

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT Kemia

Paperi- ja kuitutekniikan laboratorio

BJ10A0101 Kandidaatintyö

**ADHEESIO KARTONGIN
POLYETEENIPÄÄLLYSTYKSESSÄ**

Lappeenrannassa 13.05.2010

Pasi Lampinen

TIIVISTELMÄ

Nestepakkauskartongilta tarvittava estokerros eli barriääri saadaan aikaan päällystämällä kartongin pinnalle hydrofobinen polyeteenifilmi, jonka tehtävänä on pitää päällystettävä pinta riittävän tiiviinä sekä nesteitä hylkivänä. Hyvän barriäärin syntymisen perusehtona on yhtenäisen ja virheettömän muovifilmin aikaansaaminen kartongin pintaan, koska heikot kohdat tai reiät kalvossa kasvattavat nesteiden ja kaasujen läpäisevyyttä.

Ilman riittävän hyvää kiinnittymistä eli adheesiota kartonkia suojaava muovifilmi on käytännöllisesti katsoen hyödytön. Adheesio onkin yksi tärkeimmistä lopputuloksen laatuun vaikuttavista tekijöistä kartongin polyeteenipäällystyksessä. Ekstruusiomenetelmällä tapahtuvassa kartongin polyeteenipäällystyksessä adheesion tasolla on vaikutusta muovifilmin ja kartongin välisessä kiinnittymisessä. Tämän lisäksi hyvää adheesiota tarvitaan painomusteen tarttumiseksi päällystettyyn pintaan muovipäällystettyä kartonkia painettaessa. Jotta adheesio olisi riittävän vahva, tarvitaan materiaalien pintaenergioiden muokkaamista vaadittuun tilaan.

Kartongin polyeteenipäällystyksessä polyeteenin ja kartongin väliseen adheesioon vaikuttavia tekijöitä on useita ja ne voidaan jakaa ryhmittäin koneolosuhteisiin, muovin ominaisuuksiin, kartongin ominaisuuksiin sekä adheesiota parantaviin käsittelyihin. Adheesiota pyritään hallitsemaan siihen vaikuttavia tekijöitä säättämällä, mutta sen tehokkaan hallinnan ongelmana on tekijöiden muokkaamisen rajallisuus sekä muokkaamisen mahdollisesti haitalliset sivuvaikutukset. Adheesiota parannettaessa saatetaan samalla heikentää jotain muuta lopputuotteen laatuun vaikuttavaa tekijää, kuten esimerkiksi kuumasaumautuvuutta tai läpäisemättömyyttä.

Sisällysluettelo:

1	JOHDANTO	3
2	NESTEPAKKAUSKARTONGIT.....	4
2.1	MATERIAALIT	5
2.2	RAKENNE	6
3	PE-LINJAN YKSIKÖPROSESSIT.....	8
3.1	AUKIRULLAUS.....	9
3.2	KÄYTÖT, OHJAUKSET, KIREYSSÄÄDÖT SEKÄ RADANOHJAUS	10
3.3	ESIKÄSITTELYMENETELMÄT.....	11
3.3.1	LIEKKIKÄSITTELY.....	13
3.3.2	OTSONOINTI.....	14
3.3.3	PRIMEROINTI.....	14
3.4	EKSTRUUDERI.....	15
3.5	JÄLKIKÄSITTELY (SÄHKÖKORONOINTI).....	23
3.6	KIINNIRULLAUS	26
3.7	PITUUSLEIKKAUS	28
4	ADHEESIO	28
4.1	ADHEESIO YLEISESTI.....	28
4.2	ADHEESIOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT.....	32
4.3	ADHEESIOON VAIKUTTAMINEN	37
5	YHTEENVETO.....	40
6	LÄHTEET	42

1 JOHDANTO

Nykyään paperiteollisuus valmistaa laajan kirjon erilaisia paperituotteita, joiden käyttötarkoitukset ja vaaditut ominaisuudet vaihtelevat hyvinkin laajasti. Tämän takia joudutaan valitsemaan lajikohtaisesti sopivat raaka-aineet, osaprosessit sekä mahdollisesti myös jälkikäsittelyt, jotta valmistusprosessissa syntyvä paperi tai kartonki täyttäisi tuotteen ominaisuuksille asetetut vaatimukset. Paperin tai kartongin pintaominaisuuksiin voidaan vaikuttaa erilaisilla pintakäsittelymenetelmillä, kuten päällystyksellä, pintaliimauksella tai pigmentoinnilla. Päällystyksellä tarkoitetaan paperin tai kartongin pinnoittamista halutuilla aineilla, kuten muun muassa sideaineilla, pigmenteilla, vahoilla, polymeereillä sekä erilaisilla lisäaineilla. Yleisesti päällystyksellä pyritään parantamaan tuotteen painettavuutta ja laatua, jolloin saadaan parannettua tuotteen paino-ominaisuuksia kuten sileyttä, pintalujuutta ja absorptio-ominaisuuksia, sekä optisia ominaisuuksia kuten kiiltoa, vaaleutta ja opasiteettia. Lisäksi päällystyksellä voidaan pyrkiä muokkaamaan paperin tai kartongin pinnasta entistä hydrofobisempaa sekä kaasutiiviimpää. Parantuneiden ominaisuuksien ansiosta sopivalla menetelmällä päällystetystä paperista tai kartongista saadaan moniin erilaisiin vaativiin sovelluksiin sopivaa materiaalia. Esimerkiksi kartongista saadaan näin jalostettua polyeteenipäällystyksellä nesteiden ja elintarvikkeiden pakkausmateriaaliksi soveltuvaa nestepakkauskartonkia. [1,2]

Nestepakkauskartonki on ekstruusiopäällystettyä kartonkia, jonka päällysteenä käytetään tavallisimmin polyeteenimuovia. Kartongin pinnalle levitettävän hydrofobisen polyeteenin tehtävänä on pitää pinta riittävän tiiviinä sekä nesteitä hylkivänä. Näin kyseiseen materiaaliin pakattavat elintarvikkeet tai nesteet pystytään pakkaamaan siten, että ne ovat riittävän vähän tekemisissä ympäristössä esiintyvien vieraiden mikrobien, hajujen sekä makujen kanssa. Esimerkiksi yleisesti nestepakkauksiin pakattu maito on hyvinkin herkkä mikrobien vaikutukselle sekä siihen myös tarttuu valitettavan helposti ylimääräisiä vieraita

hajuja ja makuja. Näin ollen maidon pakkaamismateriaalina käytetyn nestepakkauskartongin tuleekin täyttää sille asetetut tarkat vaatimukset, jotta asiakkaille päätyvä maito olisi asianmukaisessa kunnossa. Tämä asettaa vaatimuksia nestepakkauskartongin valmistuksessa niin pohjakartongille kuten myös itse päällystystapahtumalle, jotta tarkat laatuvaatimukset pystyttäisiin ylittämään syntyvän tuotteen osalta. [1,2]

2 NESTEPAKKAUSKARTONGIT

Muovipäällystetyn kartongin merkittävin yksittäinen loppukäyttökohde pakkausteollisuudessa ovat nestepakkaukset, jotka ovat kaikille tuttuja yleisen käyttönsä vuoksi. Nestepakkauksia ovat esimerkiksi maitotölkit, tuoremehupakkaukset sekä nykyään myös viinipakkaukset. [1,2]

Vaatimustasoltaan kartongista valmistetut nestepakkaukset jakaantuvat kahteen luokkaan: [1]

- pitkän hyllyiän vaativat tuotteet
- pastöroitujen maitotuotteiden tölkit

Pitkän hyllyiän vaativia tuotteita ovat aseptiset tuoremehupakkaukset, joissa on oleellista aromien, vitamiinien sekä ravintosisällön säilyminen vakiona mahdollisimman kauan. Mehujen lisäksi myös muita elintarvikkeita, kuten esimerkiksi ketsuppeja ja mausteita pakataan tarvittavan barriäärin omaaviin nestepakkauksiin. Myös useat teknokemian tuotteet, kuten pesuaineet voidaan pakata riittävän hyvän barriäärin omaaviin nestepakkauksiin, joista hajujen karkaaminen ulos pakkauksesta on minimoitu. [1]

Pastöroitujen maitotuotteiden tölkkien materiaalina käytetään kaksipuoleisesti LDPE:llä päällystettyä nestepakkaukaskartontia. Polyeteenin tehtävänä on antaa tarvittava nestebarriääri pakkauksen sisäpinnalle sekä kosteussuoja ulkopuolelle. Polyeteeni antaa myös tuotteen ulkopinnalle kiiltoa ja parantaa ulkonäköä. Koska kyseisten tuotteiden ulkopinta yleensä painatetaan, tulee ulkopinta koronakäsittellä painoväriin kiinnittymisen parantamiseksi. [1]

2.1 MATERIAALIT

Nestepakkauksen pääraaka-aineena voidaan käyttää yksinomaan valkaistusta lehti- ja havupuusellusta valmistettua yksi- tai monikerroksista sellukartontia (SBS) tai monikerrokskartontia, jossa pinta- ja pohjakerros on valmistettu sellusta runkokerroksen ollessa esimerkiksi kemimekaanisesta massasta valmistettua. Nestepakkaukaskartongin valmistukseen käytetyn kartongin neliömassa-alue on 150–350 g/m². [1]

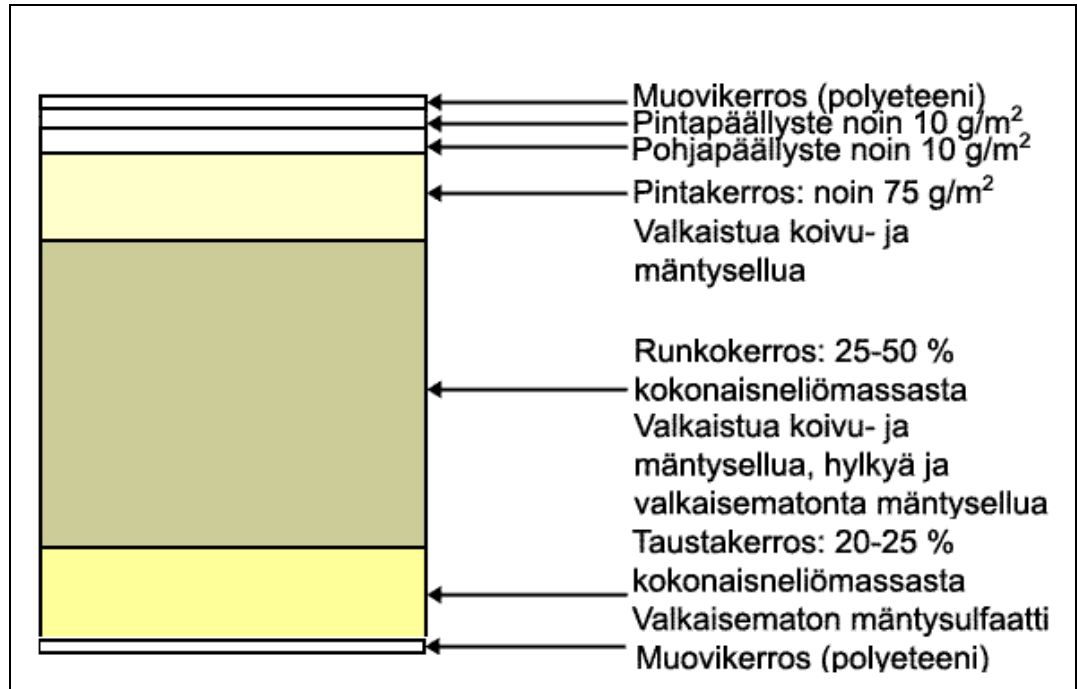
Kartongin pinnalle ekstruusiopäällystettävän muovikalvon avulla saadaan aikaan nestepakkaukaskartongilta vaadittava nesteiden sekä kaasujen estokerros. Polyeteeni (PE) on ylivoimaisesti yleisin ekstruusiopäällystyksessä käytettävä muovilaatu yli 80 %:n osuudella käytetyistä päällystysmuoveista. Muita ekstruusiopäällystyksessä käytettäviä muoveja ovat muun muassa polypropeeni ja polyesteri. Polyeteeni on rakenteeltaan kaikkein yksinkertaisin muovi, mikä antaa sille merkittävän edun muihin muovilaatuihin verrattuna. Polyeteenilaadut voidaan jakaa tiheyden perusteella matalatiheysiseen polyeteeniin (LDPE), keskitiheysiseen polyeteeniin (MDPE) sekä korkeatiheysiseen polyeteeniin (HDPE). LDPE on parhaan ajettavuutensa takia käytetyin polyeteenilaatu, muiden laatuojen käytön rajoituessa erityissovelluksiin. Muovin tiheyden kasvaessa sen estokyky eli barriääri paranee, mutta toisaalta ajettavuus heikkenee. [1]

