

Opinnäytetyö

Prosessi- ja materiaalitekniikan koulutusohjelma

NPROMS14

2017

Alexi Enqvist

LEVYEKSTRUUSIOLINJAN LAADUNTUOTTOKYVYN KEHITTÄMINEN JA LAMINOINTIYKSIKÖN INTEGROINTI


TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Prosessi- ja materiaalitekniikan koulutusohjelma

Ohjaaja: Liisa Lehtinen, yliopettaja, Turun ammattikorkeakoulu

Alexi Enqvist

LEVYKSTRUUSIOLINJAN LAADUNTUOTTOKYVYN KEHITTÄMINEN JA LAMINOINTIYKSİKÖN INTEGROINTI

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella suomalaisen muovituotteita valmistavan yrityksen levyekstruusiolinjan toimintaa ja kyvykkyyttä sekä mahdollisuuksia, joilla laaduntuottokykyä voitaisiin parantaa. Opinnäytetyössä tarkastellaan yleisesti levyekstruusiota ja laminointia sekä seikkoja, jotka johtivat modernisoituun linjaan asennettujen komponenttien valintaan. Opinnäytetyön aikana levyekstruusiolinjaa alettiin myös siirtää uuteen paikkaan tehtaan uudelleensijoitteluprojektin myötä. Uudelle paikalle siirtäminen ja uusien komponenttien hankkiminen on mahdollistanut linjan kokonaisvaltaisen kunnostustyön.

Opinnäytetyön kirjallisessa osassa tarkastellaan ekstruusiota, ekstrudoitavia materiaaleja, levyekstruusiolinjaa, laaduntuottokykyä sekä laminointitekniologiaa.

Työssä tarkastellaan vanhan linjan ongelmakohtia sekä mahdollisia parannustoimenpiteitä. Kaikki vuoden 2010 jälkeen tehdyt huomiokirjaukset asiakaslevyajoissa käytiin läpi, jolloin päästiin jäljille todellisista kehittämistä vaativista kohteista. Valmistuskirjauksien pohjalta tehtiin myös kyvykkyysanalyysi, jota voidaan verrata uuden linjan vastaavaan analyysiin, kun tuotanto aloitetaan.

Kokeellisessa osassa linjaan suunniteltiin, koeajettiin ja integroitiin laminointiyksikkö, jolla levyn pintaan voidaan laminoida esimerkiksi erilaisia teippejä. Laminointiyksikön prototyyppi rakennettiin linjan yhteyteen ja koeajot tehtiin koelaitteistolla. Varsinainen laminointiyksikkö suunniteltiin 3D-mallinnuksella sopimaan levylinjaan ja yrityksen laminointitarpeisiin.

Levyekstruusiolinjan kirjausdatan perusteella ei voitu täysin varmistaa, mistä suurimmat ongelmat johtuvat, sillä data oli osittain puutteellista. Olemassa olevan datan perusteella yksi suurimmista ongelmista oli levyjen raidat erityisesti värinvaihdon yhteydessä. Kyvykkyysanalyysin perusteella selvitettiin linjan todellinen tuottokyky, joka ei vastannut tavoitetasoa. Laminointiyksikkö suunniteltiin 3D-mallinnuksella ja laminointiin löydettiin sopiva teippi, joka tarttuu kiinni polyeteeniin. Linjan uudet komponentit ja laminointiyksikkö avaavat varmasti uusia mahdollisuuksia levyvalmistukseen.

ASIASANAT:

ekstruusio, laaduntuottokyky, laminointi, levylinja, muovi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme in Chemical Engineering

Supervisor: Liisa Lehtinen, Principal Lecturer, Turku University of Applied Sciences

Aleksi Enqvist

ENHANCEMENT OF SHEET EXTRUSION LINE QUALITY OUTPUT RATIO AND INTEGRATION OF LAMINATION UNIT

The purpose of this thesis was to investigate the ability of a Finnish plastic product manufacturing company's sheet extrusion line to produce quality output. Sheet extrusion, lamination and the measures taken to developing the process output quality are considered in this thesis. During this thesis project the transfer of the sheet extrusion line into a completely new place inside the factory was executed which opened a new opportunity for extensive reconstruction and modernization of the extrusion line.

Extrusion, extrudable materials, sheet extrusion lines, quality processing ability and lamination technology are considered in the theory part of this thesis.

In the thesis the problems of the old sheet extrusion line were considered and possible solutions were discussed. With this thesis the entire quality processing development project is going to be in written form for the company. This knowledge can also be transferred to other development projects in the future. Experiments were conducted to determine what measures are required for the line to produce good quality and products meeting customer specifications.

As part of the experimental work, a lamination unit was designed and implemented in the sheet extrusion line. With this lamination unit, for example different kind of tapes can be laminated onto the plastic sheet surface. The lamination unit prototype was implemented in the line and used for testing. The final design of the lamination unit was drawn in 3D with SolidWorks to fit the sheet extrusion line and to meet the company needs.

It was not possible to find one particular problem which would have explained the poor quality output of the sheet extrusion line. The data obtained from the company system was in some cases of poor quality or completely missing. Based on the data analyzed, the major issue in the line has been streaks on the surface of the sheets especially after color change. Analysis revealed that the quality output ratio is currently only half of the target value. The lamination unit was 3D-modelled and a tape that adheres to polyethylene was found. The new parts and components in the sheet extrusion line and the lamination unit will open new doors for sheet extrusion.

KEYWORDS:

extrusion, quality output ratio, lamination, sheet extrusion line, plastic

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
ALKUSANAT	8
TEORIAOSA	9
1.1 Muovien ekstruusio	9
1.2 Periaate levyvalmistuksessa	10
1.3 Levylinja	12
1.3.1 Ekstruuder	12
1.3.2 Valssiyksikkö	15
1.3.3 Rullasto ja lisäjähdytys	17
1.3.4 Rimssuleikkurit	17
1.3.5 Leikkuri	18
1.4 Muovimateriaalit	19
1.4.1 Lisä- ja apuaineet	20
1.5 Levytuotteet	21
1.5.1 Käyttö	22
1.5.2 Laatuvaatimukset	22
KÄYTÄNNÖN OSA	23
Yritysesittely	23
2 LAADUNTUOTTOKYVYN KEHITTÄMINEN	24
2.1 Laatuongelmat	25
2.1.1 Aaltoilu	27
2.1.2 Raidat	28
2.1.3 Pinnanlaatu	30
2.2 Kyvykkyyksanalyysi	32
2.3 Muutostoimenpiteet	33
2.3.1 Ekstruuder ja ruuvi	34
2.3.2 Valssiyksikkö	35
2.3.3 Lisäjähdytys	35
2.3.4 Työtavat ja työohjeiden päivittäminen	36
3 LAMINOINTI JA LAMINOINTIYKSIKÖN INTEGROINTI	37

3.1 Laminointi ja sen vaatimukset	37
3.2 Laminointiyksikön komponentit	37
3.3 Materiaalit ja periaate	38
3.3.1 Alustavat laminointikokeet	40
3.4 Laminointiyksikön integrointi	41
4 LOPUKSI	43
4.1 Tulokset	43
4.2 Päätelmät	44
LÄHTEET	46

LIITTEET

- Liite 1. Valssirumpujen lämpötilamittaukset
Liite 2. Alustavien laminointikokeiden kaikki tulokset
Liite 3. Päivitetty levyekstruusiolinjan työohjeet

KUVAT

Kuva 1. Moderni ekstruusiolinja (20)	9
Kuva 2. Ekstruuderin ja ekstruusioperiaatteella valmistettuja tuotteita (19)	10
Kuva 3. Tasosuuttimen osat: 1. rajoitinpalkit 2. huulten säätöruuvit 3. rajoitinpalkin säätöruuvit 4. huulet (30)	11
Kuva 4. Levyekstruusiolinjan valssiyksikkö (21)	11
Kuva 5. Levyekstruusiolinja (4)	12
Kuva 6. Ekstruuderin osat (22)	13
Kuva 10. Paineen kehitys ekstruuderin sylinterissä (23)	15
Kuva 11. Jäähdytysvalssien toimintaperiaate (26)	16
Kuva 12. Levyekstruusiolinjan valssiyksikkö (35)	16
Kuva 13. Ilmaveitsen toimintaperiaate (36)	17
Kuva 14. Rimssuleikkuri, johon yhdistetty myös lisäleikkureita (39)	18
Kuva 15. Giljotiinityyppinen pituusleikkuri (38)	18
Kuva 16. Eteenimonomeerin polymerisaatioreaktio (8)	19
Kuva 17. Eri muovimateriaalien käyttö levyekstruusiioon Euroopassa (14)	20
Kuva 18. Masterbatch värjäys (9)	21
Kuva 19. Lämpömuovattu kattoluukku (37)	22
Kuva 20. Vaihtelun vaikutus systeemiin (2)	24
Kuva 21. Tarkkuuden ja täsmällisyyden käsitteet (2)	24
Kuva 22. Levyekstruusiolinjan huomiokirjaukset ja niihin merkatut tunnit	25
Kuva 23. Levyekstruusiolinjan säätökirjaukset ja käytetyt tunnit	26
Kuva 24. Aaltoilevia HDPE - levyjä	27

Kuva 25. Hylkäämiseen johtava raita levytuotteen pinnassa	28
Kuva 26. Levyekstruusiolinjan raitakirjaukset	29
Kuva 27. Kirjatut levyekstruusiolinjan väri­vaihtojen määrät ja käytetyt tunnit	29
Kuva 28. Sulamatonta raaka-ainetta levyn pinnassa	30
Kuva 29. Valssirummusta jäänyt jälki levytuotteen pinnassa	31
Kuva 30. Levyekstruusiolinjan pintavirhekirjaukset ja käytetyt tunnit	31
Kuva 31. Levyekstruusiolinjan kirjausdatasta koostettu IMR-kortti	33
Kuva 32. Ekstruusiolinjan uusi ekstruuder	34
Kuva 33. Uuden ekstruuderin ruuvien profiili	34
Kuva 34. Valssiyksikön uusien valssirumpujen rakenne	35
Kuva 35. Adheesio, koheesio ja kastuminen (28)	38
Kuva 36. Pintakäsittelyiden vaikutus polyeteenin pintaenergi­aan (17)	39
Kuva 37. Pintaenergian testaaminen (29)	39
Kuva 38. Alustavien teippilaminointikokeiden testipala	40
Kuva 39. Laminointiyksikön prototyyppi	41
Kuva 40. 3D-mallinnettu laminointiyksikkö	42

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
HDPE	high density polyethylene, suuritiheksinen polyeteeni
LDPE	low density polyethylene, pienitiheksinen polyeteeni
PP	polypropylene, polypropeeni
SLIP	slipping agent, liukasteaine
AC	alternating current, vaihtovirta
PVC	poly vinyl chloride, polyvinyylikloridi
SPC	statistic process control, tilastollinen prosessinohjaus
LSE	low surface energy, alhainen pintaenergia
HSE	high surface energy, korkea pintaenergia
CP	Potential Capability Index, Cp-arvo
CPK	Performance capability Index, Cpk-arvo

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin suomalaiselle raskaan kaluston komponenttivalmistajalle, joka on maailman johtava roiskeenestojärjestelmien valmistaja. Yritys valmistaa myös muita muovituotteita, kuten katto - ja levytuotteita, joista tässä opinnäytetyössä keskitytään yhteen osa-alueeseen. Ekstruusioon perustuvia tuotantoteknologioita on yrityksessä käytetty 1960-luvulta, joten osaamista yrityksen sisältä löytyy vuosikymmenien ajalta. Jatkuvasti kehittyvässä teollisuudessa on pysyttävä ajan tasalla ja yrityksessä panostetaan jo tälläkin hetkellä statistiikkaan perustuvaan prosessinohjaukseen ja -tarkasteluun, jota myös tässä opinnäytetyössä on käytetty hyväksi. Työtapojen standardointi ja asioiden systemaattinen dokumentointi auttavat ongelmien juurisyihin kiinni pääsemisessä. Olen työskennellyt yrityksessä vuodesta 2015 ensin tuotantotyöntekijänä ja tuotannonsuunnittelussa sekä nykyään tuotekehittäjänä.

Yritys kasvaa kovaa vauhtia ja uusia sovelluksia ja tukijalkoja pyritään hakemaan myös muualta, kuin raskaan kaluston komponenttivalmistuksesta. Myös jo olemassa olevia tuotantoteknologioita ja -menetelmiä pyritään aktiivisesti kehittämään ja valjastamaan niitä täysin uusiin sovelluksiin. Myös uusiin koneisiin ja laitteisiin investoidaan. Tässä opinnäytetyössä keskitytään yhteen yrityksen kuudesta ekstruusioon perustuvasta linjasta. Linjan kehitykseen on tehty investointeja ja kokonaisvaltaisen modernisoinnin lisäksi linjaan implementoitiin yritykselle täysin uusi teippilaminointiteknologia. Uusilla innovaatioilla yritys takaa vahvan menestyksen myös tulevaisuudessa.

Työn ohessa suoritetun opinnäytetyöprosessin ja opiskelun aikaisesta tuesta haluan kiittää läheisiäni, työtovereitani, sekä yliopettaja Liisa Lehtistä, kaikkia tasavertaisesti tuesta ja ohjauksesta.

TEORIAOSA

1.1 Muovien ekstruusio

Ekstruusiossa muovipelletit syötetään ekstruuderin syöttökaukalon kautta syöttöaukkoon ja edelleen sylinteriin, jossa lämmittimet ja ekstruuderin sisällä pyörivä ruuvi sulattavat ja sekoittavat muovipelletit tasaiseksi viskoosiksi massaksi (5). Moderneissa linjoissa muovimateriaalit ja lisäaineet sekoitetaan gravimetrisessä sekoittimessa, joka punnitsee materiaaleja asetettujen prosentiosuuksien mukaan.

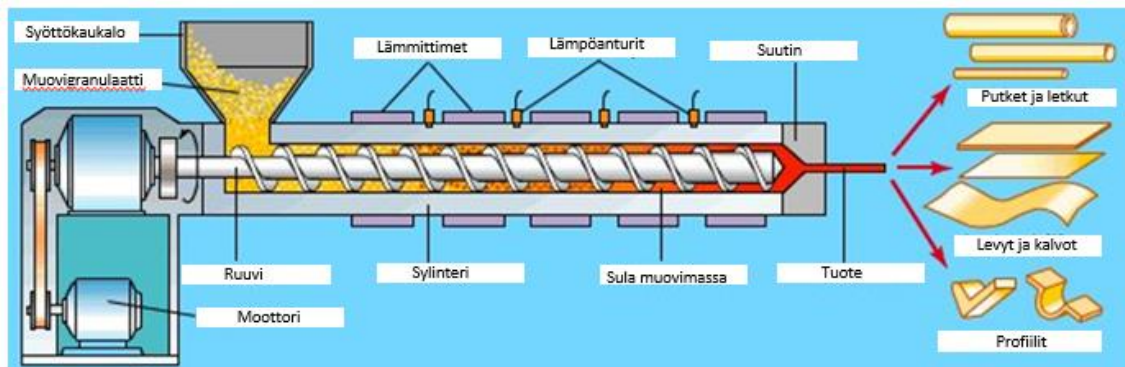
Muovigranulaatit liikkuvat ruuvien pyöriessä eteenpäin ja sulavat ruuvien ja sylinterin välisen kitkan ja ulkopuolisten sähkövirralla toimivien lisälämmittimien avulla. Ekstruuderin loppua kohti ruuvien ja sylinterin välinen tila pienenee ruuvien kierteiden mataloitessa. Tilan pieneneminen aiheuttaa painetta, joka puristaa sulan muovimassan ulos sille muodon antavan suulakkeen kautta. Suulakkeen läpi puristettu muovimassa jäähdytetään vesihauteessa, ilmanpaineella tai erityisen valssiyksikön avulla, joista viimeksi mainittu antaa levyille myös halutun paksuuden. (42) Kun tuote on jäähdytetty, se joko leikataan halutun mittaisiksi paloiksi tai kelataan käyttövalmiille rullalle kelauslaitteiston avulla. Seuraavana on esitetty kuva 1 levyekstruusiolinjasta, jossa jäähdytys tapahtuu valssiyksikön avulla.



Kuva 1. Moderni ekstruusiolinja (20)

Ekstruusioilla valmistetaan profiileja, putkia, kalvoja, levyjä ja päällystetään esimerkiksi paperia ja kartonkia. Myös ruiskupuristuksessa käytetään ekstruuderia, mutta ensiksi mainituissa ekstruusioprosesseissa on jatkuva (1). Ekstruusio on muovin työstömenetelmistä

yleisin ruiskupuristuksen ohella (7). Seuraavassa kuvassa 2 on esitetty ekstruuderin periaatekuva sekä ekstruusioperiaatteella valmistettavia tuotteita.



