

SISÄLLYS

NIMIÖ	1
TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
1 JOHDANTO	5
2 RULLAKÄÄREET	6
2.1 Vaadittavat ominaisuudet.....	6
2.2 Rullapakkauslinja.....	8
3 EKSTRUUSIOLAMINOINTI	10
4 EKSTRUUSIOLINJAN OSAPROSESSIT	11
4.1 Aukirullaus.....	11
4.2 Käytöt ja kireydensäätö.....	13
4.3 Esikäsittelylaitteet.....	14
4.3.1 Sähkökorona	14
4.3.2 Liekkikäsittely.....	16
4.4 Ekstruuderi.....	17
4.5 Laminaattori.....	18
4.6 Reunaleikkaus.....	19
4.7 Jälkikostutus.....	20
4.7.1 Sumukostutus.....	20
4.7.2 Höyrytys.....	20
4.7.3 Telakostutus.....	21
4.7.4 Harjakostutus.....	21
4.8 Mittausyksikkö.....	22
4.9 Kiinnirullain.....	23
4.10 Pituusleikkuri.....	24
5 SÄÄTÖTOIMENPITEET EKSTRUUSIOLAMINOINNISSA	24
5.1 Käyristyminen.....	24
5.2 Sulafilmin katkeaminen.....	25
5.3 Adheesio.....	25
6 TUOTANNONOHJAUS	26
6.1 Materiaalien hallinta.....	27
7 PERUSSELVITYS	27
8 PERUSSELVITYKSEN TARKASTELU	31
9 YHTEENVETO	34
 LÄHTEET	 35
 LIITTEET	

1 JOHDANTO

Walki Oy koostuu seitsemästä eri tehdasyksiköstä, joista kaksi sijaitsee Suomessa, kaksi Saksassa, yksi Ruotsissa, yksi Kiinassa ja yksi Englannissa. Walki Oy:n liikevaihto vuonna 2006 oli n. 290 miljoonaa euroa, tästä n. 170 miljoonaa euroa tehtiin Suomen tehtailla./10/ Tutkintotyö tehtiin Valkeakosken tehtaalla, joka on tehtaista toiseksi suurin, sekä liikevaihdoltaan, että henkilöstömäärältään.

Tutkintotyössä keskityttiin tutkimaan rullakääreiden osalta yhtä neljästä Valkeakosken tehtaan ekstruusiolinjoista ja vertailemaan sitä muiden Walkin tehtaiden rullakäärettä valmistaviin linjoihin. Työssä pyrittiin löytämään linjan ajettavuutta heikentäviä osa-alueita konelinjasta.

Muita työn tavoitteita oli kosteuslaskentaohjelman laatiminen, sekä varastointikustannusohjelman kehittäminen.

Työn kirjallisuusosassa esitellään rullakääreet ja niiltä vaadittavat ominaisuudet. Lisäksi siinä on käsitelty ekstruusiolinja ja sen osaprosessit. Osaprosesseissa on pyritty selvittämään sen tarkoitus ja vaikutus linjan toimintaan.

2 RULLAKÄÄREET

Rullakääre on paperirullien suojakääre. Se on yleensä kolmikerroslaminaatti, jonka rakenne on paperi / PE / paperi. Käytetyt paperilaadut ovat voimapaperi, laineri, sekä kiertokuitulaineri. Laminoinnissa käytetty muovi on PE-LD eli matalatiheksinen polyeteeni./1;2/

Rullakääreiden pääasiallinen tarkoitus on suojata tuotteita kuljetuksen ja varastoinnin aikana mekaanisilta vaurioilta, kosteudelta ja epäpuhtauksilta. Kääreitä käytetään myös kuljettamaan käärityn tuotteen tunnistetiedot, ja niitä voidaan käyttää myös mainosvälineenä. Tällöin painatusmenetelmä on flexo. Paperien ja kartongin rullapakkauksissa käytetään PE-laminoitua käärettä ja sen grammapaino on 180 - 300 g/m². Kääre voi olla valkaistu tai valkaisuamaton. Rullakääreiden rakenteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. käytettävä pakkauslinja, pakattava rulla, kuljetusmatkat, kuljetuksen aikaiset siirtomenetelmät, hinta sekä ympäristönäkökohdat./1;2/

2.1 Vaadittavat ominaisuudet

Rullakääreiltä vaaditaan monia ominaisuuksia, joihin vaikutetaan raaka-ainevalinnoilla ja ajoparametreilla. Lujuusominaisuuksia ja veden ja vesihöyrynsulkua vaaditaan siihen, että käärittävä rulla selviäisi kuljetuksen aikaisista siirroista, mahdollisista kolhuista, kosteista olosuhteista ja likaantumisesta huolimatta ehjänä ja puhtaana asiakkaalle./1;2/

Kääreen kosteuspitoisuus on tärkeä ominaisuus. Sillä

varmistetaan pakkauslinjan häiriötön toiminta. Sopivan kostea rullakääre viikkaantuu hyvin pakkauslinjalla rullan ympärille ja kuivuessaan kiristyy. Näin saadaan tiukka paketti, joka kestää kuljetustoimenpiteitä ja on edustavan näköinen. Kitka ja huokoisuus ovat ominaisuuksia, joita tarvitaan kuljetuksen ja siirtotoimenpiteiden onnistumiseksi. Edellisestä mainittakoon esimerkkinä laivarahdit, jotka edellyttävät lastin paikoillaanpysymistä. Laadukkaan kääreen toimittaja mittaa ja tarkastaa monia ominaisuuksia (taulukko 1) raaka-aineistaan ja laminaateistaan sekä toimittaa asiakkailleen toleranssit, joiden sisällä tuote-erä on. Lisäksi täytyy muistaa EU:n pakkaus- ja jätedirektiivin asettamat vaateet, jotka liittyvät käytettäviin materiaaleihin, syntyvän jätteen hyödyntämiseen ja kierrätykseen./1;2/

Taulukko 1. Rullakääreistä mitattavia laatuarvoja /8;10/

Testi	yksikkö	Standardi
Kokonaisneliömassa	g/m ²	ISO 536:1995
Adheesio	-	WAW
Kosteus	%	ISO 287:1985
Muovin neliömassa	g/m ²	ISO 536:1995
Lujuudet		SCAN
Vetoindeksi	Nm/g	ISO 1924-2:1994
Venymä	%	ISO 1924-2:1994
Puhkaisuindeksi	kPam ² /g	ISO 2758:2001
Repäisyindeksi	mNm ² /g	ISO 1974:1990
Paksuus	mm	ISO 534:1988
Jäykkyys	mN*m	KODAK
Kitka		INSTRON
Huokoisuus		KCL 129:65

2.2 Rullapakkauslinja

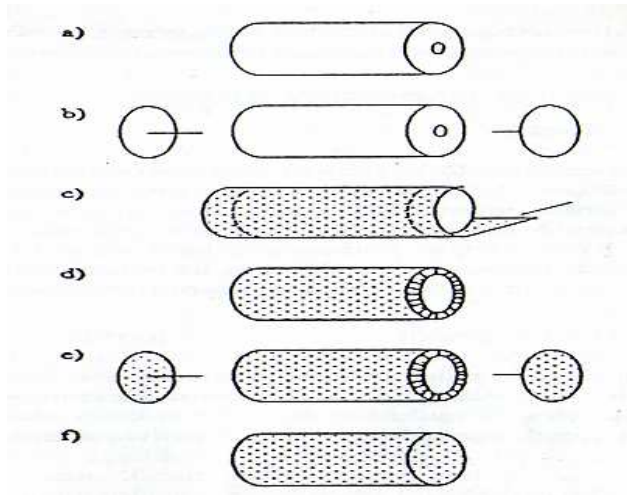
Rullapakkauslinjan rakenne ja automaatiotaso voivat vaihdella hyvinkin paljon tehdaskohtaisesti.