Polyeteenin vaatimattoman kaasu- ja aromitiiveyden takia nestepakkaukaskartongissa on tarpeen vaatiessa jouduttu käyttämään ohutta

alumiinifoliokerrosta muovikerroksen lisäksi. Nykyään alumiinifolio voidaan myös korvata barriäärimuovikerroksella, kuten esimerkiksi etyyliivinyylialkoholikerroksella (EVOH). EVOH-kerros antaa nestepakkaukselle korkean kaasu- ja aromitiiviuden, mutta sen käyttö edellyttää erityisratkaisuja, koska se tarttuu heikosti polyeteeniin sekä menettää kaasutiivytensä kastuessaan. Tämän takia EVOH- ja polyeteenikalvon väliin tulee lisätä liimapolymeeriä ja EVOH-kalvo tulee suojata nesteiltä polyeteenikalvoilla. [1]

2.2 RAKENNE

Muovipäällystetyn kartongin käyttö elintarvikepakkauksen valmistusmateriaalina asettaa korkeita vaatimuksia käytetylle kartongille. Päällystettävän kartongin kuituraaka-aineena yksikerroskartongeissa (SBS) käytetäänkin pelkästään puhdasta, puuvapaata sulfaattisellua. Viime aikoina on kuitenkin yleistynyt myös kolmikerroskartongin käyttö pohjakartonkina, jolloin kemimekaanista massaa on voitu käyttää valmistusmateriaalina monikerroskartongin keskikerroksessa. Tämän ansiosta on pystytty vähentämään materiaalikustannuksia nestepakkauskartongin valmistuksessa tuntuvasti. Nestepakkausmateriaalina käytetyn kartongin tuotteelle antamia ominaisuuksia ovat jäykkyys, nuutattavuus, mekaaninen lujuus, painettavuus sekä valosuojat. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki tyypillisestä nestepakkauskartongin rakenteesta. [1,2]



Kuva 1. Nestepakkauskartongin rakenne. [2]

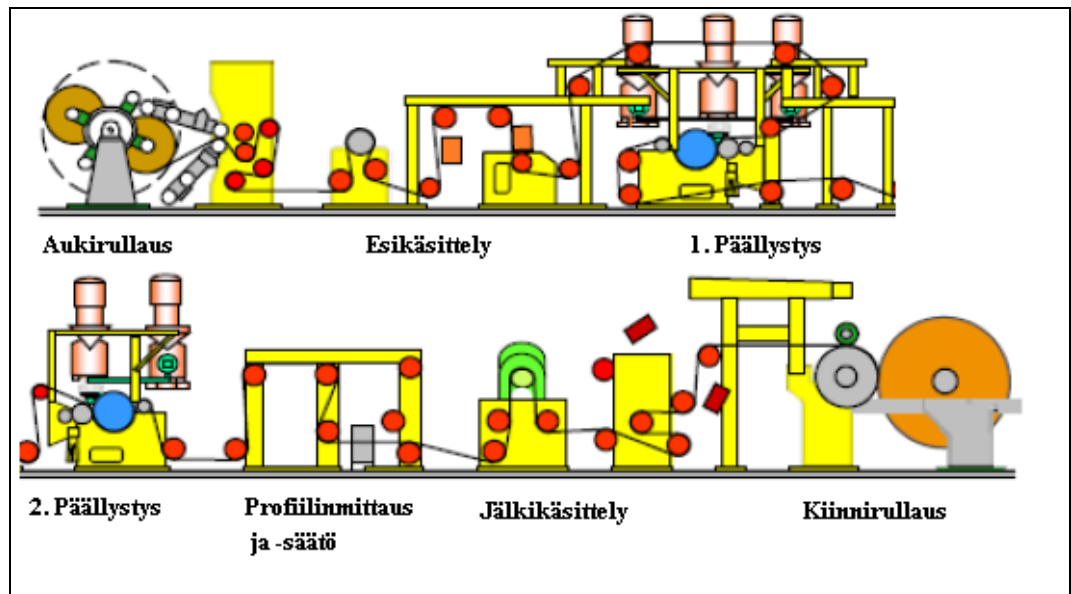
Nestepakkauksilta vaaditun barriäärin aikaansaamiseksi pakkauksen sisäpinnalle on käytännössä kaksi eri ratkaisua. Perinteinen tapa on alumiinifolio, joka on laminoitu kartonkiin LDPE:llä ja tämän jälkeen koekstruusiopäällystetty Surlyn/LDPE:llä tai muulla samankaltaisella muovilla, jolla on tarvittava kestävä adheesio alumiinifolioon. Nestepakkauksen sisäpintaan asetettu alumiinifolio on ehjänä pysyessään melkein täydellinen barriääri, joka lisäksi antaa täydellisen valosuojan toisin kuin pelkkä muovi. Uudempi tapa vaadittavan barriäärin saavuttamiseksi on koekstruusiopäällystää kartongin sisäpinnalle LDPE/liimamuovi/EVOH/liimamuovi/LDPE-kokonaisuus. Menetelmän etuna on alumiinin käytön välttäminen ja sen myötä pakkauksen kierrätysominaisuuksien parantuminen. Tällöin kierrätykseen päätyvän kartongista valmistetun nestepakkauksen sisältämät kuidut saadaan uudelleen hyödynnettyä hylsykartongin raaka-aineena ja muovi voidaan polttaa energian tuottamiseksi. [1]

Nestepakkauksen ulkopinta on tavallisesti päällystetty $12\text{--}20 \text{ g/m}^2$ LDPE:llä kiiltäväksi ja sisäpinta jopa 60 g/m^2 barriääriyhdistelmällä mattapintaiseksi, jotta rullassa ollessaan sisä- ja ulkopinta eivät blokkaisi eli tarttuisi toisiinsa kiinni.

Elintarvikkeita pakatessa kaasujen läpäisemättömyys on ehdottoman tärkeää, ettei pakkauksen sisältö pääsisi pilaantumaan käyttökelvottomaksi. Tämän takia tasaisen ja varman kuumasaumautuvuuden aikaansaaminen on erittäin tärkeää. [1]

3 PE-LINJAN YKSIKKÖPROSESSIT

Tyypillinen muovipäälystyslinja käsittää alusradan syöttämiseen tarvittavan aukirullaimen, alusradan esikäsittelylaitteiston, päälystysyksiköt, muoviprofiilin määrittämiseen ja säätämiseen tarvittavat laitteistot, päälystetyn radan jälkikäsittelylaitteiston, kiinnirullauksen sekä pituusleikkurin. Kuvassa 2 on esitetty pelkistetyksi tyypillinen PE-linjan rakenne. [1,3]



Kuva 2. Tyypillinen ekstruusiopäälystyskone yksikköprosesseineen. [3]

3.1 AUKIRULLAUS

Yleisesti polyeteenipäällystettävä kartonki syötetään päällystyskoneeseen aukirullauspukista, jonka tehtävänä on syöttää kartonkirata mahdollisimman tasaisesti ja onnistuneesti koneeseen, jotta päällystysprosessin toiminnan peruslähtökohdat voitaisiin taata. Näin ollen aukirullaimen tulee pitää purkautuva raakarulla oikealla paikallaan sivusuunnassa sekä rullan ratajännitys tasaisena. Aukirullauspukille asetettuja tehtäviä ovat: [1,4]

- purkaa kartonkirataa rullasta hallitusti
- keskittää syötettävä kartonkirata oikealle kohdalle (tavallisesti koneen keskiviivalle)
- ylläpitää syötettävän radan ratajännitystä tasaisena purettavan rullan halkaisijan ja nopeuden muuttuessa
- tehdä mahdolliseksi onnistunut rullanvaihto konetta pysäyttämättä

Kyseiset tehtävät onnistuneesti täyttävä aukirullauspukki on tehtävien vaativuuden takia rakenteeltaan kaikkea muuta kuin yksinkertainen. Rakenteeltaan aukirullauspukin tulee sisältää vähintään kahdet erikseen liikkuvat rullakarot ja niissä voi tarvittaessa olla vaihdettavat kartiot erikokoisille hylsille. Myös paisuvien akseleiden käyttö kartioiden tilalla on mahdollista ja tällöin yhdenlaisetkin pidikkeet riittävät. [1]

Päällystyskoneelle syötettävä kartonki ei ole optimitapauksen kaltaista tason muotoista virheetöntä rataa, vaan siinä on monenlaista vaihtelua, kuten esimerkiksi paperinvalmistuksessa muodostunutta jännitystä, rullausvirheitä tai rullien kuljetuksessa syntyneitä vaurioita. Tämän takia karojen akseleihin on voitu kytkeä jarrugeneraattorit, joilla pystytään tarvittaessa korjaamaan radan vaihtelua sekä ylläpitämään tasaista radan kireyttä päällystyskoneen elektronisesta käyttöjärjestelmästä saatavan datan perusteella. Lisäksi elektronisen jarrugeneraattorin tehtävänä on toimia moottorina kun uutta syötettävää rullaa

kiihdytetään ajonopeuteen. Tavallisesti jarrugeneraattorin tilalla kuitenkin käytetään kustannussyistä mekaanisia jarruja, joita on monia eri tyyppisiä. [1]

Aukirullauspukki sisältää tavallisesti myös lentäväliitoslaitteen, jolla saadaan liitettyä vanha ja uusi rulla toisiinsa kiinni, jolloin tapahtuva rullanvaihto voidaan suorittaa vaihtoehtoisesti joko automaattisen valokenno-ohjauksen tai operaattorin toimesta. Tapahtuvaa vaihtoa varten aukirullauspukin varsien päissä sijaitsevia rullakaroja voidaan rauhallisesti kierrättää keskusakselin ympäri, jolloin uusi syötettävä rulla kuljetetaan lähellä lattiaa sijaitsevasta latausasemasta aukirullauspukin yli lähelle päällystyskoneeseen kulkeutuvaa kartonkirataa. Ennen aukirullauspukkiin syöttämistä vaihdettavan rullan pinnasta poistetaan mahdollisesti vioittunut tai löysä kartonki, radan pää teipataan kevyesti rullaan kiinni ja pään ulkopintaan asetetaan menetelmästä riippuen tarraliimaa tai kaksipuoleinen teippi. Vaihtohetken koittaessa tela painaa kartonkiradan sopivalla pyörimisnopeudella olevaan uutteen rullaan, jolloin jatkoliitos syntyy teippikohdan osuessa nippiin ja tällöin yleensä myös karkean sahanterän kaltainen katkaisuterä katkaisee vanhan radan poikki. [1]

3.2 KÄYTÖT, OHJAUKSET, KIREYSSÄÄDÖT SEKÄ RADANOHJAUS

Auki- ja kiinnirullauspukeilla tapahtuvan ohjauksen lisäksi ratakireyttä pystytään säätämään päällystyskoneella elektronisesti ohjatun käytön avulla. Ratakireyden määrittämiseen voidaan hyödyntää perinteisesti käytettyä tanssitelaa tai modernimpiin ratkaisuihin perustuvia taittoteloja. Tämän lisäksi päällystyskoneen alku- ja loppupäähän on sijoitettu S-vetotelat ratakireyden kasvattamiseksi entisestään. S-vetotelat ovat lähekkäin pareittain sijoitettuja, selvästi johtoteloja halkaisijaltaan suurempia teloja. S-vetoteloilla saadaan rataa pitävä ote, koska telat on pinnoitettu korkeakitkaisella kumipinnalla sekä radan kosketuspinta kumpaakin telaa on hyvin korkea, lähes kolme neljäsosaa kehästä.

Päällystyskoneen alkupäässä olevilla S-vetoteloilla jarrutetaan ja vastaavasti loppupäässä olevia teloja käytetään radan vetämiseen, jolloin telastojen väliselle alueelle saadaan säädettyä haluttu kireys. [1]

Päällystyskoneen radanohjauksen toteuttamiseksi löytyy kaksi eri tapaa, joista ensimmäisessä radanohjaus aikaansaadaan siirtämällä johtotelan toista päätä radan pituussuunnassa. Tällöin telan jompaakumpaa päätä eteenpäin siirrettäessä rata kääntyy menosuunnassa päinvastaiseen suuntaan. Toinen tapa radan ohjaamiseksi on koko aukirullauspukin liikuttaminen sivusuunnassa. Molemmista tavoista rataa ohjataan siten, että anturit, kuten esimerkiksi valokennot tarkkailevat radan reunaa ja automatiikka korjaa radan suuntaa tarvittaessa. [1]

3.3 ESIKÄSITTELYMENETELMÄT

Onnistuneen päällystystapahtuman saavuttamiseksi päällysteen on kiinnityttävä riittävän tehokkaasti päällystettävään kartonkirataan. Kartonki soveltuu usein sellaisenaan painettavaksi tai päällystettäväksi, mutta muovipäällystyksessä sen pintaenergia ei riitä riittävään kiinnittymiseen muovin kanssa. Adheesiolla tarkoitetaan juuri pintojen välistä tarrautumista ja kiinnipysymistä, jonka mahdollistaa pintojen riittävän läheinen vuorovaikutus keskenään. Täten adheesion syntymiseksi yhdistettävät pinnat tuleekin saada toisiinsa kiinni, jotta pinnat pystyisivät mahdollisesti reagoimaan keskenään molekyyllitasolla. Näin ollen kartongin polyeteenipäällystyksessä nestemäisessä olomuodossa olevan polyeteenin tulee kastella kartongin pinta riittävän hyvin, jotta perusedellytykset pintojen tarttumiselle olisivat olemassa. Tämän jälkeen pintojen kiinnittymisen määräävät pintojen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, joiden mukaan pintojen välille voi syntyä tyypeiltään ja vahvuuksiltaan erilaisia sidoksia. [1,5]