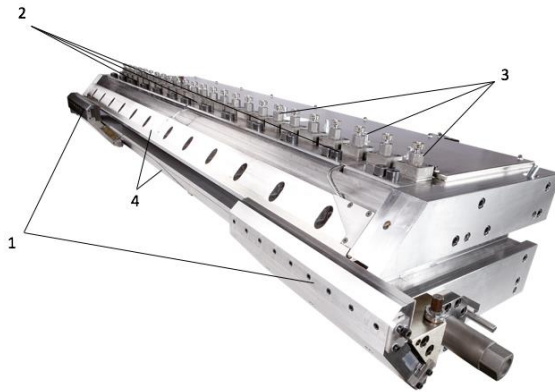
Kuva 2. Ekstruuderin ja ekstruusioperiaatteella valmistettuja tuotteita (19)

1.2 Periaate levyvalmistuksessa

Levyvalmistuksessa käytetään samoja ekstruusiotapoja kuin esimerkiksi putki- ja profiilivalmistuksessa. Erona kuitenkin on suuttimen muoto, joka levyvalmistuksessa on luonnollisesti tasomainen paksuussäädettävä tasosuutin. Tasosuuttimen leveys rajoittaa linjalla ajettavan muovilevyn maksimileveyden. Moderneissa levyekstruusiolinjoissa levyn paksuutta ohjataan logiikan avulla. Tasosuuttimen säätöruuvit säätävät automaattisesti jatkuvan levynpaksuusmittauksen perusteella. Jos suuttimen säätöä ei hoideta logiikan avulla, se tehdään suuttimen päällä olevista säätöruuveista räikkävääntimellä. Suuttimen päällä olevilla säätöpulteilla ohjataan suuttimen sisällä olevan säätöpalkin asentoa ja siten vaikutetaan muovin virtaamiseen suuttimen sisällä. (13) Suuttimen keskellä muovimassalla on lyhin reitti ja siten myös vähiten kitkaa, ennen kuin se puristuu ulos suuttimesta. Muovimassan kulkua pitää rajoittaa keskellä enemmän kuin sivuilla, jotta levystä tulee tasainen. (40)

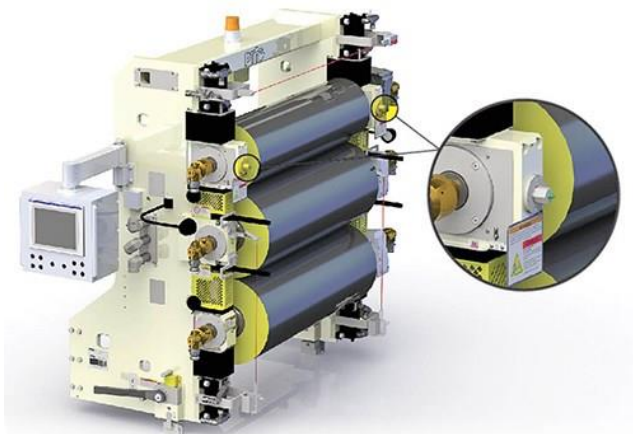
Tasosuuttimeen voidaan ekstruusiolinjasta riippuen syöttää muovimassaa useasta ekstruuderista, jolloin puhutaan co-ekstruusiosta (32). Co-ekstruusiosta eri muovimateriaalit tai saman muovin eri laadut ekstrudoidaan omista ekstruudereistaan samaan tasosuuttimeen, jossa kerrokset yhdistyvät yhtenäiseksi levyksi. Menetelmää käytetään, kun ajetaan monikerrosrakenteisia levyjä- ja kalvoja, joissa yhdistellään eri muovien parhaita ominaisuuksia. Co-ekstruusiota voidaan käyttää myös ajattaessa kustannussyistä

hieman heikompilaatuista kierrätysmateriaalia levytuotteiden keskikerrokseen. Neitseellistä muovimateriaalia käytetään mahdollisuuksien mukaan vain ohuempiin ylä- ja alapintakerrokseen. Tasosuuttimen osat on esitetty seuraavassa kuvassa 3.



Kuva 3. Tasosuuttimen osat: 1.rajoitinpalkit 2. huulten säätöruuvit 3. rajoitinpalkin säätöruuvit 4.huulet (30)

Levyvalmistuksessa erityisen tärkeää on, että muovimateriaali on täysin sulanut ja sekoittunut, jotta valmiin levyn pinnanlaatu ja homogeenisyys voidaan taata. Muovilevyssä virheitä ei voi piilottaa muodoilla ja virheet korostuvat valmiissa, esimerkiksi lämpömuovatussa tuotteessa. Tasosuuttimesta puristettu muovimassa jäähdytetään valssiyksikön avulla, joka antaa lisäksi levyille halutun paksuuden. Suurin ero muihin ekstruusiotapoihin on juuri valssiyksikön käyttö jäähdytyksessä. Valssirumpuja valmistetaan monista eri materiaaleista, eri pituisina ja eri lämmönsiirtomenetelmillä. Rumpujen halkaisija vaihtelee 300-900 mm jäähdytystehon tarpeesta riippuen. (33) Seuraavassa kuvassa 4 on esitetty kolmen valssirummun valssiyksikkö.

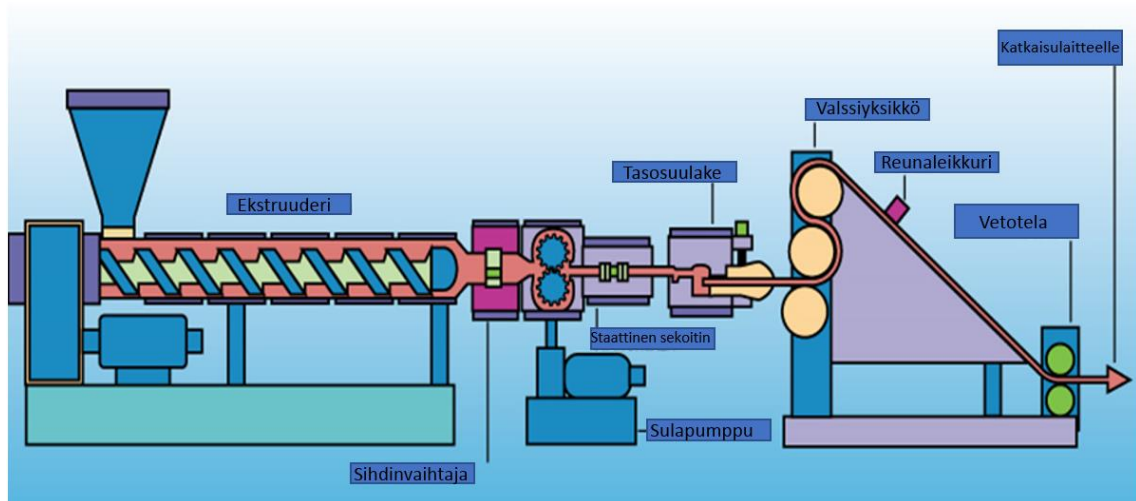


Kuva 4. Levyekstruusiolinjan valssiyksikkö (21)

Levytuotteita voidaan valmistaa ekstruusiolla lähes kaikista muoveista, mutta polypropeeni PP, polyetyleenitereftalaatti PET ja polyeteeni PE kattavat 80% kokonaistuotannosta. Tavallisesti levyekstruusiolla valmistetaan yksinkertaisia levyjä, mutta myös kerros- ja kennolevyjen valmistaminen on mahdollista. (31)

1.3 Levylinja

Levyekstruusiolinjan pääkomponentit ovat materiaalinsyöttöyksikkö, eli gravimetrinen sekoitin ja syöttökaukalo, ekstruuderit, tasosuulake, valssiyksikkö, sekä vetotelasto ja viimeisenä leikkuri ja kuljetin. Levyekstruusiolinjan osat on esitelty seuraavassa kuvassa 5.



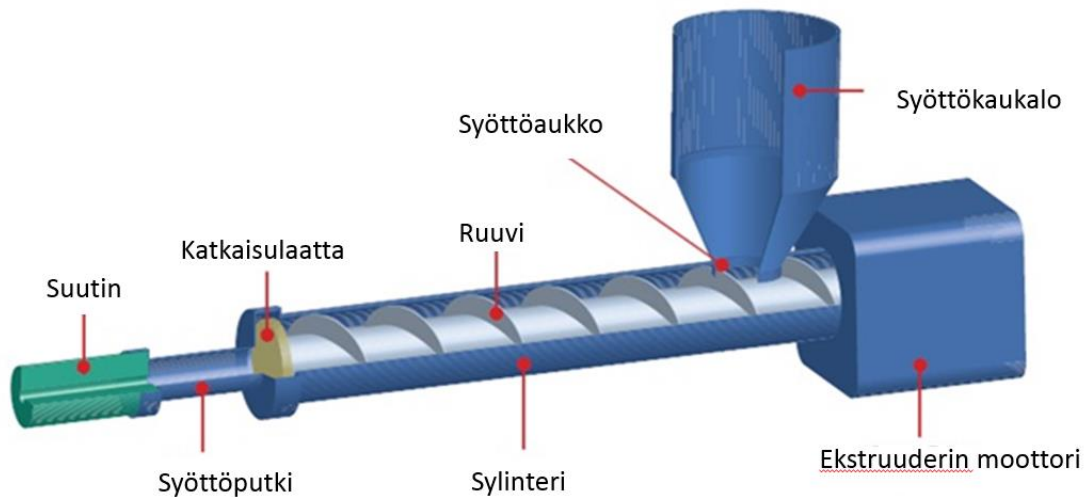
Kuva 5. Levyekstruusiolinja (4)

Levyekstruusiolinjoille tyypillisiä ovat pitkät jäähdytysalueet, joilla ilmavirta jäähdyttää kuumaa levyä. Linjan pituus on sitä pidempi, mitä enemmän jäähdytystä levyllä tarvitaan. Levylinjalla ajettu levy voidaan pakata joko määrämittaisena pinoihin tai kiertää rullalle halutun mittaisena.

1.3.1 Ekstruuderit

Ekstruuderit on levylinjan sydän. Ekstruuderissa valittu muovimassa sulatetaan ja sekoitetaan homogeeniseksi seokseksi ja työnnetään paineella suuttimeen, joka antaa tuotteelle lopullisen muodon.

Erityisen tärkeää levyvalmistuksessa on ekstruuderin ruuvin pituus/halkaisija (L/D) – suhde ruuvigeometrian ohella (7). Ekstruudereita valmistetaan yksi- ja kaksiruuvisina käyttötarkoituksesta riippuen. Ekstruuderin osat on esitetty yksinkertaistettuna seuraavassa kuvassa 6.



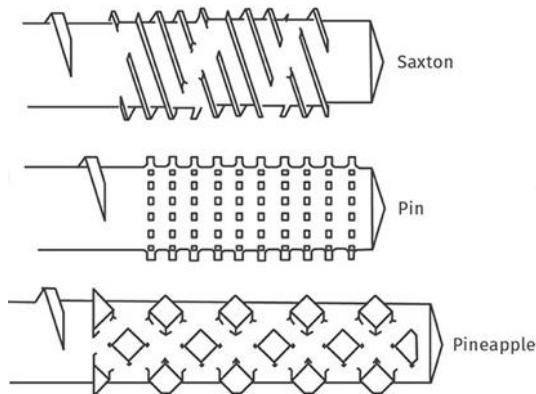
Kuva 6. Ekstruuderin osat (22)

Ruuvin ja ekstruuderin sylinterin seinämien välinen kitka ei yksin riitä plastisoimaan muovimateriaalia. Putken ympärillä on pääasiassa sähköllä toimivia lämmittimiä, jotka antavat tarpeellisen lisälämmitystehon. (34)

Ekstruuderin voidaan jakaa karkeasti neljään osa-alueeseen, joilla jokaisella on oma tehtävänsä prosessissa. Ensimmäisenä syöttöaukon kohdalla on syöttöalue, johon muovipelletit putoavat syöttökaukaloon ja lähtevät kulkemaan eteenpäin ruuvin pyöriessä. Ruuvissa syöttöalue on muotoiltu niin, että kierteiden nousu on koko ajan vakio, eikä niiden tiheys muutu. Syöttöalueella materiaalin seassa oleva ilma poistuu ruuvin syöttöaukkoa kohti. Siirtymävyöhykkeessä ruuvin kierteet mataloituvat asteittain eteenpäin mentäessä. Siirtymäalueella ruuvin kierteiden mataloitumisesta johtuen ruuvin ja putken välinen tila pienenee. Tilan pieneneminen aiheuttaa materiaalia eteenpäin työntävän paineen, sekä kitkan ja lisälämmittimien vaikutuksesta muovimateriaalin plastisoitumisen. (23)

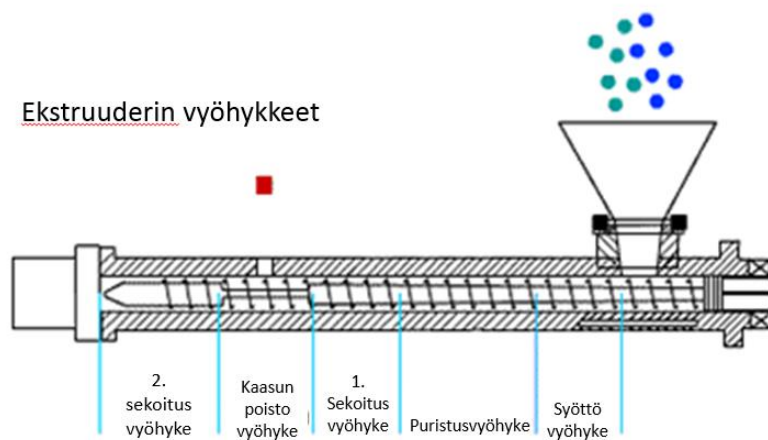
Sekoitusvyöhykkeessä ruuvin kierteet ovat tasakorkuiset, jotta paine pysyy tasaisena. Sekoitusvyöhykkeessä materiaali sekoittuu voimakkaasti homogeeniseksi massaksi ja

loputkiin sulamattomat pelletit plastisoituvat ja lämpötila tasoittuu. (5,6) Sekoitusvyöhykkeen yhteydessä ruuvien loppupäässä voidaan käyttää myös erillistä CMT –sekoittajaa, jonka avulla sekoituksesta saadaan vieläkin tehokkaampaa. Kuvassa 7 on esitetty erilaisia sekoitusyksiköitä.



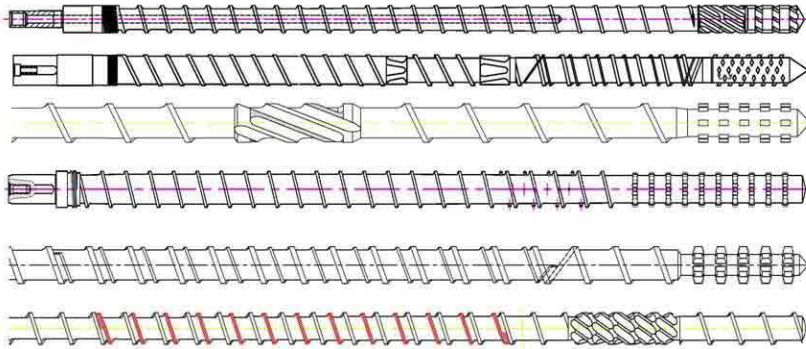
Kuva 7. Erilaisia lisäsekoitusyksiköitä (24)

Viimeisenä vyöhykkeenä on annosteluvyöhyke, joka työntää sulan muovimassan sihtipakan ja jakotukin kautta suuttimelle. Ekstruuderin sihtipakassa on yleensä 2-5 sihtiverkkoa. Verkkojen tarkoituksena on erotella massasta kaikki epäpuhtaudet, kuten esimerkiksi materiaalin joukkoon sekoittuneet puu- ja metallikappaleet. Sihtipakka on tehty helposti vaihdettavaksi, jotta sihdit olisi helppo puhdistaa. (6) Annosteluvyöhykkeen keskiosassa saattaa ekstruuderimallista riippuen olla kaasunpoistiventtiili, jonka tehtävänä on johtaa kaikki massaan sekoittunut kaasu hallitusti pois sylinteristä. Kaasunpoistoyksikköä tarvitaan usein vain erikoisempien materiaalien, kuten puukuitujen ja muovien seoksien ekstruusiossa. Seuraavassa kuvassa 8 on esitetty ekstruuderin vyöhykkeet.