Kustannustehokkuuteen pyrkimisen myötä linjat ovat automatisoitu niin pitkälle kuin suinkin mahdollista ja pakkauslinjan henkilömäärä pienennetty mahdollisimman pieneksi, vaikka pakattavat rullamäärät kuitenkin koko ajan kasvavat koneiden nopeuden kasvun myötä.

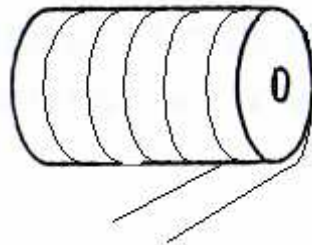
Käärintäasemia paperitehtailla on yleensä useita ja käytetyt kääreleveydet määrittyvät yleisimpien valmisrullaleveyksien mukaan. Käärekerrosten lukumäärä on 2 - 4, kääreen syöttönopeus voi olla jopa 1,5 m/s ja käärintäkapasiteetti 150 rullaa tunnissa./2/

Tiedot perustoiminnot löytyvät kuitenkin kaikista linjoista. Rulla siirretään pakkausasemalle, jossa sen tunnistetiedot otetaan ylös. Samalla se myös punnitaan ja mitataan. Tiedot rullasta siirretään myöhemmässä vaiheessa kääreen pintaan. Mittausten perusteella määrittyy käytettävä kääreleveys ja päätylappujen halkaisija. Tavallisimmin käytettävillä pakkauslinjoilla käytetyn kääreen leveys muodostuu rullan leveydestä sekä rullan päätyyn viikattavista liepeistä (kuva 1). Vaihtoehtoisessa käärintäasemassa rullien pakkaamiseen käytetään vain yhtä tai kahta kääreleveyttä. Kääre on kapea ja se syötetään vinosti, jolloin muodostuu spiraalimainen rakenne (kuva 2). Menetelmänä tämä on kuitenkin hitaampi, varsinkin leveillä rullilla. Lisäksi muodostuvat saumakohtat ovat alttiita repeytymisille ja kosteus sekä epäpuhtaudet voivat täten turmella pakattua rullaa. Tätä ongelmaa saadaan lievennettyä käyttämällä liimaa käärinnän yhteydessä. Tilantarve ja käytettävien käärele-

veyksien määrä on luonnollisesti tällä menetelmällä vähäisempi. /1;2/



Kuva 1. Rullapakkauksen vaiheet: a) paperirulla, b) sisä-päätylappujen asetus, c) käärintä d) kääreen viikkaus, e) ulkopäätylappujen asetus ja kuumasaumaus, f) valmis paketti /1;2/



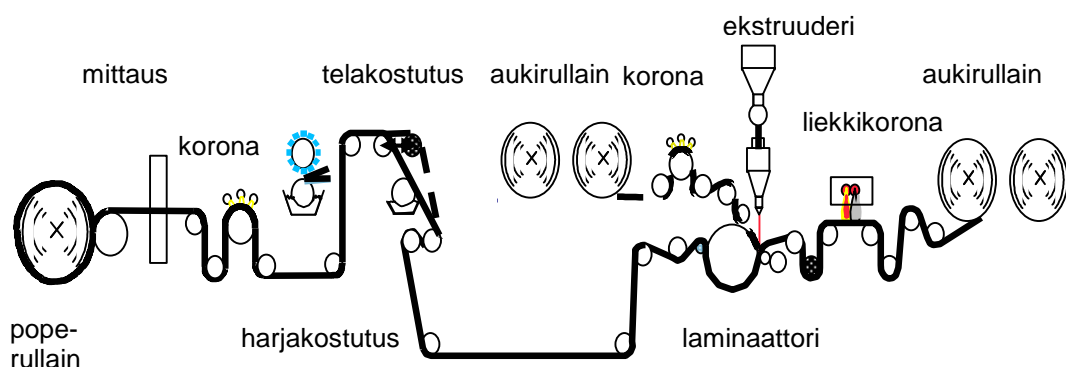
Kuva 2. Vaihtoehtoinen käärintätapa /1;2/

Käytettiinpä sitten kumpaa käärintätapaa tahansa, perustyövaiheet ovat samat. Ensin asetetaan sisäpäätylaput, manuaalisesti tai automaattisesti. Tämän jälkeen rulla kääritään ja päädyn ylittävä osa viikataan samanaikaisesti. Kääre katkaistaan ja sen pää liimataan kiinni. Seuraavaksi rullan pätyihin kuumasaumataan ulkopäätylaput puristinaseamalla, joka koostuu kahdesta lämmitettävästä pyöreästä levystä ja hydraulisista

puristussylintereistä. Päätylappujen saumaamisen yhteydessä kääreestä poistuu kosteutta taitosalueelta. Kuivuessaan kääre kiristyy, jolloin saavutetaan ryhdikäs ja edustava pakkaus. Viimeinen työvaihe on etiketöinti, jonka jälkeen pakattu rulla on valmis siirrettäväksi varastoon. /2/

3 EKSTRUUSIOLAMINOINTI

Ekstruusiolaminoinnissa ekstruuderilla sulatetut muovigranulaatit johdetaan tasomaisen suuttimen kautta ohuena filminä kahden ratamateriaalin väliin. Tavoitteena on aikaansaada poikki- ja pituussuunnassa profiililtaan mahdollisimman tasalaatuinen laminaatti, jossa kerrokset ovat riittävän lujasti kiinni toisissaan. Ratamateriaalit ja käytetyt muovilaadut vaihtelevat valmiin tuotteen käyttötarkoituksen mukaan. Tuotteen käyttötarkoitus määrää myös laminaatilta vaadittavat laadulliset ominaisuudet. Ekstruusiolaminointilinja (kuvat 3;4). koostuu monista osakokonaisuuksista, jotka kukin vaikuttavat ajettavuuteen ja siten myös tuottavuuteen. /1/



Kuva 3. Tyypillinen ekstruusiolaminointilinja pääosineen
/10/

Taulukko 2. Tyypillisen ekstruusiolinjan perustiedot /10/

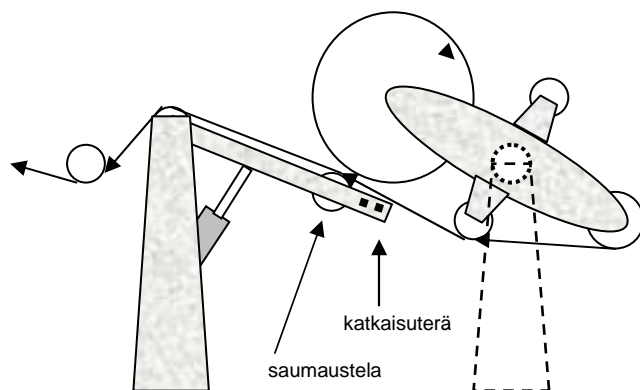
Minimi / Maksimi, rullan leveys	800 - 3060 mm
Minimi / Maksimi, rullahalkaisija	800 - 1500 mm
Maksiminopeus	300-800 m/min
ratamateriaalien neliömassat	40 - 500 g/m ²
ajettavat muovin määrät	10 - 60 g/m ²
Ekstruuderin maksimituotto	450 - 1500 kg/h (PELD, MFI 7 T=315°C)
Ekstruuderin ruuvin halkaisija / pituus	4,5" - 8" / 224"
Ruuvin lämmitysvyöhykkeet	5 (vastuselementeillä)
Painatusyksikkö	voi olla yksiväripainatuksiin
Aukirullaimet	1-2 automaattisella rullanvaihdolla varustettua karusellipukkia
Esi- ja jälkikäsitteilylaitteet	esikorona ja jälkikorona
kostutus	1 - 2 kostutusyksikköä