Pintaenergiaa voidaan käyttää ilmaisemaan pinnan kastuvuutta. Pintaenergia jakautuu kahteen eri osaan: poolisuuskomponenttiin, jonka aiheuttavat pooliset molekyylit sekä dispersiokomponenttiin, jonka aiheuttavat puolestaan poolittomat

molekyylit. Riittävän hyvän adheesion aikaansaamiseksi kartongin polyeteenipäälytyksessä päällystettävän kartonkiradan pintaenergian tulee olla riittävän suuri, jotta polyeteeni kykenisi kastamaan pinnan. [1]

Tavallisesti pintakäsittelyä tarvitaan paperin, kartongin, alumiinifolion tai muovifilmin ekstruusiopäälytyksessä ja sen tarkoituksena on nostaa päällystettävän materiaalin pintaenergiaa keinotekoisesti riittävälle tasolle. Ilman käsittelyä kartongilla ei olisikaan luonnostaan riittävän suurta pintaenergiaa, jotta polyeteeni kykenisi kastelemaan kartongin ekstruusiopäälytystapahtumassa. [1,5]

Korona- ja liekkikäsittelyssä pystytään pintaenergian nostamiseksi antamaan tietty määrä energiaa radan pintaan (W/m^2) halutun lopputason ja lähtötason erotuksen perusteella. Esikäsittelyllä parannetaan polyeteenikalvon tarttumista kartongin pintaan ja jälkikäsittelyllä puolestaan parannetaan polyeteenipäälystetyn kartongin paino-ominaisuuksia. Esikäsittelyn taso voidaan määrittää suoraan päällystyskoneen perästä tulevasta päällystetystä kartongista adheesion suhteen, jälkikäsittelyn tasoa puolestaan voidaan tarkkailla esimerkiksi koronamittaussarjojen avulla. [1,4,5]

Korona- ja liekkikäsittelyillä saadaan vaikutettua käsiteltävän kartonkiradan pintaan seuraavilla menetelmillä: [1]

- höyrystämällä mahdolliset haitalliset epäpuhtaudet sekä vesi pois kartongin pinnasta
- hapettamalla pintaa muodostaen näin hyvän sidospotentiaalin omaavia ryhmiä kartongin pintaan (hydroksyyli-, karboksyyli-, ja karbonyyliryhmiä)
- polttamalla roskia, pölyä ja pystyssä olevia kuituja pois kartongin pinnalta
- nostamalla radan lämpötilaa (erityisesti liekkikäsittely)

- rikkomalla polymeeriketjuja ja täten muodostamalla vapaita radikaaleja
- aiheuttamalla pintaenergian kasvamista edesauttavan pysyvän sähkökentän eli elektriteetin kartongin pintaan (vain sähkökorona)

Edellä mainittujen mekanismien avulla saadaan parannettua adheesiota riittävän suureksi, jotta sekä kartongin polyeteenipäälylystyys että jatkojalostuksessa mahdollisesti tapahtuva painatus onnistuisivat vaaditusti. Merkittävin pintakäsittelyn tehokkuuteen vaikuttava seikka on pinta-alayksikköä kohti syötetty tehollinen energia. Näin ollen poikkeavista prosessilaitteistoista huolimatta liekki- ja koronakäsittely ovatkin niiden vaikutuksia tarkastellessa lähes samankaltaisia. [1]

3.3.1 LIEKKIKÄSITTELY

Liekkikäsitteilylaitteella pystytään parantamaan muovin ja kartongin välistä kiinnittymistä. Liekkikäsitteilylaitteisto koostuu sekoituslaitteistosta, jossa nestetai maakaasu ja ilma sekoitetaan, sekä radan kattavasta putkesta, josta kaasuliekki syötetään rataan. Rataan osuva kaasuliekki polttaa kevyesti käsittelijän läpi kulkevan kartonkiradan pintaa siten, että liekkikäsiteltävä rata ei kuitenkaan kerkeä syttymään. Liekkikäsitelyssä kartongin pinta hapettuu, kun pinnassa olevien kuitujen ulkopinnat reagoivat korkeassa lämpötilassa ilman sisältämän hapen kanssa, jonka seurauksena polyeteeni pystyy tarttumaan paremmin kartongin pintaan. Täten laitteisto onkin periaatteeltaan varsin yksinkertainen. Kuitenkin tehokkaan ja turvallisen käsittelyn aikaansaamiseksi laitteisto sisältää myös melko monimutkaista automatiikkaa. Toimivan liekkikäsitteilyn aikaansaamiseksi rataan syötettävän kaasuliekin tulee olla riittävän hapettava, jolloin riittävän suuren ilmamäärän syöttäminen liekin säätämiseksi onkin erittäin tärkeää käsittelyn onnistumiseksi toivotulla tavalla. Tämän lisäksi laitteiston automaation tehtävänä on katkaista kaasun syöttäminen äkillisesti häiriötilanteissa

sekä konenopeuden ollessa liian alhainen. Liekkikäsitteilyn tehokkuuteen vaikuttavat: [1,4,6,7]

- ilman ja kaasun suhde syötettävässä kaasuseoksessa
- syötettävän kaasuseoksen virtausmäärä
- liekin ja radan etäisyys
- radan nopeus

3.3.2 OTSONOINTI

Korona- ja liekkikäsitteilyn lisäksi hyvän adheesio saavuttamiseksi ekstruusiassa voidaan soveltaa otsonointia. Otsonoinnissa suunnilleen 2 % otsonipitoisuudessa olevaa ilmaa johdetaan kosketuksiin sulan polyeteenifilmin kanssa ekstruuderin puristusnipissä. Otsonoinnissa tarvittava otsonipitoinen ilma saadaan valmistettua otsonigeneraattorilla, johtamalla ilmaan koronapurkauksia. Otsonin nopean hajoamisen takia sitä ei pystytä varastoimaan, vaan se on johdettava suoraan putkia pitkin puristusnippiin. Otsoni on hapen reaktiivinen muoto ja sen vaikutus perustuu polyeteenin tehokkaaseen hapettamiseen. Otsonoinnin käyttöä on rajoittanut menetelmän korkeat kustannukset, mutta toisaalta sillä voidaan saavuttaa hyvin korkea adheesio tarpeen vaatiessa. [1]

3.3.3 PRIMEROINTI

Muovin kiinnittymistä pohjarataan voidaan parantaa levittämällä adheesiota parantavaa kemikaalia päällystettävän radan pintaan ennen varsinaista päällystystä. Primereina käytettyjä kemikaaleja ovat muun muassa polyuretaani, polyetyleni-imiini sekä polyvinyylideenikloridi. Primerien erittäin korkean hinnan sekä päällystystapahtuman vikaantumisherkkyyden kasvun vuoksi

primereita tulee käyttää vasta silloin kun muilla pintakäsittelymenetelmillä ei päästä riittävään adheesioon. [4,6]

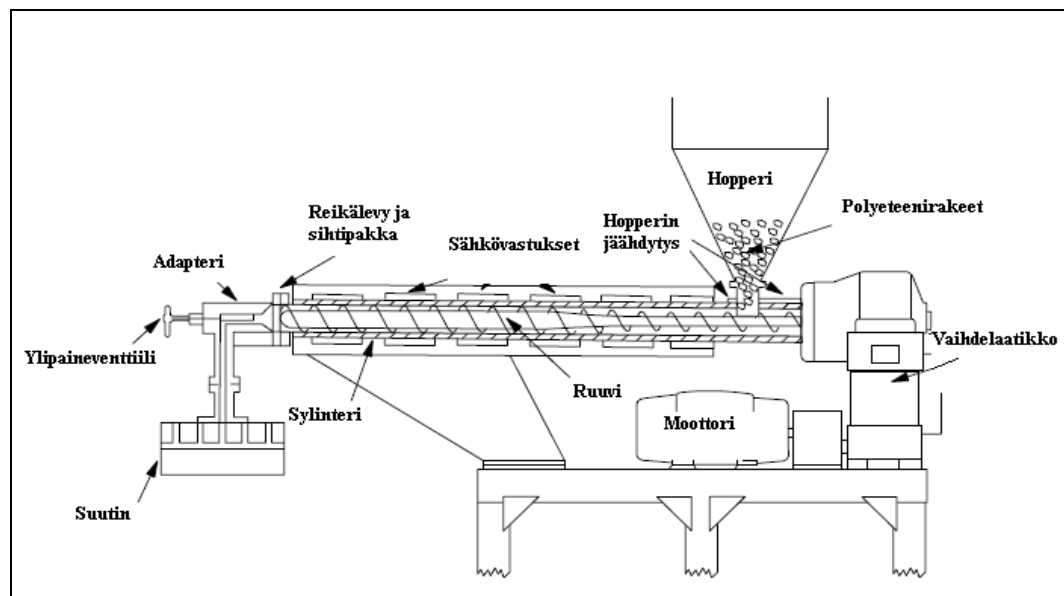
3.4 EKSTRUUDERI

Ekstruusiopäällystyksessä päällysteenä käytetty polyeteeni esiintyy huoneenlämmössä kiinteässä olomuodossa. Päällystyslinjalle polyeteeni toimitetaan kiinteinä rakeina eli granulaatteina. Polyteenigranulaattien pursottamiseen käytettävää putkimaista laitetta kutsutaan ekstruuderiksi. Pelkistetysti ekstruuderi on rakenteeltaan putki, jonka sisäpuolella on pyörivä ruuvi. Kiinteinä granulaatteina annosteltava polyeteeni saadaan ekstruuderissa muutettua sulaksi massaksi etupäässä hitaan pyörimisen aikaansaaman korkean paineen ja sisäisen kitkan avulla, joiden lisäksi granulaattien sulamista tehostetaan putken ympärille sijoitetuilla sähkötoimisilla lämmityselementeillä. Ekstruuderin toimiessa sen sisäinen lämpötila on tavallisesti välillä 250–330 °C. Sulamisen jälkeen polyteenimassa homogenisoidaan, suodatetaan ja siirretään putkea pitkin mahdollisen jakokappaleen kautta rakosuuttimelle. Massan puristuessa rakosuuttimen läpi siitä muodostuu paksuhko filmi, joka venytetään mahdollisimman nopeasti 10–50 kertaa ohuemmaksi filmiksi, joka puristetaan kartonkiradan pintaan kumisen puristustelan sekä jäähdytystelan muodostamassa nipissä, jolloin sula polyteenimuovi jähmettyy lämpötilan laskiessa kiinteäksi kalvoksi. [1,6]

Ekstruusiopäällystyksen keskeisimpänä tavoitteena on muodostaa mahdollisimman korkealaatuista sulaa filmiä riittävän nopeasti. Täten toiminnan tulee olla mahdollisimman tasaista ja tarkasti hallittua. Muodostuvan filmin pituus- ja poikkiprofiilin tulee säilyä mahdollisemman muuttumattomina ajon aikana, jolloin filmissä ei tulisi olla leveyden vaihtelua, paksuuden muutoksia tai reunapakunnoksia. Myös tuotettavan filmin lämpötilan tulee pysyä lähes muuttumattomana, koska lämpötilalla on ratkaiseva vaikutus polyteenifilmin

adheesioon. Filmin tulee olla mahdollisimman virheetön ja täten tasalaatuinen, jotta se pystyy toimimaan kestäväenä estokerroksena. [1,4]

Ekstruuderin rakenne on kuvattu kuvassa 3. Ekstruuderin koostuu hopperista, ruuvista, ruuvin jäähdytysvaipasta, moottorista, vaihdelaatikosta, ruuvia ympäröivästä putkesta, jäähdytysyksiköistä, lämpövastuksista, sihtipakasta, reikälevystä, adapterista, vastapaineventtiilistä sekä suuttimesta. [1,4,6]

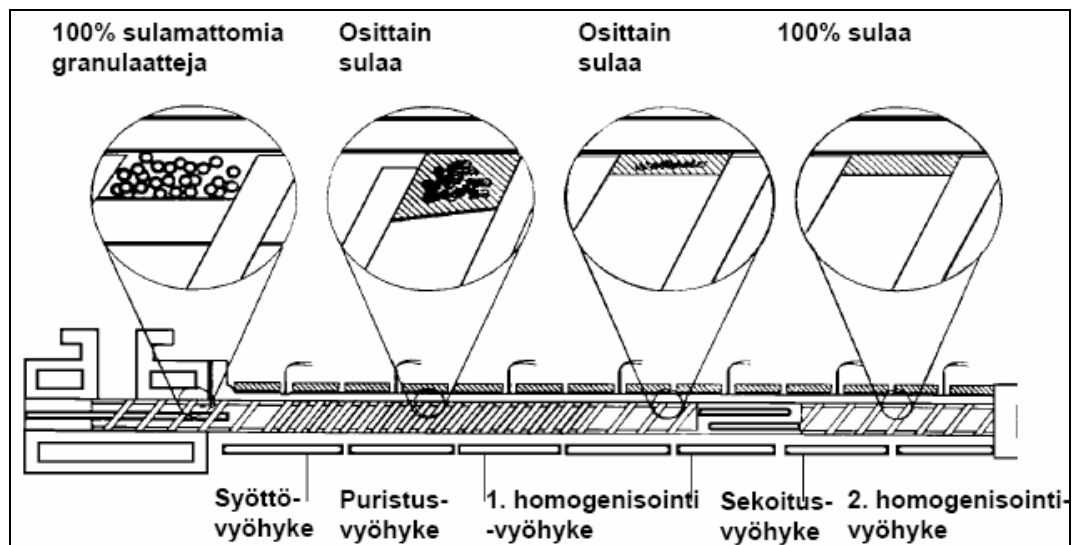


Kuva 3. Ekstruuderin rakenne. [6]