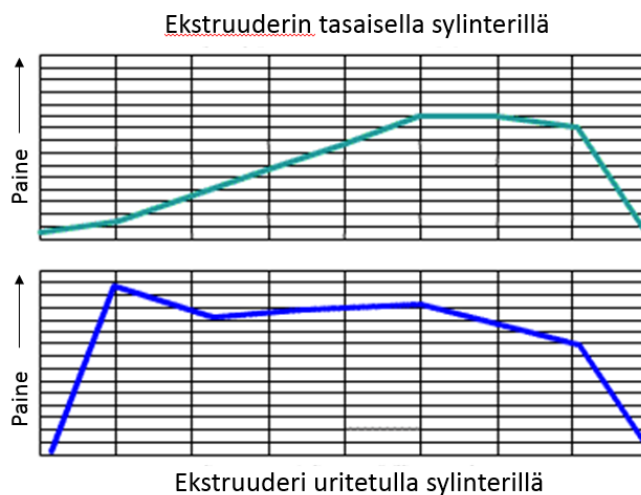
Kuva 8. Ekstruuderin vyöhykkeet (23)

Ekstruuderin sisällä pyörivän ruuvin geometria on suoraan verrannollinen sekä ekstruuderin tuottokykyyn, muovimateriaalin plastisoitumiseen, sekä homogenisoitumiseen. Eri muovimateriaaleille on omia ruuvigeometrioita ja vyöhykkeitä parhaan mahdollisen sekoittuvuuden ja plastisoitumisen takaamiseksi. (34) Seuraavassa kuvassa 9 on esitetty erilaisia ruuvigeometrioita.



Kuva 9. Ruuvigeometrioita (34)

Useimpien ekstruudereiden työpaine putkessa liikkuu välillä 70-350 bar, mutta nykyiset ekstruuderit on tehty kestäämään jopa 700 bar painetta. (34) Seuraavassa kuvassa 10 on kuvattu paineen kehittymistä ekstruuderin sylinterissä.

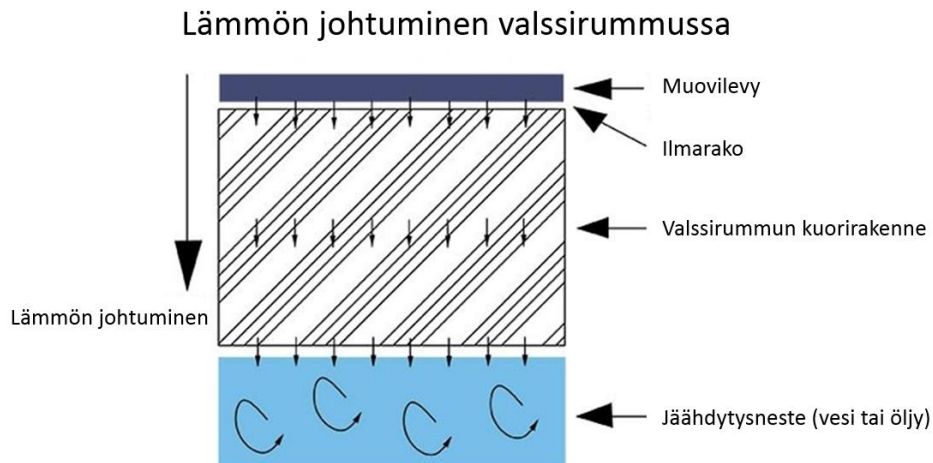


Kuva 10. Paineen kehitys ekstruuderin sylinterissä (23)

1.3.2 Valssiyksikkö

Valssiyksikön tarkoituksena on jäähdyttää ekstruuderin suuttimesta puristettua levyä ja antaa levyille sen lopullinen paksuus ja pinnanlaatu. Valssiyksikössä on linjasta riippuen

3 – 4 valssirumpua, joiden välistä levy ajetaan läpi. Rumpujen lämpötilaa ja niiden väliä voidaan muuttaa, jotta tuotteesta saadaan oikean paksuinen ja lämpöinen. (26) Seuraavassa kuvassa 11 on esitetty jäähdytysvalssien toimintaperiaate.



Kuva 11. Jäähdytysvalssien toimintaperiaate (26)

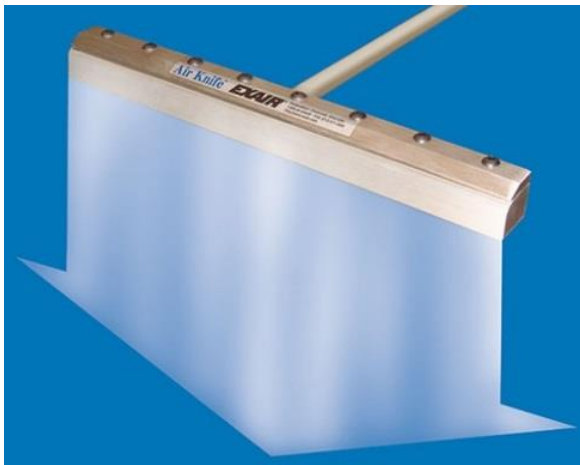
Jokaisessa valssirummussa on oma vesi- tai öljykiertoinen jäähdytys, jonka avulla rumpun lämpötilaa voidaan säätää halutulle tasolle erillisen temperointilaitteen avulla. Rumpujen lämpötilat säädetään siten, että suuttimesta tuleva levy on ensimmäisenä kosketuksissa kuumimpaan valssirumpuun. Levyn kulkiessa eteenpäin valssirumpujen läpi, rumpujen lämpötilaa lasketaan tasaisesti aina viimeiseen rumpuun asti. (26) Valssiyksiköstä levy johdetaan lisjäähdytykseen, joka usein toteutetaan ilmalla. Seuraavassa kuvassa 12 on esitetty valssiyksikkö.



Kuva 12. Levyekstruusiolinjan valssiyksikkö (35)

1.3.3 Rullasto ja lisäjähdytys

Kun levyllä on valssiyksikössä annettu haluttu paksuus ja lämpötila, johdetaan levy rullaston päälle, jossa jäähdytystä voidaan jatkaa tehokkailla tuulettimilla. On tärkeää, että levyä jäähdytetään tasaisesti sekä levyn ylä- että alapuolelta. Jäähdytykseen voidaan käyttää perinteisiä tuuletintyyppisiä jäähdyttimiä tai ilmaveitsiä, jotka keskittävät ilmavirran tehokkaasti pienelle alueelle (36). Myös ainoastaan huoneilmalla jäähdyttäminen on mahdollista, mutta se vaatii enemmän linjapituutta erityisesti rullaston kohdalta. Kuvassa 13 on esitetty ilmaveitsen toimintaperiaate.



Kuva 13. Ilmaveitsen toimintaperiaate (36)

1.3.4 Rimssuleikkurit

Valmistettaessa levytuotteita on suuttimesta puristettavalla levyllä tietty hyötyleveys. Tämä hyötyleveys riippuu yksinkertaisesti tasosuuttimen leveydestä. Suuttimen ulkopuoliset stopparit asetetaan lähelle haluttua tuotteen leveyttä ja hienosäätö oikeaan mittaan tehdään rimssuleikkureilla, jotka leikkaavat levyn reunasta oikeankokoisen kaistaleen pois. (13) Rimssuleikkureiden jäte ohjataan usein suoraan granulaattoriin. Granulaattorissa rimssuista jauhetaan pieniä pellettejä, jotka kierrätetään sopivana seoksena takaisin prosessiin. Kierrätysmateriaalin määrä on yleensä korkeintaan 15% koko seoksesta (40).

Kuvassa 14 on rimssuleikkuri, jossa samaan moduuliin on yhdistetty myös lisäleikkureita.



Kuva 14. Rimssuleikkuri, johon yhdistetty myös lisäleikkureita (39)

1.3.5 Leikkuri

Leikkuri on levylinjan viimeinen osa ennen kuljetinhihnaa ja pakkauspistettä. Leikkuri on yleensä giljotiinityyppinen viistoterä, joka leikkaa koko levyn yhdellä liikkeellä. Leikkuri antaa levytuotteelle sen lopullisen pituuden ajosuunnassa. Jatkuvassa ekstruusioprosessissa pituusleikkauksen liikkeen tulee olla nopea tai leikkurin tulee liikkua samaa nopeutta kuin levy koko leikkauksen ajan, ettei levyn päästä tule vinoa. (13) Leikkurin tilalla voidaan käyttää myös sahausyksikköä tai jrsintärobotia levyn käyttötarkoituksen mukaan. Myös jrsintärobotia käytettäessä tulee levyn liikettä kompensoida myös robotin työstökäskyissä. Seuraavassa kuvassa 15 on esitetty giljotiinityyppinen pituusleikkuri.

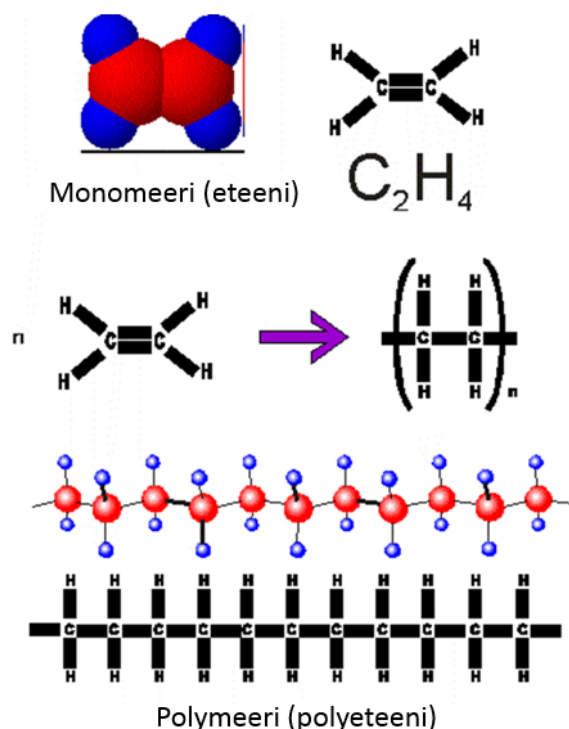


Kuva 15. Giljotiinityyppinen pituusleikkuri (38)

1.4 Muovimateriaalit

Lähes kaikki muovimateriaalit valmistetaan polttoaineen valmistuksen sivuvirtana syntyvistä hiilivetyjakeista. Hiilivetyvirroista erotellaan kaasufraktiot eli monomeerit, joita liitetään yhteen pitkiksi ketjuiksi polymerisaatioreaktion avulla. Esimerkiksi paljon ekstruusi-ossa käytetyn eteenin polymerisaatioreaktiossa eteenimolekyylin kaksoissidos hajoaa, jolloin syntyy vapaa radikaali. Vapaan radikaalin päihin jää sidoksen hajoamisen jälkeen ylimääräiset elektronit, joiden avulla molekyyli liittyy viereiseen vastaavanlaiseen radikaalimolekyylisiin. Molekyylien polymerisaatioreaktio jatkuu niin kauan kuin lähtöaineina toimivia vapaita radikaaleja on saatavilla. (12)

Polymeerimolekyylit voivat olla lineaarisia tai verkkomaisia. Lineaarisia molekyyliä kutsutaan myös kestumuoveksi, sillä niitä voidaan muovata uudelleen, toisin kuin kertamuovien verkkomaisia polymeerejä (13). Seuraavassa kuvassa 16 on esitetty eteenin polymerisaatioreaktio polyeteeniksi.

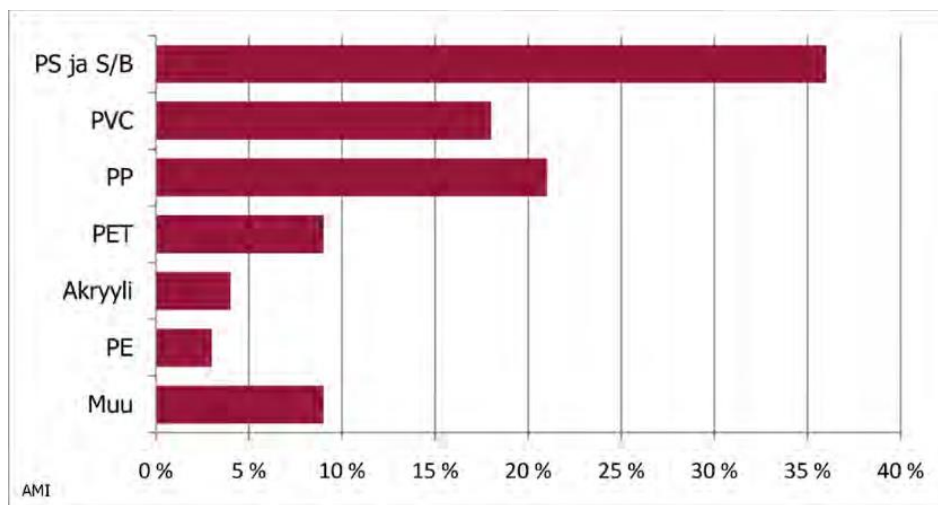


Kuva 16. Eteenimonomeerin polymerisaatioreaktio (8)

Polymerisaatioreaktiolla valmistettu muovimateriaali syötetään ekstruuderiin käyttövalmiina granulaatteina. Valmiit muoviraaka-aineet eivät yleensä sisällä väri- tai lisäaineita,

vaan ne lisätään massaan juuri ennen ekstruuderiin syöttämistä gravimetrisen sekoittimen avulla. Muovimateriaaleja on saatavilla erikokoisina ja muotoisina pelletteinä, tahnoina, jauheina ja nesteinä käyttötarkoituksen mukaan. (13)

Suomessa käytetään vuosittain 600000 tonnia muovimateriaaleja tuotteiden valmistamiseen. Polyeteeni PE, polypropeeni PP, polystyreeni PS ja polyvinyylikloridi PVC käsittävät noin 80% kokonaiskäytöstä. Suomen sadoista käytössä olevista erikoismuoveista suurin osa tuodaan ulkomailta. (12) Seuraavassa kuvassa 17 on esitetty eri muovien käyttö levyekstruusioon Euroopassa.

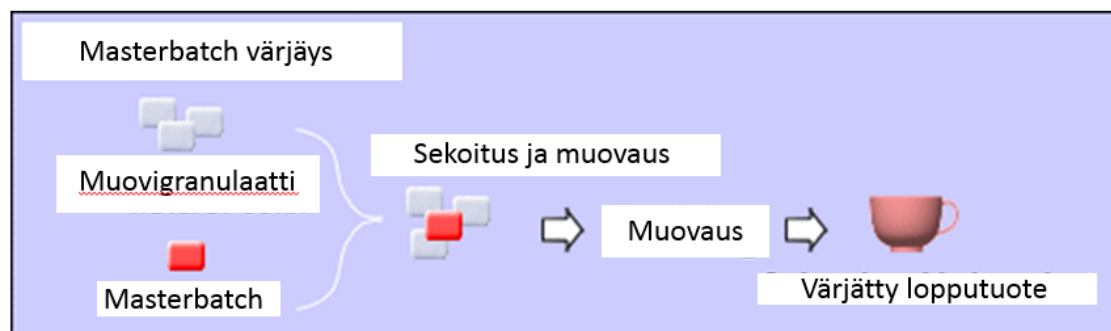


Kuva 17. Eri muovimateriaalien käyttö levyekstruusioon Euroopassa (14)

1.4.1 Lisä- ja apuaineet

Kun muovituotteita valmistetaan ekstruusiolla, muovimateriaalin sekaan lisätään esimerkiksi väri- ja UV-lisäaineita. Muovimateriaalin joukkoon lisättävien lisäaineiden määrä vaihtelee välillä 0,1 – 80%. Lisäaineilla pyritään vaikuttamaan muovimateriaalien ominaisuuksiin, kuten lujuuteen, kovuuteen, sähkönjohtokykyyn, UV-suojaan, kemikaalien kestoon, elinikään ja hintaan. Väriä antavat materiaalit ovat yleensä samaa materiaalia, kuin pääraaka-aine. Joidenkin valmistajien väriaineissa on valmiiksi lisätty UV-suoja, sillä UV-säteily haalistaa tuotteen värin nopeasti.

Väriaineet lisätään muovimateriaaliin masterbatcheina, joissa on korkea pigmenttipitoisuus. Värisävyä on helppo hallita masterbatchin prosenttiosuutta muuttamalla. Tavallisesti väriainetta lisätään noin 1-3 %. (9) Seuraavassa kuvassa 18 on esitetty masterbatch-värjäyksen periaate.



Kuva 18. Masterbatch värjäys (9)

UV-suoja käytetään muovituotteissa hidastamaan auringon UV-säteilyn aiheuttamaa haurastumista, värimuutoksia, sekä hajun kehittymistä. Erittäin tärkeää UV-suoja on tuotteissa, joilla on pitkä hyllyaika: niitä varastoidaan ja käytetään ulkotiloissa. (10)

Niin sanottua ”slippiä” eli liukasteainetta käytetään ekstruusiassa vähentämään linjan ja levytuotteen välistä kitkaa (11). Kun kitka pienenee, kuumen levyn tarttuminen koneen osiin vähenee. Myös esimerkiksi roskien tarttuminen levyn pintaan on vähäisempää sen liukkauden vuoksi. Lisäksi levyjen pinoaminen on helpompaa, kun pinnat ovat liukkaita.

