

Janne Kontas

RAAKA-AINEPROSESSIEN LAADUN- VALVONTA JA KEHITTÄMINEN RUIS- KUVALUTEHTAASSA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Diplomityö
Helmikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Janne Kontas: Raaka-aineprosessien laadunvalvonta ja kehittäminen ruiskuvalutehtaassa
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Materiaalitekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Helmikuu 2020

Tämän diplomityön tavoitteena on löytää kohdeyrityksen raaka-aineiden käsittelyprosessien kehitettävät toiminnot ja niille kehitysehdotukset. Kehitysehdotusten avulla pyritään saamaan yrityksen tuotanto tehokkaammaksi, pienentämään materiaalihukkaa ja -kustannuksia sekä hyödyntämään rouhittu raaka-aine paremmin. Prosessit, joihin etsitään kehitysehdotuksia, ovat raaka-aineen vastaanotto ja säilytys, raaka-aineen kuivaus ja siirto ruiskuvalukoneelle sekä raaka-aineen rouhinta ja uudelleen hyödyntäminen.

Raaka-aineen vastaanotto- ja säilytysprosessissa kehitettävää havaittiin raaka-ainekontin purkamisessa sekä raaka-aineiden varastoinnissa. Nykytilanteessa raaka-ainekontin purkamisessa suurimpina ongelmina havaittiin tehtaan muiden toimintojen tehokkuuden heikkeneminen kontin purkamisen aikana, kontin purkamiseen vaadittava kahden henkilön työpanos sekä tarpeettomat työn välivaiheet kontin purkamisessa. Kehitysehdotuksena näiden ongelmien ratkaisuun esitettiin siirrettävää nousuramppia. Raaka-aineiden varastoinnissa nykytilan haasteena ovat kosteat varastointiolosuhteet sekä säilytystilan puute. Tämän tilanteen ratkaisuksi ehdotetaan uutta telttähallia, jossa on ilmankuivausjärjestelmä.

Raaka-aineen kuivausprosessissa keskeisin ongelma on märän raaka-aineen päätyminen ruiskuvalukoneille. Työssä pohditaan tähän ongelmaan useita eri ratkaisuja, mutta parhaaksi arvioitiin laseranturi, joka mittaa raaka-aineen pinnankorkeutta siilossa jatkuvasti. Toinen varteenotettava investointi olisi kastepistemittarin asennus kuivureihin. Sillä varmistettaisiin muun muassa kuiva-ainepatruunojen optimaaliset vaihdot ja säästettäisiin energiakustannuksissa. Lisäksi kuivaus- ja ruiskuvaluprosessia helpottamaan esitetään ratkaisuksi ohjauspaneelia, josta kaikkien siilojen tilaa pystytään hallinnoimaan ja valvomaan yhdestä paikasta.

Rouhintaprosessissa havaitut ongelmat olivat epäselvät merkinnät rouhintaan tulevissa laatikoissa ja lavoissa, epätietoisuus rouhittavista raaka-aineista sekä toimintaohjeiden puuttuminen rouhintapaikalla. Rouhittavista raaka-aineista laadittiin tässä työssä taulukko, josta ilmenevät myös merkinnät, jotka rouhintaan tuleviin tuotteisiin pitäisi merkitä. Lisäksi rouhintapaikalle olisi suositeltavaa laatia toimintaohjeet laadusta vastaavien toimihenkilöiden ja rouhijoiden johdolla. Raaka-aineiden uudelleen hyödyntämisessä ongelmana on, että rouheita on kerääntynyt varastoon eikä niitä ole hyödynnetty. Ongelman ratkaisuksi esitetään toisen sekoittajan käyttöönottoa, rouheiden aktiivisempaa käyttöä tuotteisiin, joissa rouhe on jo todettu toimivaksi, sekä koeajoja, joilla testataan rouheen soveltumista tuotteisiin, joihin sitä ei ole vielä testattu.

Avainsanat: Muovit, ruiskuvalu, raaka-aineprosessit

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Janne Kontas: Quality Control and Improvement of Raw Material Processes in Injection Molding Factory
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Materials Engineering
February 2020

The aim of this master's thesis is to find out the development proposals for the functions of the raw material processes in the target company. With help of development proposals, the production of company will be more effective, material loss and costs will be decreased, and grinded material will be utilized better. The processes to which the development proposals are examined are receiving and storage of raw materials, drying of raw materials and grinding and reuse of materials.

In the process of receiving and storage of raw materials the need for development were observed in unloading of the raw materials from the shipping container and in the storage of raw materials. Currently the biggest problems in unloading are the effects to other functions, labor input of two persons and unnecessary work steps during unloading. The development proposal to this problem is movable ramp. Challenges in the storage of raw materials are too humid conditions and lack of space. These problems would be solved by investing to a new larger hall with air drying system.

The main problem in the drying process of raw materials is the access of wet raw material to injection molding machines. In this thesis several solutions for this problem are considered but the best solution is estimated to be a laser sensor that continuously measures the surface level of raw material in a silo. Another worthy investment would be a dew point sensor of the drying air. By means of that the optimal regeneration intervals would be ensured, and the energy savings would be made. In addition, the control panel is suggested to be one of the solutions to make drying and injection molding processes easier. With help of the panel all material silos would be managed and controlled in one place.

Following problems were observed in grinding process: unclear markings in the products that were meant to be grinded, uncertainty what materials are grinded and the lack of instructions in the grinding workstation. In this thesis a table of grinded materials was created. This table also shows the needed markings for products which will be grinded. Additionally, it would be desirable to compose a procedure in the grinding workstation by the quality department and grinding workers. The improvements are also needed in reusing of materials because several thousands of kilograms of grinded materials are accumulated in storage. Solutions for this problem are using also another mixer of the company, using the grinded material more actively for making products which are noted to be qualified with grinded material and running test drives to products that are not tested before.

Keywords: Plastics, injection molding, raw material processes

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö toteutettiin muovituoteteollisuuden yritykselle, joka valmistaa muovituotteita ruiskuvalumenetelmällä. Työn tavoitteena on löytää kohdeyrityksen raaka-aineiden käsittelyprosessien kehitettävät toiminnot ja niille kehitysehdotukset. Työ aloitettiin kesällä 2019.

Haluan kiittää yrityksen puolelta työni ohjaajaa Jukka Isotaloa erityisesti aiheen ideoinnista ja avusta matkan varrella, Tapani Suutaria avusta yrityksen teknisissä asioissa sekä muita työntekijöitä saamistani taustatiedoista työhön liittyen. Yliopiston puolelta haluan kiittää työni ohjaajaa ja tarkastajaa Mikko Kanervaa ohjauksesta ja kannustuksesta työn edetessä.

Haluan kiittää myös opiskelukavereitani mukavista muistoista opiskeluajan varrella. Erityisesti kiitän ATJL-ryhmän jäseniä kaikista hienoista hetkistä ja toivottavasti meillä on vielä monia hauskoja seikkailuja edessä.

Erytiskiitokset vanhemmilleni ja veljelleni kaikesta tuesta ja kannustuksesta opintojen ja elämän varrella. Lopuksi vielä suurin kiitos avopuolisolleni saamastani suuresta tuesta opiskelujen ja diplomityön tekemisen aikana.

Tampereella, 2.2.2020.

Janne Kontas

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
2.	YRITYKSEN KUVAUS.....	2
2.1	Yleiskuvaus	2
2.2	Tuotteen valmistusprosessi	2
3.	RUISKUVALU.....	5
3.1	Ruiskuvalukone	5
3.2	Muotti	6
3.3	Ruiskuvaluprosessi.....	6
4.	MUOVIT	10
4.1	Lisäaineet.....	12
4.2	Kohdeyrityksessä käytettävät muovit.....	13
4.2.1	Polykarbonaatti (PC)	13
4.2.2	Akrylinitrilibutadieenistyreeni (ABS).....	14
4.2.3	PC+ABS-muoviseos.....	14
4.2.4	Polypropeeni (PP)	15
4.2.5	Polyamidi (PA).....	15
4.2.6	Polyoksimeteeni (POM).....	16
4.2.7	Polybuteenitereftalaatti (PBT).....	16
4.2.8	Osakiteinen polyeteenitereftalaatti (PET-C).....	17
4.2.9	Termoelastit (TPE)	17
4.2.10	Polyuretaani (PUR).....	18
5.	RAAKA-AINEEN KÄSITTELY	20
5.1	Raaka-aineen vastaanotto ja säilytys.....	20
5.2	Raaka-aineen kuivaus	21
5.2.1	Hygroσκοoppiset ja ei-hygroσκοoppiset muovit.....	21
5.2.2	Kosteuden aiheuttamat ongelmat ruiskuvalussa ja vaikutukset tuotteeseen.....	22
5.2.3	Kuivauksen teoreettinen tausta.....	24
5.2.4	Veden imeytyminen	24
5.2.5	Diffuusio	25
5.2.6	Höyrystyminen.....	25
5.2.7	Kuivurit	25
5.2.8	Parametrit muovigranulaattien kuivaamisessa kuivailmakuivurissa.....	28
5.3	Raaka-aineen siirto ruiskuvalukoneelle.....	31
5.4	Raaka-aineiden rouhinta.....	31

6.	RAAKA-AINEPROSESSIEN KEHITTÄMINEN.....	33
6.1	Raaka-aineen vastaanotto- ja säilytysprosessi	33
6.1.1	Nykytilan kartoitus	33
6.1.2	Prosessianalyysi.....	34
6.2	Raaka-aineen kuivausprosessi ja siirto ruiskuvalukoneille	37
6.2.1	Nykytilan kartoitus	37
6.2.2	Prosessianalyysi.....	40
6.3	Raaka-aineiden rouhinta ja uudelleen hyödyntäminen.....	53
6.3.1	Nykytilan kartoitus	53
6.3.2	Prosessianalyysi.....	54
6.4	Kehitysehdotusten yhteenveto ja arviointi	56
	LÄHTEET	63

KUVALUETTELO

Kuva 1. Tuotteen valmistusprosessi vuokaaviona.	4
Kuva 2. Ruiskuvalukoneen osat. [2]	5
Kuva 3. Ruiskutusvaihe. [3].....	7
Kuva 4. Jälkipaine ja kappaleen jäähdytys. [3]	7
Kuva 5. Muotin avaaminen ja kappaleen ulostyöntö. [3].....	7
Kuva 6. Ruiskuvaluprosessin vaiheet ja niiden viemän ajan suhteellinen jakautuminen. [3]	8
Kuva 7. Polykarbonaattimonomeerin kemiallinen rakenne. [6].....	10
Kuva 8. ABS-muovi on kopolymeeri, joka koostuu akrylinitriilistä, styreenistä ja butadieenistä. [7]	10
Kuva 9. Kohdeyrityksessä valmistettuja PC-tuotteita. [Yrityksen sisäinen materiaali] .	14
Kuva 10. ABS-muovista valmistettu kotelon kansi. [Yrityksen sisäinen materiaali]	14
Kuva 11. PC+ABS-muoviseoksesta valmistettu osa. [Yrityksen sisäinen materiaali] ..	15
Kuva 12. Polypropeenista valmistetut saranat. [Yrityksen sisäinen materiaali]	15
Kuva 13. Polyamidista valmistettuja ruuveja. [Yrityksen sisäinen materiaali].....	16
Kuva 14. Polybuteenitereftalaatista valmistettu tuote. [Yrityksen sisäinen materiaali] .	17
Kuva 15. Polyeteenitereftalaatista valmistettu tuote. [Yrityksen sisäinen materiaali]...	17
Kuva 16. Metallirunko, metallirungon päälle termoelastista ruiskuvalettu laippa sekä kaksikomponenttimenetelmällä valmistettu kotelon pohja, jossa tiivisteenä termoelastia. [Yrityksen sisäinen materiaali].....	18
Kuva 17. Polyuretaanitiiviste muovituotteen tiivisteurassa. [Yrityksen sisäinen materiaali].....	19
Kuva 18. Vuodenaikojen vaikutus muoviin sitoutuneen kosteuden määrään. [17]	22
Kuva 19. Raaka-aineen kosteudesta aiheutuvia roiskejälkiä kappaleen pinnalla. [Yrityksen sisäinen materiaali].....	23
Kuva 20. Kuivailmakuivurin toimintaperiaate. [25]	27
Kuva 21. Polykarbonaatin kuivausaika kastepisteen funktiona. [24]	30
Kuva 22. Raaka-ainetoimittaja Dupontin TM ilmoittamat kuivausparametrit Crastin [®] polybutee-nitereftalaatti raaka-aineelle. [27].....	30
Kuva 23. Siirrettävä nousuramppi kontin purkamiseen trukilla. [32].....	35
Kuva 24. Laseranturin toiminta pinnakorkeuden mittaamisessa siilossa. [29].....	42
Kuva 25. Kastepisteen arvolla -20 °C ohjautuva kuiva-ainepatruunan vaihto. [35]	44
Kuva 26. Kastepistemittarin optimaalinen sijoituspaikka kuivaussyklissä on kuivausyksikön ja lämmitysvastuksen välissä. [34]	45
Kuva 27. Laadun päivittäinen seuranta tuotteiden saantoprosentin avulla. [Yrityksen sisäinen materiaali].....	46
Kuva 28. Materiaalihukasta aiheutuneet kustannukset huhtikuusta syyskuuhun. [Yrityksen sisäinen materiaali].....	47
Kuva 29. Tuotteissa esiintyvät virhetyypit kappalemäärän mukaisessa järjestyksessä. [Yrityksen sisäinen materiaali].....	47
Kuva 30. Kosteusmittaussensorin toiminta eri tilanteissa: A) kosteuspitoisuus toleranssien sisällä, B) kosteuspitoisuus liian suuri ja C) kosteuspitoisuus liian pieni. [38]	50
Kuva 31. Esimerkkejä ohjauspaneelin näyttösivuista. [Yrityksen sisäinen materiaali].	52