Päällystys ekstruuderin raaka-aineena käytettävät polyeteenirakeet lisätään granulaattisuppiloon eli hopperiin, josta rakeet valuvat painovoiman vaikutuksesta ruuviin. Hopperin tehtävänä onkin syöttää muovirakeita ekstruuderin tasaisella volyyymillä. Rakeita käsitellessä ennen niiden lisäämistä hopperiin on vältettävä veden tiivistymistä rakeiden pinnalle, koska vesi on erittäin haitallista ekstruuderin kulkeutuessaan. Pienikin määrä vettä pystyy pilaamaan päällystystapahtuman aiheuttamalla reikiä päällysteeseen. Hopperista polyeteenirakeet annostellaan halutulla syötöllä ekstruuderin ruuvien kierrosnopeutta säätämällä. Näin ollen hopperin tulee sisältää aina riittävä määrä rakeita, jotta ekstruuderin toiminta ajon aikana ei häiriintyisi. Muovirakeiden syöttö hopperista ruuviin voi tapahtua joko volymetrisesti tai

gravimetrisesti. Volymetrisessä syötössä muovia syötetään vakioilavuudessa syöttölaitteen nopeutta säätämällä ja sopiva syötettävän muovin määrä haetaan kalibroimalla. Gravimetrisessä syötössä syötettävän muovin määrää punnitaan koko ajan ja haluttu syötönmäärä saadaan syöttölaitteen nopeuden mukaan. [1,6]

Ekstruderin ruuvin roolina on muovirakeiden kuumentaminen sulaan homogeeniseen olomuotoon. Näin ollen muovi kuumennetaan oikean lämpöiseksi hyvin sekoitetuksi yhtenäiseksi massaksi. Ekstruderin ruuvi sisältää tavallisesti kolme vyöhykettä: syöttövyöhykkeen, puristusvyöhykkeen sekä tasausvyöhykkeen. Kuvasta 4 on esitettyä monivaiheruuvia, joka sisältää normaalista ruuvista poiketen kaksi tasaus- eli homogenisointivyöhykettä yhden sijasta sekä tasausvyöhykkeitä jakavan sekoitusvyöhykkeen. [1]



Kuva 4. Ekstruderin ruuvin jakautuminen vyöhykkeittäin (monivaiheruuvi). [3]

Hopperin alapuolella sijaitsee ekstruderin ruuvin syöttövyöhyke, jossa ruuvin keskiosa on kapeimmillaan, mahdollistaen näin rakeiden kuljettamiseen tarvittavan vapaan tilan. Syöttövyöhykkeessä kylmät muovirakeet siirretään ruuvin kuumaan osaan. Ruuvin puristusvyöhykkeessä muovirakeita puristetaan, sulatetaan ja sekoitetaan. Puristusvyöhykkeessä ruuvin loppupäähän päin mentäessä vapaaseen tilaan asettuvat polyeteenirakeet alkavat sulaa ja rakeiden seassa oleva ilma pakenee syöttöpään kautta ulos ekstruderista. [1,4,6]

Muovin sulaminen paineen ja kitkan kasvaessa saadaan pääasiassa aikaan ruuvin rakenteella, jossa ruuvin keskiosa paksunee riittävästi loppupäähän päin siirryttäessä, vähentäen näin vapaata tilaa. Vapaan tilan pienentyessä rakeiden välinen kitka sekä ruuvin rakenteiden ja rakeiden välinen kitka synnyttävät muovin sulamiseen tarvittavan lämpöenergian. Tavallisesti 40–90 % muovin sulattamiseen tarvittavasta energiasta saadaan aikaan kitkaenergialla, jonka osuutta voidaan säädellä ruuvin vastapainetta muuttamalla. Esimerkiksi vastapainetta kasvattamalla pystytään nostamaan kitkaenergian osuutta. [1,4,6]

Ruuvin pyörittämiseen tarvittava energia saadaan aikaan ruuviin vaihdelaatikon kautta liitetyllä sähkömoottorilla. Tämän lisäksi oikean lämpötilaprofiilin aikaansaamiseksi tarvitaan myös ekstruuderin putken ympärille sijoitettuja sähkövastuksia sekä jäähdytysyksiköjä. Sähkövastuksilla pystytään tuomaan tarvittaessa lisää lämmitystehoa ja jäähdytysyksiköillä jäähdytystä, säätäen näin lämpötilaprofiilia tarkasti halutunlaiseksi ruuvin pituussuunnassa. Jäähdytysyksikköinä voidaan käyttää esimerkiksi jäähdytysilmapuhaltimia, joiden lisäksi putken sisällä tapahtuvaan jäähdytykseen voidaan käyttää jäähdytysvaippaa, jossa olevan vesijäähdytyksen tehtävänä on estää muovin ylikuumentuminen. Jäähdytys- ja lämmitysyksiköt ovat liitetty putken pituussuunnassa oleviin säätölohkoihin, joille pystytään määrittämään halutut lämpötilaolosuhteet. Määritettyjen olosuhteiden hakemiseen ja ylläpitämiseen käytetään säätöjärjestelmää, joka pyrkii pääsemään haluttuun arvoon säätelemällä yksikköjen toimintaa. Tasausvyöhykkeessä on tavoitteena tasata polyeteenin lämpötila sekä lämpötilariippuvaiset reologiset ominaisuudet. Muovin lämpötila ja ominaisuudet saadaan tasattua siten, että vyöhykkeessä oleva sulanut muovi pidetään korkean paineen ja voimakkaan sekoituksen alaisena. Tasausvyöhykkeessä ruuvin keskiosa ei paksune, vaan pysyy vakiona. Täten myös muovin paine pysyy lähes vakiona. Tasausvyöhyke määrittää suuttimesta ulos pursuavan muovin määrän. [1,4]

Ruuvin ja adapterin välissä on reikälevyn tukema sihtipakka, jossa on tavallisesti 3-5 sihtiverkkoa. Sihtiverkkojen tehtävänä on: [1,3,4,6]

- ehkäistä roskien, kuten kivien ja metallisirujen kulkeutumista suuttimen
- tasoittaa muovin virtausta
- yhdessä vastapaineventtiilin kanssa synnyttää sekoitusvyöhykkeeseen riittävän suuri paine

Tavallisesti sihtipakka on vaihdettava muutaman viikon välein, jotta sen toiminta pysyisi tehokkaana. Sihtipakka synnyttää toimiessaan hieman vastapainetta, mutta etupäässä ruuvin loppupäässä vaikuttava vastapaine aikaansaadaan ja säädetään vastapaineventtiilillä, jolla saadaan säädettyä muovin sekoitusta sekä käytännössä myös lämpötilaa. Esimerkiksi venttiiliä kiristämällä saadaan kasvatettua sekoitusta ja muovin lämpötilaan vaikuttavaa kitkalämpöä. Synnytettyllä vastapaineella saadaan parannettua polyeteenin homogeenisyyttä. Vastapainetta säädetään haluttuun arvoon automaattisesti paineanturiin kytkettyä säätöpiiriä hyödyntäen. Liian korkean paineen varalta on turvallisuussyistä ruuvin loppupäähän asetettu ylipainetappi, joka laukeaa siinä tapauksessa että putken korkein sallittu paine (200–250 bar) saavutetaan. [1,4]

Adapterista polyeteeni siirretään mahdollisimman lyhyttä syöttöputkea pitkin suuttimeen, jonka tehtävänä on levittää sula muovi kapeaksi filmiksi päällystettävän kartonkiradan koko leveydelle. Suuttimesta ulos työntyvän muovikalvon tulee olla mahdollisimman tasaista niin rakenteeltaan kuin myös laadultaan. Tämän takia muovin lämpötilan täytyy olla tasainen, virtauskanavan on oltava moitteettomassa kunnossa sekä huuliraon on oltava oikein säädetty. Muovin lämpötilalla on merkittävä vaikutus muovin tasaisuuteen, koska muovin virtausominaisuudet ovat vahvasti riippuvaisia lämpötilasta. Näin ollen suuttimen lämpötilan täytyykin olla lähes vakio koko huulen matkalla, jotta muovin virtaus olisi hallittua. Ruuvin jälkeen muovin lämpötilaa ei pystytä enää tasaisesti kasvattamaan, vaan se pysyy sillä tasolla, joka on ruuvissa saatu aikaan. Muovin jäähtymisen estämiseksi suutin on tavallisesti koko pituudeltaan sähköisesti lämmitetty. Suuttimen lämpötilaa pidetään vakiona lämmönsäätöautomaation

avulla. Suuttimen päissä kuitenkin saatetaan joutua käyttämään muusta suuttimesta poikkeavaa lämpötilaa, koska päissä muovin virtaus on erilaista kuin muualla suuttimessa. [1,4]

Muovin heikko kiinnittyminen kartonkiin johtuu usein siitä, että muovifilmi ja kartonkirata ovat vain osittain kiinnittyneet yhteen. Tällöin päällystetystä radasta löytyy paikkoja joissa muovi on kiinnittynyt ja vastaavasti paikkoja joissa muovi on irti. Syynä muovin osittaisen kiinnittymiseen on muovin epätasainen lämpötila sen poistuessa suuttimesta. Suuttimessa muovia ei pystytä enää lämmittämään tasaisesti, vaan lämmitys kohdistuu etupäässä muovin pintaan. Syynä tähän on se, että ruuvien jälkeisissä rakenteissa, kuten adapterissa, syöttöputkessa ja huulessa muovin virtaus on liian pyörteetöntä, jotta sekoittumista pääsisi tapahtumaan. Suuttimen lämpötilan ollessa liian korkea muovi saattaa kuumeta liikaa reunoilta, jolloin kuumempi reunakerros pyrkii valumaan muuta muovia sukkelammin huuliaukkoon. Huuliaukon kapeudesta johtuen erilämpöiset muovikerrokset pursuavat vuorotellen ulos suuttimesta aiheuttaen näin filmin kiinnittymisongelmia. [4]

Erilaisia suutintyyppjä on kahdenlaisia: T-suuttimia ja henkarisuuttimia. T-suutin muistuttaa muodoltaan periaatteessa ylösalaisin käännettyä T-kirjainta. T-suuttimessa ylhäältä putkea myöten saapuva muovi kulkeutuu T-jalkaa pitkin suuttimen keskustaan, josta muovi jakautuu tasaisesti kahteen sivuttaissuuntaiseen kanavaan. Tämän jälkeen suuttimesta poistuva muovikalvo työntyy suuttimen alareunassa olevien huulten lävitse. Toinen huulista on kiinteä ja toinen säädettävä, joten huulten välistä huulirakoa voidaan säätää haluttuun tilaan sähköisellä tietokoneohjauksella. Automaatiosäätöä käytettäessä huulirakoa säädetään päällystetystä radasta mitattujen muovin paksuus- ja neliömassaprofiilien mukaan, jotka saadaan mitattua radan yli edestakaisin kulkevalla infrapunasäteilyyn perustuvalla mittalaitteella. [1,4,6]

T-suutin on radan leveysuunnassa sisäosiltaan yhtenäinen koko matkaltaan, minkä ansiosta suuttimen sisään voidaan asettaa molemmista päistä

rajoitintankoja säätämään filmin leveyttä kartonkirataa vastaavaksi. Ohentamalla filmin reunaa rajoitintankojen avulla voidaan vähentää haitallista reunapaksunemaa. Reunapaksunema on reunailmiö, joka on riippuvainen ajonopeudesta ja muovin molekyyliarakenteesta. Reunapaksunema muodostuu kun vapaana olevan filmin reuna kuroutuu sisäänpäin, samalla vastaavasti paksuuntuen. Filmin leveyden vaihtelulla ei ole vaikutusta reunapaksunemaan. [1,4,6]

Henkarisuutin muistuttaa rakenteeltaan vaatehenkaria ja tästä kyseinen suutintyyppi onkin saanut nimensä. Henkarisuuttimessa muovi joutuu siirtymään suuttimen keskellä pisimmän matkan kulkien samalla kapeassa raossa. Sivullepäin kuljettaessa puolestaan kapeassa raossa kuljettava matka jää lyhyemmäksi, koska pääkanavat laskevat alaspäin. Edellä kuvatulla rakenteella pyritään minimoimaan suuttimen keskellä vallitsevan korkean paineen aiheuttamaa epätasaista muovin syöttöä. T-suuttimesta poiketen henkarisuuttimessa leveydensäätö on suoritettava edellä mainitusta rakenteesta johtuen ulkoisella rajoittimella, koska sisäisiä rajoittimia ei voida asettaa kapeaan rakoon. [1]