1.5 Levytuotteet

Ekstruoiduilla valmistetuiksi levyiksi luokitellaan kaikki yli 0,5 mm paksut levytuotteet. Kaikki alle 0,5 mm paksut tuotteet eritellään kalvoiksi. Toinen erottava tekijä kalvojen ja levytuotteiden välillä on pakkaustapa, sillä levytuotteet varastoidaan levypanoissa ja kalvot rullana. (14) Levytuotteita voidaan valmistaa kaikista muoveista, mutta valttamuovit kuten HDPE, PP ja PVC ovat käytössä kaikkein yleisimpiä. Erilaisia ekstruusioperiaatteella valmistettuja levyjä on valtava määrä eri käyttötarkoituksiin. Levytuotteita valmistetaan niin kirkkaana kuin läpinäkymättömänäkin, yksikerroksisina ja monikerros- tai ontelolevyinä.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan tuotantolaitteistoa, joka on tarkoitettu valmistamaan levyä suurempien lämpömuovaustuotteiden tarpeisiin ja levyn paksuus on 3-10 mm. Materiaalina käytetään HDPE:tä, joka soveltuu ominaisuuksiensa puolesta kulutus-

ja kitkankestävyyttä vaativiin kappaleisiin, esimerkiksi koneissa, pinnoituksessa tai ajoneuvoteollisuudessa. (7)

1.5.1 Käyttö

Ekstruusiolla valmistetut levytuotteet ovat pääasiassa puolivalmisteita, joita lämpö- ja tyhjiömuovausyritykset käyttävät raaka-aineena prosesseissaan. Joissakin tapauksissa jatkojalostava yritys vain jyräsi levyn haluttuun muotoon tasojyrsimellä ja käyttää muotoon leikattuja paloja prosesseissaan. Suurin osa kaikista valmistetuista muovilevytuotteista käytetään elintarvikepakkauksien lämpömuovauksessa, jossa suurin kuluttaja on meijeriteollisuus. (7) Paksummista levylaaduista muovataan isompia tuotteita, kuten esimerkiksi veneitä, ajoneuvoteollisuuden tuotteita, kuten lokasuojia ja paneeleita, sekä katto- ja rännituotteita. Seuraavassa kuvassa 19 on lämpömuovattu kattoluukku.



Kuva 19. Lämpömuovattu kattoluukku (37)

1.5.2 Laatuvaatimukset

Levytuotteiden laatuvaatimukset juontuvat niitä raaka-aineenaan käyttävien yritysten laatuvaatimuksiin. Levyjen tulee olla tasapaksuja, tasavärisiä ja suoria sekä ajo-, että poikittaissuuntaan. Materiaalin tulee olla siis homogeenistä koko levyn alalta, jotta niitä jatkojalostettaessa ei tulisi ongelmia esimerkiksi vaihtelulle herkän lämpömuovauksen kanssa. Jos levyn paksuus vaihtelee, virhe näkyy selvemmin tai levyyn saattaa tulla reikä, kun levyä venytetään lämpömuovauksen aikana. (40)

KÄYTÄNNÖN OSA

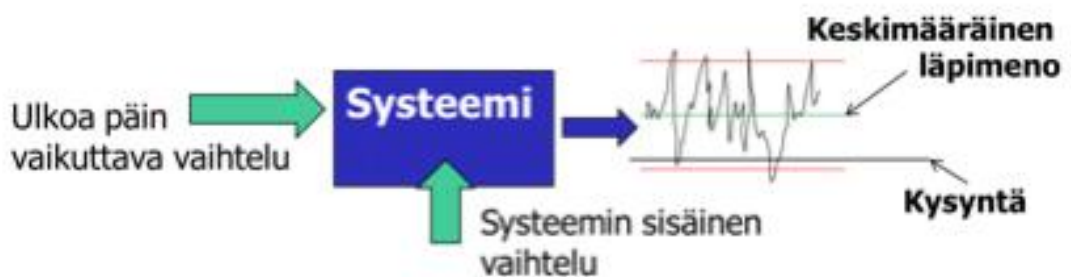
Yritysesittely

Kohdeyritys valmistaa pääasiassa raskaan kaluston muovikomponentteja ja jonkin verran muovilevy- sekä kattotuotteita. Yrityksen pääasiallisena muovin prosessointitapana on ollut jo vuosikymmeniä ekstruusio. Ekstruusiota käytetään yrityksessä pääasiassa yhdessä lämpömuovauksen kanssa, mutta yksi linjoista on puhtaasti muovilevyn ekstruusioon tarkoitettu linja. Kaikissa yrityksen kuudessa tuotantolinjassa muovimateriaalin prosessointi aloitetaan ekstruusioperiaatteella, joita seuraavat jälkiprosessointivaiheet ennen kuin linjalta saadaan ulos valmis tuote. Yrityksellä on ISO9001 ja ISO14001 -standardit, jotka osaltaan ohjaavat systemaattisempaan dokumentointiin, riskiarviointien tekemiseen ja ympäristön huomioon ottamiseen.

Tämän opinnäytetyön tekemisen aikana koko tuotantotilojen sijoittelua muutetaan, jotta materiaali- ja tuotevirtaukset koneelta toiselle saadaan järkevämmiksi ja tilaa vapautettua tuottavaksi. Lisäksi yritykseen on hankittu uusi lämpömuovauskone, johon on tarkoitus aloittaa muovilevyn valmistus yrityksen omalla levyekstruusiolinjalla. Yritys on alkanut päivittää koneita ja tuotantoteknologiaa nykyaikaisemmaksi kasvavan kysynnän ja uusien aluevaltausten ohjaamana. Kun uusia koneita ja laitteita hankitaan, on luonnollista, että vertaillaan vanhan ja uuden koneen laaduntuottokykyä sekä miten se vaikuttaa kustannuksiin ja kapasiteettiin.

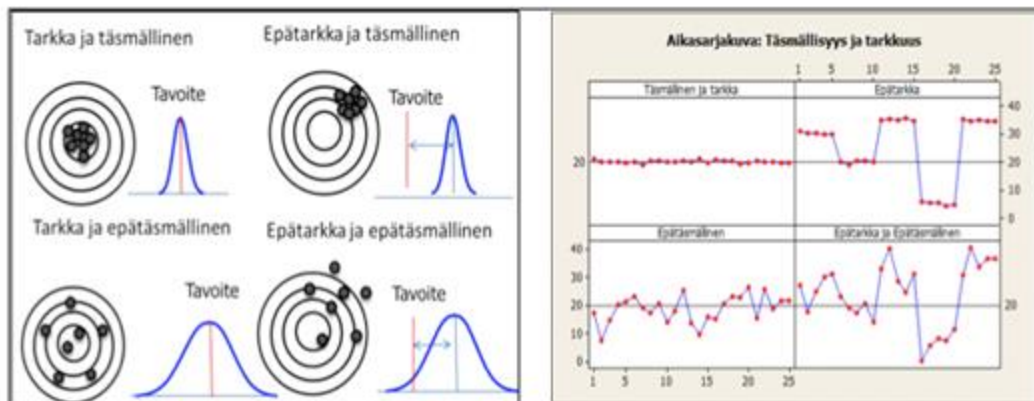
2 LAADUNTUOTTOKYVYN KEHITTÄMINEN

Laadukkaita tuotteita valmistettaessa on tärkeää, että prosessi on riittävän kyvykäs tuottamaan asiakkaan vaatimukset täyttäviä tuotteita. Pääosin kyvykkyyttä voidaan kehittää pyrkimällä vähentämään prosessin vaihtelua, sillä mitä enemmän prosessissa on vaihtelua, sitä heikompi sen suorituskyky on. On olemassa useita työkaluja, joita käytetään vaihtelun vähentämiseen ja analysointiin. (2) Tässä työssä tehtiin levylinjalle kyvykkyysanalyysi. Kuvassa 20 on esitetty vaihtelun vaikutusta systeemiin.



Kuva 20. Vaihtelun vaikutus systeemiin (2)

Vaihtelu voidaan jakaa pääpiirteissään kahteen eri luokkaan: prosessin tarkkuuteen ja täsmällisyyteen. Tarkkuudella ilmaistaan, kuinka kyvykäs prosessi on tuottamaan samanlaista tulosta esimerkiksi eri tuotantokerroilla. Täsmällisyys ilmaisee, kuinka kyvykäs prosessi on tuottamaan samanlaista tulosta esimerkiksi samalla tuotantokerralla. (2) Kuvassa 21 on verrattu tarkkuuden ja täsmällisyyden käsitteitä.

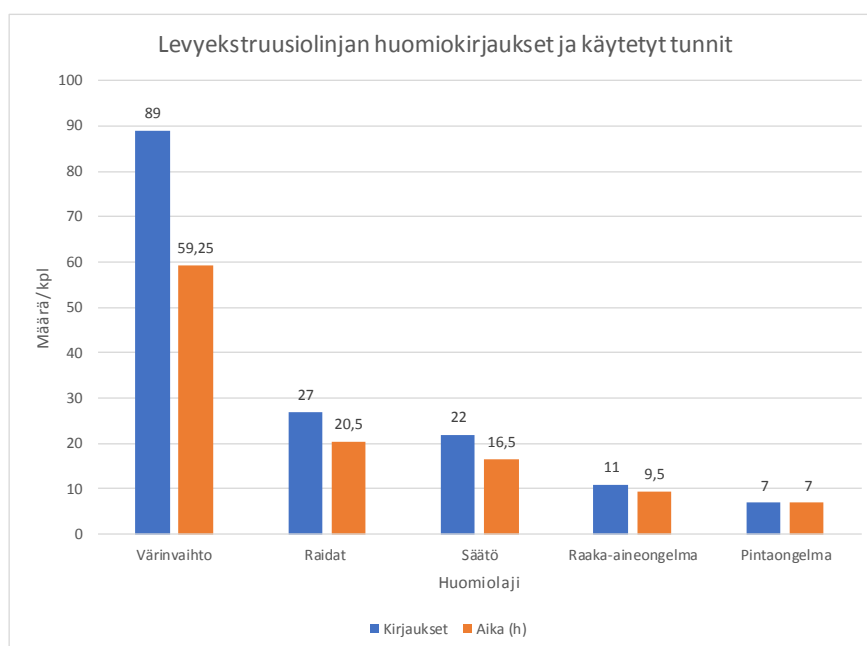


Kuva 21. Tarkkuuden ja täsmällisyyden käsitteet (2)

Prosessin vaihtelu voidaan jakaa kahteen osaan myös vaihtelun laadun perusteella. Kaikilla prosesseilla on niille ominainen satunnaisvaihtelu, jota pyritään aktiivisesti vähentämään. Toinen vaihtelun laatu on niin sanottu ”erityisyys”, joita on kaikesta vaihtelusta ainoastaan 2%. (3) Erityisyyttä voivat olla esimerkiksi inhimilliset virheet ja unohtaminen. Erityisyyhin ei auta tiedon analysointi, eikä niihin kannata kiinnittää liiaksi huomiota. Erityisyydet ovat usein poistettavissa työnjohdollisin keinoin, opastamisella ja rakentavalla keskustelulla. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin laaduntuottokyvyn parantamiseen vaihtelun vähentämisellä.

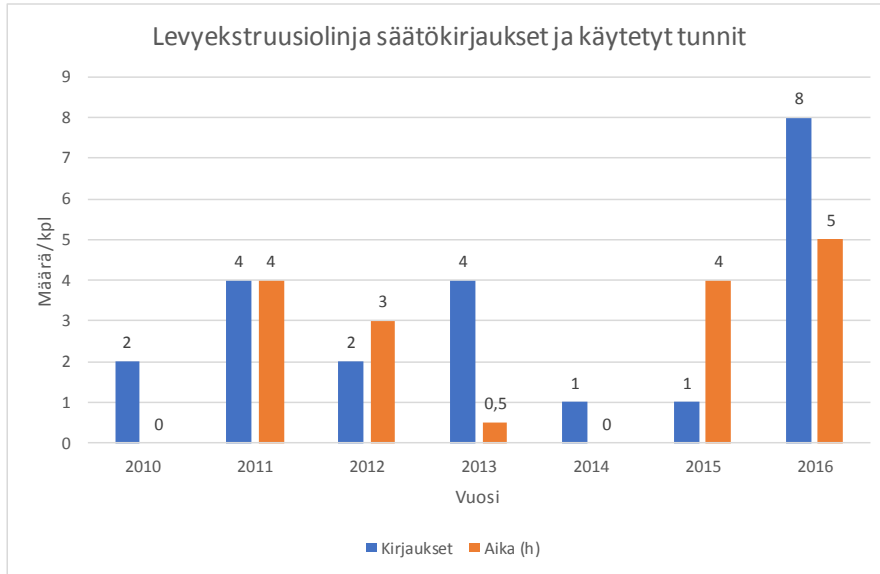
2.1 Laatuongelmat

Ennen levyekstruusiolinjan kehitysprojektia levytuotteissa oli useita laadullisia ongelmia. Pääasiassa laatuongelmat ovat johtuneet prosessista ja siinä tapahtuneista virheistä sekä liian suuresta vaihtelusta, mutta myös inhimillisiä virheitä on sattunut. Levyekstruusiolinjan kirjausdatan mukaan linjan eri komponentit ovat toimineet melko hyvin, eikä konerikkoja ole sattunut merkittävästi vuoden 2010 jälkeen. Laatuongelmat ovat myös hidastaneet tuotantoa, kun on erilaisin toimin pyritty laadukkaaseen tuotteeseen ja tuotettu materiaalia, joka ei ole jalostunut liikevaihdoiksi. Kuvassa 22 on esitetty tuotantokirjauksiin kirjatut ongelmat tuotannossa ja ongelmien ratkaisuun merkatut tunnit vuodelta 2010.



Kuva 22. Levyekstruusiolinjan huomiokirjaukset ja niihin merkatut tunnit

Kun ekstruusiolinjalla ilmenee ongelma, aletaan sitä usein ratkaisemaan konesäädöillä. Jos koneiden ja laitteiden kyvykkyys ei ole täysin tiedossa, voidaan vahingossa yliohtaa prosessia. Prosessia yliohtaan, kun aletaan tekemään säätöjä, vaikka havaittu poikkeama on saattanut kuulua koneen luonnolliseen vaihteluun ja olisi ilman säätöä alkanut todennäköisesti palata tavoitetasolle. Seuraavassa kuvassa 23 on esitetty levyekstruusiolinjan säätökirjaukset ja niihin käytetyt tunnit.



Kuva 23. Levyekstruusiolinjan säätökirjaukset ja käytetyt tunnit

2.1.1 Aaltoilu

Tuotteiden aaltoilu on yksi yleisimmistä laatuongelmista levyekstruusiolinjalla raitojen ohella. Aaltoilu johtuu tuotteen epätasaisesta jäähtymisestä, jolloin tuotteen sisälle syntyy lämpötilaltaan keskenään erilaisia alueita. Polyeteenille ja myös muille muoveille tyypillisesti eri alueet kutistuvat eri tavalla, jolloin levyn sisään jäävät jännitykset saavat suoran muovilevyn aaltoilemaan. Kuvassa 24 on aaltoileva levypinkka.



Kuva 24. Aaltoilevia HDPE -levyjä

Levytuotteiden reunojen aaltoilu on yleisempää kuin levyn aaltoilu koko leveydeltä. Reunojen aaltoilu johtuu yleensä siitä, että muovimassan lämpötila levyn reunoilla on matalampi. (15) Ongelman syntyminen voidaan estää pienentämällä valssirumpujen ja tasosuuttimen välimatkaa, jolloin levy ei pääse venymään epätasaisesti. Toinen mahdollinen ratkaisu ongelmaan on lämpötilan kohottaminen tasosuuttimen reuna-alueilla, jolloin levyn lämpötila tasoittuu (15). Yleensä lievä reunan aaltoilu ei aiheuta ongelmia tuotannossa, sillä levy ajetaan hieman leveämmäksi kuin valmis tuote ja leikataan lopulliseen leveyteensä rimssuleikkureilla. Reunan aaltoilevat nauhat jäävät pois lopputuotteesta ja päätyvät uudelleen prosessiin granulaatteina.

2.1.2 Raidat

Levyissä esiintyy kahdenlaisia raitoja; niin sanottuja pinnallisia ”huuliraitoja”, sekä koko levyn läpi ulottuvia syvempiä raitoja.