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1. Amorfisen ja osakiteisen muovin ominaisuuksien vertailu. [9].....</i>	12
<i>Taulukko 2. Seosaineet ja niiden vaikutus muoviin. [4].....</i>	13
<i>Taulukko 3. Kosteuden aiheuttamia ruiskuvaluvirheitä [19, 20, 21, 23].....</i>	23
<i>Taulukko 4. Kaksi esimerkkiä tuotantoeristä, joissa raaka-aineen märkyys aiheutti merkittävät hukkamateriaalin kustannukset. [Yrityksen sisäinen materiaali].....</i>	48
<i>Taulukko 5. Rouhittavien raaka-aineiden raaka-ainetunnukset ja merkinnät rouheoktabiiniin. [Yrityksen sisäinen materiaali].....</i>	55
<i>Taulukko 6. Raaka-aineen vastaanotto- ja säilytysprosessin kehitysehdotusten yhteenveto.....</i>	57
<i>Taulukko 7. Kehitysehdotusten yhteenveto raaka-aineen kuivaukseen ja siirtoon ruiskuvalukoneelle.....</i>	59
<i>Taulukko 8. Kehitysehdotusten yhteenveto raaka-aineiden rouhintaan ja uudelleen hyödyntämiseen</i>	61

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ABS	akrylinitriilibutadieenistyreeni
FIFO	first in first out -menetelmä
KET	keskeneräinen tuote
PA	polyamidi
PBT	polybuteenitereftalaatti
PET-A	amorfinen polyeteenitereftalaatti
PET-C	osakiteinen polyeteenitereftalaatti
PC	polykarbonaatti
POM	polyoksimeteeni
PP	polypropeeni
PUR	polyuretaani
SEBS	styreeniblokkikopolymeeri, jossa kovien styreenisegmenttien välissä on pehmeät eteeni- ja buteenisegmentit
TPE	termoelastit
TPE-S	styreeniblokkikopolymeeri
UV	ultraviolettisäteily
VMI	vendor managed inventory
ρ	tiheys
m	massa
s	matka
t	aika
v	nopeus
V	tilavuus

1. JOHDANTO

Tämän diplomityön kohdeyrityksenä toimii ruiskuvalutehdas, jossa valmistetaan muovikoteloita useasta eri muoviraaka-aineesta. Työn tavoitteena on löytää raaka-aineiden käsittelyprosessien kehitettävät toiminnot ja niille kehitysehdotukset. Prosessit ovat raaka-aineen vastaanotto ja säilytys, raaka-aineen kuivaus ja siirto ruiskuvalukoneelle sekä raaka-aineen rouhinta ja uudelleen hyödyntäminen. Tavoitteeseen päästään tutkimalla näiden prosessien taustalla olevaa teoriaa sekä tekemällä nykytilan kartoitus jokaiseen prosessiin. Nykytilan kartoituksella havaitaan prosesseissa ilmenevät kehitettävät toiminnot. Näihin toimintoihin etsitään ratkaisuja prosessianalyysillä teoriaa hyväksi käyttäen. Kehitysehdotusten avulla pyritään saamaan yrityksen tuotanto tehokkaammaksi, pienentämään materiaalihukkaa ja -kustannuksia sekä hyödyntämään rouhittu raaka-aine paremmin.

Työn ensimmäisissä luvuissa kerrotaan yleisesti kohdeyrityksestä, esitellään tuotteiden valmistusprosessi yrityksessä ja käydään lyhyesti läpi ruiskuvaluprosessin vaiheet sekä muoviraaka-aineet, joita yrityksessä käytetään. Luvussa 5 käsitellään raaka-aineiden käsittelyprosessien taustalla olevaa teoriaa. Tämän jälkeen siirrytään luvussa 6 työn soveltavaan osuuteen, jossa eri prosesseille tehdään nykytilan kartoitus ja prosessianalyysi sekä esitetään kehitysehdotukset. Lopuksi tehdään yhteenveto ja arviointi kehitysehdotuksista.

2. YRITYKSEN KUVAUS

Tämä diplomityö on tehty muovituoteteollisuuden yritykselle, joka valmistaa alihankintana muille yrityksille pääosin muovikoteloita sähkö- ja elektroniikkalaitteiden suojaamiseen.

2.1 Yleiskuvaus

Muovin työstömenetelmänä yrityksessä käytetään ruiskuvalua. Yrityksessä työskentelee kaikkiaan noin 80 henkilöä. Työntekijöiden tehtävänimikkeitä ovat ruiskuvaluasentaja, tiivistäjä, materiaalivastaava, varastotyöntekijä, kokoonpanija, työstösoluoperaattori ja muottihuoltaja. Lisäksi on toimihenkilöiden erilaisia tehtäviä tuotannonsuunnittelusta laatu- ja ympäristöasioihin.

Tehdas on toiminnassa ympäri vuoden kaikkina vuorokauden aikoina. Tehdas on jaoteltu eri osastoihin, joita ovat ruiskuvalun tuotantotilat, tiivistys, koneistus, kokoonpano, muottihuolto, keskeneräisten tuotteiden varasto, valmiiden tuotteiden varasto, rouhinta, materiaalien kuivaustilat, materiaali- ja pakkaustarvikevarasto sekä toimistotilat. Tehtaassa on 30 ruiskuvalukonetta. Niiden sulkuvoimat ovat 30 tonnista 1500 tonniin. Pienillä koneilla tehdään koteloiden kokoonpanossa tarvittavia pieniä osia kuten ruuveja ja saranoita ja isoimmilla koneilla tehdään koteloiden kannet ja pohjat. Painavimmat tehtaassa valmistettavat yksittäiset tuotteet painavat noin kuusi kilogrammaa.

2.2 Tuotteen valmistusprosessi

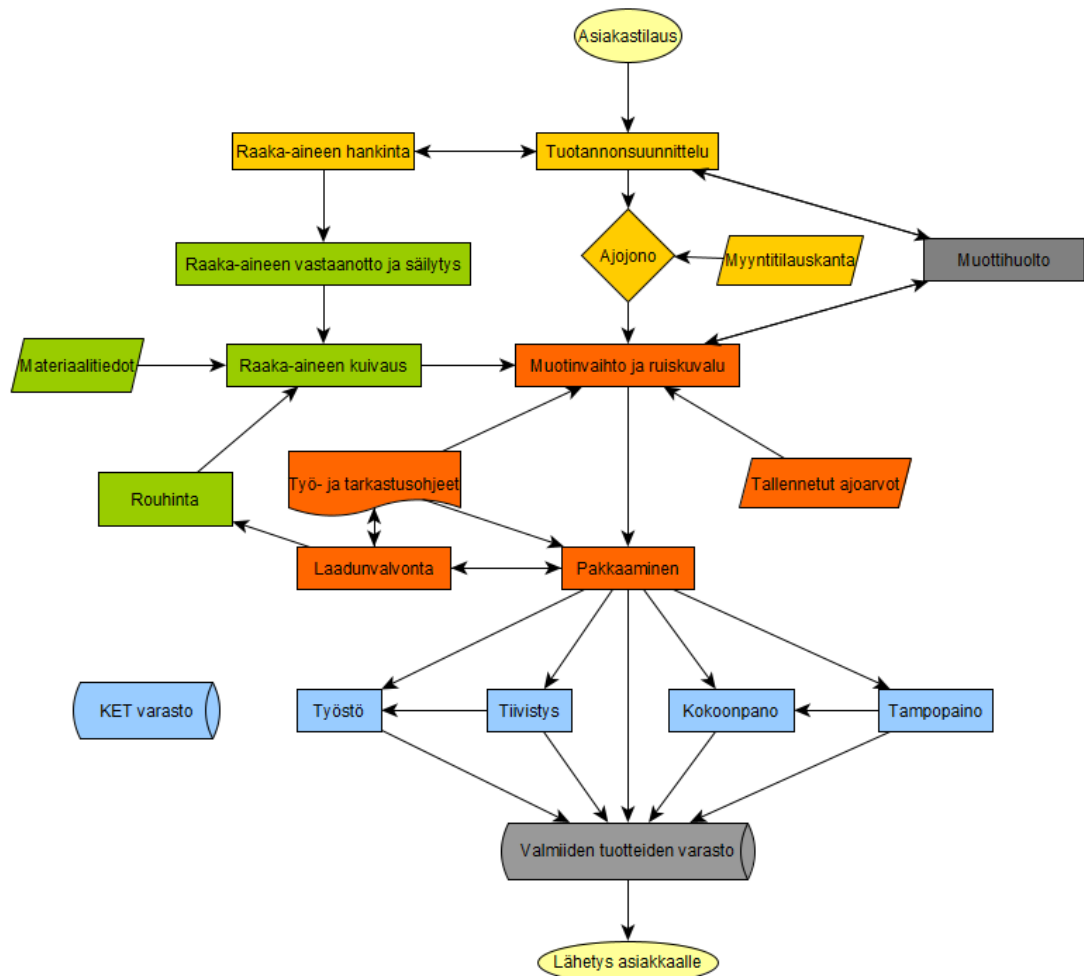
Kuvan 1 vuokaaviossa havainnollistetaan karkeasti yrityksessä tapahtuvaa yksittäisen tuotteen valmistusprosessia. Tästä saadaan yleiskuva yrityksessä tapahtuvista työvaiheista, jotta on helpompi ymmärtää, mihin viitekehykseen tämän työn varsinainen pääaihe raaka-aineprosessien laadunvalvonta ja kehittäminen kuuluu.

Tuotteen valmistusprosessi lähtee liikkeelle asiakkaan tilauksesta, josta tulee tieto yrityksen tuotannonsuunnittelijalle. Tuotannonsuunnittelija pyrkii kuormittamaan tilauksen siten, että asiakkaalle luvatut toimitusajat pystytään toteuttamaan. Suurinta osaa yrityksessä käytettävistä muoviraaka-aineista pidetään varastossa saatavilla koko ajan, mutta yrityksessä käytetään myös vähemmän kuluvia raaka-aineita, joille ei pidetä varastoa.

Varsinkin tällöin tuotannonsuunnittelijan on varmistettava ennen kuormitusta, onko kyseistä raaka-ainetta varastossa vai onko sitä tilattava lisää.

Raaka-aineen vastaanotosta ja säilytyksestä vastaavat varastotyöntekijät ja materiaali-vastaavat. Materiaalivastaavan tehtäviin kuuluu myös raaka-aineiden kuivaamisesta huolehtiminen raaka-ainekohtaisten dokumenttien mukaisesti. Kun raaka-aine on laitettu kuivumaan ja tuotannonsuunnittelusta on saatu tieto tuotteiden ajojärjestyksestä, ruiskuvaluasentaja voi aloittaa ruiskuvaluvaiheen, johon kuuluu yleensä myös muotin vaihto. Jos tuotetta on ajettu jo aiemmin, siitä on tallennettuna ajoarvot edellisistä tuotantoeristä, mikä helpottaa ruiskuvalun aloittamista. Pakkaajat hoitavat tuotteiden pakkaamisen ja siirron seuraavaan työvaiheeseen. Pakkaustapa ja tuotteen laatua käsittelevät asiat löytyvät kullekin tuotteelle erikseen tehdyistä työ- ja tarkastusohjeista, joita hyödyntävät pakkaajien lisäksi myös ruiskuvaluasentajat.

