf>
- [30] Dr. Alex C. M. Kuo. Silicone Release Coatings for the Pressure Sensitive Industry – Overview & Trends [WWW] Dow Corning Corporation. United states. [viitattu 6.2.2008]. Saatavissa: <http://www.dowcorning.com/content/publishedlit/30-1069b-01.pdf>
- [31] Niina Autio-Rahkonen. Emulsiosilikonit releasepaperin valmistuksessa. Diplomityö. Tampere 1998. Tampereen teknillinen yliopisto, Paperinjalostustekniikka. 129s.
- [32] Virtanen J. Tuotekehitys laboratorion työohje silikoni rubb off. Tampere 2006, Raflatac Oy

- [32] Jones L., Vandort. P. Reducing Silicone mist. Paper Film Foil Converter vol. 26, no. 11, Nov. 2002, s 10-12
- [33] Jones J.D. Potential interactions between pressure sensitive adhesives and silicone release coatings. Paper presented at 1993 Polymers, Laminations and Coatings Conference held at Chicago, IL, USA, 29 Aug.-2 Sept. 1993, Book 1, pp 145-154 Atlanta, GA, USA: TAPPI Press, 1993, 594pp
- [34] Dr. Munniger W. Solving problem of silicone transfer[WWW]. Paper Film Foil Converter Oct. 2003 [Viitattu 8.2.2008] Saatavissa: http://pffc-online.com/mag/paper_solving_problem_silicone/index.html
- [35] 1978 Solventless silicone coatings short course. Atlanta, Georgia 1978, Technical association of the pulp and paper industry TAPPI. 53s.
- [36] 1979 Solventless silicone coatings short course. Atlanta, Georgia 1979, Technical association of the pulp and paper industry TAPPI. 35s.
- [37] Polymers, Laminations and Coatings. Atlanta, Georgia 1991. Technical association of the pulp and paper industry TAPPI. 676s.
- [38] Reardon C. Release Liner Special Report, Part 1 [WWW]. Paper Film Foil Converter Nov. 2007 [Viitattu 14.2.2008] http://pffc-online.com/tapes/paper_release_liner_reclamation/
- [39] Darrel J. A Room Temperature Curing Silicone Paper Coating- The Ultimate Low Energy Coating 1986. In: Bentley D. (ed) Tappi Polymers Laminations and Coatings. Atlanta, Georgia 1991, TAPPI Press. s. 76-78
- [40] Korpman R. Pressure Sensitive Adhesive Tapes and Processes. In: Bentley D. (ed) Tappi Polymers Laminations and Coatings. Atlanta, Georgia 1991, TAPPI Press. s. 99-101.
- [41] Niskanen, K, Papermaking science and technology, Paper Physics, Fapet Oy, Gummerus Oy, Jyväskylä, 1998. 324 s.
- [42] Neimo, L, Papermaking science and technology, Papermaking chemistry, Fapet Oy, Gummerus Oy, Jyväskylä, 1998. 329 s.
- [43] Sprig R, FINAT Educational handbook of Self-adhesive labelling. Haag 1996 FINAT. 132s.
- [44] Haastattelu Ismo pietari 15.2008

- [45] Renton P Die-Cutting: an Integral Part of Label Printing [WWW] Lightning label blog. [Viitattu20.2.2008] http://blog.lightninglabels.com/blog/labeling_basics/index.html
- [46] Oittinen P, Papermaking science and technology, Printing, Fapet Oy, Gummerus Oy, Jyväskylä, 1998. 295 s
- [47] Jones D, Factors affecting the selection and performance of silicone release coatings. Midland Michigan 1997. Dow Corning Corporation. 27s.
- [48] McCluskey L. Silicone coating: High demand, high hopes, Converting Magazine, 3/1/2002 s. 46-49
- [49] Mujumdar A.S. Handbook of Industrial Drying, 3rd Edition, CRC Press 2007. 1261s.
- [50] William H. Flotation Dryer Design. Process Heating, November, 2003, s.24
- [51] WACKER SILICONES, Solventless Release Coatings [WWW]. Wacker Chemical Corporation [Viitattu28.2.2008] Saatavissa: <http://www.wackersilicones.com/documents/techdatasheets/dehesive920921924.pdf>
- [52] Painatuskoulutus. Espoo 1998, Oy Keskuslaboratorio Centrallaboratorium ab KCL 100s
- [53] Räsänen P. Yksityskohtien toistokyky pulveripohjaisessa digitaalisessa elektrofoografiassa. Diplomityö. Espoo 2004. TKK, Puunjalostustekniikan osasto 145s.
- [54] Mensonen A. Paperin miellyttävyys. Diplomityö. Espoo 1996. TKK, Puunjalostustekniikan laitos 92s.
- [55] LUKÁŠ J et al. Computer-based Image Analysis to Estimate the Area of a Sticky Trap Occupied or Contaminated by Pests. Plant Protect. Sci. Vol. 39 2003, No. 2 s.52–60
- [56] Konkarikoski J. Päälystyskoneen prosessi parametrien vaikutus silikonoidun pinnan laatuun. Diplomityö. Tampere 1998. TTY, Konetekniikan osasto 86s.
- [57] Label printing and production. In: Kirwan M. (ed) Paper and Paperboard Packaging Technology. Blackwell 2005, CPL press. s. 135-148.
- [58] Lehtinen E, Papermaking science and technology, Pigment coating and surface sizing of paper, Fapet Oy, Gummerus Oy, Jyväskylä, 2000. 810 s
- [59] Trace analysis involving silicones. In: Smith A. (ed) The Analytical chemistry of silicones. Michigan 1991, John Wiley & Sons Inc. 71-90s.

- [60] Forsblom S. High speed release – mittausmenetelmän käyttäminen tarralaminaatitiprosessin ohjauksessa. Diplomityö. Vammala 2007. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kemiantekniikan osasto. 81s.
- [61] Heinonen K. Nippipaineen laskenta. Diplomityö
- [62] Kai heinonen haastattelu ja sähköposti 15.11.2007