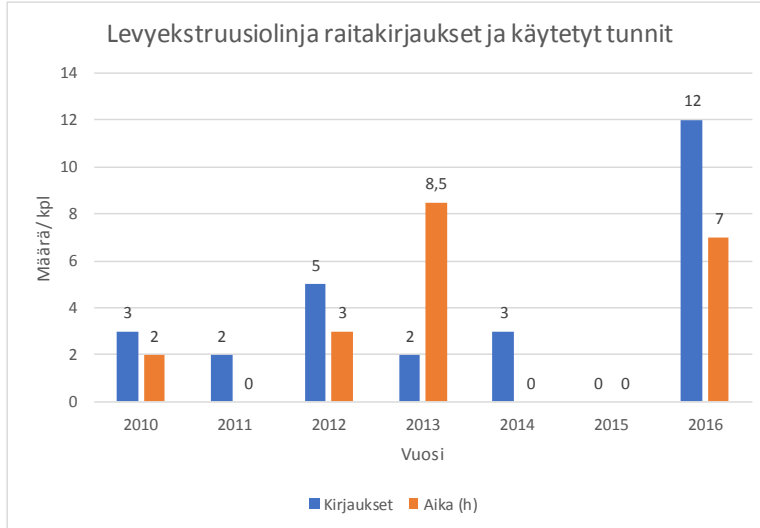
Huuliraidat ovat raidoista yleisempiä ja ne ovat myös helpompia poistaa. Huuliraitojen aiheuttaja on useimmiten tasosuuttimen huulen reunalle kiinni palanut muovinpala, joka hiljalleen sulaa ohikulkevan levyn pintaan aiheuttaen silminnähtävän erivärisen raidan. Raitoja aiheuttavat myös huonokuntoinen suutin, kun muovimateriaalia palaa kiinni kuoppiin ja naarmuihin. (40)

Syvämmät raidat johtuvat yleensä jo ekstruuderissa olevista epäpuhtauksista tai suukappaleen sisälle palaneesta muovikappaleesta. Suukappaleen sisälle palaneet muovinpalat aiheuttavat usein syvän raidan levyyn. Jos muovinpalaa ei saada poistettua, suukappale joudutaan avaamaan. Suukappaleen avaus keskeyttää tuotannon yleensä useiksi tunneiksi. (40) Seuraavassa kuvassa 25 on esitetty tuotteen hylkäämiseen johtava raita.



Kuva 25. Hylkäämiseen johtava raita levytuotteen pinnassa

Levyekstruusiolinjalla yleisin ongelma tuotantokirjausten huomioiden perusteella on raitojen syntyminen levyn pintaan. Kuvassa 26 on esitetty raitakirjauksien määrä ja käytetyt tunnit.



Kuva 26. Levyekstruusiolinjan raitakirjaukset

Tuotantokirjauksien perusteella raidan syntyminen ajoittui usein väri­vaihdon yhteyteen ja erityisesti vaihdettaessa tummemmasta väristä vaaleampaan, kuten mustasta harmaaseen. Kuitenkin datan perusteella voidaan huomata, että kulunutta aikaa on hyvin todennäköisesti jäänyt merkkäämatta. Esimerkiksi vuonna 2011 19 väri­vaihtoon on datan perusteella käytetty aikaa vain 2 tuntia. Kuvassa 27 on esitetty väri­vaihtojen määrä ja käytetyt tunnit vuosittain.



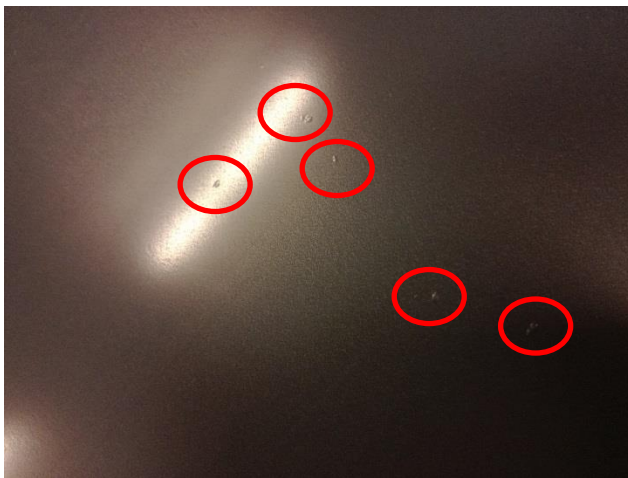
Kuva 27. Kirjatut levyekstruusiolinjan väri­vaihtojen määrät ja käytetyt tunnit

Mahdollisia ratkaisuja raitojen poistamiseen on suuttimen huulien puhdistaminen sekä suutinlämpötilan nostaminen, jolloin kiinnijääneet muovipalat voivat lähteä liikkeelle. Raitojen poistamiseen on käytössä myös tarkoituksenmukaista puhdistusmassaa, joka irrottaa epäpuhtauksia ekstruuderin sylinteristä ja suuttimesta. Raitojen poistamisesta ja puhdistusmassan käytöstä on kerrottu lisää liitteessä 3.

Väri­vaihdon yhteydessä syntyvien raitojen määrää on pyritty vähentämään ajamalla neutseellistä raaka-ainetta ilman väriaineita, ennen kuin väri vaihdetaan toiseen. Väri­vaihdon ohjeistus on päivitetty liitteessä 3, levyekstruusiolinjan päivitetty työhjeet.

2.1.3 Pinnanlaatu

Pinnanlaadullisiin ongelmiin on useita mahdollisia syitä. Tärkein syy on muoviryynien epätasainen tai puutteellinen plastisoituminen ekstruuderin sylinterissä. Jos muovimateriaali ei ole kunnolla sulanut saattaa valmiin muovilevyn pinnassa näkyä sulamattomia muovinpaloja. (15) Kuvassa 28 on esitetty puutteellisesta sulamisesta johtuva pinta­virhe.



Kuva 28. Sulamatonta raaka-ainetta levyn pinnassa

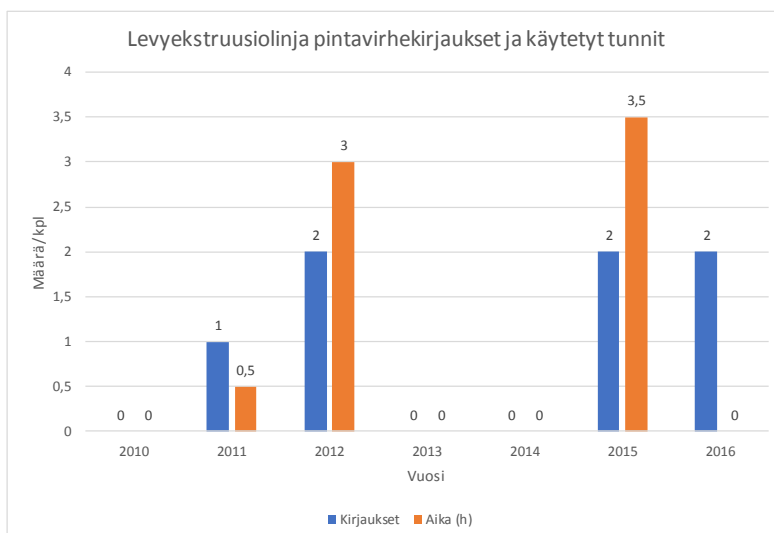
Pinnanlaatuun vaikuttaa myös valssirumpujen puhtaus ja kunto. Kun valmistetaan levyä, valsseja puhdistetaan liuotinpesuaineella säännöllisin väliajoin epäpuhtauksien vähentämiseksi. Valssirummut toimivat ikään kuin kuviotelana ja painavat levyn pintaan kaikki virheet, joita rumpujen pinnassa on. Levyn yläpintaan vaikuttaa ainoastaan keskimmäinen valssirumpu, mutta alapintaa koskevat sekä ala-, että ylätela. Myös valssirumpujen

lämpötila vaikuttaa näppylöiden syntymiseen sekä levyn kiiltoon. Kuvassa 29 on esitetty tyypillinen likaisesta valssirummusta levyn pintaan jäänyt jälki.



Kuva 29. Valssirummusta jäänyt jälki levytuotteen pinnassa

Pintavirhekirjauksia on ollut vuoden 2010 jälkeen melko vähän. Kirjauksien pieni lukumäärä saattaa osittain johtua melko helpoista vikatilanteiden korjaustavoista. Yksinkertaisilla säädöillä esimerkiksi valssien lämpötiloissa päästään eroon useimmista pintavirheistä. Myös likaisista valssirummuista jääneet jäljet saadaan helposti poistettua liuotinpesuaineella ja vaikutus on välitön. Kuvassa 30 on esitetty levylinjan pintavirhekirjaukset vuoden 2010 jälkeen raitoja lukuun ottamatta.



Kuva 30. Levyekstruusiolinjan pintavirhekirjaukset ja käytetyt tunnit

2.2 Kyvykkyysanalyysi

Levyekstruusiolinjalle haluttiin tehdä ennen muutostoimenpiteitä kyvykkyysanalyysia, jonka ohella tarkasteltiin myös huomiokirjauksia vuodesta 2010 vuoteen 2017. Kyvykkyysanalyysin tarkoituksena oli selvittää, kuinka kyvykkäästi linja on päässyt tuotantotavoitteeseensa. Linjan huomiokirjauksien avulla päästään hieman jäljille, mitkä tekijät ovat vaikuttaneet siihen, ettei tavoitteeseen olla päästy. Huomiokirjauksia läpikäydessä kävi ilmi, että kirjauksien tekoon ei ole ollut selkeää ohjetta ja usein oli vaikea liittää kirjausta tiettyyn ongelmaan, kun huomioissa luki vain ”kone rikki”. Tämä ongelma on pyritty ratkaisemaan selkeillä työohjeilla, joissa kerrotaan, miten kirjaukset tulisi suorittaa oikein, jotta jatkossa ongelmien kartoittaminen ja tietojen kerääminen olisi helpompaa. Työohjeet löytyvät liitteestä 3.

Kyvykkyysanalyysissä käytettiin hyödyksi tuotantokirjauksiin merkattuja ajotunteja sekä tuotettujen muovilevyjen kilomääriä.

Prosessin lyhytaikaista kyvykkyyttä voidaan kuvata C_p -arvolla (Potential Capability Index), joka ottaa huomioon prosessiin määritellyt spesifikaatorajat ja prosessin keskihajonnan. Pidempiaikaista kyvykkyyttä kuvaa C_{pk} -arvo (Performance capability Index), joka kuvaa myös spesifikaatioiden keskittymistä verrattuna keskihajonnan arvoon. Jos edellämainitut arvot ovat samat, on prosessin keskiarvo sama kuin prosessille määritelty keskiarvo. C_p -arvon ollessa suurempi kuin C_{pk} -arvo, ei prosessi ole täysin keskitetty. C_p - ja C_{pk} -arvot voidaan määrittellä ainoastaan sellaisille prosesseille, jotka ovat täysin hallinnassa. (43) Seuraavaksi on esitelty C_p - ja C_{pk} -arvojen kaavat.

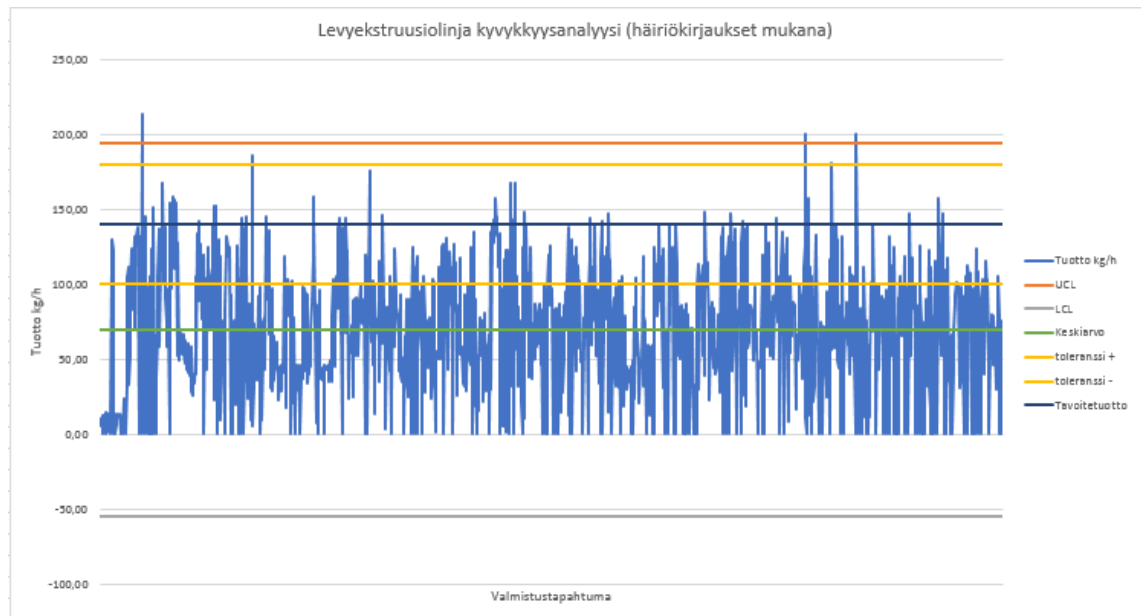
$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \text{MIN} \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$$

Jossa:

USL = ylempi spesifikaatoraja
 LSL = alempi spesifikaatoraja
 μ = prosessin keskiarvo
 σ = normaalitilassa toimivan prosessin keskihajonta

Seuraavassa kuvassa 31 on esitetty levyekstruusiolinjan tuotto, tavoitetuotto, toleranssit ja laskennalliset ohjausrajat.



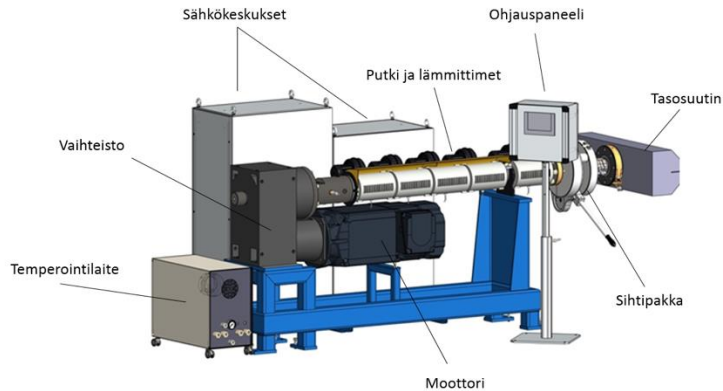
Kuva 31. Levyekstruusiolinjan kirjausdatasta koostettu IMR-kortti

2.3 Muutostoimenpiteet

Levylinjan komponentteja uusitaan suurelta osin linjan laaduntuottokehitysprojektin yhteydessä. Ekstruuderi, valssirummut, kuljettimet ja temperointilaitteet uusitaan kokonaan ja vanhoja osia kunnostetaan ja huolletaan. Koko linja myös puhdistetaan ja pinnoitetaan uudelleen metallirunkojen korroosion keston takaamiseksi myös jatkossa. Kunnostusprojektissa kiinnitetään huomiota myös siihen, että kaikissa vaarakohteissa on asianmukaiset varoituskyltit sekä suojarusteet, kuten valoverhoja ja suojaimia.

2.3.1 Ekstruuderin ja ruuvi

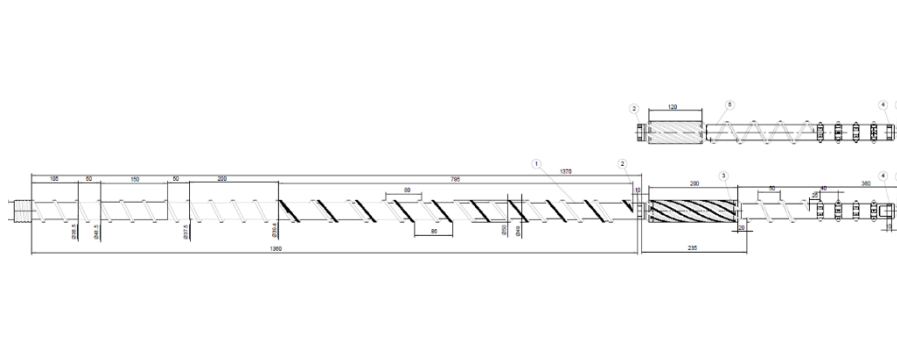
Levyekstruusiolinjan uuden ekstruuderin toimitti suomalainen valmistaja. Uudessa ekstruuderissa tuotto saadaan HDPE:llä 300 kg/h tasolle. Ekstruuderiin valittiin lisäominaisuudeksi kaasunpoistoyksikkö, jos tulevaisuudessa valmistetaan esimerkiksi puukomposiittilevyjä. Kuva 32 on periaatekuva levylinjan uudesta ekstruuderista.



Kuva 32. Ekstruusiolinjan uusi ekstruuderin

Uuden ekstruuderin mukana toimitettiin myös uusi ruuvi. Ruuvin geometria on suunniteltu valmistajan toimesta ja geometrialla on tavoiteltu mahdollisimman korkeaa sekoituvuutta noin 300kg/h tuotolla.