4 EKSTRUUSIOLINJAN OSAPROSESSIT

4.1 Aukirullaus

Ratamuotoiset materiaalit syötetään ekstruusiolinjalla prosessiin poikkeuksetta jonkinlaisesta aukirullauspukista (kuva 4). Aukirullauspukki automaattisella rullanvaihtolaitteella, kireydensäätö- ja keskittämisautomatiikalla sekä näiden toimintavarmuus ovat ehdoton edellytys, kun pyritään häiriöttömään ja tehokkaaseen tuotantoon. Näiden toimintojen lisäksi vaaditaan riittävän hyvät liimat tai kaksipuoleiset teipit, jotta liitos kestää konelinjan läpi rullanvaihtotilanteessa

aiheuttamatta ratakatkoa. Tasaisin kireys ja sen säädettävyys saavutetaan, kun aukirullauspukissa on generaattorijarrut. Tosin niiden hankintahinta on huomattavasti korkeampi kuin mekaanisten jarrujen. Tästä syystä mekaaniset jarrut ovat yleisin käytössä olevista jarrutyypeistä. Jarrutyypistä riippumatta kireydensäätötehon tulee olla riittävän suuri, jotta pystytään tasaamaan lievät rypyt ja reunavenymät ennen laminoititapahtumaa. Keskittämisautomaatiikka sisältää anturin, joka tunnistaa radan reunakohdan, sekä varsinaisen radanohjausyksikön. Keskittämisautomaatiikan tarkoitus on pitää rata riittävän keskellä konelinjaa, jottei laminoitiprosessissa tai mittaus- ja säätösystemissä aiheudu tuotantoa häiritseviä virheitä. Ratamateriaalin keskittäminen voidaan toteuttaa aukirullauspukin sivusiirtomekanismilla tai johtotelaparilla, jonka kulmaa muutetaan konesuuntaan nähden. Rullanvaihtoautomaatiikka lisälaitteineen on yksi tärkeimmistä kokonaisuuksista, kun tavoitellaan maksimituotantoa. Rullanvaihtotilanteessa uuden rullan tulisi pyöriä ratanopeutta, ettei liitokseen kohdistu ylimääräisiä kuormituksia saumaus- ja katkaisuvaiheen aikana tai sen jälkeen. Rulla kiihdytetään ratanopeuteen kiihdytyshihnalla tai generaattorijarrulla, joka toimii rullanvaihtotilanteessa moottorina. Heiluritelalla on mahdollista kompensoida pienet nopeusvirheistä aiheutuvat ratakiireyden vaihtelut. Saumaustelassa tulisi olla samaan aikaan jäykkyyttä ja kuitenkin myös joustoa mahdollisten raaka-aineiden rullausvirheiden varalle. Tällaisia ovat toispuolinen epäkeskeisyys ja soikeus. /1/



Kuva 4. Periaatekuva karusellipukista liitoksentekolaitteineen

4.2 Käytöt ja kireydensäätö

Ratakireyden säätöautomatiikan tarkoituksena on pitää jalostuslinjan ratakireys vakiona, myös nopeudennostojen ja -laskujen aikana. Tästä syystä nykyaikaisessa jalostuslinjassa on useita moottorikäyttöjä sekä aukirullainten jarrut, joiden avulla ratakireys säädetään. Moottorikäyttöjen lukumäärä on riippuvainen linjalla olevien ryhmien lukumäärästä. Lisäksi tarvitaan apukäyttöjä, joita kutsutaan S-vetoryhmiksi. Yleensä S-vetoryhmiä on kaksi, yksi jarruttavana koneen alkupäässä ja toinen vetävänä lähellä koneen loppupäätä. Linjassa on yksi pääkäyttö, jonka suhteen muita ryhmiä säädetään. Ratakireyttä mitataan taittelojen laakerien alle asennettujen elektronisten vaaka-anturien avulla, joista tieto välittyy säätöjärjestelmään. /1;2/

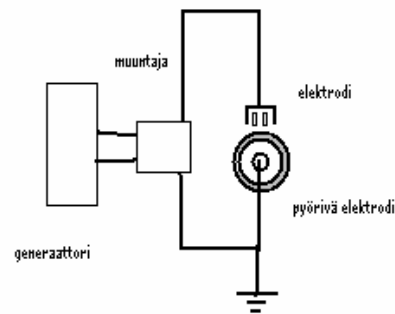
Perusperiaatteena on, että ratakireydet pääkäytöstä auki- ja kiinnirullausten suuntaan ovat tasapainossa, kireyden kasvaessa valmiiseen päähän mentäessä. Muussa tapauksessa saattaa ilmetä ongelmia nopeudenmuutosten aikana. /1;2/

4.3 Esikäsitteilylaitteet

Esikäsitteilylaitteena käytetään sähkökoronaa tai liekki-käsittelyä. Käsittelyn tarkoitus on nostaa ratamateriaalin pintaenergia sopivalle tasolle, jotta ekstrusoitava muovi kastaa pinnan kokonaisuudessaan. Mainittu kastuminen on edellytyksenä adheesio aikaansaamiseksi. Lisäksi varsinkin liekkikorona polttaa epäpuhtauksia ja kuitupiikkejä pois ratamateriaalin pinnasta ja nostaa pinnan lämpöä. Siten se myös poistaa kosteutta. /5;6/

4.3.1 Sähkökorona

Sähkökoronalaitteiston muodostavat suurtaajuusgeneraattori, korkeajännitemuuntaja, otsoni-imuri sekä käsittelyasema (kuva 5). Käsittelyasema koostuu runkotelasta ja elektrodikiskoista, joita on 2 - 4 ja kussakin kiskossa on 2 - 4 purkauspäätä. Generaattorin ja muuntajan avulla aikaansaadaan suurtaajuuksinen ja korkeajännitteinen sähköpurkaus, joka syntyy purkauspään ja maadoitetun runkotelan väliseen ilmatilaan. Kiskon ja telan välinen ilmatila säädetään 1 - 3 mm:n suuruiseksi, mikä riippuu linjalla käytettyjen ratamateriaalien paksuudesta. Koronakäsittelyssä syntyvä otsoni on terveydelle haitallista. Tästä syystä se pyritään poistamaan mahdollisimman tehokkaasti työskentelytiloista. Sähkökoronan optimaalinen sijainti on juuri ennen laminaattoria siten, ettei synny telakosketusta koronoituun pintaan, jolloin radan pinnassa kulkeutuva otsonijäämä edesauttaa sulan muovin hapettumista. /5;6/