Ruiskuvalun jälkeen osa tuotteista lähtee sellaisenaan suoraan asiakkaalle. Suurin osa puristeista päätyy kuitenkin jatkojalostusvaiheisiin, joita ovat työstö, tiivistys, kokoonpano ja tampopaino. Osalla tuotteista voi olla myös useampi jatkojalostusvaihe, mikä näkyy kuvasta 1. Näihin neljään vaiheeseen kerääntyy myös jonkin verran keskeneräisten tuotteiden (KET) varastoa, joka pyritään pitämään ennalta määritettyjen hyllypaikkojen rajoissa ja otetaan huomioon myös tuotannonsuunnittelun kuormituksessa. Myös jatkojalostusvaiheissa suoritetaan laadunvalvontaa. Kun tuotteille on tehty kaikki vaadittavat toimenpiteet, ne ovat valmiita lähetettäväksi asiakkaalle.



Kuva 1. Tuotteen valmistusprosessi vuokaaviona.

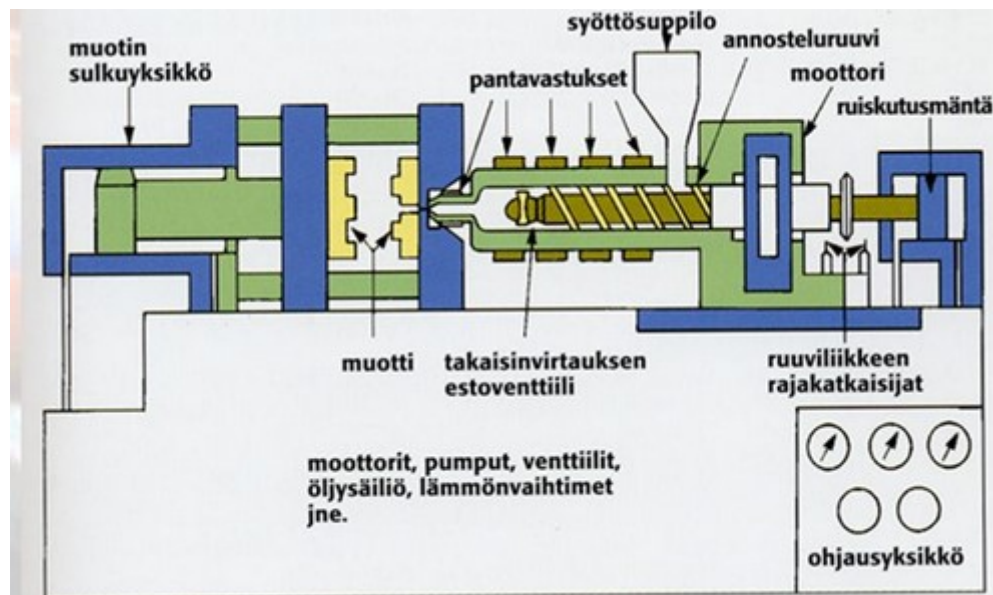
Kuvasta 1 nähdään vihreällä merkityt raaka-aineprosessit ja se, mihin kokonaisuuteen ne ruiskuvalutehtaassa liittyvät. Näihin prosesseihin tullaan tässä työssä paneutumaan syvemmin. Tätä ennen käsitellään myös tarkemmin koko ruiskuvalutehtaan ydinprosessia eli ruiskuvaluprosessia, jonka tehokkaaseen toimintaan raaka-aineprosessien hallinnalla on merkittävä vaikutus.

3. RUISKUVALU

Ruiskuvalumenetelmää käytetään ensisijaisesti polymeerimateriaalien käsittelyyn. Polymeerit soveltuvat hyvin ruiskuvaluun, koska ne ovat muovattavissa paineen avulla ja niihin on mahdollista tuottaa riittävät virtausominaisuudet. Ruiskuvaluprosessissa sula muovi kiinteytyy jäähtyessään muotin muotoon tuottaen identtisiä kappaleita sykleittäin. Ruiskuvalu on merkittävä ja vanhin muovien sulatyöstömenetelmä. Ensimmäinen ruiskuvalukone patentoitiin jo vuonna 1872. Silloin annosteluruuvin tilalla käytettiin vielä mäntää, joka työnsi sulan muovin muottiin. Tällainen mäntätyyppinen ruiskuvalukone korvattiin nykyaikaisella ruiskuvalukoneella vuonna 1946. Ruiskuvalun avulla pystytään tuottamaan nopeasti ja toistuvasti muodoiltaan monimutkaisia tuotteita. Tässä kappaleessa käsitellään lyhyesti ruiskuvalukoneen ja ruiskuvaluprosessin eri osat. [1, 2, 3]

3.1 Ruiskuvalukone

Ruiskuvalukone koostuu neljästä toiminnallisesta osasta, jotka ovat sulkuyksikkö, ruiskutusyksikkö, ohjausyksikkö ja hydrauliyksikkö [2]. Kuvassa 2 on esitetty ruiskuvalukoneen osat.



Kuva 2. Ruiskuvalukoneen osat. [2]

Yhdellä ruiskuvalukoneella voidaan käyttää useita eri muotteja, joten samalla koneella voidaan valmistaa monia erilaisia kappaleita. Muotin koko ja valmistettavan kappaleen tilavuus täytyy ottaa huomioon, kun mietitään muotin sopivuutta tietylle

ruiskuvalukoneelle. Muovisula ruiskutetaan muottiin suurella nopeudella ja ruiskutuspainella. Tämä paine aiheuttaa muotin sisällä olevaan muovimassaan suuren paineen, joka pyrkii avaamaan muotin. Tämän takia ruiskuvalukoneella on oltava riittävä sulkuvoima. [3]

3.2 Muotti

Muotti on ruiskuvalukoneeseen vaihdettava osa, joka määrittää tuotteelle syntyvän muodon. Sen on kestävä kovia paineita valuprosessin aikana. Muotti koostuu yleensä kahdesta osasta, kiinteästä ja liikkuvasta muottipuoliskosta, jotka on kiinnitetty ruiskuvalukoneen muottipöytiin. Ruiskuvalumuotit tehdään yleensä standardiosista ja moduulirakenteisina, mikä mahdollistaa muun muassa sen, että muotit ovat nopeita valmistaa ja osat ovat helposti vaihdettavissa. Tuotteen muodonannon lisäksi muotin tehtäviä ovat polymeerin juoksukanavana toimiminen, massasulan kiinteäksi jähmettäminen ja valmiin kappaleen poisto muottipesästä. [3]

3.3 Ruiskuvaluprosessi

Ruiskuvaluprosessissa säädettäviä prosessiparametrejä ovat lämpötila (sylinteri ja muotti), nopeus (ruuvin pyöriminen, ruuvin ruiskutus, jälkipaine), paine (vastapaine, ruiskutusaine, jälkipaine) ja aika (jälkipaine, jäähdytys, ruiskutus, annostelu). Näitä parametrejä säätämällä vaikutetaan sekä tuotteen ominaisuuksiin ja laatuun että syklin jaksokaan. [3]

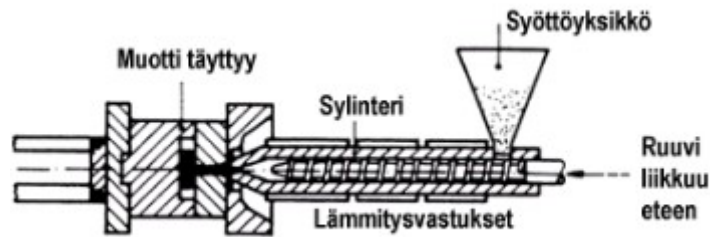
Ruiskuvaluprosessi koostuu seuraavista vaiheista:

1. Muotin sulkeminen

Ruiskuvalukoneen muotin sulkuyksikkö sulkee muottipuoliskot toisiaan vasten valuprosessissa tarvittavalla sulkuvoimalla. [3]

2. Ruiskutus

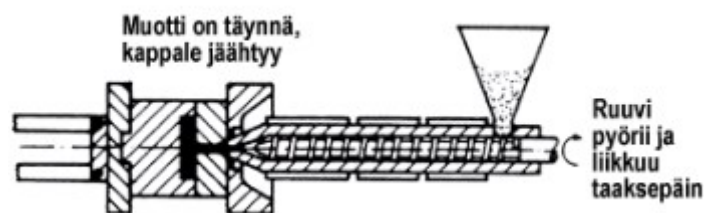
Ruiskutuksen aikana ruuvi liikkuu eteenpäin työntäen raaka-aineannoksen muottiin. Ruiskutusvaiheen pitäisi tapahtua mahdollisimman nopeasti, jotta sulan jähmettyminen tapahtuu mahdollisimman tasaisesti. Yleensä ruiskutusvaiheessa täytetään muotin tilavuudesta noin 90-95 %. Kuvassa 3 esitetään ruiskutusvaihe. [1, 2, 3]



Kuva 3. Ruiskutusvaihe. [3]

3. Jälkipaine ja jäähdytys

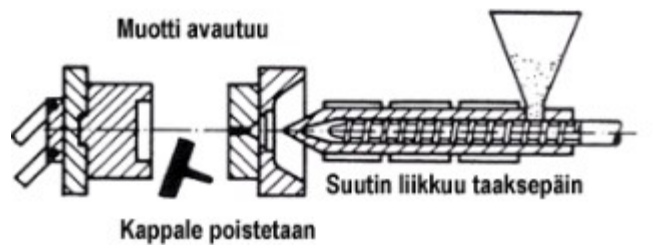
Ruiskutusvaiheen jälkeen tulee jälkipainevaihe, jonka tarkoitus on täyttää ruiskutusvaiheessa vajaaksi sulasta massasta jääneet muottipesän osat sekä materiaalin kutistumisesta johtuvat vajaukset. Jälkipainevaiheen jälkeen alkaa jäähdytys, joka on tyypillisesti pisin prosessin vaihe. Jälkipaine- ja jäähdytysvaihe esitetään kuvassa 4. [3]



Kuva 4. Jälkipaine ja kappaleen jäähdytys. [3]

4. Muotin avaaminen ja valmiin kappaleen ulostyöntö

Kun kappale on jäähtynyt tarpeeksi, muotti avautuu ja jäähtynyt kappale poistetaan muottipesästä, minkä jälkeen alkaa uusi jakso. Tämä vaihe esitetään kuvassa 5. [2]



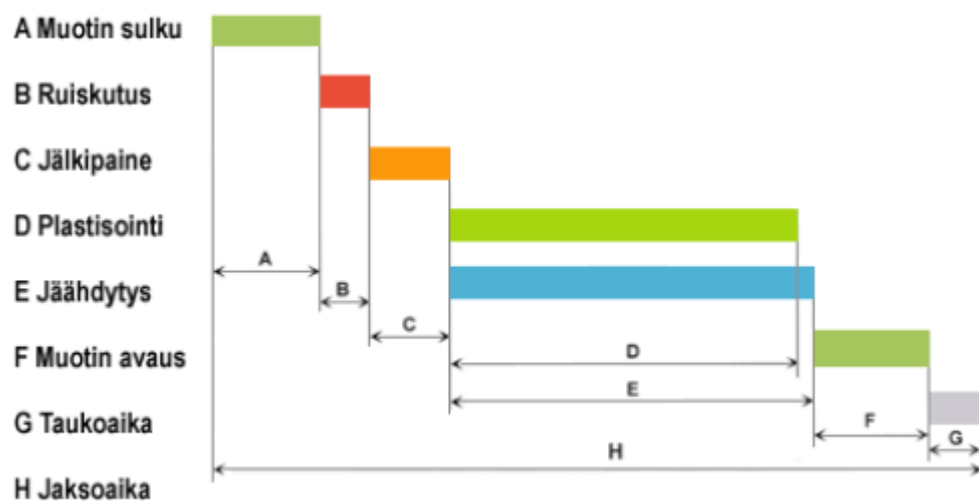
Kuva 5. Muotin avaaminen ja kappaleen ulostyöntö. [3]

Näiden vaiheiden rinnalla tapahtuu samanaikaisesti myös toinen prosessi. Sen tarkoituksena on valmistaa uusi raaka-aineannos seuraavaa prosessisykliä varten. Tähän prosessiin kuuluvat seuraavat vaiheet: [3]

1. Raaka-aineen syöttö ruuville

2. Raaka-aineen plastisointi

Muovigranulaatit syötetään ruiskuvalukoneeseen syöttösuppilon kautta painovoiman avulla. Sieltä ne päätyvät sylinteriin, jossa pyörivä annosteluruuvi liikuttaa niitä eteenpäin sylinterissä. Granulaatit työntyvät vasten sylinterin seinämää ja sulavat sekä lämmitetyn sylinterinseinämän aiheuttaman lämmönjohtumisen että pyörivän ruuvien aiheuttaman kitkalämmön avulla. Sula muovi kulkeutuu kohti ruuvien kärkeä. Muottiin ruiskutettava annos muodostuu siten, että ruuvi liikkuu taaksepäin keräten ruuvien etuosaan sulaa materiaalia. Ruuvien etuosassa on sulkurengas, joka estää materiaalin virtauksen taaksepäin. Uuden raaka-aineannoksen valmistelu eli plastisointi alkaa heti jälkipainevaiheen loputtua. [1,3]



Kuva 6. Ruiskuvaluprosessin vaiheet ja niiden viemän ajan suhteellinen jakautuminen.