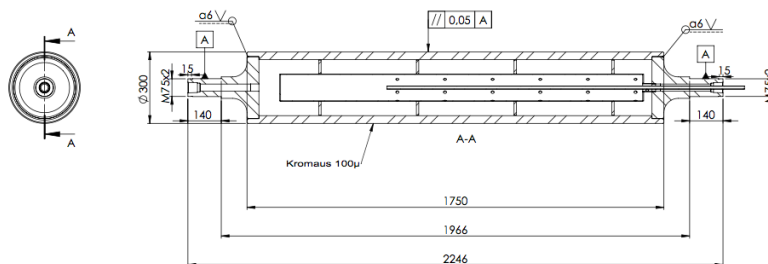
Ruuvin geometriasta voidaan erottaa monia erilaisia kierreyhdistelmiä, sekä erillinen sekoitusvyöhyke ruuvin loppupuolella, ennen suutinta. Ekstruuderin mukana tilatun uuden ruuvin profiilipiirustus on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33. Uuden ekstruuderin ruuvin profiili

2.3.2 Valssiyksikkö

Valssiyksikön runko säilytetään vanhasta linjasta, mutta itse valssirummut uusitaan kokonaan. Valssirumpujen tärkein ominaisuus on johtaa lämpöä muovilevystä rumpujen sisällä virtaavaan jäähdytysvetteen tai -öljyyn. Ennen rumpujen tilaamista selvitettiin jo olemassa olevien valssien pätyjen lämpötilaeroja. Polyeteenin lämpötilaherkkyuden vuoksi pyrittiin siihen, että päiden lämpötilaero olisi korkeintaan $1 - 2^{\circ}\text{C}$. Mittaustuloksissa havaittiin jo käytössä olevien rumpujen päiden lämpötilaeron olevan jopa $5,1^{\circ}\text{C}$. Mittaustulokset on esitetty liitteessä 2. Uudet valssirummut toteutettiin tekniikalla, jota ei oltu vielä aikaisemmin kokeiltu riittävän lämpötilatasapainon aikaansaamiseksi. Valssirummun piirustus on esitetty kuvassa 34.



Kaikki kolme valssia täytyy olla samalla halkaisijalla $\pm 0,015$

Kuva 34. Valssiyksikön uusien valssirumpujen rakenne

Uusien valssirumpujen päiden lämpötilaerojen taseus on toteutettu rakenteella, jossa jäähdytysvettä johdetaan sisään rumpun molemmista päistä. Rumpun toisesta päästä vettä syötetään ainoastaan puoliväliin asti, jolloin toisesta päästä sisään tullut ja hiukan lämmennyt vesi saadaan jäähdytettyä uudelleen. Kahdesta suunnasta virtaavalla vedellä pyritään pääsemään korkeintaan 1°C lämpötilaeroon.

2.3.3 Lisäjäähditys

Levyekstruusiolinjan modernisointiprojektissa päädyttiin ratkaisuun, jossa lisäjäähdetyksenä käytetään ainoastaan huoneilmaa. Vanhan linjan pyöreät tuulettimet eivät jäähdyt-

täneet levyä tasaisesti vain ainoastaan kapealta alueelta, jolloin levyyn syntyi lämpötilaeroja. Linjan jäähdytysrullastoon kuitenkin tehtiin muutoksia lisäämällä pituutta noin kaksinkertaiseksi. Kun jäähdytysmatka kaksinkertaistui, saatiin lisää jäähdytystehoa, mutta vältyttiin myös tuulettimien aiheuttamilta lämpötilaeroilta.

Rullastoa suunniteltaessa jätettiin kuitenkin mahdollisuus ilmaveitsien käyttöön jäähdytyksessä. Tulevaisuudessa esimerkiksi paksummat levyt saattavat tarvita jäähdytysmatkan lisäämisen lisäksi myös muuta lisäjäähdytystä, jolloin ilmaveitset voivat olla ratkaisu tasaiseen ja tehokkaaseen jäähdytykseen.

2.3.4 Työtavat ja työohjeiden päivittäminen

Laaduntuottokyvyn perusta on prosessin tunteminen ja työtapojen ja menetelmien standardointi. Kun työhön on selkeät ohjeet ja työtavat on standardoitu, vähenee virheen mahdollisuus merkittävästi. Toisin sanoen tavoitteena on, että ei anneta mahdollisuutta virheeseen, kun kaikki on ohjeistettu ja vikatilanteisiin on tarkat toimintaohjeet. Vaikka työohjeissa on toimintaohjeet myös vikatilanteisiin, pitäisi työohjeiden pyrkiä ehkäisemään mahdollisia vikatiloja ennen kuin ne ehtivät syntyä.

Päivitettyihin työohjeisiin on lisätty toimintaohjeet yleisimpien vikatilojen, kuten aaltojen, raitojen ja muiden pintavirheiden poistamiseen. Myös kirjauksien tekemiseen on lisätty oma kohta, jotta jatkossa kyvykkyyden ja huomioiden analysointi olisi helpompaa, eikä dataa tarvitsisi erikseen järjestellä. Päivitetyt työohjeet löytyvät liitteestä 3.

3 LAMINOINTI JA LAMINOINTIYKSIKÖN INTEGROINTI

3.1 Laminointi ja sen vaatimukset

Laminoinnilla tarkoitetaan yleisesti kahden tai useamman materiaalin yhteen liittämistä tai liimaamista. Tärkeintä kahden erilaisen materiaalin yhteen liittämisessä on vastakaisten pintojen pintaenergiat. Kun liimattavien kappaleiden pintaenergiat ovat oikeat, pintojen välille syntyy niin kutsuttu kastuminen. (17)

Laminoinnissa tietenkin tärkeää on pintojen ehdoton puhtaus. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävässä laminoinnissa pintojen puhtaus ei ole ongelma, koska levy laminoidaan heti, kun se on ekstrudoitu, eikä pinnalle pääse epäpuhtauksia. Myös teipin liimapinta on vapaa epäpuhtauksista, sillä teippi on rullattuna, eikä liimapintaa paljasteta kuin juuri ennen levyn pintaan liittämistä. Teippilaminointi vaatii tasaisen pinnan, johon teippi liimataan. Pinta ei myöskään saa olla liian kuuma, jottei teipin liima ala sulaa levyn korkean lämpötilan vuoksi. (41)

3.2 Laminointiyksikön komponentit

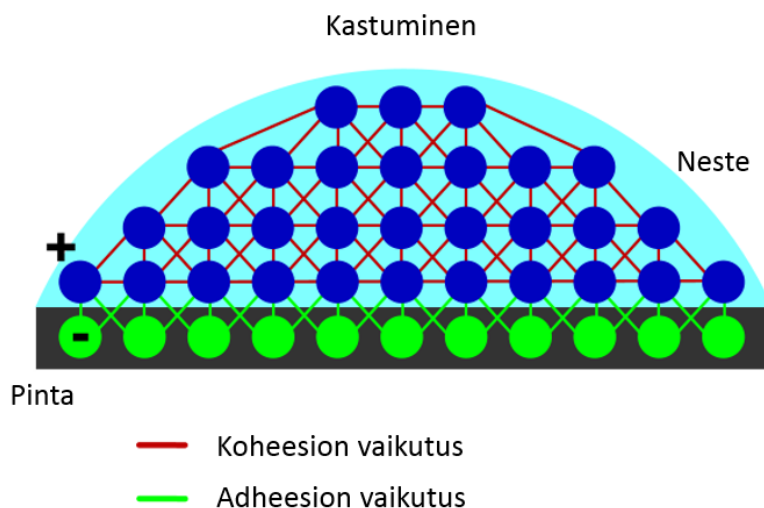
Laminointiyksikön tärkein komponentti on rullateline, johon teippirulla ripustetaan ja lukitaan paikalleen tarkoituksenmukaisilla stoppareilla. Ilman stoppareita rulla pyörisi vapaasti akselin päällä, jolloin teippi saattaisi venyä epätasaisesti tai jopa katketa kokonaan. Stopparit varmistavat, että rulla pyörii tasaisesti akselinsa ympäri vähentäen rypyjä ja venymiä teippipinnassa.

Rullatelineen akselin pyörimistä rajoittaa jarru, joka antaa akselin pyöriä linjan vauhdin mukaisesti, mutta ei koskaan päästä teippiä löysälle. Jos teippi löystyy niin ryppyjen riski merkittävästi ja teippi saattaa liimautua levyyn liian aikaisin, levyn lämpötilan ollessa vielä liian korkea.

Teippi ohjataan ja painetaan korkealla paineella levyn pintaan linjan vetotelalla. Vetotela määrää myös teipin syöttönopeuden vetämällä sitä levyn mukana rullalta.

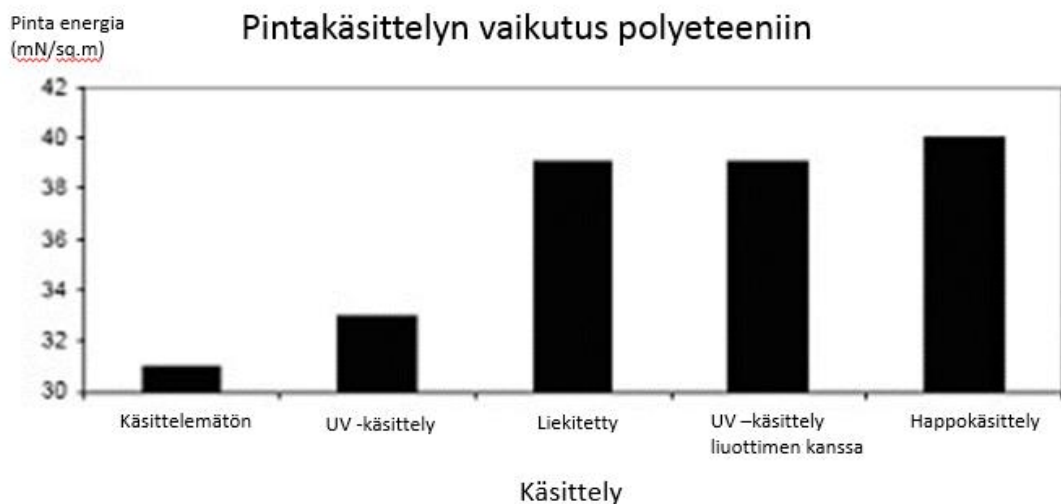
3.3 Materiaalit ja periaate

Teippilaminoinnissa nimensä mukaisesti liimataan teippiä kappaleen pintaan. Teippejä voidaan liimata lähes kaikille pinnoille. Rasvaiset muovit, kuten polyeteeni ovat vaikeimpia teippausalustoja niiden alhaisen pintaenergian vuoksi. (17) Kun kahta eri materiaalia liimataan toisiinsa, liitoksen lujuuteen vaikuttaa, adheesio ja koheesio. Adheesiolla tarkoitetaan liimapinnan ja laminoitavan alustan välistä sidosta ja koheesiolla liimapinnan sisäistä sidosta. (16) Kun materiaaleja liitetään toisiinsa, tulee niiden pintaenergioiden olla riittävän lähellä toisiaan, jotta niiden välille syntyy ilmiö nimeltä kastuminen. Kastumisella tarkoitetaan ilmiötä, jossa päälle levitettävä aine levittäytyy mahdollisimman laajalle alueelle, jotta alustan ja aineen välinen sidosvoima olisi mahdollisimman korkea (17). Kuvassa 35 on esitetty liitokseen vaikuttavat adheesio ja koheesio ja niihin liittyvä kastuminen.



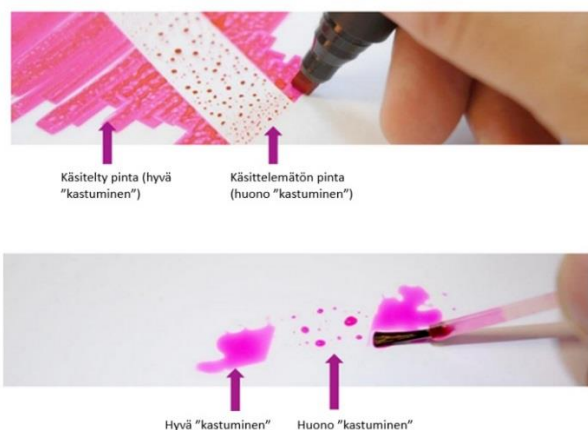
Kuva 35. Adheesio, koheesio ja kastuminen (28)

Kappaleiden pintaenergiaa voidaan muokata kemiallisilla ja fysikaalisilla koronointikäsitelyillä. Kun liitettävän aineen, kuten teipin, pintaenergia on pienempi kuin alustan, jolle on tarkoitus liittää, tapahtuu kastuminen spontaanisti ilman erikoiskäsittelyä. Kun liitettävän aineen pintaenergia on korkeampi kuin alustan, pitää alustan pintaenergiaa nostaa esimerkiksi koronointikäsitelyllä. (17) Seuraavana on esitetty kuva 36 jossa kuvataan erilaisten pintakäsittelyiden vaikutuksesta polyeteenin pintaenergiaan.



Kuva 36. Pintakäsittelyiden vaikutus polyeteenin pintaenergiaan (17)

Pintaenergian tasoa voidaan testata nopeasti riittävällä tarkkuudella DYN-kynillä. Kun kynän jälki jää hyvin testattavan kohteen pintaan, eikä lähde helmeilemään kolmen sekunnin kuluessa, on testattavan kohteen pintaenergia korkeampi kuin kynässä ilmoitettu arvo. (18) Testimenetelmä on esitetty seuraavassa kuvassa 37.



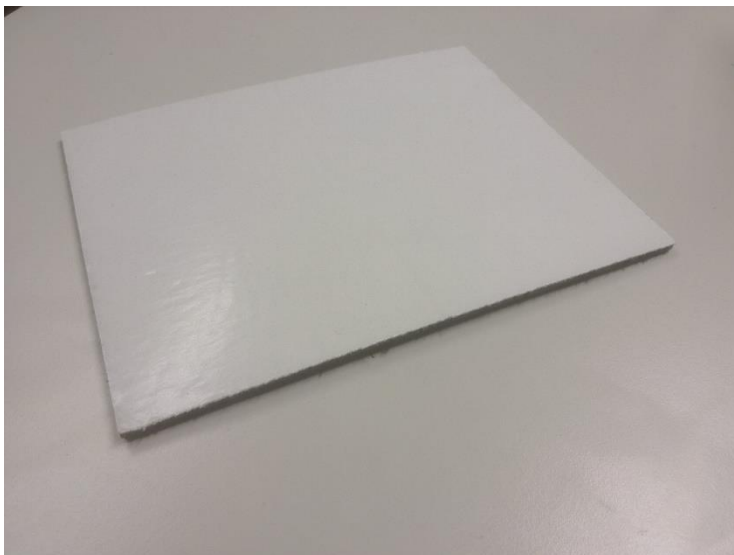
Kuva 37. Pintaenergian testaaminen (29)

3.3.1 Alustavat laminoitikoheet

Alustavissa laminoitikoheissa testattiin yhden teippitoimittajan kolmea eri teippilaatua, jotka valikoituivat prosessiin niiden polyeteeniin liimautumisominaisuuksien vuoksi. Alustavassa selvitystyössä käytettiin apuna teippitoimittajan asiantuntemusta polyeteenilevyyn teippaamisessa.

Ensimmäinen vaihe alustavissa teippauskokeissa oli HDPE-levyn ajaminen levyekstruusiolinjalla. Levyt ajettiin 4,0 mm paksuiksi ja valmiista levystä tehtiin 100 x100 mm testikappaleita, joihin teipit liimattiin. Yrityksessä on käytössä useita eri HDPE-laatuja ja testit tehtiin viidelle eri materiaalille mahdollisten erojen havaitsemiseksi.

Kaikkiin viiteen muovimateriaaliin liimattiin koko pinnan kokoinen teippi, jokaisesta eri teippilaadusta, jonka jälkeen levypalat laitettiin pakkaseen -20°C 24 h. Pakkasjakson jälkeen laminoitipalat otettiin pois pakkasesta yksitellen ja niitä tarkasteltiin visuaalisesti mahdollisten adheesio- ja koheesio -ongelmien varalta. Visuaalisen tarkastelun jälkeen teipin tartuntaa arvioitiin repimällä suojapaperin kulmaa ja tarkastelemalla, lähteekö varsinainen teippi suojapaperin mukana irti levystä. Seuraavassa kuvassa 38 on esitetty laminoitikoheen testipala.



Kuva 38. Alustavien teippilaminointikoheiden testipala

3.4 Laminointiyksikön integrointi

Laminointiyksikköä suunniteltaessa tehtiin yksinkertaisesta laminointiyksiköstä prototyyppi, joka liitettiin jo alkuperäisenä linjasta löytyneisiin akselin paikkoihin. Akselin kiinnityskohdissa oli valmiina myös hidastimet, jotta rulla ei pääsisi pyörimään vapaasti. Teippi rullautuu auki muovilevyn vetämänä ja siten aina samalla nopeudella levyn kanssa, jotta vekkejä ei muodostuisi.

Alustavat linjakokeet tehtiin ainoastaan yhden rullan yksiköllä, mutta lopulliseen yksikön suunniteltiin niin sanottu ”revolverivaihdin”. Testilaitteisto on seuraavassa kuvassa 39.