Kuva 5. Sähkökoronan periaatekuva /6/

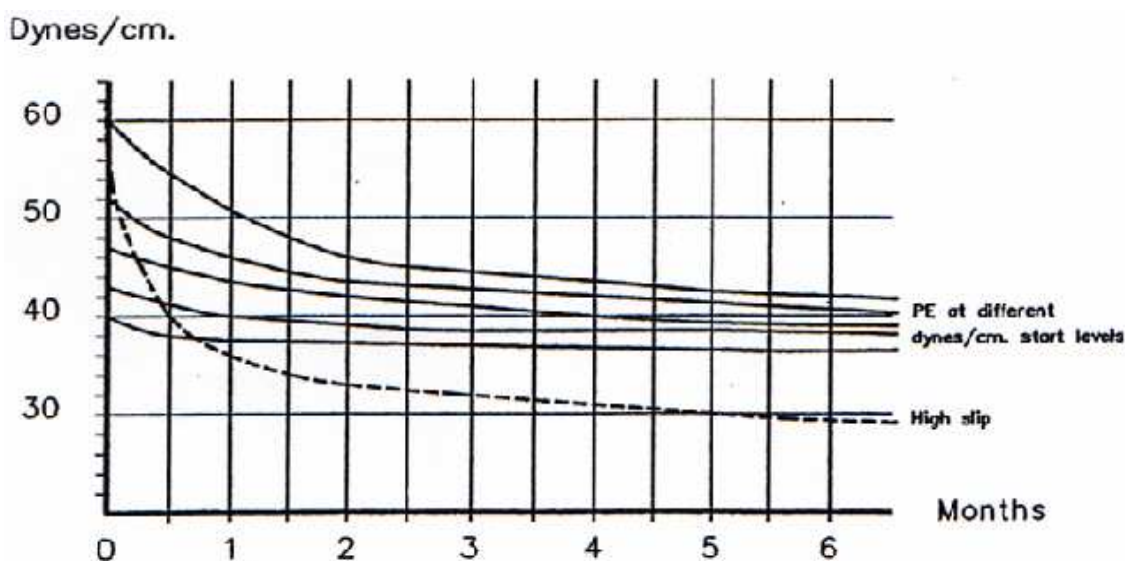
Sähkökoronalaitteen tehotarve määräytyy linjanopeuden, materiaalileveyden ja materiaalikertoimen mukaan. Materiaalikerroin vaihtelee 10 - 50 W/(m²/min).

Vaihtelun aiheuttavat materiaalityyppi, materiaalin ikä ja lisäainepitoisuudet. Tarkka arvo voidaan määrittää vain testaamalla. Sähkökoronalaitteita käytetään myös jälkikoronana. Tällöin pyritään nostamaan muovin pintaenergia sellaiselle tasolle, että jatkojalostukselle on edellytyksiä (taulukko 3). Tämänlaisia toimia ovat painatus, liimaus ja laminointi. Pintaenergia mitataan DIN 53364:ssä mainitulla testausmenetelmällä, joka on liuostesti. /5;6/

Taulukko 3. Pintaenergia ja prosessin vaatimukset /11/

Materiaali	Dynes/cm	Prosessi	Dynes/cm
PP	29	Painatus liuotinpohjainen väri	40-42
PE-LD	31	Painatus vesipohjainen väri	46-48
PE-HD	32	Päällystys	44-45
BOPP	32	Laminointi	46-56

Käsittelyllä aikaansaatu pintaenergian nousu alkaa heikentyä välittömästi käsittelyn jälkeen. Käsittelyasteen heikkeneminen on alkuun voimakasta ja hidastuu, kun käsittelystä on kulunut pidempi aika. Koronan pysyvyyteen vaikuttaa myös muoviin lisätyt slip-aineet, joilla pyritään alentamaan kitkakertoimia. Nämä lisäaineet muovissa heikentävät huomattavassa määrin pintaenergian pysyvyyttä, ja siksi niiden käyttö on vähäistä. (Kuva 6) /6/



Kuva 6. Tyypillinen PE-materiaalin pintaenergian heikentyminen 6 kuukauden aikana /6/

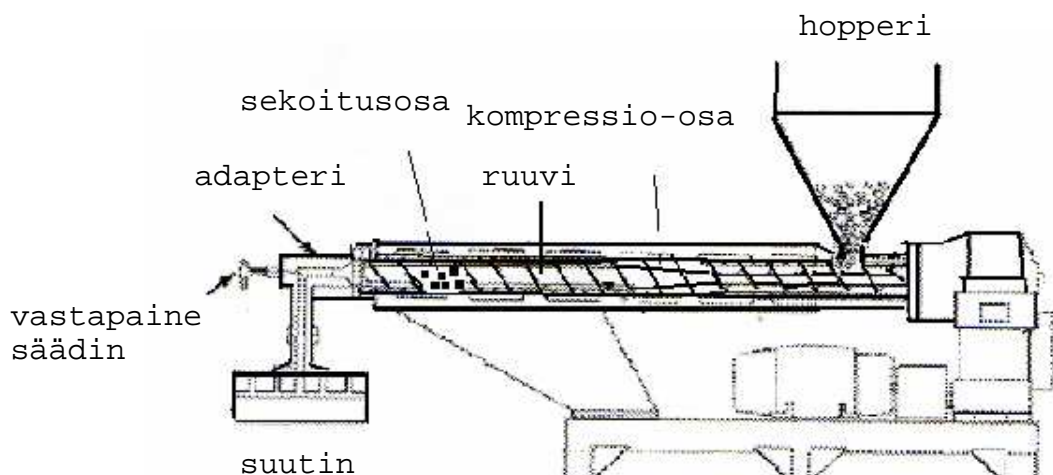
4.3.2 Liekkikäsittely

Liekkikäsittelijän toiminta perustuu sopivalla ilma-kaasuseoksella aikaansaatuun liekkiin, joka suunnataan käsiteltävän ratamateriaalin pintaan sopivalta etäisyydeltä tietyssä kulmassa. Laitteisto on periaatteessa yksinkertainen: nestekaasun ja ilman sekoituslaite ja linjan poikkisuuntaan oleva putki, josta saadaan radanlevyinen liekki. Tavoitteena on saada materiaalin pinta hapettumaan. Lisäksi liekki poistaa kuitupohjaisen

ratamateriaalin pinnasta epäpuhtauksia sekä kuitupiikkejä ja lämmittää rataa. Liekkikäsittelijän huonona puolena voidaan pitää sen aiheuttamaa tulipaloriskiä. Tätä on pyritty pienentämään automatiikalla, joka sulkee kaasusyötön vauhdin hiljetessä liian alhaiselle tasolle./5/

4.4 Ekstruuderin

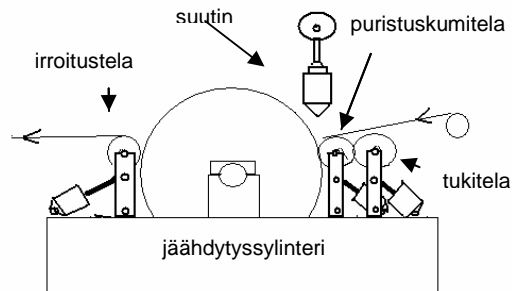
Ekstruuderin (kuva 7) tehtävä on sulattaa muovigranulaattit, homogenoida muovisula ja tuottaa muovisulaa riittävästi linjan tarpeeseen. Huoneenlämmössä kiinteät muovigranulaatit syötetään hopperista ruuvin syöttövyöhykkeelle. Syöttöruuvin muotoilu aikaansaa kompressiovyöhykkeellä suuren paineen nousun sekä kitkalämmön muodostumisen. Näiden sekä tuodun lisälämmön ansiosta muovi sulaa. Sula muovimassa kulkeutuu sekoitusvyöhykkeen kautta sihtipakan lävitse adapteriosalle missä sijaitsee vastapaineensäädin. Näiden osien tehtävänä on massan homogenisointi. Adapteriosalta sula kulkeutuu tasomaiselle suuttimelle. Suuttimen tehtävä on levittää sula radan levyiseksi ohueksi kalvoksi. /4/.