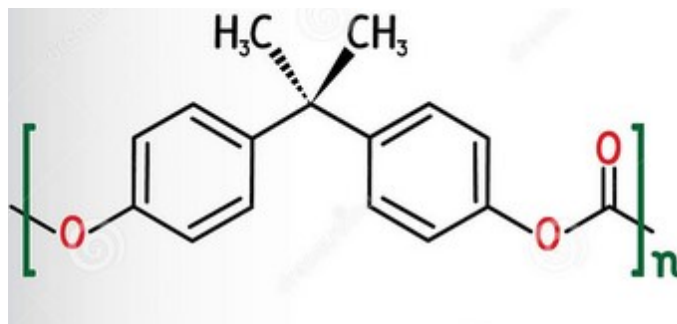
[3]

Kuvassa 6 esitetään vielä yhteenvetona ruiskuvaluprosessin eri vaiheet. Kuvasta nähdään myös eri vaiheisiin kuuluva suhteellinen aika. Plastisointi ja jäähdytys tapahtuvat samanaikaisesti, joten vain jäähdytysaika vaikuttaa lopulliseen jaksoaikaan. Jäähdytysaika on myös koko prosessin pisin vaihe. Jakson lopussa olevaa tauko-aikaa ei välttämättä tarvita, mutta se on usein tarpeellinen, jos kappale ei irtoa muotista yhdellä

ulostyöntökerralla tai jos kappaleen poistamiseen käytetään robottia kappaleen itsestään putoamisen sijaan. [3]

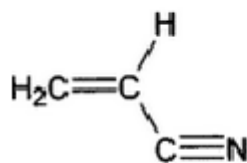
4. MUOVIT

Muovit koostuvat polymeereista ja lisäaineista. Polymeerit ovat muovien tärkein ainesosa. Polymeereilla on tietty kemiallinen koostumus ja rakenne. Polymeerissa toisiinsa liittyneet molekyylit voivat muodostaa ketjumaisen, haaroittuneen, dendriittisen, rengasmaisen tai verkottuneen rakenteen. Polymeerit muodostuvat useista monomeereista, jotka ovat liittyneet toisiinsa kovalenttisilla sidoksilla. Kuvassa 7 on esimerkkinä polykarbonaattimonomeerin kemiallinen rakenne. Useista tällaisista monomeereista muodostuu polykarbonaattipolymeeri. [4, 5]

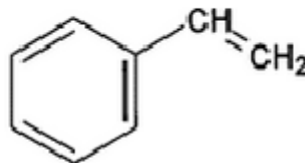


Kuva 7. Polykarbonaattimonomeerin kemiallinen rakenne. [6]

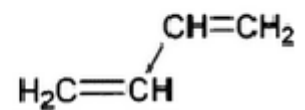
Homopolymeeri koostuu ainoastaan yhdestä monomeerilaadusta kuten yllä oleva polykarbonaatti. Kopolymeeri sen sijaan koostuu useammasta monomeerilaadusta. Tästä esimerkkinä on ABS-muovi, jonka kolme eri monomeeria on esitetty kuvassa 8. [4,5]



Akrylinitriili



Styreeni



Butadieeni

Kuva 8. ABS-muovi on kopolymeeri, joka koostuu akrylinitriilistä, styreenistä ja butadieenistä. [7]

Reaktiota, jossa vähintään kaksi monomeeria sitoutuu toisiinsa muodostaen polymeerin, kutsutaan polymerisaatioksi. Polymerisaatiossa monomeerit muodostavat suuria

molekyylejä, jotka ovat moolimassaltaan moninkertaisia verrattuna lähtöaineiden moolimassaan. Polymerisaatioreaktioita on kahdenlaisia: additiopolymerisaatio ja kondensaatiopolymerisaatio. Additioreaktiossa monomeerit reagoivat keskenään muodostaen pitkiä polymeerimolekyylejä. Tässä reaktiossa ei synny sivutuotteita. Kondensaatioreaktiossa sen sijaan monomeerit reagoivat keskenään muodostaen sivutuotteita kuten vettä tai muita yksinkertaisia aineita. [12]

Muovit voidaan jakaa niiden uudelleentyöstöominaisuuden mukaan kahteen pääryhmään: kestonuoveihin ja kertamuoveihin. Kestomuovit voidaan sulattaa uudelleen ilman kemiallisen rakenteen hajoamista useita kertoja. Kun lämpötila nousee, kestonuovi pehmenee ensin ja muuttuu sitten nestemäiseksi. Kun lämpötila laskee, muovi kiinteytyy ja jäykistyy ennalleen. Kertamuoveja sen sijaan ei voida sulattaa uudelleen, vaan sen molekyylisidokset rikkoutuvat lämpötilan noustessa tarpeeksi. Kaikki kohdeyrityksessä käytetyt muovit ovat kestonuoveja. Näin ollen huonolaatuisista tuotteista tehtaassa sisällä rouhittu raaka-aine on mahdollista käyttää uudelleen omassa tuotannossa. [2, 4]

Muovit voidaan jaotella myös osakiteisiin ja amorfisiin muoveihin. Mikäli muovi muodostaa jäähtyessään molekyyleistään kiderakenteita, sitä kutsutaan osakiteiseksi. Jos kiteytymistä ei tapahdu, muovi on amorfinen. Taulukossa 1 verrataan osakiteisen ja amorfisen muovin ominaisuuksia. [8]

Taulukko 1. Amorfisen ja osakiteisen muovin ominaisuuksien vertailu. [9]

Amorfinen muovi	Osakiteinen muovi
Molekyylit eivät ole järjestäytyneet	Molekyylit ovat järjestäytyneet
Ei tarkkaa sulamispistettä	Tarkka sulamispiste
Suurempi viskositeetti	Pienempi viskositeetti
Monesti sisäisiä jännityksiä	Vähemmän sisäisiä jännityksiä
Huono kemikaalikestävyys	Hyvä kemikaalikestävyys
Pieni väsymislujuus	Suuri väsymislujuus
Esiintyy myös lasinkirkkaana	Yleensä samea tai läpinäkymätön
Jäähtymiskutistuminen alle 1 %	Jäähtymiskutistuminen useita prosentteja
Kutistuma tasainen	Kutistuma epätasainen --> tuotteissa helposti vääntymiä
Suuri kitka	Pieni kitka
Herkästi kuluva	Parempi kulumiskesto
Jäykkyys riippuu vain vähän lämpötilasta	Jäykkyys pienenee paljon lämpötilan noustessa

4.1 Lisäaineet

Muoveissa käytettäviä lisäaineita ovat seosaineet ja apuaineet. Seosaineet tuovat muoviin lisäominaisuuksia, kun taas apuaineet helpottavat muovien työstöä ja käsittelyä. Muovin ominaisuuksiin apuaineilla ei ole suoraan vaikutusta, vaikka ne parantavatkin välillisesti tuotteiden laatua. Seosaineita ovat lujittimet, pehmittimet, solustusaineet, täyteaineet, värit, palonestoaineet, voiteluaineet, stabilisaattorit, antistaattiset aineet, kirkastinaineet sekä mikrobien torjunta-aineet. Seosaineiden osuus muovista on yleensä 30-50 %. Seosaineet ja niiden vaikutus muoviin on kerätty taulukkoon 2. [4]

Taulukko 2. Seosaineet ja niiden vaikutus muoviin. [4]

Seosaine	Mahdollisia vaikutuksia muovin ominaisuuksiin
Lujitteet	Parantavat lujuutta ja nostavat ylintä käyttölämpötilaa
Pehmittimet	Lisäävät joustavuutta ja sitkeyttä, parantavat iskunkestävyyttä
Solustusaineet	Keventävät ja tekevät muovista lämpöä hyvin eristävän
Täyteaineet	Lujuus kasvaa, kulutuskestävyys paranee, ylin käyttölämpötila kasvaa, hinta pienenee
Väriaineet	Mahdollistaa muoveille eri värejä
Palonestoaineet	Estävät muovin syttymistä ja palamista
Voiteluaineet	Estävät muovin tarttumista muottiin ja parantavat muovin liukumista
Stabilaattorit	Estävät lämmön, hapen ja auringonvalon kemiallista ja termistä hajottavaa vaikutusta
Antistaattiset aineet	Vähentävät staattisen sähkön varautumista muoviin -> torjuvat pölyn keräytymistä
Kirkastinaineet	Parantavat muovin valkoisuutta ja värien kirkkautta
Mikrobien torjunta-aineet	Estävät mikrobien hajottavaa vaikutusta

4.2 Kohdeyrityksessä käytettävät muovit

Kohdeyrityksessä on käytössä useita eri muovilaatua. Näistä selvästi eniten ruiskuvalussa käytetään polykarbonaattia. Toiseksi eniten kuluu ABS-muovia. Myös PC+ABS-muoviseosta kuluu huomattavia määriä. Muita alla esitettyjä raaka-aineita kuluu selvästi vähemmän. Viimeisenä esitettyä polyuretaania ei käytetä ruiskuvalussa, vaan raaka-aineena mekaanisessa tiivistyssolussa.

4.2.1 Polykarbonaatti (PC)

Polykarbonaatti on amorfinen kestmuovi. Polykarbonaatista on tehtaalla käytössä useita erilaisia laatuja. Käytössä on läpinäkyvää kirkasta ja savunharmaata, läpinäkymättömää harmaata sekä lasikuitutäytettyä harmaata polykarbonaattia. PC on sitkeä materiaali ja sillä on erittäin hyvä isku- ja lämmönkestävyys. Sillä on myös hyvät sähköiset ominaisuudet. Palonestoaineilla siitä voidaan tehdä palamaton materiaali. PC on herkkä kemikaalien pitkäaikaisvaikutuksille, jolloin sen pintaan saattaa syntyä jännityssäröilyä. Pitkäaikaista tasaista kuormitusta PC kestää kuitenkin hyvin. PC:sta on helppo valmistaa tarkkamittaisia ruiskuvalutuotteita, koska sen muottikutistuma on pieni. Toisaalta ruiskuvalua vaikeuttaa PC:n selvästi huonompi juoksevuus verrattuna ABS-muoviin. Sisäisiä

jännityksiä esiintyy herkästi paksuseinämaisissä PC-tuotteissa. Ilman UV-suojausta PC kestää jatkuvassa ulkokäytössä kellastumatta noin kaksi vuotta, mutta silikaattiyhdisteillä tehtävällä UV-suojauksella aikaa voidaan pidentää. Täyttämätön PC on noin 1 €/kg kalliimpaa kuin ABS ja lasikuitutäytteinen PC on noin 1 €/kg kalliimpaa kuin täyttämätön PC. [2, 8, 9]



Kuva 9. Kohdeyrityksessä valmistettuja PC-tuotteita. [Yrityksen sisäinen materiaali]

4.2.2 Akrylinitriilibutadienistyreeni (ABS)

ABS on amorfinen kestmuovi. ABS:n ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa sen kolmen lähtökomponentin suhdetta säätämällä. Akrylinitriili parantaa polymeerin mekaanista lujuutta, butadienilla saadaan lisää iskutheyttä ja styreeni vaikuttaa pinnanlaadun paranemiseen. Nämä kolme ominaisuutta ovat hyviä ABS-muovilla. Lisäksi ABS:llä on hyvät työstöominaisuudet, hyvä kemikaalinkestävyys ja se on helposti värjättävissä. [9, 10, 11]



Kuva 10. ABS-muovista valmistettu kotelon kansi. [Yrityksen sisäinen materiaali]

4.2.3 PC+ABS-muoviseos

Muoveja voidaan seostaa keskenään, jolloin niiden ominaisuudet täydentävät toisiaan ja päästään kompromisseihin lopullisen seoksen ominaisuuksien suhteen verrattuna yksittäisiin muoveihin. PC tuo seokseen iskulujuutta ja lämmönkestävyyttä ja ABS tekee

seoksesta helpommin työstettävän ja edullisemman. Parhaimmillaan voi käydä jopa niin, että seoksen jokin ominaisuus voi olla parempi kuin yksittäisten komponenttien. PC+ABS-seoksen sitkeys esimerkiksi on parempi kuin seostamattoman PC:n tai ABS:n. PC+ABS-muoviseos on selvästi käytetyin muoviseoksista. Seokseen lisätään usein palonestoaineita. [8,9]