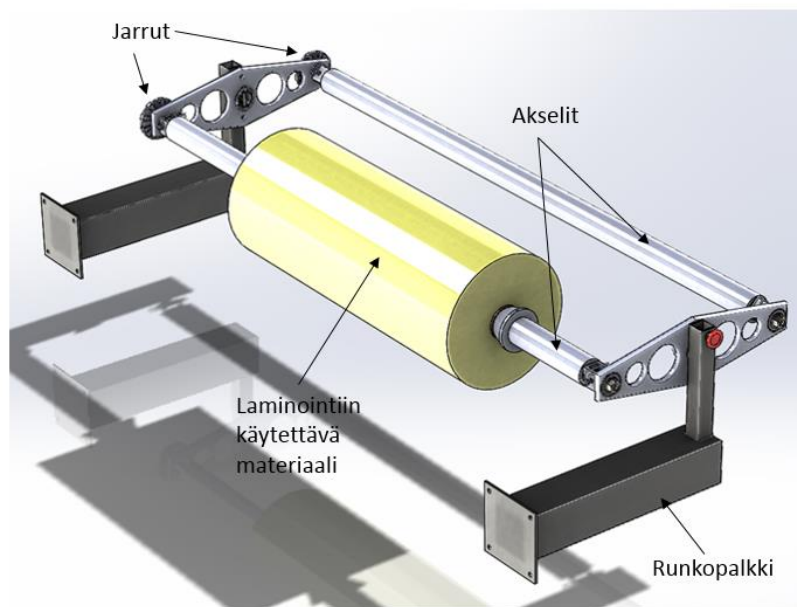


Kuva 39. Laminointiyksikön prototyyppi

Laminointiyksikkö suunniteltiin 3D -mallinnuksella kiinteäksi linjan osaksi. Laminointiyksikön akseleista mallinnettiin 60 mm paksut, jotta ne sopivat useimpien isompien teippirullien holkkeihin. Rullan lukitus ja keskittäminen tapahtuvat kartiomaisilla sovitteilla, jotka työnnetään osittain rullan holkin sisään ja lukitaan pultilla.

Laminointiyksikön käyttöasento on vaakatasossa rullat vierekkäin, jotta laminointi ja rullan vaihto onnistuvat helposti yhtä aikaa, kun molemmat puolet ovat mahdollisimman alhaalla. Aina kun rullaa vaihdetaan, käännetään tyhjä rulla pois laminointiprosessin tieltä lukitustappia vetämällä.

Laminointiyksikön paikaksi linjalla valittiin valssirumpujen ja vetotelaston välissä olevan rullapöydän yläpuolinen osa. Laminointiyksikön luonnollinen paikka oli ennen teipin levyyn kiinni painavaa vetotelastoa. Kun teippi ja levy painetaan yhteen voimakkaalla paineella, syntyy vahva adheesio muovilevyn ja teipin välille, eikä erillisiä painimia tarvitse käyttää lainkaan. Muovilevy ei myöskään saa olla liian kuuma, sillä liian kuumalle levylle teippaaminen saattaa sulattaa ja siten vaurioittaa teipin liimaa. Jos liima vaurioituu ei välttämättä saavuteta riittävän lujaa adheesiota. (41) Kuvassa 40 on esitetty laminointiyksikön 3D -mallinnettu periaatekuva.



Kuva 40. 3D-mallinnettu laminointiyksikkö

Laminointiyksikön suunnittelussa ja mallinnuksessa pyrittiin mahdollisimman yksinkertaiseen, mutta silti toimivaan ratkaisuun. Yksikössä on todella vähän komponentteja ja se koostuu yksinkertaisesti valmistettavista osista ja ostokomponenteista. Akselien ja käyttäjän pyörittämien osien materiaaliksi valittiin alumiini keveytensä vuoksi helpottamaan rullan vaihtoja.

Laminointiteknologian yhdistäminen ekstruusiolinjaan on yritykselle uusi alue, joten tekniikka haluttiin pitää yksinkertaisena. Tulevaisuudessa laminointiyksikköön voidaan lisätä esimerkiksi pituuslaskuri tai automaattinen vaihtaja riippuen tulevaisuuden laminointitarpeista.

4 LOPUKSI

4.1 Tulokset

Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli levyekstruusiolinjan modernisointiin valittujen komponenttien ja niiden valintaan johtaneiden syiden tarkastelu, arviointi ja dokumentointi. Tässä opinnäytetyössä mainittuja seikkoja ja valintoihin johtaneita syitä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa myös muissa modernisointi- ja kehitysprojekteissa, joita yrityksessä tullaan melko todennäköisesti tekemään lyhyelläkin aikavälillä.

Laaduntuottokyvyn kehittämisen saralla selvitettiin mistä levyekstruusiolinjan ongelmat ja alhainen tuottokyky johtuvat. Laaduntuottokyvyn kehitysprojektin aikana läpikäydyn tuotantokirjausdatan perusteella ei voida varmasti sanoa mikä suurin ongelmien aiheuttaja on ollut. Tuotantokirjausdata on osittain niin puutteellista, ettei merkattuja tunteja ja huomiokirjauksia voi tarkasti osoittaa tietyn ongelman piiriin. Olemassa olevan datan suurimmaksi yksittäiseksi ongelmien aiheuttajaksi osoittautui värinvaihdot ja värinvaihtojen jälkeiset raidat levyn pinnassa.

Kirjausdatasta tehdyn kyvykkyyksianalyysin perusteella ekstruuderin tuottokyky oli keskiarvallisesti noin 70 kg/h. Koska kirjausdata oli myös huomiokirjauksien osalta puutteellista, ei voida täysin varmasti sanoa kuinka tarkka analyysin tulos on. Verrattaessa analyysin tulosta ekstruuderivalmistajan ilmoittamaan 140 kg/h teoreettiseen tuottoon niin huomataan, ettei tuoton osalta olla tavoitteessa. Eron ollessa lähes 50 % voidaan olettaa, että linjan ongelmat ovat pudottaneet tuoton nykyiselle alhaiselle tasolle. Levyekstruusiolinjan päivitettyissä työohjeissa on selkeät ohjeet tuotantokirjausten täyttämiseen, jotta vastaavilta puutteilta vältyttäisiin jatkossa.

Levyekstruusiolinjan yhteyteen rakennettava laminointiyksikkö saatiin suunniteltua ja mallinnettua. Prototyyppejä toimitettiin linjalla hyvin ja alustavien laminointikokeiden perusteella valittu teippi toimii yrityksen tarpeissa hyvin ja muodostaa vahvan adheesioyhteyden polyeteeni-levyn kanssa. Opinnäytetyössä esitettiin myös laminoinnin teoriaa, josta saattaa olla hyötyä tulevaisissa laminointitarpeissa.

4.2 Päätelmät

Levyekstruusiolinjan olemassa olevan tuotantokirjausdatan perusteella suurimmaksi ongelmien aiheuttajaksi nousi värienvaihdot ja raidat levyn pinnassa, jotka todennäköisesti ainakin osittain johtuvat värienvaihdosta linjalla. Raidat levyjen pinnassa ovat saattaneet johtua ekstruuderin tasosuuttimen heikosta kunnosta ja värin palamisesta kiinni suuttimen sisälle. Ongelma on pyritty ratkaisemaan suuttimen uudelleen pinnoituksella. Suutin on ollut uudelleenpinnoituksen jälkeen käytössä vasta muutamia ajoja, eikä kertyneen kokemuksen perusteella voida vielä tehdä linjausta, onko pinnoittaminen auttanut raitaongelmiin. Värienvaihtoihin liittyvää ohjeistusta on pyritty selkeyttämään päivitettyissä työohjeissa. Värienvaihtoihin liittyviä työtapoja ja ohjeistuksia olisi hyvä kouluttaa linjalla työskenteleville henkilöille, jotta asiat tehtäisiin aina samalla tavalla. Työn standardointi vähentää inhimillisen virheen mahdollisuutta ja antaa enemmän mahdollisuuksia syy-seuraussuhteiden kartoittamiseen. Kun syy-seuraussuhteet ovat selvillä, ovat tilanteet linjalla esimerkiksi värienvaihdon suhteen todennäköisesti paremmin hallinnassa.

Yrityksen kannattaa panostaa edelleen levyekstruusiolinjan prosessin kehittämiseen. Tässä opinnäytetyössä esiteltyjä muutostoimenpiteitä ollaan käytännössä vasta aloittamassa ja teorioiden testaaminen on vasta edessä. Projektin dokumentointia tulisi jatkaa edelleen mahdollisimman tarkasti, jotta oikeat syy-seuraussuhteet voidaan osoittaa ja perustella. Syy-seuraussuhteita komponenttien ja kyvykkyyden parantamisen välillä voidaan käyttää hyväksi myös yrityksen muilla tuotantolinjoilla. Yrityksen muita tuotantolinjoja tullaan tulevaisuudessa päivittämään ja tarkastelemaan samoin kuin levyekstruusiolinjaa.

Vaikka levyekstruusiolinja modernisoidaan lähes kokonaan, oli työohjeiden päivittäminen ja työtapojen standardointi ensiarvoisen tärkeää. Projektin edetessä törmättiin usein puutteelliseen dokumentointiin niin työohjeissa kuin tuotantokirjauksissakin. Kun linja saadaan muutostöiden jälkeen toimintaan, tulee kiinnittää erityistä huomiota huomiokirjausten, tuntien, tuoton ja mittaustulosten järjestelmälliseen dokumentointiin.

Tulevaisuudessa mittaaminen tulisi siirtää suurelta osin linjan alkupään parametrien mittaamiseen ja vaihtelun seuraamiseen. Levyekstruusiolinja on pitkä ja usein ajonopeudet melko alhaisia, joten mitattaessa vasta lopputuotetta voidaan hukata useita kymmeniä minutteja. Kun linjan päässä huomataan, että mitat eivät pysy toleransseissa, pitää konetta säätää ja vaikutus linjan loppupäässä näkyy vasta pitkän ajan kuluttua. Yleensä

kaikki tänä aikana tuotettu levy joudutaan granuloimaan. Tuotteen mittaaminen jo linjan alkupäässä edellyttää että prosessin kyvykkyys on tiedossa. Kun kyvykkyys on tiedossa, osataan arvioida, millainen lopputuotteesta tulee, kun otetaan huomioon esimerkiksi kuituma. Kun tiedetään ajoarvot, joilla päästään halutunlaiseen tuotteeseen, voidaan linjalla alkaa mahdollisesti käyttää automatiikkaan ja statistiikkaan perustuvaa prosessinohjausta. Automatiikan käyttö säädöissä ja esimerkiksi pakkaamisessa saattaa tulla ajankohtaiseksi hyvinkin pian ja levyekstruusiolinja voisi olla hyvä pilotti verrattain yksinkertaisen teknologiansa vuoksi.

LÄHTEET

1. Plastics Technology. Knowledge center. Profile extrusion. Viitattu 8.7.2017
<http://www.ptonline.com/knowledgecenter/Profile-Extrusion/profile-extrusion-fundamentals/Extrusion-methods>
2. Six sigma. Lean. vaihtelu ja PDCA. Viitattu 10.7.2017
<http://www.sixsigma.fi/fi/lean/vaihtelu-ja-pdca/>
3. Jokinen, M. Tilastollisten menetelmien hyödyntäminen laadun suunnittelussa. Kehittämiprojekti. Tekniikan erikoisammattitutkinto. NMC Cellfoam Oy. 2013.
4. Vitasheet froup. The company. Extrusion technology. Viitattu 28.7.2017
https://www.vitasheetgroup.com/en/extrusion_technology.htm
5. SME, Fundamental Manufacturing Processes Study Guide, DV04PUB12, Extrusion processes, viitattu 1.8.2017
6. Hyrylä, M. Tohtorikoneen käyttöönotto ja koeajo. Opinnäytetyö. Konetekniikan koulutusohjelma. Tekniikan ala. Lappeenranta: Saimaan ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.8.2017 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130975/Hyryla_Marko.pdf?sequence=1&isAllowed=y
7. Järvinen, P.; Viitanen, M.; Lähteenkorva, K.; Minkkinen, J.; Kärhä, V. & Mäkinen, M. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Porvoo: Bookwell Oy
8. Sección Bilingüe de Tecnología en Inglés. Plastics. Viitattu 2.8.2017
<http://www.petervaldivia.com/plastics/>
9. Polyplastics. Coloring methods. Viitattu 2.8.2017 <https://www.polyplastics.com/en/product/safety/coloring/>
10. Polyone. UV and Light Blocking Additives. Viitattu 2.8.2017 <http://www.polyone.com/products/polymer-additives/uv-and-light-blocking-additives>
11. Dilhan M. Kalyon. Mustapha Khemis. Role of slip additives in blown film extrusion of low density polyethylenes. Viitattu 2.8.2017
<http://www.hfmi.stevens.edu/publications/019.PDF>
12. Muoviteollisuus Ry. Muovitieto. Muovit. Viitattu 25.9.2017 <http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/>,
13. Uschanov, M. ABS-levylinjan leikkurin modifiointi. Opinnäytetyö. Käyttöpainotteen autotekniikka. Auto- ja kuljetustekniikka. Turku: Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 25.9.2017 https://theseus.fi/bitstream/handle/10024/54475/Uschanov_Marek.pdf?sequence=1&isAllowed=y
14. Muovipankki light. Viitattu 25.9.2017 http://muovifakta.fi/sites/default/files/Muovipankki_light.pdf
15. Plastics technology. Columns. Troubleshooting: Sheet Dies Action Plan for Keeping Your Sheet Dies in Line. Viitattu 25.9.2017

- <https://www.ptonline.com/columns/troubleshooting-sheet-dies-action-plan-for-keeping-your-sheet-dies-in-line>
16. Kuparinen, K. Muovien liimaus. Kandidaattityö. LUT Metalli. Teknillinen tiedekunta. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 17.10.2017 <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/64219/nbnfi-fe201010262637.pdf?sequence=3>
 17. Adhesives and sealants. Adhesives and sealants overview. Structural design. Surface energy and wetting. Viitattu 18.10.2017 <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/surface-energy-and-wetting>
 18. Vetaphone. Products. Accessories. Dyne-testing. Viitattu 19.10.2017 <http://www.vetaphone.com/products/accessories/dyne-testing/>
 19. Fabrication of Plastics. Extrusion. Viitattu 19.10.2017 <http://www.petervaldivia.com/fabrication-of-plastics/>
 20. Made in China. Plastic sheet extrusion machine. Viitattu 19.10.2017 <http://pic.made-in-china.com/4f0j00OeFTCmAsdDcy/Plastic-Sheet-Extrusion-Machine-ASPK-.jpg>
 21. Plastics technology. Articles. `Skew` Rolls for more uniform sheet. Viitattu 25.10.2017 <https://www.ptonline.com/articles/skew-rolls-for-more-uniform-sheet>
 22. Tech plas extrusions. Plastic extrusion. Viitattu 25.10.2017 <http://techplas.com.au/plastic-extrusion/>
 23. Chemical Foaming Agent Extrusion Processing Guide. Viitattu 28.10.2017 <http://www.bergeninternational.com/extrusion-extruding-chemical-foaming-agents-plastics-processing-guide.php>
 24. Plastics technology. Extrusion: Barrier Screws and Mixers. Viitattu 28.10.2017 <http://www.ptonline.com/columns/extrusion-barrier-screws-and-mixers>
 25. Plastic Extrusion Feed Screws. Viitattu 28.10.2017 <http://www.feed-screws.com/shownews/506>
 26. Jim frankland. Column. A roll is a roll is a roll. Viitattu 28.10.2017 <http://www.ptonline.com/columns/a-roll-is-a-roll-is-a-roll>
 27. Greenzyme. Bt processing. Greenzyme oil releasing mechanism. Viitattu 7.11.2017 <http://greenzyme.btprocessing.com/greenzymeoilreleasemechanism.html>
 28. Lotalenterprises. Method. Application of the test inks/pens. Viitattu 7.11.2017 <http://lotalenterprises.com/method-od-application/>
 29. Esde maschinentechnik. Products. Components. Extrusion dies. Viitattu 10.11.2017 <https://www.esde-maschinentechnik.de/en/products/components/extrusion-dies>