Suuttimesta ulospäästyään polyeteeni päätyy ilmarakoon, jossa se hapettuu pinnaltaan. Polyeteenin riittävä hapettuminen on erittäin tärkeää juuri riittävän hyvän adheesion syntymisen kannalta. Hapettumiseen vaikuttaa muun muassa ilmaraon pituus ja näin ollen sen tuleekin olla riittävän suuri, tyypillisesti suuruusluokaltaan suunnilleen puoli metriä. Ilmaraon pituuden lisäksi hapettumiseen vaikuttavia kriittisiä tekijöitä ovat muovin lämpötila sekä sen ilmaraossa viettämä aika. Muovifilmiltä kuluu ajossa puolen metrin pituisen matkan kulkemiseen suunnilleen 1/100 s. [1]

Suuttimesta poistuvan muovin määrään vaikuttavat ruuvin kierrosluku, muovin lämpötila, muovilaatu sekä sihdin ja vastapaineventtiilin synnyttämän vastapaineen voimakkuus. Eniten ulostulevaan muovimäärään vaikuttaa ruuvin kierrosluku, muilla tekijöillä on vain vähäistä vaikutusta. Syntyvän muovifilmin tulee olla mahdollisimman tasaista, jotta päällystystapahtuma onnistuisi

mahdollisimman hyvin. Muovifilmin tasaisuuteen poikkisuunnassa vaikuttaa pääasiassa huuliaukko, mutta myös muovin lämpötilalla on vaikutusta. Muovifilmin epätasaisuudesta aiheutuu kuumasaumausvaikeuksia sekä läpäisemättömyysongelmia. [4]

Kumisen puristustelan ja jäähdytystelan muodostama päällystysnippi sijaitsee suuttimen alapuolella. Jäähdytystelan tehtävänä on poistaa pääosa muovin sisältämästä lämpöenergiasta, jotta polyeteeni voisi jälleen muuttua kiinteään olomuotoon. Päällystysnippi: [1,4]

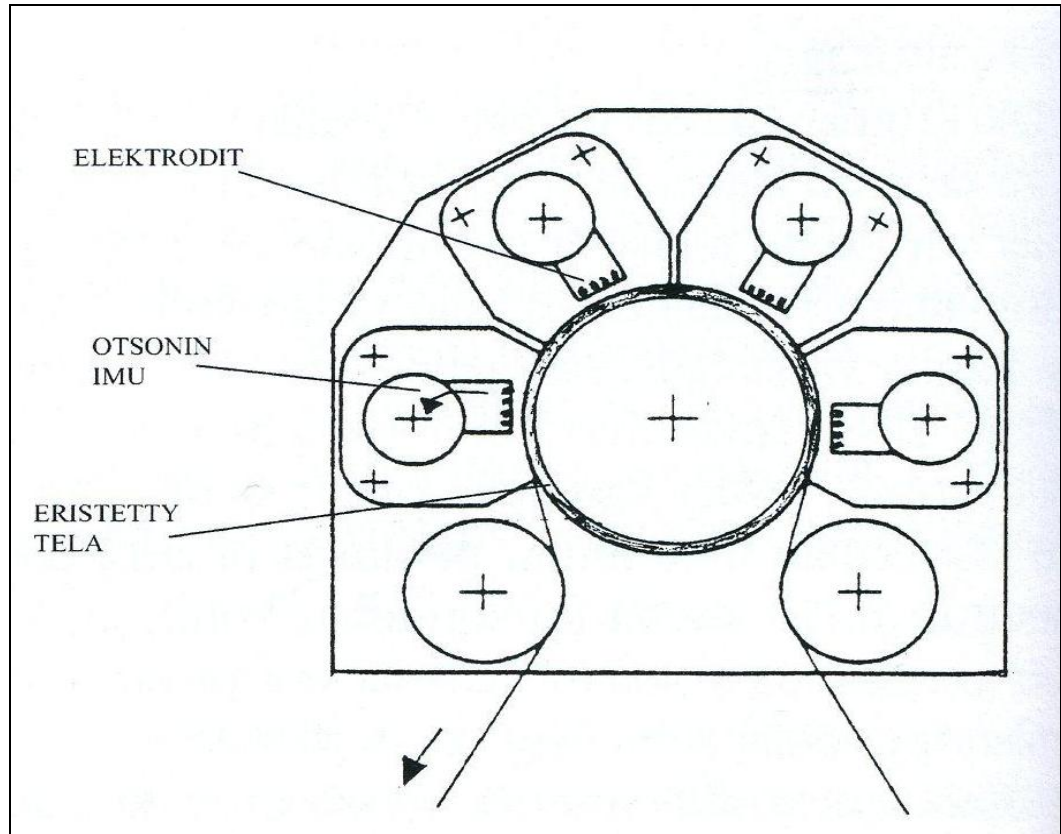
- jäähdyttää muovin
- saattaa päällystettävän kartongin ja muovin kosketukseen keskenään
- määrää ratanopeuden
- määrää päällystepinnan sileyden ja ulkonäön

Puristustela on kumipintainen, tavallisesti sisä- ja ulkopuolelta jäähdytetty tela. Puristustelan jäähdytyksen tulee olla ajon aikana riittävää, jotta kumipinta ei pääsisi lämpenemään ja tätä kautta pehmenemään liikaa. Muovin kiinnittymistä puristustelaan pyritään estämään puristustelojen päissä käytettävien teflonteippien tai -nauhojen avulla. Jäähdytystela on tehokkaasti jäähdytetty tietyllä pintakuviolla varustettu metallipintainen tela, jonka tehokas lämmönsiirto saadaan aikaan seuraavanlaisella ratkaisulla: jäähdytystelan sisäpuolelle on sijoitettu toinen halkaisijaltaan suunnilleen kymmenen senttimetriä pienempi tela sekä telojen välinen väliseinä, joka kiertää kymmeniä kertoja pienemmän telan ympäri. Tämän seurauksena jäähdytystelan sisällä virtaava jäädytysvesi viilentää tehokkaasti jäähdytyspintaa pinnan alaisista kanavista käsin. Tämän lisäksi jäähdytystelan pintakuviolla voidaan vaikuttaa muovipäällysteen pinnan ulkonäköön. Peilikirkkaaksi hiottulla telalla saadaan muovipintaan kiiltävä pinta ja vastaavasti matakasi hiekkapuhalletulla telalla muovipinnasta saadaan mattapintainen. Päällystettäessä molemmin puolin päällystettyä kartonkia toinen

puoli täytyy jättää matakse, jotta kartonkikerrokset eivät tarttuisi rullassa kiinni toisiinsa. [1,4]

3.5 JÄLKIKÄSITTELY (SÄHKÖKORONOINTI)

Sähkökoronointia voidaan käyttää kartonkiradan esikäsitteilyyn ja/tai muovipäällistetyt kartongin jälkikäsittelemiseen. Sähkökoronalaitteisto koostuu käsittelyasemasta, korkeajännitemuuntajasta, suurtaajuusgeneraattorista ja otsoni-imurista. Laitteistolla saadaan synnytettyä korkeataajuuksinen (10–30 kHz) sähkövirta. Laitteiston muodostavan sähkövirran jännitealue on puolestaan välillä 10–30 kV. Sähkökoronakäsittelyssä käsittelyaseman kautta kulkevan radan läpi suoritetaan koronapurkaus, jossa syntyy otsonia joka hapettaa käsiteltävän radan pintaa. Pinnan hapettumisen seurauksena muovin tai painomusteen tarttuvuus parantuvat. Käsittelyasemassa rata kulkee telan ympäri, jonka yläpuolelle on asennettu elektrodeja. Elektrodeja on tavallisesti asennettu 2-4 ja ne sijaitsevat 1-3 mm telan yläpuolella. Korona-asemassa tapahtuva koronapurkaus muodostuu ilmatilassa elektrodin ja radan välillä. Onnistuneeseen käsittelyyn tarvittavan tasaisen purkauksen aikaansaamiseksi tarvitaan kunnollista eristystä jompaankumpaan pinoista. Sähkökoronalaitteiston perustyyppistä riippuen eristys onkin asennettu joko elektrodeihin tai telaan. Kuvassa 5 on esitetty pelkistetysti sellaisen sähkökorona-aseman rakenne, jossa tela on eristetty. [1,4,5]



Kuva 5. Sähkökorona-asema. [1]

Koronapurkaus vaikuttaa muovikalvoon: [5]

- molekyyliketjuja hajottaen
- pinnan hiiliradikaaleja verkottaen
- pintaa hapettaen
- muodostaen elektriteetin pintaan

Sähkökoronalaitteisto muodostaa ympäröivän ilman sekä käsiteltävän radan kanssa sähköisen värähtelypiirin, jonka värähtelyominaisuudet muuttuvat hyvin herkästi ympäristön olosuhteiden ja raaka-aineen ominaisuuksien vaihtuessa. Näin ollen laitteiston optimialueelta poistuessa merkittävä osa käytetystä tehosta voi muuttua loistehoksi ja täten mennä hukkaan. Tehokkuuden kannalta haitallisella loisteholla ei voida vaikuttaa käsiteltävän radan pintaenergian. Moderneissa

sähkökoronalaitteistoissa kyseiseen ongelmaan on varauduttu automaattisella loistehon säädöllä eli toisin sanoen impedanssin korjausautomaatiikalla. [1,5]

Sähkökoronakäsittelyn voimakkuuteen vaikuttavat: [4,5]

- elektrodeihin syötetty virta
- elektrodien leveys kartonkiradan leveyteen suhteutettuna
- elektrodien muoto ja lukumäärä
- elektrodien ja maadoitustelan välinen ilmarako

Sähkökoronoinnissa sähkövirtaa lisäämällä saadaan paranneltua käsittelyn tehokkuutta. Hyvän käsittelytuloksen aikaansaamiseksi elektrodin ja kartonkiradan tulee olla yhtä leveitä. Mikäli elektrodit ovat aseteltu kartonkirataa kapeammiksi, rataa ei pystytä käsittelemään koko leveydeltään. Vastaavasti jos elektrodit ovat liian leveällä, kulkee virtaa silloin etupäässä kartonkiradan ohi. Myös elektrodien määrää kasvattamalla saadaan parannettua käsittelyn tehokkuutta. Sähkökoronoinnin voimakkuuden kanssa tulee olla tarkkana, koska liian voimakas käsittely heikentää muovin kuumasaumautuvuutta. Myös koronakäsittelyn pinnan turhaa koskettelua tulee välttää, koska kosketus käsiteltyyn muovipintaan saattaa hävittää käsittelyllä nostetun pintaenergian. [4,5]

Päällystetyn kartongin pintaenergia voidaan määrittää näytelaboratoriossa esimerkiksi käyttäen koronaliuossarjaa. Itse koronaliuossarja on standardeissa ASTM D2578 ja DIN 5364 kuvattu numeroitu sarja tiettyjä pintajännityksen omaavia nesteitä välillä 30–56 dyn/cm. Testissä tiettyä pintajännityksen omaavaa standardiliuosta levitetään pensselillä mitattavan materiaalin pinnalle ja pintajännitys on sen nesteen dyn-arvo, joka pysyy näytekappaleen pinnalla vakiona ainakin kaksi sekuntia. Siveltäessä pintaenergialtaan näytettä korkeampiarvoisia nesteitä näytekappaleen pinnalle lisätty neste kuroutuu pisaroiksi eikä pysty kastelemaan pintaa. Vastaavasti alempiarvoista nestettä siveltäessä neste leviää näytekappaleen pinnalle. [1,4,5]

Koronoinnilla saavutetulla pintaenergialla on tapana laskea käsittelyn jälkeen kuluvien päivien ja viikkojen aikana ja se tulee ottaa huomioon polyeteenipäällystetyn kartongin mahdollisten jatkojalostamisprosessien onnistumiseksi. Näin ollen koronatason tuleekin olla riittävän korkea, jotta pintaenergia säilyy riittävänä jatkojalostukseen saakka häviöistä huolimatta. Tavallisesti polyeteenipäällystetyllä kartongilla pidetään jatkojalostuksessa riittävän koronatason arvon alarajana vähintään 36 dyn/cm. Varastoinnissa tapahtuvan koronatason heikkenemisen takia tuotannosta tulevan tuotteen koronatason tulee kuitenkin olla välillä 42–48 dyn/cm. Varastointiajan vaikutus heikkenee käsittelytasoa kasvatettaessa siten, että riittävän suurella käsittelytasolla (60 dyn/cm) varastointiajan vaikutus lyhyellä aikavälillä (viikko) on lähes olematonta. [1,5]

3.6 KIINNIRULLAUS

Kiinnirullausyksikkö sijaitsee päällystyskoneen loppupäässä. Kiinnirullauksessa valmistuvaa rullaa kutsutaan konerullaksi eli tampoeriksi, joka voi tapauskohtaisesti sisältää aloitushylsyn, katkoksia sekä päällystyskoneen säätöjen aikana muodostunutta hylkyä. Päällystyskoneella syntyvä reunahylky voidaan mahdollisuuksien mukaan joko poistaa radasta ennen rullausta tai jättää kiinnirullautuvaan rataa. Kiinnirullauspukin tärkeimpänä tehtävänä on kyetä rullaamaan päällystyskoneella syntyvä päällystetty kartonkirata sopivalla kireydellä rullalle siten, että rullattavaan tuotteeseen syntyisi mahdollisimman vähän virheitä. Tämän lisäksi kiinnirullauksessa muodostuvien konerullien välissä tapahtuvan rullanvaihdon tulee mielellään pystyä tapahtumaan koneen maksimi vauhdissa. Erilaisia kiinnirullauslaitetyyppejä on kolmenlaisia: [1]