Kuva 11. PC+ABS-muoviseoksesta valmistettu osa. [Yrityksen sisäinen materiaali]

4.2.4 Polypropeeni (PP)

Polypropeeni on osakiteinen kestopuovi. Sille tyypillisiä ominaisuuksia ovat keveys, jäykkyys, lämmönkestävyys, pinnan kiilto, liian kestävyys, hyvä työstettävyys, kemikaalinkestävyys, hyvä sähköneristävyys sekä edullisuus. Polypropeenilla on lisäksi hyvä väsymiskestävyys. Siitä tehdyt saranat kestävät miljoonia taivutuskertoja. Kuvassa 12 on esimerkki kohdeyrityksessä valmistetusta polypropeenisaranaista. [9, 10]

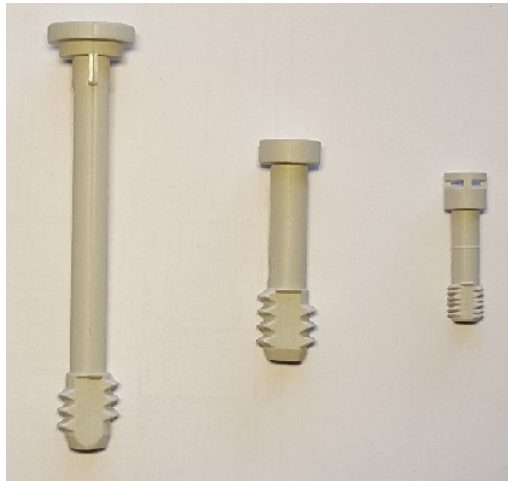


Kuva 12. Polypropeenista valmistetut saranat. [Yrityksen sisäinen materiaali]

4.2.5 Polyamidi (PA)

Polyamidit ovat osakiteisiä kestopuoveja. Käytetyimmät polyamidit ovat PA 6 ja PA 66. Luku nimen lopussa kertoo polymeerissä olevan toistuvan jakson eli meerin hiiliatomien lukumäärän. Polyamideissa käytetään lujitteena usein lasikuitua. Polyamideilla on hyvä

iskun- ja kemikaalinkestävyys. Myös kulutus- ja lämmönkestävyys ovat hyvää luokkaa. Polyamideilla esiintyvä ongelma on se, että ne imevät ilmasta itseensä useita prosentteja kosteutta ja vedessä ollessaan lähes 10 prosenttia. Se muuttaa niiden ominaisuuksia siten, että jäykkyys pienenee ja sitkeys lisääntyy. Lisäksi kappaleen dimensiot muuttuvat kosteuden imeytymisen takia. Kohdeyrityksessä lasikuitutäytteisestä polyamidista valmistetaan esimerkiksi ruuveja. [2, 8, 9]



Kuva 13. Polyamidista valmistettuja ruuveja. [Yrityksen sisäinen materiaali]

4.2.6 Polyoksimeteeni (POM)

Polyoksimeteeni on osakiteinen kestumuovi. Se on luja ja jäykkä sekä kestää hyvin kulutusta. Sillä on erittäin hyvät jousiominaisuudet eli se palautuu suurenkin voiman aiheuttamasta muodonmuutoksesta alkuperäisiin mittoihinsa. Se ei ime itseensä paljoa kosteutta, joten se on hyvin mittapitävä. Sen kemikaalinkesto on hyvä lukuun ottamatta epäorgaanisia happoja. Ulkokäytössä POM vaatii UV-stabiloinnin. [2, 8, 9]

4.2.7 Polybuteenitereftalaatti (PBT)

Polybuteenitereftalaatti on osakiteinen polyesteri. Se on painava, jäykkä ja iskunkestävä materiaali. Teknisistä muoveista sillä on paras pitkäaikaisen lämmön kestävyys. Polybuteenitereftalaattiin lisätään usein lasikuitua ja palonestoaineita. Kosteus ei imeydy polybuteenitereftalaattiin. Se kestää hyvin monia kemikaaleja, mutta kiehuva vesi, vahvat hapot ja emäkset sekä alkoholit heikentävät sen rakennetta. [2, 8, 9]



Kuva 14. Polybuteenitereftalaatista valmistettu tuote. [Yrityksen sisäinen materiaali]

4.2.8 Osakiteinen polyeteenitereftalaatti (PET-C)

Polyeteenitereftalaattia on olemassa osakiteisenä ja amorfisena. Kohdeyrityksessä käytössä on osakiteinen tyyppi. Se on jäykkä ja hyvin lämpöä kestävä materiaali. Sen ominaisuudet ovat hyvin kaukana amorfisesta polyeteenitereftalaatista (PET-A). Sen sijaan osakiteisen PET:n ominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset kuin PBT:lla. [8]

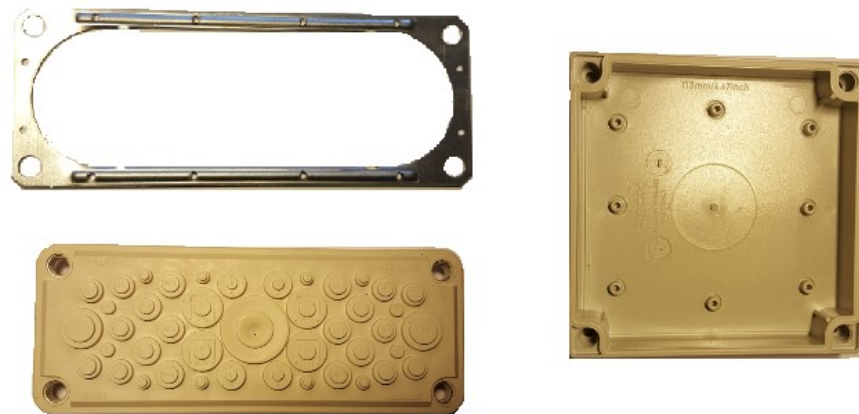


Kuva 15. Polyeteenitereftalaatista valmistettu tuote. [Yrityksen sisäinen materiaali]

4.2.9 Termoelastit (TPE)

Termoelastit ovat pehmeitä, sitkeitä ja kumimaisia kestumuoveja, joita voidaan palautuvasti venyttää pituudeltaan moninkertaisiksi. TPE tarjoaa kustannustehokkaan vaihtoehdon kumille ja sitä voidaan hyödyntää ruiskuvalumenetelmällä. Termoelasteissa kumifaaseja on yhdistetty kestumuovimatriisiin joko kopolymeroimalla tai seostamalla. Termoelasteista kohdeyrityksessä on käytössä TPE-S ryhmästä eli styreeniblokkikopolymeriryhmästä SEBS. Siinä kovien styreenisegmenttien välissä on pehmeät eteeni- ja

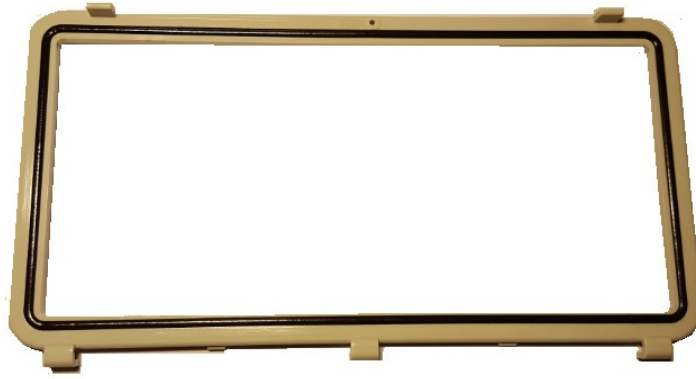
buteenisegmentit. Niillä on hyvä sulajuoksevuus, mikä mahdollistaa ohuiden kappaleiden valmistuksen sekä pinnoitteen tekemisen esimerkiksi metallin päälle. Tästä esimerkkinä on kuvassa 16 kohdeyrityksessä valmistettu laippa, joka ruiskuvaletaan metallirungon päälle. TPE-S ryhmän termoelastit ovat edullisia, mutta eivät kestä hyvin lämpöä eivätkä monia liuottimia. Etuna on niiden hyvä sähköneristyskyky ja kulumiskestävyys. Kuvassa 16 on esitetty myös tuote, jonka tiiviste on valmistettu termoelastista suoraan ruiskuvalukoneella kaksikomponenttitekniikalla rotaatiolevymenetelmää hyväksi käyttäen. [2, 8, 9, 12]



Kuva 16. Metallirunko, metallirungon päälle termoelastista ruiskuvalettu laippa sekä kaksikomponenttimenetelmällä valmistettu kotelon pohja, jossa tiivisteenä termoelastia. [Yrityksen sisäinen materiaali]

4.2.10 Polyuretaani (PUR)

Polyuretaanit ovat kertamuoveja, jotka koostuvat isosyanaatista ja polyolista. Kohdeyrityksessä käytettävä polyuretaani on kumimaista valumassaa, jota suihkutetaan koneellisesti kiinni koteloiden kannen, pohjan tai muiden osien tiivisteuraan. Polyuretaani muodostaa erittäin hyvän adheesion monien materiaalien kanssa, joten se on hyvä tiivistävä materiaali. Se kestää erittäin hyvin matalia ja korkeita lämpötiloja välillä $-50-130\text{ °C}$, joten se soveltuu hyvin erilaisiin sääolosuhteisiin. Polyuretaani kestää myös monia kemikaa- leja ja heikkoja liuottimia. [8, 13, 14]



Kuva 17. Polyuretaanitiiviste muovituotteen tiivisteurassa. [Yrityksen sisäinen materiaali]

5. RAAKA-AINEEN KÄSITTELY

Ruiskuvalutehtaalla raaka-aineiden hinnan osuus tuotantokustannuksista on merkittävä. Raaka-aineen käsittelyyn kaikissa tuotannon vaiheissa on kiinnitettävä erityistä huomiota ja huolellisuutta, jotta vältetään tarpeettomat tuotanto-ongelmat ja materiaalihukan syntyminen. [Yrityksen sisäinen materiaali]

5.1 Raaka-aineen vastaanotto ja säilytys

Muovit tulevat ruiskuvalutehtaalle raaka-ainetoimittajilta granulaatteina. Granulaatit ovat raemaisia, halkaisijaltaan muutaman millimetrin kokoisia muovirynejä. Kulutukseltaan suurimmat muoviraaka-aineet toimitetaan useimmiten 700-1000 kg:n oktabiineissa eli kahdeksankulmaisissa isoissa pahviastioissa tai suursäkeissä, kun taas vähemmän käytettävät tai pienillä koneilla ajettavat raaka-aineet toimitetaan yleensä 25 kg:n säkeissä. [22]

Muoviraaka-aineet tulee säilyttää kuivassa paikassa ja auringon UV-säteilyltä suojattuna. Suositeltu varastointilämpötila on suurempi kuin 0 °C. Liian kylmä varastointi voi aiheuttaa veden tiivistymistä eli kondensaatiota, kun raaka-aine tuodaan sisälle lämpöiseen ilmaan ja avataan heti. Tällöin raaka-aine on vaikeampi saada kuivaksi, mikä saattaa aiheuttaa prosessointiongelmia. Kondensaatioveden syntymistä voidaan välttää sillä, että ennen raaka-ainesäkin tai oktabiinin avaamista materiaalin lämpötilan annetaan tasaantua lämpimässä hallissa. [15, 22]

Raaka-aineet on säilytettävä tiiviisti suljettuna, jolloin estetään vieraiden aineiden päätyminen niihin. Raaka-aineet haurastuvat ja tulevat käyttökelvottomiksi ajan myötä. Tämän takia niiden säilytyksessä tulee ottaa huomioon tuotantoerät siten, että vanhin erä on aina helpoiten saatavilla. Tällöin on helpompaa noudattaa FIFO-periaatetta eli sitä, että raaka-aineet käytetään varastosta samassa järjestyksessä kuin ne ovat sinne tulleet. Käyttämällä raaka-aineet tuotantoeräjärjestyksessä sekä pitämällä kirjaa käytössä olevasta tuotantoerästä on myös helpompi jäljittää vialliset tuotantoerät sekä estää nopeasti niiden päätyminen tuotantoon. [15, 22]