Kuva 7. Ekstruuderin pääosat /7/

4.5 Laminaattori

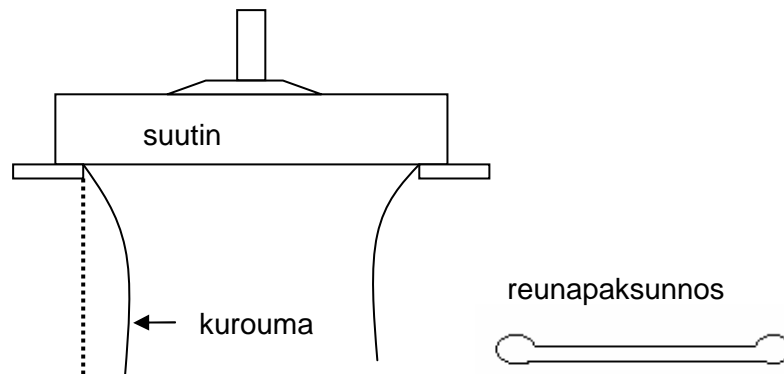
Laminaattori (kuva 8) muodostuu puristuskumitelasta ja jäähdytyssylinteristä, joiden välisessä nipissä suuttimesta pursotettava sula muovi kohtaa ratamateriaalin. Puristuksella pyritään saamaan sula muovi tunkeutumaan mahdollisimman hyvin ratamateriaalin huokosiin. Jäähdytyssylinterin tehtävä on jäähdyttää muovi ja antaa muovipinnalle tarvittava sileys. Jäähdytyssylinterinä voidaan käyttää kiiltävää sylinteriä. Tällöin muovipinnasta tulee kiiltävä, läpinäkyvä ja korkean kitkan omaava. Toinen vaihtoehto on käyttää mattasylinteriä. Tällöin muovipinta on karkea ja pienemmän kitkan omaava. Laminoinnissa sylinterin pinnankarheus määräytyy laminoitavien materiaalien mukaan. Pinnanlaadultaan sileämpää sylinteriä on syytä käyttää, jos toisena laminoitavana materiaalina on alumiini tai kalvo, koska näillä materiaaleilla sylinterin pinnankarheus tulee vaikuttamaan lopputuotteen pinnankarheuteen ja ulkonäköön. Loppukäytön vaatimusten kasvaessa on kehitetty useita versioita näiden pinnankarheuksien välistä. Puristuskumitela on teräsrunkoinen ja vesijäähdytteinen. Jäähdytyksen tarkoitus on estää telan rakenteen rikkoontuminen eli kumin irtoaminen rungosta. Tukitelan tehtävä on estää taipumien synty kumitelaa ja siten tasata puristusvoimaa nipissä. Lisäksi se jäähdyttää kumitelaa pintapuolelta./2/



Kuva 8. Laminaattorin periaatekuva /9/

4.6 Reunaleikkaus

Muovi kapenee tullessaan ulos suuttimesta. Ilmiötä nimitetään kuroumaksi. Kurouman suuruuteen vaikuttavat mm. muovin sulaindeksi, tiheys, sulalämpötila, ratanopeus, ilmavälin suuruus sekä molekyylijakauma. Muovin kuroessa syntyy reunapaksunos (kuva 9), joka täytyy leikata pois, jotta saavutetaan moitteeton valmisrulla kiinnirullaukseen. Tästä syystä ekstruusiolinjalta löytyy poikkeuksetta reunanauhan leikkuuyksiköt. Leikkaus suoritetaan yleensä joko murskaavilla tai leikkaavilla terillä. Murskateriaä käytettäessä leikkuujäljestä tulee nukkainen ja epäsiisti. Etuna murskaavilla terillä on toimintavarmuus ja helppokäyttöisyys. Leikkaavia teriä käytettäessä leikkuujälki on siistimpi, mutta ne vaativat terien halkaisijan pienetessä jonkin verran säätötoimia./3/



Kuva 9. Kurouma ja reunapaksunnos /4/

4.7 Jälkikostutus

Jälkikostuttamista tarvitaan joillekin tuotteille loppukäytön vuoksi. Käytettyjen raakapaperien kosteus on yleensä tasoa 5 - 8 %. Valmiin kääreen kosteustaso pitäisi olla 8 - 11 %./1/

4.7.1 Sumukostutus

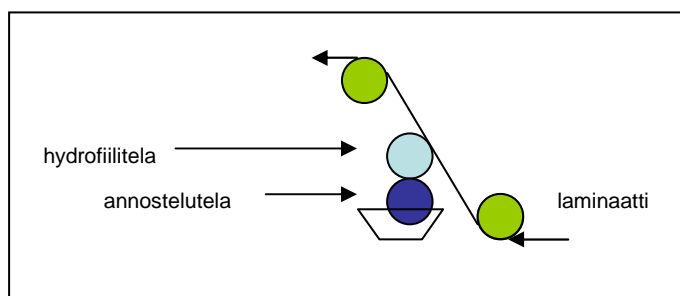
Tasaisen kostutuksen aikaansaaminen on vaikeaa. Tästä syystä lopputulos on raitainen. Sumukostutuksella ei saavuteta samaa ajonopeutta kuin harja- tai telakostutuksella. Lisäksi ongelmana on suuttimien tukkeutuminen./1/

4.7.2 Höyrytys

Höyrytys on tehokas ja nopea tapa nostaa kosteustasoa. Se tapahtuu höyrylaatikolla, jossa yleensä on kaksi suutinta ja tasaantumisalue, mikä vaatii tulistetun höyryn, jotta kosteus saadaan penetroitumaan paperin sisään. Höyrytystä käytetään yleensä palauttamaan tasapainokosteus ja siten estämään käyritystä silloin, kun paperi on ylikuivattu edellisessä käsittelyvaiheessa. /1/

4.7.3 Telakostutus

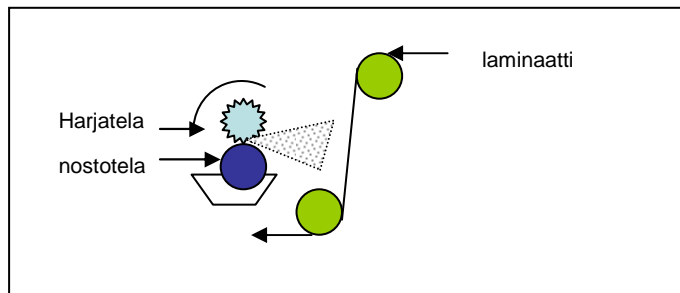
Telakostutus on yleisimmin käytössä oleva kostutuslaite. Telakostutuslaite koostuu altaasta, annostelutelasta, siirtotelasta ja vastateloista (kuva 10). Annostelutelan ja hydrofiilitelan nipin puristuksella säädetään hydrofiilitelan mukana siirtyvän vesipatjan vahvuutta. Hydrofiilitelan nopeudella säädetään paperin pintaan siirtyvän veden määrää. Telakostutus mahdollistaa korkean ajonopeuden. Ongelmia kostutuksen tasaisuuden kanssa voi syntyä, jos on venynyt ja epätasaisesti telan ylittävä ratamateriaali. /2/



Kuva 10. Telakostutuksen periaate /2/.

4.7.4 Harjakostutus

Harjakostutus koostuu altaasta, nostotelasta ja harjatelasta (kuva 11). Nostotelata nostaa vesipatjan altaasta ja harjatelata pyöriessään tuottaa pienipisaraista nestesumua radan pintaan. Harjakostutus mahdollistaa korkean ajonopeuden ja tasaisen kostutuksen./2/



Kuva 11. Harjakostutuksen periaate /2/.