- kantotelarullaajat
- pope-rullaajat

- keskiövetoiset rullaajat

Käytännössä kuitenkin nykyään kiinnirullauksessa käytetään vain pope-rullaajia ja keskiövetoisia rullaajia. Vanhoja koneita tarkasteltaessa voi kuitenkin törmätä kantotelarullaajaan kiinnirullauksessa, jonka heikkoutena on pakollinen päällystyskoneen pysäyttäminen rullanvaihdon tapahtuessa. [1]

Pope-kiinnirullaaja on levinnyt muihin käyttökohteisiin paperitehtailta, joissa sitä käytetään ylivoimaisesti useimmiten rullaajana. Pope-rullaaja on toiminnaltaan pintavetoinen rullain ja sen toimintaperiaate on se, että kelattavaa rullaa painetaan käyttömootorilla varustettua telaa vastaan, jolloin syntyvä konerulla pyörii pintojen välisen kitkan ansiosta. Pope-rullaajassa kiinnirullaukseen saapuva rata kulkeutuu ison halkaisijan omaavan pope-telan yli. Pope-rullaimessa olevien kuormitusvarsien tehtävänä on painaa konerulla-akselia (tai vaihtoehtoisesti akselilla olevaa hylsyä) ja sen päälle kelautuvaa rullaa sopivalla voimalla pope-telaa vasten. Itse akselissa ei ole vetoa, vaan kelausvoima saadaan tuotua pope-telasta. Kuormitusvarsien puristusvoimaa muuttamalla voidaan vaikuttaa syntyvän konerullan kovuuteen ja kireyteen. Telanvaihto tapahtuu siten, että uusi syötettävä akseli lasketaan pope-telaan kiinni ja tämän jälkeen katkaistaan rata. Radan katkaisemiseen voidaan käyttää vaihtoehtoisesti joko keinokuitunaria tai paineilmaletkua. Radankatkaisemisen jälkeen valmiin konerullan annetaan pyöriä akselinsa varassa lyhyitä kiskoja pitkin odottamaan nosturin avulla tapahtuvaa poissiirtämistä. [1,4,8]

Pope-rullaimen etuja ovat sen varmatoimisuus sekä yksinkertainen rakenne. Parhaiten pope-rullaaja soveltuu lujien ratojen kiinnirullaukseen, koska käsiteltävän radan tulee olla tarpeeksi kokoonpuristuvaa sekä epäherkkää nippikuormalle. Pope-rullaimen huonona puolena on puolestaan sen heikko soveltuvuus rullien löysään kelaamiseen, koska tällöin rulla alkaa helposti kaatumaan. [1,8]

3.7 PITUUSLEIKKAUS

Tavallisesti kullakin päällystyskoneella on oma päällystyskoneen ratalevyteen sopiva pituusleikkurinsa. Luonnollisesti päällystyskoneella pyritään valmistamaan mahdollisimman paljon asiakkaille parhaiten kelpavaa priimatasoista tuotetta. Kuitenkin ajojen alku- ja loppuvaiheissa syntyy laadultaan heikkoa tavaraa, joka on mahdollisuuksien mukaan erotettava priimalaatuisesta tuotteesta. Päällystyskoneella radassa havaitut viat voidaan esimerkiksi merkata valmistuvan konerullan päätyyn lapuilla, mistä on apua konerullien tehokkaassa hyödyntämisessä. Pituusleikkurin tehtävänä on poistaa rullista mahdolliset vikapaikat sekä etenkin leikata rullat asiakkaan haluamaan leveyteen. Näin ollen pituusleikkurilla saadaan konerullat leikattua pienemmiksi rulliksi asiakkaan asettamien laatu- ja mittavaatimusten mukaan. [1]

4 ADHEESIO

4.1 ADHEESIO YLEISESTI

Adheesiolla tarkoitetaan erilaisten materiaalien yhteentarttumista ja pysymistä toisissaan kiinni. Käytännössä adheesio usein yhdistetään kuvaamaan sitä voimaa, joka tarvitaan irrottamaan toisiinsa kiinnittyneet materiaalit erilleen. Edellytyksenä hyvän adheesion syntymiselle kiinteän aineen ja nesteen välille on se, että eri pinnat pääsevät riittävän läheiseen kosketukseen ja se, että neste pystyy kastelemaan kiinteän aineen pinnan riittävän hyvin. Tämän jälkeen adheesioon vaikuttavat aineiden sekä fyysiset että kemialliset ominaisuudet. Paperiteollisuudessa adheesioon törmää muun muassa prosesseissa, kuten liimauksessa, laminoinnissa, kuumasauauksessa, metalloinnissa ja etenkin painatuksessa. Useissa prosesseissa adheesion hallinta on prosessien toiminnan kannalta tarpeellista, mutta toisaalta joissain tapauksissa siitä voi muodostua oikea riesa. Tällöin pienetkin vaihtelut adheesiossa saattavat aiheuttaa vakavia ongelmia prosessissa. [1,6]

Yhtään yksittäistä adheesiota luotettavasti kokonaisuutena kuvaavaa teoriaa ei ole vielä kehitetty. Täten adheesioon vaikuttavia muuttujia on pyritty selvittämään erilaisilla teorioilla, kuten muun muassa diffuusioteorialla, mekaanisella kiinnittymisellä, kemiallisella kiinnittymisellä, sähköstaattisuusteorialla, termodynaamisen adsorption ja pintaenergian teorialla, lujitusteorialla, WBL eli heikon rajapinnan teorialla sekä adheesiotyö vastaan pettämisenergia – teorialla. [1,6]

Diffuusioteorian mukaan riittävän korkeassa lämpötilassa molekyylit tai molekyylisegmentit alkavat liikkua, jolloin yhtäläiset liukoisuusparametrit omaavat materiaalit voivat muodostaa siirtymäalueen, jossa makromolekyylien tai molekyylisegmenttien keskinäinen diffuusio voi tapahtua. Keskinäinen diffuusio edellyttää molekyylitason lähikontaktia, joka saadaan aikaan pintojen kastelemisella. Keskinäisen diffuusion avulla yhteensopivat tai identtiset polymeerit kykenevät lukkiutumaan toisiinsa molekyylitasolla. [1,6]

Adheesio voidaan jakaa perinteisesti mekaaniseen ja kemialliseen adheesioon. Mekaanisessa adheesiossa päällystettävän alusradan rakenteella on vaikutusta; hyvän mekaanisen kiinnittymisen saamiseksi alusradan tulee olla mahdollisemman karkeaa ja huokoista. Karkeus mahdollistaa sileää suuremman pinta-alan sitoutumista varten ja huokoisella rakenteella puolestaan parannetaan päällysteen tarttumista. Kemiallisella adheesiolla tarkoitetaan kiinnitettävien pintojen kemiallista sopivuutta. Tällöin pintojen tulee olla pintaenergialtaan samankaltaisia ja niiden tulee sisältää mahdollisimman paljon sellaisia ryhmiä, jotka mahdollistavat pintojen välisten sidosten muodostumisen. [1,4,6]

Sähköstaattinen teoria soveltaa ajatusta sähköstaattisen kaksoiskerroksen muodostumisesta, kun sopivasti varautuneet materiaalit ovat keskinäisessä kontaktissa. Materiaalien Fermi-tasojen tasapainottaminen edellyttää varausten siirtymistä rajapinnan läpi. Liima ja liimattava pinta toimivat sähkövaraajina, jolloin adheesio on kaksoiskerrosta toisiinsa vetävä sähköinen voima.

Sähkökentän syntymisen edellytyksenä on se, että liimattavalla pinnalla sekä liimalla on erimerkkiset sähkövaraukset.[6]

Adsorptioteoria on yleisimmin adheesion selvittämiseen käytetty teoria, jolle keskeisiä asioita ovat materiaalien lähikontaktissa tapahtuva fysikaalinen ja molekyyllitason vuorovaikutus. Adsorptioteoria tunnetaan myös kasteluteoriana. Teorian mukaan kastelu on välttämätöntä adheesion syntymisen kannalta, mutta keskinäinen diffuusio ei ole kuitenkaan tarpeellista hyvän adheesion saavuttamiseksi. Teorian mukaan adheesiovoimat muodostuvat molekyylien välisestä kontaktista ja sen myötä syntyvistä pintavoimista, jolloin sekundääriset vetovoimat vetävät liimaa ja käsiteltävää pintaa kiinni toisiinsa. Pintoja yhteen vetävien voimien syntymisen edellytyksenä on pintojen riittävän läheinen kontakti. Näin ollen esimerkiksi kartongin polyeteenipäällystyksessä nestemäisessä olomuodossa olevan polyeteenin tulee kastella kartongin pinta riittävän hyvin, jotta perusedellytykset pintojen tarttumiselle olisivat olemassa. Tämän jälkeen pintojen kiinnittymisen määräävät kiinnitettävien materiaalien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Materiaalien ominaisuuksien mukaan pintojen välille voi syntyä tyypeiltään ja vahvuuksiltaan erilaisia sidoksia. Pintaenergiaa voidaan käyttää ilmaisemaan pinnan kastuvuutta. Pintaenergia jakautuu kahteen eri osaan: poolisuuskomponenttiin, jonka aiheuttavat pooliset molekyylit sekä dispersiokomponenttiin, jonka aiheuttavat puolestaan poolittomat molekyylit. Esimerkiksi riittävän hyvän adheesion aikaansaamiseksi kartongin polyeteenipäällystyksessä päällystettävän kartonkiradan pintaenergian tulee olla riittävän suuri, jotta polyeteeni kastaisi pinnan. [1,6,9]

Lujittumisteorian mukaan vahva adheesio vaatii, että pintojen etäisyys on alle 9 Ångströmiä, molekyylien välinen vetovoima on mahdollisimman suuri ja potentiaalienergia vastaavasti pieni. Molekyylien sähköinen vuorovaikutus on ajavana voimana kemiallisten sidosten muodostumisessa ja täten myös adheesiossa. Teorian mukaan kovalenttisia sidoksia muodostuu harvoin, van der Waals – sidokset ovat yleisimpiä ja muodostuvat vetysidokset ovat hyödyllisimpiä adheesion kannalta. [6]

Heikon rajapinnan teoria eli WBL – teoria voi selittää eron laskelmoidun sidosvahvuuden ja todellisen sidosvahvuuden välillä. Teorian mukaan heikon rajapinnan pettämisikohta on tavallisesti kohesiivinen murtuma, joka liimauspinnan lähellä ollessaan aiheuttaa heikon adheesion. Polymeeripinnoilla heikot rajakerrokset voivat johtua esimerkiksi lisäaineiden siirtymisestä rajapintaan, epäpuhtauksista tai materiaalin rakenteen kulumisesta. Myös päällystettävään materiaaliin jääneen ilman sekä liima-aineen väliset reaktiot voivat aiheuttaa heikon rajapinnan. Paperilla voi olla heikko rajapinta esimerkiksi kuitujen vähäisen sidostumisen vuoksi. [6]

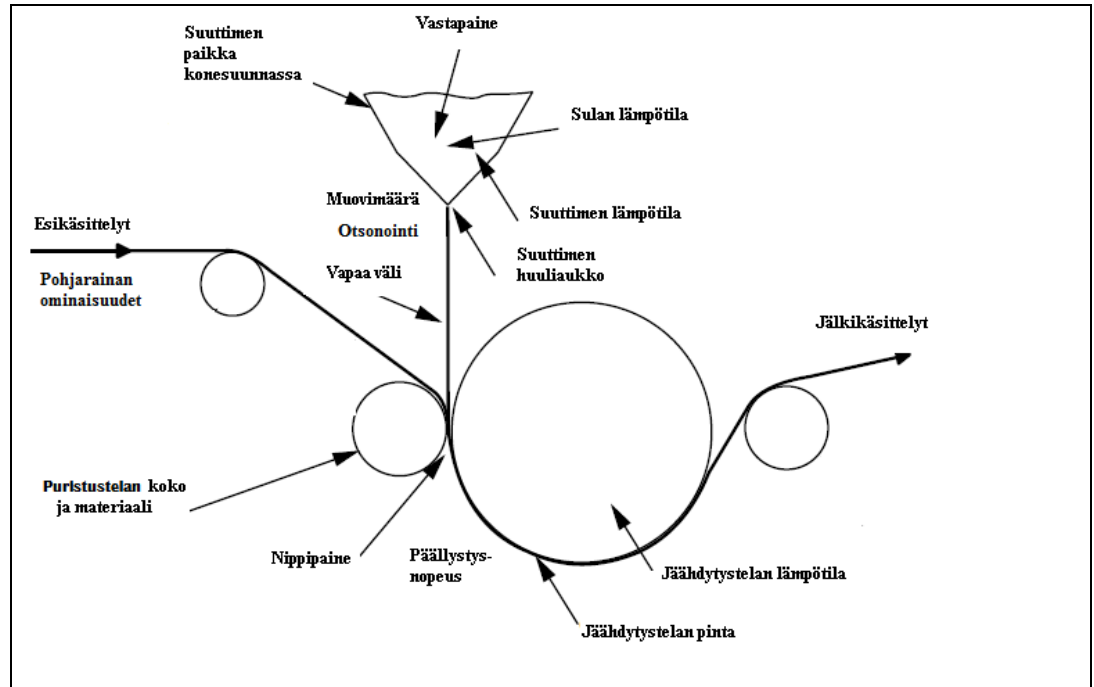
Liimattavan materiaalin sekä liiman rajapinta voi olla hajanainen tai tasainen. Rajapinnan ollessa tasainen molekyylien välinen vuorovaikutus korostuu hyvän liimautumisen aikaansaamisessa. Adheesiotyö vastaan pettämisenergia – teoriassa pidetään hyvän adheesion kannalta tärkeänä sitä, että liimattavilla pinnoilla on mahdollisimman yhtäläiset polariteetit. Teorian mukaan juuri poikkeavien polariteettien takia polaaritoman ja polaarisen materiaalin välille muodostuu tavallisesti vain heikkoja sidoksia. Teoriaan liittyvissä tutkimuksissa on havaittu merkkejä polaarisuuden ja peel-lujuuden välillä esiintyvistä riippuvuudesta. Teoriassa keskitytään tarkastelemaan liimojen ominaisuuksien vaikutusta adheesioon ja siihen, miksi termodynaamisilla malleilla saadut adheesion arvot poikkeavat käytännön testeillä saaduista arvoista. [6]