5.2 Raaka-aineen kuivaus

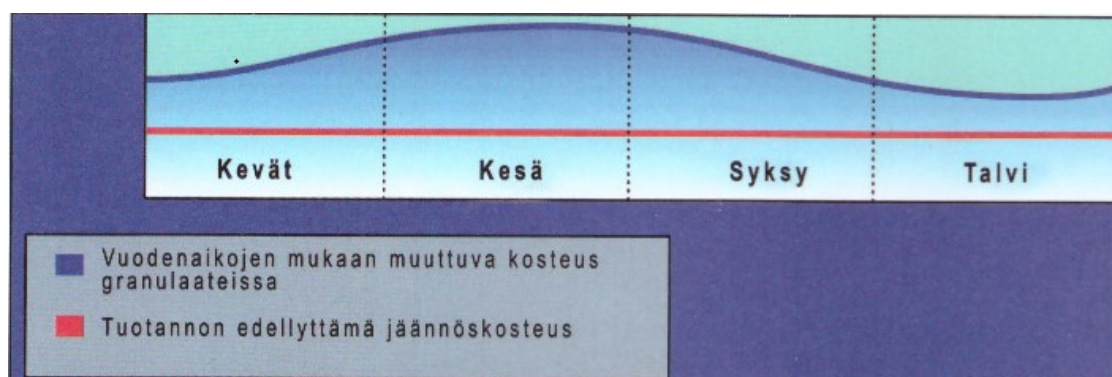
Raaka-ainetoimittajat kuivaavat granulaatit yleensä jo valmistusprosessinsa aikana. Monesti raaka-aineet on kuitenkin pakattu polyeteenista tehtyihin muovipusseihin, jotka eivät suojaa ympäröivältä ilmankosteudelta, koska ne ovat huokoisia. Tällöin granulaatit kontaminoituvat ilmassa olevan kosteuden takia. Jos granulaateissa esiintyy liikaa kosteutta, se vaikuttaa ruiskuvaluprosessiin ja lopputuotteiden laatuun haitallisesti monella tavalla. Näiden seikkojen takia raaka-aineet on kuivattava joka tapauksessa vielä ennen ruiskuvaluprosessia oikean jäännöskosteuspitoisuuden saavuttamiseksi. Myös kuivauksen jälkeen on huolehdittava, että kosteutta ei pääse raaka-aineeseen esimerkiksi raaka-aineen siirtojärjestelmässä olevien vuotojen, vuotavien temperointijärjestelmien tai muotin seinämistä tulevan kondenssiveden takia. [16, 23]

Vaikka liiallinen kosteus aiheuttaakin ongelmia ruiskuvaluprosessiin, on kuitenkin tärkeää, että raaka-ainetta ei kuivata liikaa. Jokaisella raaka-aineella on oma valmistajan testaama ja ilmoittama jäännöskosteusarvo, jolla prosessi toimii optimaalisesti. Jäännöskosteusarvot vaihtelevat 0,02-0,1 painoprosentin välillä muovimateriaalin mukaan. [17, 22]

5.2.1 Hygroσκοoppiset ja ei-hygroσκοoppiset muovit

Monet muovimateriaalit kuten esimerkiksi PC, ABS ja PA ovat hygroσκοoppisia materiaaleja. Tämä tarkoittaa sitä, että joutuessaan kosketuksiin ilmassa olevan kosteuden kanssa, materiaalin kosteuspitoisuus pyrkii tasapainottumaan ympäristössä olevan ilman suhteellisen kosteuden kanssa eli materiaalit absorboivat vettä. Granulaatissa oleva molekyyli rakenne muodostaa tällöin kemiallisen sidoksen vesimolekyylien kanssa. [15, 17, 18]

Ei-hygroσκοoppisten materiaalien tapauksessa kosteutta kertyy vain granulaattien pintaan. Niissä käytetyt seosaineet voivat kuitenkin absorboida kosteutta. Esimerkki ei-hygroσκοoppisesta muovista on polypropeeni. Sekä hygroσκοoppisten että ei-hygroσκοoppisten muovien tapauksessa kuivausmenetelmiä on joka tapauksessa käytettävä. [15, 17]



Kuva 18. Vuodenaikojen vaikutus muoviin sitoutuneen kosteuden määrään. [17]

Eri muovilaaduilla on erilainen kyky sitoa kosteutta itseensä. Veden imeytymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat vallitseva lämpötila, paine, ilmankosteus ja ilmankastepiste. Vuodenajat vaikuttavat muoviin kerääntyvän kosteuden määrään yllä olevan kuvan 18 mukaisesti. [17, 24]

5.2.2 Kosteuden aiheuttamat ongelmat ruiskuvalussa ja vaikutukset tuotteeseen

Raaka-aineen kosteus on yksi yleisimmistä muovituotteiden laatuvirheisiin vaikuttavista tekijöistä. Muovimateriaalin liian suuri kosteuspiitoisuus aiheuttaa monenlaisia ongelmia ruiskuvaluprosessiin aina raaka-aineen syötöstä lopputuotteen laatuun ja ominaisuuksiin saakka. Kohonnut kosteuspiitoisuus aiheuttaa lämpötilan noustessa materiaalin vaahtoamista ja höyrykuplien syntymistä. Lisäksi muotin täyttymisessä voi olla ongelmia, ja valmiissa tuotteissa esiintyy laatuvirheitä. Jos vettä on materiaalissa sen sulatusvaiheessa liikaa, tapahtuu kemiallinen reaktio nimeltään hydrolyysi, joka kiihtyy lämpötilan noustessa. Lämpötilan noustessa yli 100 °C:seen raaka-aineessa oleva vesi höyrystyy aiheuttaen paineen nousun raaka-aineen sisällä. Hydrolyysi ja paineen nousu yhdessä saavat aikaan materiaalin molekyylirakenteen muuttumisen pilkkoen molekyyliketjuja ja hajottaen materiaalia. Tästä aiheutuu moolimassan ja viskositeetin pieneneminen sekä erilaisten pienimolekyylisten hajoamistuotteiden syntyminen. Materiaalin hajoaminen, viskositeetin pieneneminen sekä hajoamistuotteet aiheuttavat lopputuotteeseen rakennevirheitä sekä heikentävät niiden mekaanisia ominaisuuksia. Viskositeetin pieneneminen aiheuttaa myös sen, että sula materiaali virtaa paremmin, jolloin muotti saattaa ylitäytyä. Tämän takia valmiissa tuotteissa voi esiintyä purseita materiaalin kosteuden takia. Kuvassa 19 on esitetty kohdeyrityksessä valmistettu kappale, jossa näkyy raaka-aineen kosteudesta aiheutuneita roiskejälkiä. [17, 19, 24]



Kuva 19. Raaka-aineen kosteudesta aiheutuvia roiskejälkiä kappaleen pinnalla. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Alla olevassa taulukossa 3 on esitetty kosteuden aiheuttamia ruiskuvaluvirheitä. Suuri osa näistä on silmällä erottuvia tuotteen laatuvirheitä, mutta kaikki ongelmat eivät kuitenkaan ole näkyviä. Kosteudella voi olla visuaalisten vaikutusten lisäksi merkitystä esimerkiksi lopputuotteiden mekaanisiin, fysikaalisiin ja sähköisiin ominaisuuksiin, joiden tutkiminen edellyttää mittalaitteiden tai ainetta rikkovien testausmenetelmien käyttöä. Raaka-aineiden kosteus myös nopeuttaa muottien likaantumista, kulumista ja ruostumista aiheuttaen ylimääräisiä huolto- ja korjauskustannuksia. [15, 17, 24]

Taulukko 3. Kosteuden aiheuttamia ruiskuvaluvirheitä [19, 20, 21, 23]

Ruiskuvalu- virhe	Kosteuden vaikutus tai syy
Kosteusjäljet koko kappaleen pinnalla	Sulan massan kiehuminen → kaasu- ja höyrykuplat levinneet kappaleen pintaan muotin täyttymisen aikana
Roiskejäljet (osassa kappaletta)	Kaasukuplat levinneet kappaleen pintaan muotin täyttymisen aikana
Onkalot tai kaasukuplat	Kaasu- ja höyrykuplat kappaleen sisällä. Huom. näkyvät vain läpinäkyvässä raaka-aineessa.
Hauraus	Muuttaa materiaalin ominaisuuksia
Uudelleen rouhitun raaka-aineen ongelmat	Rouhitun raaka-aineen kuivausajat ja lämpötilat erilaiset kuin neutraalisella aineella → kosteus raaka-aineessa
Purseet	Viskositeetti pienenee → sula materiaali virtaa hyvin → muotin ylitäyttö ja purseet
Hilseily	Kosteuden lisäksi myös likainen tai vierasta ainetta sisältävä raaka-aine → kappaleen pinnan kerrokset eivät kiinnity tarpeeksi hyvin toisiinsa → delaminoituminen eli hilseily

Muovin sisältämän kosteuden määrän lisääntyessä sen ominaisuuksiin tulee yleensä seuraavanlaisia muutoksia: [22, 24]

- vetolujuus, iskulujuus ja iskusitkeys heikkenevät
- jäykkyys huononee
- viruminen lisääntyy
- murtovenymä kasvaa
- kimmomoduli pienenee
- lämmönjohtavuus paranee
- sähkönjohtavuus lisääntyy.

5.2.3 Kuivauksen teorettinen tausta

Raaka-aineen kuivausprosessiin liittyvät keskeisesti ilmiöt diffuusio ja höyrystyminen. Hygroσκοoppisiin materiaaleihin imeytynyt kosteus saadaan granulaatin pintaan diffuusion avulla. Pintakosteus, jota esiintyy myös ei-hygroσκοoppisilla materiaaleilla, saadaan sen sijaan pois granulaatin pinnalta höyrystymisreaktion avulla. Vesi höyrystyy kuivauksen aikana ympäröivään kuivurissa olevaan ilmaan, joten kuivauksen lopputulokseen vaikuttaa ilman kosteuspitoisuus. [24]

5.2.4 Veden imeytyminen

Aiemmin todettiin, että materiaalien kyky imeä vettä vaihtelee riippuen siitä, onko kyseessä hygroσκοoppinen vai ei-hygroσκοoppinen materiaali. Erot johtuvat materiaalien molekyyliketjuista. Niissä voi olla dipolisia kohtia eli polaarisia sivuryhmiä, joissa varaukset ovat jakautuneet epätasaisesti. Vesi on voimakkaasti polaarisia molekyylejä, jossa on positiivinen happiatomi ja kaksi negatiivista vetyatomia. Näin ollen vesi pystyy muodostamaan voimakkaan dipoli-dipolisidoksen polymeeriketjun polaaristen sivuryhmien kanssa. Lisäksi vesi voi muodostaa voimakkaita vetysidoksia ja sitoutua polymeeriketjuun heikkojen van der Waalsin -voimien avulla. Tästä syystä polymeerit, jotka sisältävät polaarisia sivuryhmiä, absorboivat eli imevät vettä itseensä enemmän kuin polymeerit, jotka eivät sisällä polaarisia sivuryhmiä. Kaikki kohdeyrityksessä käytetyt materiaalit polypropeenina lukuun ottamatta ovat hygroσκοoppisia, joten kuivaukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. [24]

Polymeeriketjun kemiallisen rakenteen lisäksi polymeerin kykyyn imeä vettä vaikuttaa polymeereissä olevat mikrohuokokset. Niistä vesi pääsee tunkeutumaan materiaalin sisään. Granulaattimuodossa olevassa materiaalissa nämä huokokset ovat kuitenkin

erittäin pieniä, joten niistä sisään pääsevä vesimäärä on pieni. Vaikka määrät ovatkin pieniä, kuivatun materiaalin kosteusarvo nousee huoneenlämpötilassa ja avonaisessa astiassa ollessaan hyvin nopeasti tasolle, joka aiheuttaa ongelmia ruiskuvaluun. [24]

5.2.5 Diffuusio

Diffuusiolla tarkoitetaan atomien ja molekyylien liikettä materiaalissa. Se on hyödyllinen ilmiö kuivauksen kannalta, sillä se saa aikaan granulaattien sisälle imeytyneen veden kulkeutumisen granulaattien pintaan. Toisaalta diffuusion takia vesi myös imeytyy materiaaliin. [24]

Kuivauksen aikana tapahtuu diffuusiota, koska ilmiö pyrkii tasoittamaan konsentraatioerot granulaatin pinnan ja sisäosien välillä. Granulaatin pinnasta haihtuu nopeammin vettä kuin diffuusio pystyy kuljettamaan pois granulaatin sisemmistä osista. Tämän takia granulaatissa vallitsee koko ajan konsentraatioero, jota diffuusio pyrkii tasoittamaan kuljettamalla kosteutta granulaatin pintaosiin. Diffuusionopeuteen vaikuttavat muun muassa materiaalin kiteisyys, tiheys, rakennevirheet, huokoisuus, molekyyli rakenne ja lämpötila. [24]