Kostutusveden lämpötilan noustessa sen viskositeetti ja pintajännitys pienenevät. Tämän seurauksena tela- ja harjakostutuksessa siirtyvä vesimäärä pienenee, kun taas sumutetussa sekä höyrytyksessä kasvaa. Ajettaessa pidempää ajosuoraa myös radanjohtotelat, laminaattorilta eteenpäin, lämpenevät aiheuttaen jonkun verran haihtumista. Tehdassalin ilman suhteellisella kosteudella on oma merkityksensä. Talviaikaan, kun kosteus on alhainen (n. 20 %), rata voi kuivua yhden prosenttiyksikön, kun se rullataan konelinjan läpi. Myös käytetyn ratamateriaalin ominaisuudet vaikuttavat kostutuksen annostelumäärään. Ominaisuuksista mainittakoon alkukosteus ja huokoisuus. Edellä olevien syiden vuoksi kostutuksen annostelumäärän tarve vaihtelee ja myös muuttuu ajon aikana. /1/

4.8 Mittausyksikkö

Nykyaikainen mittaraami sisältää beta- ja IR- säteilyliijät. Tarkoitus on saada mahdollisimman tarkkaa mittaus-tietoa muoviprofiilin- ja kosteussäätöautomaatiikkaa var-ten. Betasäteilyä emittoi beta-hiukkasia. Ratamateriaalin toisella puolella oleva anturi mittaa läpitulleen säteilyn määrää ja antaa mittaustuloksen. Ongelmana beta-mittauksessa on ratamateriaalin tiheysvaihtelu. Pohjara-

dan paksuus voi silti olla tasainen ja tämä heikentää mittaustuloksen luotettavuutta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että profiilinäytön kuvaaja saattaa näyttää hyvää profiilia, vaikka valmiissa tambuurissa on silminnähtäviä profiiliheittoja. Automaattisäätö on tällöin lisännyt muovia sellaiseen kohtaan, missä tiheys on pienempi. Seurauksena on paksumpi kohta. Beta-mittaus on useissa tapauksissa kuitenkin ainoa tapa mitata profiilia. IR-säteilijä lähettää infrapuna-alueella olevaa säteilyä ja vastaanottava anturi mittaa takaisinheijastuneen säteilyn määrää. IR-mittauksella saavutetaan hyvä tarkkuus mittaustuloksiin. Se edellyttää kuitenkin oman kalibrointikäyrän jokaiselle ratamateriaalille. IR-mittauksen etuihin kuuluu myös se, että sillä on mahdollista erottaa eri muovia olevien kerrosten paksuudet. IR-mittaus ei sovellu paperin läpi mittaamiseen ja se vaatii oikeat suodatukset, jotteivät esimerkiksi kiilto- tai sävyvaihtelut heikentäisi mittaustulosta. Myös kustutustasoa mitataan IR-mittauksella. Tosin tässäkin on ongelmana ratamateriaalin sävyvaihtelut./1/

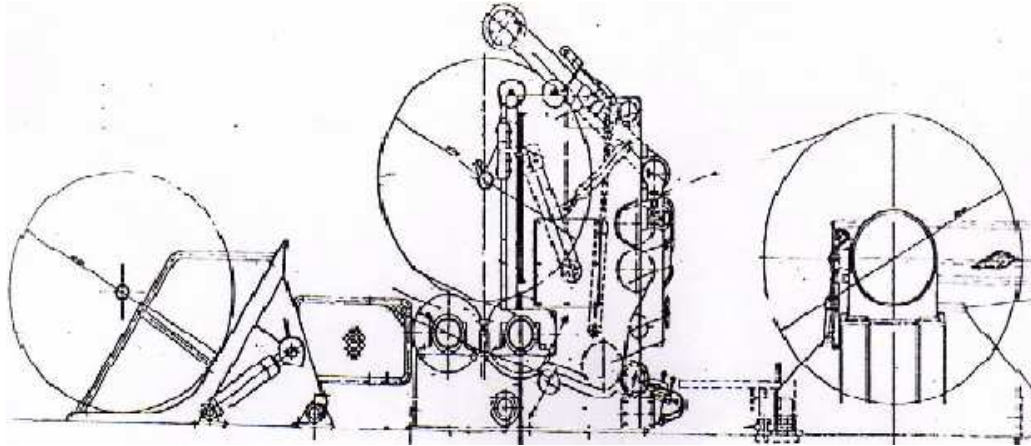
4.9 Kiinnirullain

Ekstruusiokoneillakin käytetään yleisimmin paperitehtailta tuttua pope-kiinnirullaajaa. Pope-rullaimessa rata kulkee halkaisijaltaan suuren pope-telan yli. Kuormitusvarret painavat tambuuriakselia tai akselilla olevaa hylsyä ja sille kelautuvaa rullaa halutulla paineella telaa vasten. Kelausvoima välittyy pope-telasta. Rullan kireystasoa ja kovuutta säädetään pope-telan nopeudella ja kuormitusvarrien puristusvoimalla. Rullaimessa on myös toisiohaarukat, jotka mahdollistavat akselin vaihdon täydessä vauhdissa.

Ekstruusiolinjoilla radankatkaisu suoritetaan pääasiassa keinokuitunarulla./1/

PITUUSLEIKKURI

Tutkittavalla ekstruusiolinjalla on käytössä kantotela-leikkuri, jossa on generaattorijarrullinen tambuuriaukirullain (kuva 12). Leikkurin maksiminopeus on n. 1700 m/min, aukirullaimen maksimi \varnothing 1800 mm ja kiinnirullaimessa maksimi \varnothing 1500 mm. Leikkuuteriä leikkurilla on 7 kpl.



Kuva 12. Pituusleikkurin periaatekuva./10/

5 SÄÄDÖT EKSTRUUSIOLAMINOINNISSA (LDPE:llä) (RULLAKÄÄREAJOILLA)

5.1 Käyristyminen

Laminoitavien ratojen kireyksillä voidaan vaikuttaa jonkin verran konesuuntaiseen käyristymiseen. Ratakireydet pyritään yleensä pitämään ylä- ja alaradalla samoina. Poikkeustapauksissa voi olla kuitenkin tarvetta korjata tilannetta toista rataa kiristämällä varsinkin, jos ratamateriaalit poikkeavat toisistaan.

Käyristymiseen vaikuttaa myös muovisulan jäähdytysnopeus (jäähdytyssylinterin lämpötila). Vapaasti jäähtyessään muovi pyrkii kutistumaan. Jäähdytyksen avulla se saadaan kiteytymään, ja tämän seurauksena muovi asettuu. Tämä vaikuttaa varsinkin poikkisuuntaiseen käyristymiseen. Suuttimen asemaa laminoitinpissä muuttamalla voidaan myös vaikuttaa konesuuntaiseen käyristymiseen./6/

5.2 Sulafilmin katkeaminen

Ajonopeuden kasvaessa filmi voi katketa reuna-alueelta. Tämä johtuu yleensä siitä, että suutinrako reuna-alueelta puristetaan mahdollisimman pieneksi reunapaksumuksen minimoimiseksi. Tilannetta voi kompensoida nostamalla sulan lämpötilaa ja nostamalla suuttimen päiden lämpötilaa./6/