Adheesion määrittämiseksi on kehitetty laaja kirjo erilaisia testausmenetelmiä, joista yksi käytetyimmistä on peel-testi. Peel-testissä mitataan voimaa, joka tarvitaan liitettyjen kerroksien erottamiseksi toisistaan. Muita adheesion mittaamiseen käytettyjä testausmenetelmiä ovat muun muassa Perkins-Soutwick-testi, käsitesti, teippitestit sekä naarmutestit. Perkins-Soutwick-testissä päällystemuovi poistetaan alusradasta tai rikotaan paineilman avulla ja tarkkaillaan tarvittavaa painetta. Testissä painekäsittely suoritetaan sekä päällystämättömälle että päällystetylle puolelle ja adheesio lasketaan jakamalla päällystämättömälle puolelle tarvittu paine päällystetylle puolelle tarvittulla paineella. Käsitestissä toisiinsa kiinnittyneitä kerroksia revitään erilleen käsineen

ja arvioidaan irtoamista asteikolla nolasta viiteen, nollan ollessa huonoin tulos. [4,6]

4.2 ADHEESIOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Ekstruusiopäällystyksessä muovifilmin adheesio alusrataan on oleellinen ominaisuus, jolloin riittävän hyvän adheesio aikaansaaminen on yksi perusedellytyksistä prosessin onnistumisen kannalta. Ekstruusiopäällystyksessä adheesioon vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa muovin viskositeetti, muovin tiheys, muovin lämpöhäpetushajoaminen, sulan lämpötila, muovin ja alusradan yhteensopivuus, muovin esikäsittely, alusradan esikäsittely, päällystysnopeus, suuttimen positio, suuttimen lämpötila, suuttimen ja päällystysnipin välisen vapaan välin pituus, päällystepaksuus, päällystepaino jäähdytystelan lämpötila, puristuskumitelan kovuus sekä puristusaine. Toinen tärkeä ominaisuus kartongin ekstruusiopäällystyksessä on prosessissa syntyvän muovipäällystetyn kartongin ja painomusteen välinen adheesio. Tämä siksi että riittävän hyvää adheesiota muovipäällysteen ja musteen välillä tarvitaan muovipäällystettyä kartonkia painettaessa hyvän painojäljen aikaansaamiseksi. Kuvassa 6 on esitetty ekstruusiopäällystyksessä adheesioon vaikuttavia tekijöitä. [1,3,4,6,9,10,11]



Kuva 6. Tärkeimmät adheesioon vaikuttavat tekijät ekstruusiopäällystyksessä. [6]

Kartongin polyeteenipäällystyksessä polyeteenin ja kartongin väliseen adheesioon vaikuttavat tekijät voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin: [9]

- polyeteenin ominaisuudet
- koneolot
- pohjarainan ominaisuudet
- pohjarainan esikäsitelyt

Polyeteenin ominaisuuksista adheesioon vaikuttavat tiheys, sulamisindeksi ja polyeteenin mahdollisesti sisältämät lisäaineet. Polyeteenin tiheyden vaikutusta adheesioon on tutkittu vain niukalti ja saadut tulokset ovat olleet melko ristiriitaisia. Yleisen oletuksen mukaan tiheyden kasvulla olisi negatiivista vaikutusta adheesioon. Kuitenkin esimerkiksi Goslin'in ja Sweeney'n julkaisemien tutkimustulosten perusteella tiheyden vaikutus olisikin

päinvastainen. Polyeteenin sulamisindeksi ilmoittaa tietyn standardin mukaan tietyssä ajassa ja lämpötilassa tietyn kokoisen aukon läpi pursutetun polyeteenin määrän. Polyeteenin sulamisindeksiin vaikuttaa polyeteenin viskositeetti siten, että mitä korkeampi viskositeetti on, sitä pienempi on sulamisindeksi. Goslin'in ja Sweeney'n tekemien tutkimusten perusteella polyeteenin sulamisindeksin kasvulla olisi positiivista vaikutusta polyeteenin ja pohjarainan väliseen adheesioon, etenkin alhaisia päällystysmääriä ja sulamislämpötiloja käytettäessä. Kuitenkin Lehman ja Erratt ovat omissa tutkimuksissaan esittäneet, että sulamisindeksillä ei olisi käytännössä vaikutusta adheesioon. Ekstruusiopäällystyksessä lisäaineiden käyttö on harvinaista ja tämän takia niiden vaikutuksesta adheesioon ei ole tutkittu. Lisäaineiden vaikutuksen oletetaan olevan käytännössä merkityksetöntä. [4,9,10,11,12,13]

Adheesioon vaikuttavia koneoloja ovat sulamislämpötila, vapaa väli, päällystysnopeus, päällystepaksuus, puristusaine ja jäähdytysnopeus. Edellä mainituista tekijöistä ensimmäiset neljä ovat vaikutukseltaan keskenään riippuvaisia sekä merkittävimpiä adheesioon vaikuttavia koneolosuhteita. Puristusaineen ja jäähdytysnopeuden vaikutus adheesioon on huomattavasti vähäisempää ja niillä ei ole yhteisvaikutusta. Sulamislämpötila vaikuttaa pohjarainan väliseen adheesioon kahdella tavalla. Ensinnäkin polyeteeniin muodostuvien polaaristen ryhmien määrä lisääntyy lämpötilan noustessa, jolloin van der Waals voimien syntymismahdollisuus kasvaa. Toisekseen lämpötilan nousu alentaa polyeteenin viskositeettia, jolloin pohjaradan kastuminen paranee ja muovi pystyy tunkeutumaan paremmin pohjaradan huokosiin. Päällystysnopeuden kasvaessa polyeteenin viipymisaika vapaassa välissä lyhenee, heikentäen näin polyeteenin hapettumista ja tätä kautta adheesiota. Nopeuden kasvaessa myös polyeteenin ja pohjarainan yhteen puristukseen kuluva aika vähenee, heikentäen näin polyeteenin tunkeutumista pohjarainan huokosiin. Päällystysnopeuden kasvattamisen adheesiota parantava vaikutus on sulan polyeteenin viskositeetin kasvun heikkeneminen vapaassa välissä nopeuden kasvaessa. Päällystysnopeuden kasvattamisen kokonaisvaikutus adheesioon on heikentävä. Vapaata väliä

kasvatettaessa polyeteenifilmi viipyy kauemmin ilman kanssa kosketuksissa, parantaen näin polyeteenin hapettumista ja tätä kautta adheesiota. Toisaalta vapaata väliä kasvatettaessa polyeteeni ehtii jäähtymään enemmän, jolloin polyeteenin viskositeetti kasvaa, heikentäen näin adheesiota. Polyeteenipäällystepaksuutta kasvatettaessa polyeteeni jäähtyy ilman vaikutuksesta vapaassa välissä vähemmän. Näin ollen paksuilla päällystekerroksilla vapaassa välissä tapahtuva viskositeetin kasvaminen on vähäisempää ja polaaristen ryhmien muodostuminen tehokasta. [1,3,4,6,9,10,11,14]

Guilote ja Maclaughlin ovat tutkineet edellä mainittujen koneolosuhteiden vaikutusta polyeteenin ja pohjarainan väliseen adheesioon. Tutkimustulosten perusteella he ovat laatineet matemaattisen mallin, jolla pystytään määrittämään adheesio suhteellisen hyvällä korrelaatiolla eri olosuhteissa. Mallin perusteella koneolosuhteiden vaikutukset olisivat seuraavanlaisia: [9,15]

- sulamislämpötilaa kasvatettaessa adheesio paranee. Vaikutus on voimakkainta suurilla nopeuksilla ajettaessa ja lyhyttä vapaata väliä käytettäessä. Vaikutus vähenee korkeisiin lämpötiloihin siirryttäessä.
- päällystysnopeuden kasvaessa adheesio heikkenee. Vaikutus on voimakkainta alhaisiin lämpötiloihin siirryttäessä.
- vapaan välin kasvaessa adheesio paranee. Vaikutus on voimakkainta alhaisilla nopeuksilla ajettaessa ja matalaa sulamislämpötilaa käytettäessä.
- päällystepaksuuden kasvaessa adheesio paranee. Vaikutus on voimakkainta matalaa sulamislämpötilaa käytettäessä.

Myös Goslin ja Sweeney ovat tutkineet sulamislämpötilan vaikutusta adheesioon ja heidän tutkimustulostensa perusteella adheesio oli vahvasti positiivisesti riippuvainen sulamislämpötilasta. Guilote'n ja Maclaughlin'n tutkimustuloksista poiketen Goslin ja Sweeney ovat omissa tutkimuksissaan havainneet

sulamislämpötilan vaikutuksen olevan voimakkaimmillaan korkeissa sulamislämpötiloissa. [9,12,15]

Crolius et al. ovat havainneet alumiinifolion polyeteenipäällystystä tutkiessaan sen, että päällystysnopeus ja vapaa väli voidaan käsitellä yhtenä yksittäisenä adheesioon vaikuttavana tekijänä, viipymäaikana. Tutkimustulosten perusteella he ovat luoneet nomogrammin, jolla pystytään määrittämään viipymisaika tietyssä päällystysnopeudessa ja vapaassa välissä. Young on omissa tutkimuksissaan tullut siihen tulokseen, että myös paperin polyeteenipäällystyksessä adheesioon vaikuttavat tekijät päällystysnopeus ja vapaaväli voidaan yhdistää viipymisaikatekijäksi. Guillotte'n ja MacLaughlin'in tekemän mallin avulla voidaankin havaita, että tietyllä viipymäajalla laskettu adheesioon arvo ei riipu siitä minkälainen päällystysnopeuden ja vapaan välin yhdistelmä on käytössä. [9,15,16,17]

Vandierendonck ja Arbit el al. ovat havainneet kumpikin tutkimuksissaan, että puristuspainetta nostettaessa yli pohjarainan minimipaineen adheesio ei enää parane. Jäähdytystelan lämpötilan vaikutusta adheesioon on tutkittu vähän, tutkimuksissa on kuitenkin saatu viitteitä siitä, että telan lämpötilan kohotessa adheesio parantuisi. [9,18,19]

Pohjarainan ominaisuuksista adheesioon vaikuttavat pohjarainan huokoisuus ja sileyys. Pohjarainan huokoisuuden ja sileyden vaikutusta adheesioon on tutkittu vähän, mutta kyseisten tekijöiden vaikutusta adheesioon pidetään varmana. Pohjarainan pinnan karhentuessa ja huokoisuuden kasvaessa mekaanisen kiinnittymisen tiedetään parantuvan. Pohjarainan kriittinen pintajännitys vaikuttaa sen pinnan kastumiseen polyeteenillä siten, että mitä suurempi pintajännitys on, sitä paremmin polyeteeni kastelee pinnan. Kuitenkin käytännössä kriittisen pintajännityksen vaikutuksen oletetaan olevan vähäinen, koska pohjaraina harvoin sisältää riittävän määrän pintajännitystä alentavia yhdisteitä. Pohjarainan kosteuden vaikutusta ei ole juurikaan tutkittu, mutta kosteuden oletetaan vaikuttavan adheesioon silloin, kun päällystysnippiin saapuva rata sisältää

vapaata, haihtuvaa tai kapilaarikondensoitunutta vettä. Radan sisältämän veden haihtuessa muodostuva höyrynpaine estää polyeteenin kulkeutumista rainan huokosiin ja täten estää riittävän läheisen kontaktin syntymisen. [4,6,9,10,20]