5.2.6 Höyrystyminen

Höyrystymisessä eli kiehumisessa neste muuttuu kaasuksi. Höyrystyminen on riippuvainen paineesta ja lämpötilasta. Tätä tietoa käytetään hyödyksi materiaalin kuivauksessa. Veden kiehumispiste on normaalipaineessa 100 °C. Osa raaka-aineista kuivataan tätä suuremmissa lämpötiloissa. Kaikkia polymeerimateriaaleja ei voida kuitenkaan lämmitellä tähän lämpötilaan, koska ne voivat hajota termisesti ja holvautua kiinni toisiinsa. Vesi saadaan kuitenkin höyrystymään tätä alhaisemmissa lämpötiloissa, koska nestemäinen vesi pyrkii pääsemään kussakin lämpötilassa tasapainoon kylläisen vesihöyrnsä kanssa. Raaka-aineessa oleva vesi pyrkii siis tasapainoon ympäröivän kuivausilman vesihöyrnsä kanssa. [24]

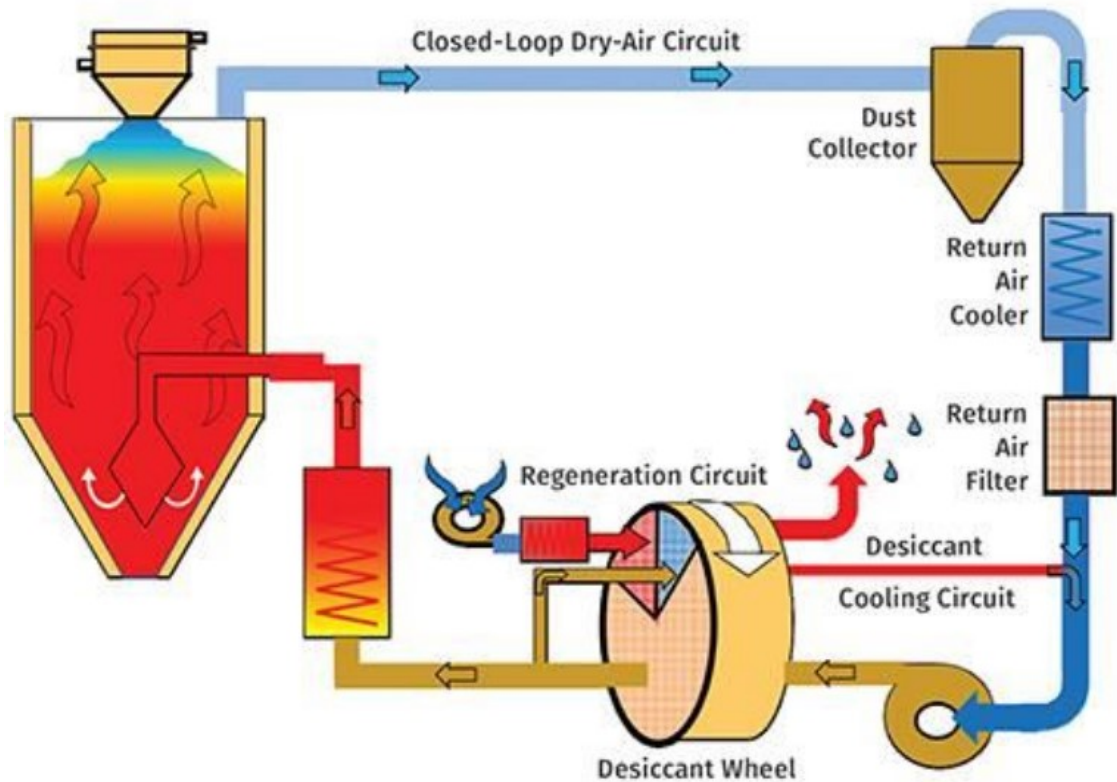
5.2.7 Kuivurit

Ruiskuvaluteollisuudessa raaka-aineen kuivaamiseen käytetyt kuivausmenetelmät jaetaan kuivaimen rakenteen mukaan kuivailma-, kuumailma- ja alipaine kuivureihin. Näistä suosituin menetelmä on kuivailmakuivuri. [22]

Kuivailmakuivurit ovat jatkuvatoimisia kuivauslaitteistoja. Niiden suosio perustuu siihen, että ne eivät ole riippuvaisia ympäristön kosteudesta, vaan kuivaus tapahtuu suljetussa tilassa ja hallituissa olosuhteissa. Lisäksi kuivailmakuivureissa kuivauslämpötilan ei tarvitse olla niin suuri verrattuna kuumailmakuivureihin, koska vesihöyryn paine-ero kuivatavan materiaalin sisältämän veden ja ilman vesihöyryn välillä toteutetaan käyttämällä esikuivattua ilmaa. [17, 22, 24]

Kuivailmakuivurissa granulaattien kuivaamiseen käytettävä ilma esikuivataan ja lämmitetään ensin. Tämän takia granulaattien kosteus pystytään pitämään vakiona ja matalalla tasolla, vaikka ympäristön kosteustaso muuttuisikin. Kuivailmakuivurit ovat yleensä isoja keskuskuivausjärjestelmiä, jotka koostuvat monesta kuivaussiilosta. Tällä järjestelmällä pystytään kuivaamaan usean ruiskuvalukoneen tarvitsemat raaka-aineet samaan aikaan. Kuivailmakuivureita on saatavilla myös koneen viereen asetettuina konekohtaisina kuivureina. Kuivailmakuivureilla kuivaus on nopeaa, tehokasta, taloudellista ja varmaa, vaikka laitteistot ovatkin suhteellisen monimutkaisia ja kalliita. Niillä voidaan kuivata kaikkia muovilaatuja. [17, 22]

Yleisin kuivailmakuivuri on nimeltään desikanttikuivuri. Sen toimintaperiaate perustuu suljettuun kiertoon. Kuivurissa oleva vastus lämmittää ilmaa, joka siirtyy materiaalsiilon pohjalle. Kuivaussiilo tulisi olla aina täynnä raaka-ainetta ja materiaalille määritetty kuivausaika tulisi täytyä ennen kuin materiaalia otetaan käyttöön ruiskuvalukoneille. Kuuma ilma nousee siilossa ylöspäin sekä luonnostaan että siilon pohjaan asetetun puhaltimen avustuksella kulkien muovigranulaattien lävitse ja irrottaen kosteutta niistä. Tämän jälkeen kostea ja kuuma ilma siirretään pois siilosta ja johdetaan suodattimeen, jossa siitä poistetaan pölypartikkelit. Seuraavaksi kostunut ilma johdetaan hygroskooppiin kuiva-ainepatruunaan, jossa molekyyliseula imee siitä kosteuden itseensä eli kuivaa ilman. Tämän jälkeen kuivattu ilma kulkeutuu jälleen lämmittävän vastuksen kautta siiloon ja kierto alkaa uudelleen. Kuivailmakuivurin toimintaperiaatetta havainnollistetaan kuvassa 20. [17]



Kuva 20. Kuivailmakuivurin toimintaperiaate. [25]

Kuivailmakuivureissa on vähintään kaksi kuiva-ainepatruunaa, millä varmistetaan kuivauksen jatkuva prosessi ja riittävä kapasiteetti. Kostuneelle molekyyliseulalle tehdään regenerointi johtamalla sen läpi hyvin kuumaa ilmaa. Tällöin siinä oleva kosteus haihtuu ja se johdetaan pois ympäröivään ilmaan. Regeneroinnin ja jäähdytyksen jälkeen se on jälleen käytettävissä uudelleen seuraavaan kuivausjaksoon. Jos kuivurissa on kaksi kuiva-ainepatruunaa, toista käytetään ilman kuivattamiseen ja samaan aikaan toista regeneroidaan ja näin jatkuva kuivauskierto on mahdollinen. [17]

Kuumailmakuivuri sopii vain ei-hygroσκοoppisten muovien kuivaukseen. Kuumailmakuivauksen ongelmana on ympäristön kosteuden ja lämpötilan vaikutus kuivaustulokseen ja kuivausaikaan. Kuumailmakuivaus ei tapahdu suljetussa tilassa, jolloin kastepiste riippuu ympäröivästä ilmasta. Kuumailmakuivuri toimii siten, että ympäristöstä otettu ilma puhdistetaan ensin suodattimella hiukkasista, minkä jälkeen se esilämmitetään. Tämän jälkeen lämmitetty ilma siirtyy kuivurin alaosaan, josta se puhalletaan granaattien lävitse tasaisesti ja kosteus saadaan haihtumaan lämmön avulla. Kuuma ilma sitoo kosteutta, joka poistuu puhalluksen voimasta kuivurin yläosan kautta ympäristöön. Kuumailmakuivurit ovat yksinkertaisia ja halpoja, mutta kuivaus on hidasta ja kuivaustulos vaihtelevaa. Kuumailmakuivurin käyttö on ongelmallista lämpöherkille materiaaleille, koska kuivausajat ovat pitkiä ja kuivauslämpötilat korkeita. Tällaiset materiaalit voivat

hajota sekä termisesti että hydrolyyttisesti kuivauksen aikana. Materiaaleille, jotka eivät ole herkkiä kosteudelle tai lämmölle, kuumailmakuivaus sen sijaan on hyvä vaihtoehto. [15, 17, 22, 24]

Alipainekuivureiden toiminta perustuu siihen, että vesi kiehuu alhaisessa paineessa jo huoneenlämpötilassa. Kosteus saadaan poistettua granulaateista höyrystymisen avulla. Alipainekuivureiden käyttöön tarvitaan vain vähän energiaa ja niiden huollon tarve on vähäinen, mutta niiden kuivausteho on heikko sekä höyrystyneen aineen poisto systeemistä on hankalaa. [22]

Valittaessa kuivaussiilon tilavuus tietylle prosessille on otettava huomioon kyseisestä siilosta raaka-ainetta käyttävien tuotteiden massat ja jaksonajat. Jos raaka-aineen kuivumisaika on esimerkiksi 4 tuntia, kuivaussiiloon on mahduttava enemmän raaka-ainetta kuin mitä 4 tunnissa kuluu raaka-ainetta kyseisestä kuivaussiilosta. Tämä voidaan laskea kaavalla:

$$m_{ra(siiilo)} > t_k \left(\frac{m_1}{t_1} + \frac{m_2}{t_2} + \dots + \frac{m_n}{t_n} \right), \quad (1)$$

missä $m_{ra(siiilo)}$ on kuivaussiiloon menevän raaka-aineen massa, t_k on raaka-aineen kuivausaika, m_1 , m_2 ja m_n ovat tuotteiden 1, 2 ja n massat ja t_1 , t_2 ja t_n ovat tuotteiden 1, 2 ja n jaksonajat. Kun tiedetään raaka-aineen kuivausaika ja kyseisestä raaka-ainesiilosta raaka-ainetta käyttävien tuotteiden massat ja jaksonajat, saadaan selville, kuinka paljon raaka-ainetta siiloon on vähintään mahduttava, jotta se ehtii kuivua kaikkiin sitä käyttäviin prosesseihin. Tästä voidaan edelleen laskea, mikä raaka-ainesiilon tilavuuden on vähintään oltava:

$$V_{siiilo} > \frac{m_{ra(siiilo)}}{\rho_{ra}}, \quad (2)$$

missä V_{siiilo} on kuivaussiilon tilavuus ja ρ_{ra} on käytettävän raaka-aineen tiheys.