30. Järvinen, P.; Immonen, K.; Maksimainen, R. & Lähteenmäki, E. 2017. Muovit ja muovituotteiden valmistus. Porvoo: Bookwell Oy
31. Thomasnet. Guides home. Plastics and rubber. Plastic Co-extrusion. Viitattu 10.11.2017 <https://www.thomasnet.com/articles/plastics-rubber/plastic-coextrusion/>
32. Plastics technology. Articles. Sheet extrusion line. Viitattu 10.11.2017 <https://www.ptonline.com/articles/sheet-extrusion-line>
33. Paulson training programs Inc. Home. Extrusion – Pressure, Temperature, Heating and Cooling Control Viitattu 11.10.2017 <https://www.paulsontraining.com/extrusion-pressure-temperature-heating-cooling-control/>
34. Omega machinery. Home. News. Solution for Your Single Extruder: Output & Consumption. Viitattu 10.11.2017 <http://www.omegabarrelscrew.com/solution-for-your-single-extruder-output-consumption-a-69.html>
35. Plastics technology. Articles. Extrusion and compounding npe: Flexibility, Speed and Quality. Viitattu 10.11.2017 <https://www.ptonline.com/articles/extrusion-and-compounding-at-npe-flexibility-speed-quality-rule-the-day>
36. Eputec. Home. Air Knives. Full flow air knife. Viitattu 11.11.2017 <https://www.eputec.de/en/en-exair-airknife/en-exair-airknife-fullflow-airknife/>
37. Taloon yhtiöt Oy. Etusivu › Rakennustarvikkeet › Kattorakenteet, vesikatto › Kattoluukut. Viitattu 11.11.2017 <https://www.taloon.com/kattoluukku-ormax-savitiilenpunainen/ORMAX-308300301/dp?openGroup=14000>
38. Buhler group. Products. Guillotine cutter MS. Viitattu 25.11.2017 <http://www.buhlergroup.com/northamerica/en/27860.htm#.Whltx4ZI-Uk>
39. Double E. Engineering excellence. Home > Products > Slitting Systems / Knife Holders / Slitting Accessories. Viitattu 25.11.2017 <http://ee-co.com/products/slitter-positioning-systems>
40. Yritys. Tuotannon työohjeet.
41. Gergotape. Industrial adhesive tapes. Technical industrial adhesive tapes guide. 2017
42. Kari, J. Kaapelikourun kannen valmistaminen ekstruusiolla. Opinnäytetyö. Paperi- tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma. Kemiantekniikka. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 29.11.2017 http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58336/Kari_Jussi.pdf?sequence=2&isAllowed=y
43. Salomäki 1999, s. 175, Montgomery 1997, s. 431, Franze 2011/2012

Valssirumpujen lämpötilamittaukset

Vasen				Oikea		
YLÄ	110,4°C	113,2°C	111,4°C	Asetus	109,6°C	Erotus 1°C
KESKI	106,6°C	109,9°C	110,2°C	Asetus	96°C	3,6°C
ALA	68,7°C	69,2°C	69,1°C	Asetus	59°C	0,4°C

Vasen				Oikea		
YLÄ	113,5°C	115,4°C	115,8°C	Asetus	113,4°C	2,3°C
KESKI	105,1°C	106°C	104,6°C	Asetus	103,2°C	0,5°C
ALA	76,1°C	77°C	71°C	Asetus	70,8°C	5,1°C

Vasen				Oikea		
YLÄ	111,1°C	113,1°C	110°C	Asetus	104°C	1,1°C
KESKI	108,5°C	112,3°C	107,3°C	Asetus	92°C	1,2°C
ALA	82,8°C	79,7°C	78,2°C	Asetus	73°C	4,6°C

Alustavien laminoitukokeiden tulokset

Levyn liimakokeet (2 -puolisella teipillä)

Muovi 1				Muovi 4			
Ilman koronaa				Ilman koronaa			
Teippi X	Pysyy hyvin, hankala repiä pois			Teippi X	Pysyy, repeää nyppimällä		
Teippi Y	Pysyy, repeää irti nyppimällä			Teippi Y	Pysyy, repeää nyppimällä		
Teippi Z	Repeytyy taustan mukana pois			Teippi Z	Repeää isoina palasina		
Koronalla				Koronalla			
Teippi X	Pysyy todella hyvin, ei repeä pois			Teippi X	Pysyy todella hyvin, ei repeä		
Teippi Y	Pysyy todella hyvin, ei repeä pois			Teippi Y	Repeää nyppimällä		
Teippi Z	Pysyy, repeää nyppimällä isoina paloina			Teippi Z	Pysyy OK		
Muovi 2				Muovi 5			
Ilman koronaa				Ilman koronaa			
Teippi X	Repeää pois taustan kanssa			Teippi X	Repeytyy pois taustan kanssa		
Teippi Y	Pysyy, repeää pois nyppimällä			Teippi Y	Pysyy, repeää nyppimällä		
Teippi Z	Repeytyy isoina paloina pois			Teippi Z	Repeää osittain taustan mukana ja osittain isoina paloina		
Koronalla				Koronalla			
Teippi X	Pysyy todella hyvin, ei repeä			Teippi X	Pysyy todella hyvin, ei repeä		
Teippi Y	Pysyy OK			Teippi Y	Pysyy todella hyvin, ei repeä		
Teippi Z	Pysyy, rikkoutuu nyppimällä			Teippi Z	N/A		
Muovi 3							
Ilman koronaa							
Teippi X	Repeää taustan mukana						
Teippi Y	Pysyy ok, repeää						
Teippi Z	Pysyyok, repeää isoina paloina						
Koronalla							
Teippi X	Pysyy todella hyvin, ei repeä						
Teippi Y	Pysyy hyvin, hiukan repeää						
Teippi Z	N/A						

Päivitetty levykstruusiolinjan työhohjeet

LEVYLINJA TUOTTEIDEN MITTAUS JA TULOSTEN KIRJAAMINEN

Levytuotteiden mitat tarkistetaan aina ajon alkaessa sekä aina, kun tehdään säätöjä tai levykoko vaihtuu.

Seuraavassa taulukossa on esitetty levytuotteiden mittauskohteet.

<u>Mittauskohde</u>	<u>Miten mitataan</u>	<u>Toleranssi</u>	<u>Huomiot</u>
Levyn paksuus molemmilta sivuilta ja keskeltä	Paksuusmittari	+/- 0,2 mm	Linjakohtainen paksuusmittari löytyy linjan kirjauspöydältä
Levyn leveys	Rullamitta	+/- 2,0 mm	Huomioi, että rullamitan kunto on riittävän hyvä
Levyn pituus	Rullamitta	+/- 2,0 mm	Huomioi, että rullamitan kunto on riittävän hyvä
Ristimitta	Rullamitta	+/- 2,0 mm	Huomioi, että rullamitan kunto on riittävän hyvä

Mittauspöytäkirjat kerätään talteen tarkempaa analysointia varten tuotannonsuunnittelun toimesta aina, kun pöytäkirja tulee täyteen.

Mittauspöytäkirjan käyttö:

- Kirjataan ajopäivämäärä, mittaaja ja ajon tehnyt vuoro
- Kirjataan tuote mahdollisimman tarkasti nimikkeineen (esimerkiksi, 2080000, LEVYT ASIAKKAAN RAAKA-AINE, ruskea)

- Mittauspöytäkirjaa täytetään aina, kun ajo alkaa, vuoro vaihtuu, konetta säädetään tai linjalla ilmenee huomio tai ongelma.

HUOMIOKIRJAUKSET

Huomiokirjauksiin ja ongelmatilanteisiin on määritelty omat virhekoodinsa, jotka täytetään tuotantokirjaukseen. Ongelmien ilmetessä tulee virhekoodien lisäksi kirjata huomiokenttään mahdollisimman tarkasti millainen ongelma ja/tai huomio oli kyseessä ja mitä tilanteen ratkaisemiseksi on tehty.

Esimerkiksi puhuttaessa roskien aiheuttamista virheistä levyn pinnassa:

OIKEIN: ” Levyn pinnassa roskia, raaka-aine vaihdettu neitseelliseen”

VÄÄRIN: ”Pinta huono”

Huomioiden lisäksi tulee kirjaukseen **AINA** lisätä toimenpiteisiin tai ongelmien ratkaisuun käytetty aika, jotta ongelmien laajuus saataisiin mahdollisimman hyvin selville.

RAAKA-AINEET

- Jotta pystymme tarvittaessa jälkeenpäin selvittämään mistä raaka-aineesta tietty valmistuserä on tehty, on tärkeää, että työmääräimeen ja valmistustapahtumaan kirjataan mitä raaka-ainetta ajossa on käytetty.
- Kun valmistustapahtuman tiedot syötetään järjestelmään, on käytettävä jokaisen raaka-aineen omaa kirjainta sen mukaan mitä raaka-ainetta ajossa on käytetty.

PINNANLAATU

Pintavirheet

Tuotteissa voi esiintyä ainakin seuraavia pintavirheitä:

- pitkittäisiä juovia
- poikittaisia juovia
- naarmuja
- koloja
- kuoppia
- hankautumia
- värivirheitä
- roskia

Ohjeet virheiden tarkasteluun

Tarkasteltavaa pintaa katsotaan normaalissa tehdasvalaistuksessa 1,0 m:n täisyydeltä ja pinnassa sallitaan 2 kpl / m² mitä tahansa ennen mainituista pintavirheistä silloin, kun ne ovat selkeästi näkyvissä. Jos pintavirheitä on enemmän, tuote granuloidaan.

Epäselvästi näkyviä silmiin pistämättömiä virheitä sallitaan 4 kpl / 1 m² silloin, kun selvästi näkyviä virheitä ei ole.

Virheen aiheuttaja on aina selvitettävä ja poistettava, tuotantoa ei saa jatkaa, jos virhe on toistuva. Jos virhe aiheuttaa merkittävää haittaa tuotannon jatkumiselle, on tilanteesta aina informoitava tuotannonsuunnittelua ja konerikkojen sattuessa myös kunnossapitoa, jotta tilanne saadaan ratkaistua.

Työmääräimeen kirjataan selkeästi kaikki pintavirheet tuotteissa, jotta jäljitettävyys säilyy.

VÄRILLISTEN TUOTTEIDEN AJO

Värien sekoitussuhteet

- Useimmissa väreissä UV-stabilisaattori on valmiiksi mukana, mutta mikäli ei ole, käytetään sekoitussuhdetta 2 % väriainetta ja 1% UV –stabilisaattoria.

- UV –stabilisaattorista on aina maininta väripellettipakkauksen sivussa, jos materiaali sisältää UV-suojan.
- Jos värin pakkauksessa ei ole mainintaa UV-stabilisaattorista, tulee sitä lisätä joukkoon (UV-stab. esim. CESA-light PE 101111).

LEVYTUOTTEISSA KÄYTETYT VÄRIT :

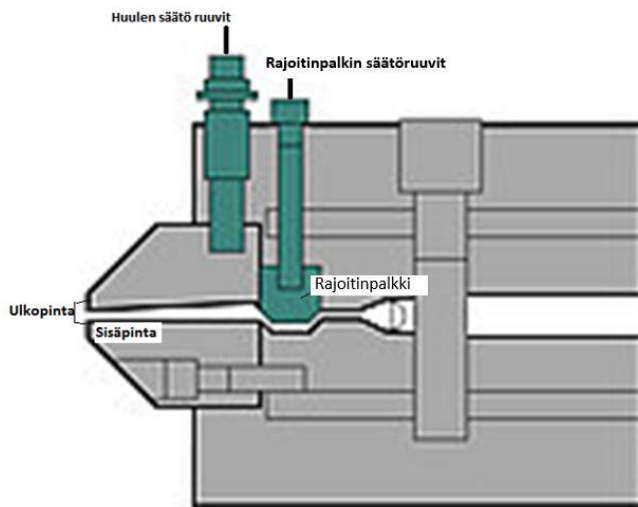
<u>Väri</u>		<u>Tyyppinumero</u>	<u>Toimittaja</u>
Punaruskea	RR750	PE 6A402L	T1
Punainen	RR28	PE 4B484L	T2
		PE 6A201L	T3
Harmaa	RR23	PE 3B415L	T4
		PE 3B063L	T5
Ruskea	RR32	PE6A426L	T6
		PE 6A217L	T7
Vihreä	RR37	PE 8530B	T8
		PE 8B198L	T9
Sininen	RR35	PE 9B831L	T10

TOIMINTA ONGELMATILANTEISSA:

- Työohje suokappaleen suokappaleen raitojen poistoon.
Kesto noin 2 h

Pinnalliset ”huuliraidat”

- Pintaraidat johtuvat useimmiten huulien ulko- tai sisäpintaan kertyneestä ja kiinni palaneesta materiaalista.

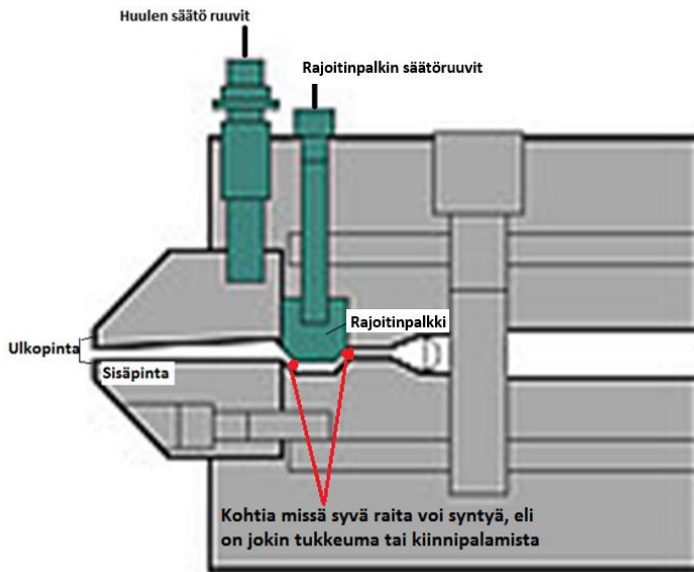


- Pintaraidat poistetaan raaputtamalla huulien ulko- ja sisäpinta puhtaaksi metalliskrapalla. On tärkeää, että raaputtamiseen käytettävä materiaali on alumiinia, jotta suokappale ei naarmuunnu.
- Suurin osa naarmuista syntyvät juuri huulien ulko- ja sisäalueen yhtymäkohdassa.
- Jos skrapaaminen on toistettu muutamia kertoja, eikä ongelma poistu, tulee raaka-ainetta vaihtaa esimerkiksi rouheesta neitseelliseen materiaaliin.

Syvät raidat

- Syvät raidat syntyvät usein tukkeumasta rajoitinpalkin lähialueella tai materiaalin kiinnipalamisesta huulialueelle.
- Syviin raitoihin ei yleensä auta skrapaaminen

- Aloita avaamalla rajoitinpalkki täysin auki ja kiinni muutaman kerran ja nosta lämpöjä 10-30°C tämän yhteydessä. Edelle mainituilla toimilla mahdollinen tukkeuma saattaa lähteä liikkeelle ja ongelma poistua.



- Jos edellä mainittu toimenpide ei auta, ajetaan ruuviin ja suokappaleeseen puhdistusmassaa.
- Puhdistusmassaa on ekstruuderissa tarpeeksi, kun massaa alkaa näkyä suokappaleen suulla.
- Puhdistusmassaa lisätään 50-100 % HDPE massasta.
- Kun massa alkaa näkymään suokappaleesta, sammuta ekstruuderin ja anna massan vaikuttaa 20 min. Vaikutusajan jälkeen ajetaan ekstruuderin läpi puhdasta HDPE:tä noin 10 min.
- Puhdistusmassakäsittely voi tarvittaessa toistaa vielä toisen kerran.
- Jos puhdistusmassakäsittely ei auta, ajetaan n. ¼- ½ kahvikupillinen vettä HDPE:n joukkoon.

Huomio! Vesi höyrystyy voimakkaasti suukappaleessa, mikä ilmenee paukahteluna ja joskus roiskeina. Käyttäkää kuulosuojaimia ja välttäkää seisomasta suukappaleen edessä roiskevaaran takia.

- Edellä mainittuihin toimenpiteisiin kuluu noin 2 h.
- Ellei edellä mainitut toimenpiteet auttaneet ongelmaan aloitetaan välittömästi suukappaleen avaus ja huolellinen puhdistus suukappaleen sisäosille.
- Linjakohtaiset suukappaleen työkalut löytyvät työkalutelineestä linjan yhteydestä. Yhteiset työkalut paineilmatyökaluineen löytyvät työkaluvau-
nuista.

ONGELMANRATKAISUTAULUKKO:

Ongelmanratkaisutaulukko												
Ongelma		"Orange peel" Appelsiininkuorimainen pinta	Epäsäännölliset raidat	Huuliraidat	"Shark skin" Karhea pinta	Näppylät/ kuopat	Aaltoilevat reunat	Korkea kutistuma	Matta pinta	Kaarevat raidat	Levyn aaltoilu/ reunojen käpristyminen ylöspäin	Levyn aaltoilu/ reunojen käpristyminen alaspäin
Tavallisin syy;		Kylmä massa	Kosteus	Roskat ja naarmut	Sulamurtuma	Haihtuvat aineet	Kylmät reunat	Orientoituminen	Kylmät valssit	Massa kylmempää kuin suokappale	Valssien lämpötilat	Valssien lämpötilat
Mahdolliset ratkaisut	Suokappaleen lämmöt	++	+	+	+	-	++		+	++		
	Suokappaleen rako	-	-		++		-	--		-		
	Massan lämpötila	++	+		+	--	+	+	+	--		
	Tuotto				-							
	Materiaalin kosteus		--			--						
	2. Valssirummun lämmöt	+							++			++
	3. Valssirummun lämmöt	+							++		++	
	Syöttöalueen lämmöt									-		
	Suokappaleen puhtaus				++							
	Suokappaleen huulten terävyys				++							

- Käyttö; ++ tarkoittaa merkittävää korjausta positiiviseen suuntaan (esim. lämpötilan nosto). - - tarkoittaa merkittävää korjausta negatiiviseen suuntaan (esim. lämpötilan laskeminen). + ja - tarkoittavat pieniä korjauksia merkin osoittamaan suuntaan. (15)