4.3 ADHEESIOON VAIKUTTAMINEN

Ekstruusiomenetelmällä tapahtuvassa kartongin polyeteenipäällystyksessä adheesiolla on vaikutusta muovifilmin ja kartongin välisessä kiinnittymisessä sekä myös muovifilmin ja painomusteen välisessä tarttumisessa. Jotta kyseisten materiaalien välinen adheesio olisi riittävän korkea, tarvitaan materiaalien pintaenergian muokkaamista vaadittuun tilaan. Kartongin ja polyeteenifilmin pintaenergioihin voidaan vaikuttaa pintakäsittelyillä, kuten muun muassa koronoinnilla, jolloin kyseisten pintojen pintaenergiaa kasvatetaan keinotekoisesti. Adheesiota voidaan myös parantaa lisäämällä pintaenergiaa laskevaa lisäainetta musteen tai polyeteenin sekaan. Tosin lisätessä lisäainetta polyeteenin sekaan, saatetaan päällystysprosessi perinteistä menetelmää huomattavasti herkemmäksi vikaantumiselle. [1,4,5,6]

Sopivan polyeteenilajin sekä koneolojen valinnalla voidaan saavuttaa prosessin toiminnan kannalta tarvittava adheesio. Käytännössä kuitenkin näiden toimenpiteiden hyödyntämisellä on taloudelliset ja tuotantotekniset rajoituksensa, minkä takia tarvitaan myös muita ratkaisuja adheesioita parantamiseksi. Yleisesti ekstruusiopäällystyksessä adheesiota parannettaessa keskitytään kemiallisen adheesioita lisäämiseen. Kemialliseen adheesioon positiivisesti vaikuttavia tekijöitä ovat: [4,6,9,10,11,21]

- muovin sulamislämpötilan kasvattaminen
- ilmavälin kasvattaminen (tiettyyn rajaan saakka)
- päällystysnopeuden laskeminen

- puristustelan paineen kasvattaminen
- primerien lisääminen
- radan esilämmittäminen
- päällystetyn radan jälkilämmittäminen
- polyeteenin lämmittäminen vapaassa välissä
- päällystepaksuuden kasvattaminen
- muovin sulamisindeksin kasvattaminen
- radan sähkökoronakäsittelyminen
- radan liekkikäsittelyminen

Muovin sulamislämpötilaa kasvatettaessa sulan muovipinnan hapettuminen lisääntyy, parantaen näin muovin tarrautumista kartonkiin. Lämpötilan kasvattaminen vaikuttaa tehokkaimmin lämpötila-alueella 310–330 °C. Liika lämpötilan nostaminen kuitenkin heikentää kuusasaumautuvuutta, alentaa tiheyttä ja antaa tuotteelle muovin käryämisestä aiheutuvan pahan hajun. Lämpötilan kasvaessa myös muovin viskositeetti alenee, aikaansaaden erinäisiä prosessitekniisiä ongelmia, kuten esimerkiksi polyeteenifilmin kuroutumista vapaassa välissä, reunojen paksuuntumista sekä päällystepaksuuden aaltomaista vaihtelua. Vapaata väliä kasvatettaessa muovi ehtii hapettumaan enemmän, parantaen näin muovin ja kartongin välistä adheesiota. Ilmaväliä kasvatettaessa kuitenkin myös muovin lämpötila päällystysnipissä laskee, huonontaen näin muovin kiinnittymistä kartonkiin. Lisäksi vapaan välin kasvattaminen alentaa kuusasaumautuvuutta, voimistaa muovifilmin kuroutumista ja aiheuttaa hallintaongelmia prosessiin. Tämän takia ilmaväliä tuleekin säätää aina tapauskohtaisesti. Päällystysnopeutta alentamalla saadaan adheesiota yleensä suhteellisen helposti parannettua. Alhaisella nopeudella päällystyslinjan tuotanto

jää kuitenkin alhaiseksi, joten nopeuden alentaminen ei ole käytännössä adheesioon parantamiseen soveltuva keino. [4,6,9,10,11]

Puristustelan paineen ja lämmön nostaminen sekä radan esilämmittäminen parantavat adheesioita vain vähäisesti. Päälystepaksuutta kasvatettaessa adheesioon parantamiseksi tulee muovikerroksen liiallista paksuutta välttää, koska päälystepaksuuden ylittäessä läpäisyominaisuuksien edellyttämän tason, aiheuttaa polyeteenin liiallinen kulutus ylimääräisiä materiaalikuluja. Polyeteenin sulamisindeksin kasvaessa syntyy samoja prosessitekniisiä ongelmia kuin sulamislämpötilaa kasvatettaessa. Lisäksi sulamisindeksin kasvaessa muovifilmin läpäisemättömyysominaisuudet alenevat. Kartonkiradan pintaan applikoituja primereita voidaan käyttää adheesioon parantamiseen, mutta käytön rajoittavana tekijänä on niiden korkea hinta. Kartongin primenoinnilla saadaan parannettua polyeteenin kiinnittymistä rataan. Eri primerit voivat vaikuttaa kiinnittymisen eri tavoin siten, että jotkin parantavat mekaanista adheesiota, kun taas toiset parantavat kemiallista adheesiota. Koronakäsittelyssä koronapurkauksessa syntynyt otsoni hapettaa tehokkaasti kartongin pintaa, parantaen näin muovin kiinnittymistä kartonkiin. Liekkikäsittelyssä kartongin pinta hapettuu, kun pinnassa olevien kuitujen ulkopinnat reagoivat korkeassa lämpötilassa ilman sisältämän hapen kanssa, parantaen näin muovin kiinnittymistä kartonkiin. Polyeteenin otsonoinnilla saadaan päälystemuovifilmi tehokkaasti hapetettua, jolloin polyeteenin ja kartongin välinen adheesio paranee. [4,6,9,10,11]

Edellä mainittujen koneolosuhteiden, polyeteenin ominaisuuksien sekä pintakäsittelymenetelmien valinnan lisäksi adheesioon voidaan vaikuttaa pohjaradan ominaisuuksilla. Hyvältä kartongilta odotetaan riittävän karkeaa pintaa sekä sopivan huokoista rakennetta mekaanisen kiinnittymisen maksimoimiseksi, kuitenkin päälystettävän kartongin valitsemiseen on harvoin mahdollisuutta. [4,6,9]

5 YHTEENVETO

Elintarvikkeiden pakkaamiseen käytettävien materiaalien tulee täyttää tietyt vaatimukset, jotta pakattava tuote säilyisi pakkauksessa mahdollisimman muuttumattomana. Elintarvikepakkaukseen pakatun tuotteen tulee olla mahdollisimman vähän tekemisissä ympäristön hajujen, makujen ja mikrobien kanssa. Esimerkiksi elintarvikkeiden ja nesteiden pakkaamiseen yleisesti käytetyltä muovipäälystetyltä kartongilta vaaditaan hyvää barriääriä niin nesteiden, kuten myös kaasujen suhteen. Nestepakkauskartongissa vaadittu barriääri saadaan aikaan päälystämällä kartongin pinnalle hydrofobinen polyeteenifilmi, jonka tehtävänä on pitää päälystettävä pinta riittävän tiiviinä sekä nesteitä hylkivänä. Hyvän barriäärin syntymisen perusehtona on yhtenäisen ja virheettömän muovifilmin aikaansaaminen kartongin pintaan, koska heikot kohdat tai reiät kalvossa kasvattavat nesteiden ja kaasujen läpäisevyyttä.

Ilman riittävän hyvää adheesiota kartonkia suojaava muovifilmi on käytännöllisesti katsoen hyödytön. Adheesio onkin yksi tärkeimmistä lopputuloksen laatuun vaikuttavista tekijöistä kartongin polyeteenipäälystyksessä. Ekstruusiomenetelmällä tapahtuvassa kartongin polyeteenipäälystyksessä adheesio tasolla on vaikutusta muovifilmin ja kartongin välisessä kiinnittymisessä. Tämän lisäksi hyvää adheesiota tarvitaan painomusteen tarttumiseksi päälystettyyn pintaan muovipäälystettyä kartonkia painettaessa. Jotta adheesio olisi riittävän vahva, tarvitaan materiaalien pintaenergioiden saattamista halutulle tasolle.

Kartongin polyeteenipäälystyksessä polyeteenin ja kartongin väliseen adheesioon vaikuttavia tekijöitä on useita ja ne voidaan jakaa ryhmittäin koneolosuhteisiin, muovin ominaisuuksiin, kartongin ominaisuuksiin sekä adheesiota parantaviin käsittelyihin. Merkittävimpiä adheesioon vaikuttavia tekijöitä ovat muovin sulamislämpötila, vapaa ilmapäli suuttimen ja päälystysnipin välissä sekä

konenopeus. Adheesiota pyritään hallitsemaan siihen vaikuttavia tekijöitä muokkaamalla. Adheesion tehokkaan hallinnan ongelmana on tekijöiden muokkaamisen rajallisuus sekä muokkaamisen mahdollisesti haitalliset sivuvaikutukset. Adheesiota parannettaessa saatetaan samalla heikentää jotain muuta lopputuotteen laatuun vaikuttavaa tekijää, kuten esimerkiksi kuumasaumautuvuutta tai läpäisemättömyyttä.

Koneolosuhteiden ja päällystemateriaalien valinnan lisäksi adheesioon voidaan vaikuttaa sitä parantavilla pintakäsittelymenetelmillä, kuten liekkikäsitteilyllä, koronoinnilla, kartongin esipäällystyksellä eli primeroinnilla sekä polyeteenin otsonoinnilla. Pintakäsittelyissä kartongin tai polyeteenin pintaa tavallisesti hapetetaan voimakkaasti, jolloin adheesio kiinnitettävien pintojen välillä saadaan halutunlaiseksi. Kartongin pintakäsittelyn merkitys on korostunut konenopeuksien kasvaessa ja päällystepaksuuksien ohentuessa, koska kyseisten tekijöiden muuttuessa hyvään adheesioon ei enää päästä ilman käsittelyjä.

6 LÄHTEET

1. Karhuketo H., Seppälä M. J., Törn T., Viluksela P., Paperin ja kartongin jalostus, Kemiallinen metsäteollisuus 3, Opetushallitus, 2. uudistettu painos, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, 2004, s. 23 - 70.
2. VTT Tuotteet ja tuotanto, Prowledge Oy, KnowPap 10.0 Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö, [LUT:n intranetissä], saatavissa: Intranet LUT:n sisäisessä käytössä, vaatii käyttäjätunnuksen, [viitattu: 10.4.2010].
3. Pulkkinen M., Paperin jalostus ja käyttö, Ekstruusiopäällystys, Kurssimateriaali, LUT, 2009.
4. Salste, Muovipäällystys, Kaukopään Jalostustehdas, Enso-Gutzeit Osakeyhtiö, 1972.
5. Smått R., Kalvojen koronakäsittely, Suomen 6. suulakepuristaja- ja kalvonpuhaltajapäivät, Tuomo Halonen Oy, Toijala, 1982.
6. Kuusipalo J., Paper and Paperboard Converting, Papermaking Science and Technology, Book 12, Second Edition, Fapet Oy, Jyväskylä, 2008, p. 13 – 166.
7. Eckert, Werner, Improvement of adhesion on polymer film, foil and paperboard by flame treatment, TAPPI European PLACE Conference, v 2, 2003, p. 993-1015.
8. Häggblom-Ahnger, U., Komulainen, P., Paperin ja kartongin valmistus, Kemiallinen metsäteollisuus 2, Opetushallitus, 3.

tarkistettu painos, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, 2005, s. 220 – 228.

9. Vainio T., Aaltio E. A., Polyeteenin ja pohjarainan väliseen adheesioon vaikuttavista tekijöistä pursotinpäällystyksessä I, Paperi ja Puu, Erikoisnumero 4 a, 1968.
10. Vainio T., Aaltio E. A., Polyeteenin ja pohjarainan väliseen adheesioon vaikuttavista tekijöistä pursotinpäällystyksessä II, Paperi ja Puu, numero 4, 1968.
11. Laiho E., Päällystetyn tuotteen testaus sekä eri ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät (LDPE), Pekema Oy, Kulloo, 1979.
12. Goslin J. P., Sweeney H. F., The interaction of processing variables, base materials and resins in polyethylene extrusion coating, Tappi 43(1960)5.
13. Lehman F. R., Erratt R. L., Melt index and it's significance in extrusion coating, Tappi 42(1959)8.
14. Ranger H. O., Polyethylene extrusion coating – the present stage of development, Paper. Tr. J. 150(1966)39.
15. Guillotte J. E., MacLaughlin T. F., Calculating the adhesion of polyethylene coatings on kraft paper, Tappi 45(1962)3.
16. Crolius V. G., Ebeling W. E., Parsons R. C., The effect of processing variables on the adhesion strength of polyethylene coated aluminium foil, Tappi 45(1962)5.
17. Young J. R., The adhesion of polyethylene in extrusion coating, EUCEPA conference Proceedings, London, 1966.

18. Vandierendonck S., Extrusion coating manual, Union Carbide Europe, Geneve, 1960.
19. Arbit H. A., Griesser E. E., Haine W. A., Polyethylene extrusion coating adhesion and sealability studies, Tappi 40(1957)3.
20. Swanson J. W., Becker J. J., The adhesion of PE on Paper, Tappi 49(1966)5.
21. Morris, Barry A., Understanding why adhesion in extrusion coating decreases with diminishing coating thickness, part I: Penetration of porous substrates, Annual Technical Conference - ANTEC, Conference Proceedings, v 8, Society of Plastics Engineers Annual Technical Conference 2005, ANTEC 2005 - Conference Proceedings, 2005, p. 60-64.