5.3 Adheesio

Adheesioon voidaan vaikuttaa monella eri tavalla. Sulalämpötilaa nostamalla ja puristusnipin painetta lisäämällä saadaan parannettua adheesiota. Nostamalla jäähdytyssylinterin lämpötilaa voidaan myös parantaa. Täytyy kuitenkin muistaa, että toimenpide lisää tuotteen käyristymistä. Puristuskumitelan kovuutta lisäämällä voidaan saada parannettua adheesiota, tosin tämä lisää puristuspaineen lisäyksen tavoin pinholes-määrää. Koronointi ja ilmaväli vaikuttavat myös adheesioon. Ilmaväli määritetään optimihapettumisajasta (100 ms) laskemalla. Jos adheesio on toiseen laminoitavaan ratamateriaaliin huonompi, voidaan yrittää suuttimen asemaa muuttamalla korjata tilannetta. Myös ekstruusiossa käytettävällä vastapaineella on merkitys sulan homogeenisuu-

teen ja tätä kautta adheesio- tasaisuuteen. Vastapaineen tulisi olla n. 100 bar, tai hieman yli. /1/

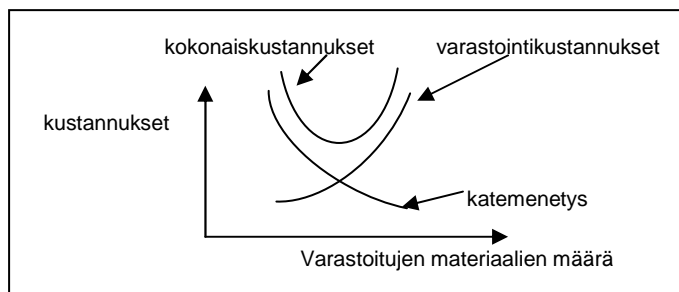
Ajoparametrien muutostarpeen aiheuttaa se tosiseikka, että nykyisillä ekstruusiolinjoilla ajetaan hyvin paljon erilaisia tuotteita. Osa on päällystystä, osa laminoitua, ja jokaisella tuotteella on omat vaatimuksensa. Tästä syystä asetusravot ja reseptilämpötilat ovat kompromisseja, joista koneenhoitaja lähtee liikkeelle ajoon ja suorittaa säätöihin tarvittavat muutokset tarpeen niin vaatiessa. /1/

6 TUOTANNONOHJAUS

Tuotannonohjauksen tehtävä on yhteensovittaa riittävä toimituskyky, vaihto-omaisuuden minimointi ja kapasiteetin korkea kuormitusaste. Nämä tavoitteet ovat ristiriitaisia, mutta tuotannonohjaus on osoittautunut parhaaksi keinoksi näiden tavoitteiden saavuttamiseksi. Tätä tehtävää hankaloihtaa yrityksen eri toimintojen erilaiset käsitykset asioiden tärkeydestä. Markkinoinnin kannalta toimituskyky ja joustavuus asiakaskohtaisten toiveiden toteuttamisessa ovat keskeisiä asioita. Tuotannossa toimivat henkilöt pyrkivät puolestaan kapasiteetin korkeaan käyttöasteeseen. Ostotoiminnoista vastaavat henkilöt pyrkivät optimoimaan varastoitavat raaka-ainemäärät mahdollisimman alhaiselle tasolle. Yrityksen taloudesta vastuussa olevat henkilöt kiinnittävät ensisijaisesti huomiota sitoutuneen pääoman suuruuteen. Ristiriidat eri toimintojen välillä vaikeuttavat usein tuotannonohjauksen toimintaa. /3/

6.1 Materiaalien hallinta

Materiaalien hallinnalla tarkoitetaan raaka-aineiden, puolivalmisteiden ja lopputuotteiden varastointia. Materiaalin hallinnalla on tarkoitus löytää varastoille opti- mikoko. Varastoihin sitoutuneen pääoman määrää pyritään pienentämään. Materiaalien standardisointi on tehokas keino tämän tavoitteen saavuttamiseen. Varastointitarpeet aiheutuvat kuitenkin viime kädessä asiakkaiden toimitus- aikavaatimuksista. Materiaalien hankintaan ja valmistuk- seen kuluva aika on useilla tuotteilla huomattavasti suu- rempi kuin toimitusaikavaatimukset. Lisäksi materiaali- puutteista johtuvat tuotannon seisokit ja myöhästymiset aiheuttavat runsaasti kustannuksia. Kuva 13 esittää varastoitujen materiaalien vaikutusta kustannuksiin. /3/



Kuva 13. Varastoitujen materiaalien määrän vaikutus kustannuksiin. /3/

7 PERUSSELVITYS

Perusselvitys suoritettiin tutkimalla tuotantokuution tilastoja ja eri tehtaiden lukuarvoja verrattiin keske- nään. Lisäksi analysoimalla tilastoja, pyrittiin löytä- mään ne alueet mihin tutkimuksessa tulisi keskittyä. (Taulukot 4;5;6;7)

Taulukko 4. Tilasto 2005 painamaton

2005 painamaton	Wal 1	Wal 2	Wal 3	Wal 4
Ka. tilauskoko km	15,6	29,0	23,4	22,2
Ajokerrat	603	371	1227	497
Ajoaika	728,5	585,5	1896,5	839,57
Prosessiaika	793	650,5	2212,5	987,45
Kokonaisaika	793	692,75	2309,25	1176,02
Trimmihylky %	0,5	0	0	0,7
m/min ajoajalle	216	306	252	219
m/min prosessiajalle	198	276	216	186
m/min kokonaisajalle	198	259	207	156

Taulukko 5. Tilasto 2006 1.1-6.3 painamaton

2006 1.1-6.3	Wal 1	Wal 2	Wal 3	Wal 4
Ka tilauskoko km	17,5	32	28,5	18,3
Ajokerrat	178	67	264	143
Ajoaika	237,5	129,25	477,75	178,92
Prosessiaika	244,5	143,75	516,75	212,06
Kokonaisaika	244,5	144,75	566	273,98
Trimmihylky %	0,5	0	0	0
m/min ajoajalle	219	276	263	244
m/min prosessiajalle	212	249	243	206
m/min kokonaisajalle	212	247	222	160

Taulukko 6. Tilasto 2005 painettu

2005 painettu	Wal 1	Wal 3	Wal 4
Ka tilauskoko km	23,9	28,6	21,9
Ajokerrat	739	680	359
Ajoaika	1290	1257	576,92
Prosessiaika	1337,25	1414,75	697,63
Kokonaisaika	1337,25	1447	844,55
Trimmihylky %	0,2	0	0,1
m/min ajoajalle	228	258	227
m/min prosessiajalle	220	229	188
m/min kokonaisajalle	220	224	155

Taulukko 7. Tilasto 2006 1.1-6.3 painettu

2006 1.1-6.3	Wal 1	Wal 3	Wal 4
Ka tilauskoko km	28,4	37,2	22,1
Ajokerrat	53	63	38
Ajoaika	104,5	150,25	60,42
Prosessiaika	105	163,75	67,55
Kokonaisaika	105	182,25	78,97
Trimmihylky %	0,3	0	0,5
m/min ajoajalle	240	260	232
m/min prosessiajalle	239	238	207
m/min kokonaisajalle	239	214	177

8 PERUSSELVITYKSEN TARKASTELU

Tilastojen perusteella Wal 1-linja sijoittuu tehokkuudessa kohtuullisen hyvälle tasolle painamattomien kääreiden osalta, verrattuna toisiin rullakääreitä valmistaviin Walki Oy:n konelinjoihin. Painettujen tuotteiden osalta Wal 1-linjan tehokkuus on jopa parempi kuin painamattomis-sa. Todellinen ajonopeus Wal 1-linjalla on kuitenkin n. 300 m/min, kokonaisajalle tilastoituvat nopeudet vain 198 m/min (painamattomat) ja 220 m/min (painetut). Tämä herättää kysymyksen, mikä aiheuttaa kyseisen tilanteen. Tilannetta analysoitaessa tehtiin laskennallinen taulukko (taulukko 10), joka osaltaan pyrkii selvittämään asiaa.

Taulukko 10. Tilauskoon ja nopeuden vaikutukset tilastoihin

(ajonopeus 290 m/min) tilauskoko km	ajoaika min	kokonaisaika =(RT + 15 min.)	raportoituva aika h	nopeus m/min PT
5	17	32	0,5	167
10	34	49	0,75	222
15	52	67	1,25	200
20	69	84	1,5	222
25	86	101	1,75	238
30	103	118	2	250
100	345	360	6	278
(ajonopeus 310 m/min) tilauskoko km	ajoaika min	kokonaisaika =(RT + 15 min.)	raportoituva aika h	nopeus m/min PT
5	16	31	0,5	167
10	32	47	0,75	222
15	49	64	1,25	200

20	65	80	1,5	222
25	80	95	1,75	238
30	97	112	2	250
100	323	338	5,75	290
(ajonopeus 330 m/min) tilauskoko km	ajoaika min	kokonaisaika =(RT + 15 min.)	raportoituva aika h	nopeus m/min PT
5	15	30	0,5	167
10	30	45	0,75	222
15	45	60	1	250
20	61	76	1,25	267
25	76	91	1,5	278
30	91	106	1,75	286
100	303	318	5,5	303

Laskennassa on tehty oletus, että alas/ylösajo + leveyden muutos vievät aikaa n. 15 min. Lisäksi on huomioitu Valkeakosken käytäntö raportointitarkkuudessa (0,25 h tarkkuus). Taulukon 10 laskennalliset nopeudet ja taulukoiden 4 - 7 todelliset nopeudet vastaavat aika hyvin toisiaan, kun huomioidaan keskimääräiset tilauskoot. Tästä voidaan päätellä, mistä ero Wal 2:n ja Wal 1:n välisessä tehokkuudessa (painamattomilla) johtuu. Wal 2:n tilauskoot näyttäisivät tilastojen mukaan olevan kohtuullisen optimaaliset, Wal 1-linjan ajosuorat sen sijaan asettuvat tilastollisesti huonolle alueelle. Painettujen kääreiden osalta Wal 1 on samalla tasolla tehokkuudessa muiden linjojen kanssa. Selitys tähänkin vaikuttaisi olevan tilauskoko. Edellä olevan tarkastelun perusteella näyttäisi siltä, että eräkoko saattaisi olla kannattavaa kasvattaa varastoon ajoilla. Tosin varastointikustannusten täytyy olla saavutettavaa hyötyä pienemmät. Tätä tarkastelua varten muokattiin syntyvää

katetta ja varastokustannuksia vertailevaa laskentaohjelmaa tarkoitukseen sopivaksi työkaluksi (liite 1). Laskentaohjelma muokattiin antamaan

päätöksenteolle tukea, varastoonajon kannattavuuden osalta. Muokatulla ohjelmalla saadaan määritettyä se varastoon ajettava määrä, jonka isomman eräkoon antama taloudellinen hyöty pystyy kattamaan. Kyseinen ohjelma mahdollistaa myös tarkastelun eri osatekijöiden vaikutuksesta kannattavuuteen.

Tuotannollisia häiriöitä ei näytä Wal 1-linjalla tilastojen mukaan olevan juuri lainkaan. Ajallisesti pienet häiriöt saattavatkin kirjautua ajoaikaan, sillä tilastoituva nopeus ja taulukon mukainen arvo ovat samaa luokkaa ajettuun tilauskokoan verrattuna.

Kääreen kostutuksen hallintaa päätettiin tarkastella osana tutkimusta. Kostutuksen oikean tason saaminen näyttäisi olevan hankalinta ensimmäiselle tambuurille. Tämän jälkeen korjaavat säätötoimet ovat hallinnassa. Asiaa helpottamaan luotiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan kaava, jolla saadaan laskettua tarvittavan lisäveden määrä g/m^2 , ottaen huomioon käytettävien raakapapereiden alkukosteudet (liite 2). Kosteuslaskentaohjelma antaa suhteellisen tarkat lähtöarvot kosteudensäätöautomaatiikkaa varten. Siten kostutuksen oikea taso on helpompi saavuttaa heti ajon alusta alkaen.

Taulukkoa 10 analysoitaessa voidaan huomata, kuinka tärkeätä olisi saada ajonopeus nostettua 330 m/min tasolle. Nopeuden nosto tälle tasolle nostaisi tilastoituvaa nopeutta 50 m/min verrattuna alempien nopeuksien taulukkoarvoihin. Ajoteknisiä ja laadullisia esteitä tälle ei

ole. Ongelmaksi muodostuu mahdollisesti raakarullien valmisteluajan riittävyys, aukirullausvaihtojen häiriöt, reunanauhaleikkaus ja pituusleikkurin läpimeno. Reunanauhaleikkausta voidaan varmentaa vaihtamalla alaterät kovametalliteriksi. Näistä on olemassa hyviä kokemuksia toisilta ekstruusiolinjoilta.

Pituusleikkauksen osalta tilannetta olisi mahdollista korjata rakentamalla täysille tambuureille odotuskiskot, joille mahtuisi 3 - 4 täyttä tambuuria. Tämä antaisi puskuria myös leikkurin laadunvaihtotilanteissa ja mahdollistaisi myös pienet korjaukset ilman päälinjan alasajoa tai nopeuden hiljennystä. Esitetty muutos vaatisi leikkurin siirtoa ja se olisi mahdollista suorittaa pituusleikkurin uusimisen yhteydessä.

9 YHTEENVETO

Eri tehdasyksiköiden välinen vertailu tulee helpottumaan uuden tehdasjärjestelmän myötä. Ajettujen tilausten eräkoon optimointi suhteessa varastointikustannuksiin pitäisi helpottua laaditun varastointikustannusten laskentaohjelman avulla. Tavoiteltavan kustutustason saavuttaminen helpottuu laaditun kosteyslaskentaohjelman avulla. Linjan reunanauhaleikkausta voidaan kehittää ottamalla käyttöön kovametalliset alaterät. Edessä olevan pituusleikkurin uusimisen yhteydessä olisi syytä harkita tambuurien välivarastoaluetta. Tämä saattaisi mahdollistaa nopeuden noston siten, ettei leikkuri muodostuisi pullonkaulaksi rullakääreajoilla.

LÄHTEET

1. Seppälä Markku J. (toim.), Grönstrand Joel, Karhuketo Hannu, Törn Tage. Paperin ja kartongin jalostus. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 2000
2. Lohijoki Anu, Ekstruusiolinjan tuottavuuden optimointi. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. Materiaalitekniikan osasto.
3. Nurmi Timo, Koekstruusiolinjan tuotannon optimointi. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. Materiaalitekniikan osasto.
4. Korpela Heikki, Kartongin ja paperista erotetun muovin hyödynnettävyys. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. Konetekniikan osasto.
5. Ylänen Tomi. Eri esikäsitteilymenetelmien vaikutus adheesioon ekstruusio-päälylystyksessä. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu. Konetekniikan osasto.
6. Laiho Erkki, Sainio Markku. Ekstruusio-päälylystyskoulutus, Neste Chemicals 1993.
7. Puusta paperiin M-602. Päälylystys ja laminointi. Metsäteollisuuden Työnantajaliiton julkaisema opetusaineisto 1982
8. Pakkausteknologiaryhmä. Pakkaushankinnan käsikirja. 1986.
9. Paperinjalostustekniikka. Pilot-linjan käyttöohjekirja. TTY.
10. Toimintajärjestelmä. Walki Oy.
11. Vetaphone Corona plus. Käyttöohjekirja. TTY.