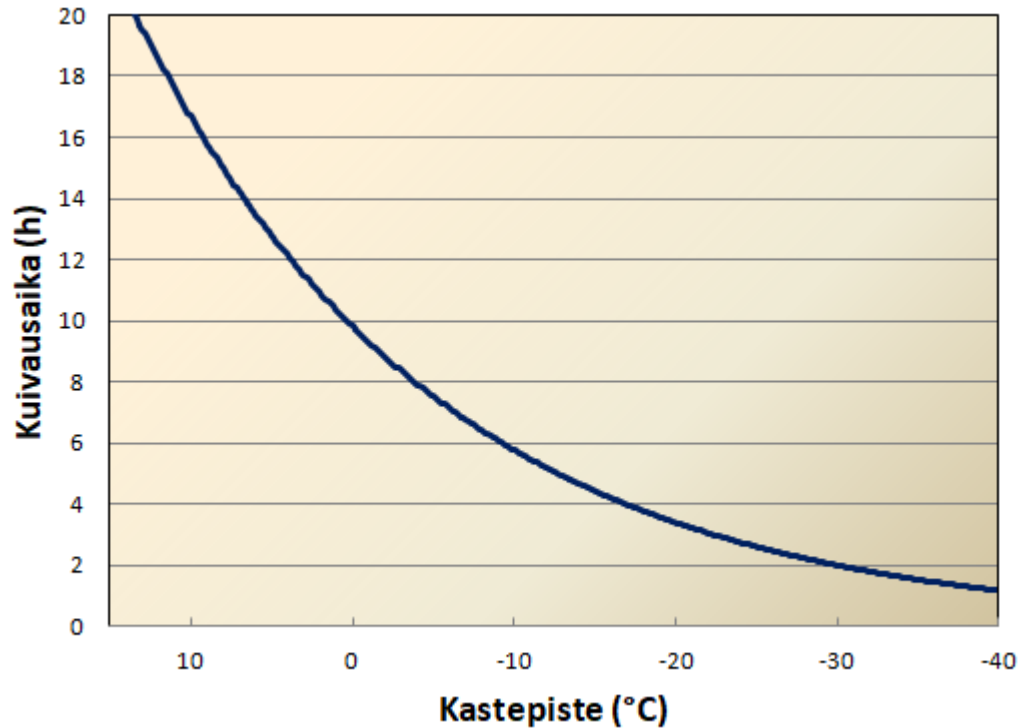
5.2.8 Parametrit muovigranulaattien kuivaamisessa kuivailma-kuivurissa

Kohdeyrityksessä käytettävät kuivurit ovat kuivailmakuivureita. Kuivattaessa muovia tällä menetelmällä on otettava huomioon neljä tärkeää parametria, jotka kaikki vaikuttavat muovin kuivaustulokseen. Nämä parametrit ovat kuivauslämpötila, ilmavirtauksen määrä, kastepiste ja kuivausaika. Raaka-ainetoimittajat ilmoittavat suositellut kuivausparametrit erikseen kaikille raaka-aineille. [17]

Edellä olevista parametreista kuivauslämpötila vaikuttaa eniten raaka-aineen kuivausnopeuteen. Liian suuri kuivauslämpötila voi saada aikaan raaka-aineen termisen hajoamisen, joten lämpötilaa ei voida nostaa sattumanvaraisesti. Raaka-aine vahingoittuu termisessä hajoamisessa molekyyliketjujen katkeillessa tai makromolekyylien muuttuessa, jolloin hajoamistuotteina syntyy kaasumaisia aineita. Nämä aineet aiheuttavat ruiskuvallettavan kappaleen pintaan palamisjälkiä. Tummissa kappaleissa ne esiintyvät vaaleina juovina, kun taas vaaleissa kappaleissa ne ovat ruskehtavia. Liian suuri kuivauslämpötila voi myös aiheuttaa muovien lisäaineiden erottumisen muoveista, jolloin muovin ominaisuudet muuttuvat oleellisesti. Lisäksi liian suuri kuivauslämpötila voi kuivattaa raaka-ainetta liikaa, jolloin sen plastisointi ruiskuvalukoneen ruuvien plastisoitivyyshyökkeellä vaikeutuu. [17, 23]

Toinen raaka-aineen kuivausnopeuteen vaikuttava tekijä on kuivan ilman virtauksen määrä eli ilmavirtauksen tilavuus. Raaka-aineessa oleva kosteus höyrystyy ja haihtuu, kun ilman virtaus siirtää lämpöenergiaa siihen. Aivan kuten kuivauslämpötilaa, myöskään ilmavirtauksen tilavuutta ei voida nostaa rajattomasti, sillä se voi johtaa raaka-aineen ylikuivaukseen tai leijukerroksen syntymiseen. Leijukerros syntyy, kun ilmavirtauksen muovigranulaatteihin kohdistama voima on yhtä suuri kuin maan vetovoima ja silloin muovigranulaatit leijuvat ja aiheuttavat epästabiilin tilan materiaalissa. Ylisuurta kuivausnopeutta käytettäessä myös kustannukset nousevat tarpeettomasti. [17, 26]

Kastepiste on lämpötila, jossa ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Kastepisteessä ilman todellinen kosteuden määrä on yhtä suuri kuin kyseisen lämpötilan maksimikosteuspitoisuus voi olla ja silloin kosteus tiivistyy pisaroiksi. Kastepistelämpötila kertoo siis ilmassa olevan veden määrästä. Mitä vähemmän kosteutta ilmassa on, sitä alhaisempi on sen kastepiste. Näin ollen mitä alhaisemmaksi kuivurissa olevan ilman kastepistemääritetään, sitä kuivempaa granulaattien kuivausilma on. Alhaisempi kastepiste voi kuitenkin nopeuttaa granulaattien kuivumista vain tiettyyn rajaan asti, sillä kosteus ei voi haihtua muovista rajattomasti. Tätä ilmennetään kuvassa 21, jossa kuvataan polykarbonaatin kuivausaikaa kastepisteen funktiona. Kuvaajasta nähdään, että kastepisteen pienentyessä -20 °C :n alapuolelle, kuivausaika ei enää pienene kovin paljon. Suurimmalle osalle hygroskooppisista muoveista kastepisteen arvo -20 °C on sopiva niiden kuivaukseen. Kastepistettä ei kannata laskea tarpeettoman matalaksi, sillä mitä pienemmäksi kastepiste lasketaan, sitä suurempi on ilmankuivaukseen tarvittava energian määrä. [17, 24]



Kuva 21. Polykarbonaatin kuivausaika kastepisteen funktiona. [24]

Neljäs raaka-aineen kuivaukseen vaikuttava suure on kuivausaika. Kuivausaikaa määrittävät veden haihtumisnopeus kyseessä olevasta materiaalista, materiaalin lähtökosteustaso sekä materiaalin haluttu jäännöskosteuden määrä. Liian pitkä kuivausaika saattaa vaurioittaa materiaalia samalla tavalla kuin liian suuri kuivauslämpötila aiheuttaen raaka-aineen termistä hajoamista. Tällöin valmistettavassa tuotteessa voi esiintyä palojälkiä. [17, 23]

Drying Considerations

For both virgin and rework, hopper dryers sized to afford the following conditions are strongly recommended:

- Moisture content must be below 0.04 wt%
- Dry fresh bags for 2 to 4 hours at 120 °C (250 °F)
- Dryer dew point must remain below -20 °C (-5 °F)
- Air flow 3.7 m³/kg/hr (1 cfm/lb/hr)

Kuva 22. Raaka-ainetoimittaja DupontinTM ilmoittamat kuivausparametrit Crastin[®] polybutee-nitereftalaatti raaka-aineelle. [27]

Kuvassa 22 on esitetty esimerkki raaka-ainetoimittajan antamista suositelluista kuivausparametreistä polybuteenitereftalaatille. Raaka-aineen jäännöskosteusprosentti tulisi

olla alle 0,04 painoprosenttia, kuivausaika 2-4 tuntia lämpötilassa 120 °C, kuivurin kastepiste alle -20 °C sekä ilmavirtauksen määrä 3,7 m³/kg/h. [27]

5.3 Raaka-aineen siirto ruiskuvalukoneelle

Raaka-aineiden siirtotekniikkana kuivaussiiloissa toimii gravitaatio eli painovoima. Raaka-aineiden ongelmana siiloissa on niiden taipumus holvautumiseen eli pakkautumiseen tiiviisti yhteen ilman poistuessa raaka-aineesta. Tällöin virtaus siilosta heikkenee tai estyy kokonaan. Tämä ongelma esiintyy erityisesti jauhemaisten muoviraaka-aineiden käytössä, mutta sitä esiintyy myös granulaatteja käytettäessä ja herkemmin rouhitulla kuin neutraalisella raaka-aineella. Raaka-aineen holvautumisen ja muun siiloon tarttumisen estämiseksi kuivaussiilon seinämiä on koputeltava aika ajoin. Holvautumisen estämiseen on olemassa myös fluodisointimenetelmä, jossa raaka-ainesiiloon puhalletaan ilmaa virtauksen parantamiseksi. Yksi keino holvautumisen estämiseksi on pneumaattisten vasaroiden käyttö. Ne asennetaan siilon ulkopinnalle ja ne tuottavat matalan taajuuden tärinää, joka estää holvautumisen syntymisen. [22, 28, 29]

Raaka-aine imetään kuivaussiiloon alipaineella suoraan oktabiinista tai raaka-ainesäkeistä. Täyttö tapahtuu kuivaussiilon yläosasta, jolloin uusi siiloon tuleva aine ehtii kuivua tarpeeksi. Kuivaussiilo tulisi pitää aina täytenä. Kuivaussiilon pohjassa on tyhjennysaukko, josta raaka-aine imetään automaattisesti ruiskuvalukoneille alipaineella putkistoja pitkin. Putkistot kuluvat raaka-aineen siirtämisen vuoksi, joten niiden kuntoa on tarkkailtava ja niitä on uusittava määräajoin, jotta kosteus ei pääse sitä kautta raaka-aineeseen kuivauksen jälkeen ja jotta raaka-aine pääsee kulkeutumaan kunnolla ruiskuvalukoneelle. Jokaisella ruiskuvalukoneella on alipainepumppu, joka imee raaka-ainetta kuivaussiilosta ruiskuvalukoneen syöttösuppiloon. Se, paljonko raaka-ainetta imetään kerralla ja miten usein sitä imetään, riippuu valmistettavan tuotteen massasta ja jaksoajasta. Syöttösuppilossa on kerrallaan ainetta sen verran, että se riittää ½-1 tunnin tuotantoon. Erityisesti hygroskooppisten materiaalien kohdalla on varmistettava, että raaka-aine ei ole lämmittämättömässä syöttösuppilossa edellä mainittua aikaväliä kauempaa, jotta sen kosteuspitoisuus ei nouse uudestaan jäännöskosteusarvon yläpuolelle. [15, 22, 23]

5.4 Raaka-aineiden rouhinta

Ruiskuvalutehtaan tuotannossa hylätyt kappaleet sekä kappaleista poistetut karat voidaan kierrättää uudelleen tuotantoon rouhimalla ne rouhintakoneella. Näin voidaan vähentää materiaalihävikkiä sekä hävikistä syntyneitä raaka-ainekustannuksia.

Neitseelliseen raaka-aineeseen sekoitetun rouhitun raaka-aineen osuus tuotteen valmistuksessa riippuu rouheen laadusta sekä valmistettavan kappaleen laatuvaatimuksista. Joidenkin tuotteiden valmistukseen voidaan käyttää jopa pelkkää rouhetta. [15]

Ennen rouhintaa on varmistettava, että raaka-aine ei ole pilaantunutta. Pilaantunutta raaka-ainetta ovat pitkään säilytetyt, palaneet, likaiset, pölyiset tai rasvaiset kappaleet. Jos tällaista pilaantunutta ainetta sekoitetaan neitseelliseen raaka-aineeseen, koko raaka-aineseos on pilalla. [15]

Tiettyä raaka-ainetta rouhittaessa on varmistettava, että raaka-aine on samaa eikä joukossa ole mitään muuta raaka-ainetta. Jos näin käy, rouhe on käyttökelpotonta. Astioihin, joihin raaka-aineet rouhitaan, on merkittävä selvästi kyseisen raaka-aineen nimi ja astia on suljettava tiiviisti. Kun rouhittavaa raaka-ainetta vaihdetaan, on rouhintakoneisto puhdistettava huolellisesti, jotta seuraavaan erään ei sekoitu edellistä raaka-ainetta. Myös koko rouhintatila on pidettävä puhtana jo pelkästään paloturvallisuuden takia, mutta myös siksi, että epäpuhtauksia ei pääse rouheen joukkoon. [15]

Rouhittu raaka-aine tulee säilyttää kosteudelta suojattuna ja se on kuivattava ennen käyttöä. On myös tärkeää, että rouhittu raaka-aine sekoitetaan kunnolla neitseellisen aineen joukkoon, jotta saavutetaan tasainen sekoitussuhde. Jos rouhintaprosessi tehdään huolellisesti ohjeita noudattaen, rouhetta voidaan käyttää uudelleen tuotannossa ilman vaikeuksia. [15]

6. RAAKA-AINEPROSESSIEN KEHITTÄMINEN

Prosessien kehittäminen alkaa nykytilan kartoituksesta. Siinä selvitetään nykyisten prosessien tämän hetken tila käymällä ne läpi tarkasti vaihe vaiheelta. Kartoituksen perusteella pystytään havaitsemaan prosesseissa ilmenevät kehitettävät toiminnot, jotka esitetään prosessianalysissa. Lisäksi prosessianalysissa selvitetään ja ratkaistaan ongelmia esittämällä kehitysehdotuksia ja niiden tuomia etuja nykytilanteeseen verrattuna. Lopuksi tehdään vielä yhteenveto parannusehdotuksista ja arvioidaan niiden toteutuksen helppoutta, vaikuttavuutta sekä kustannuksia. [30]

6.1 Raaka-aineen vastaanotto- ja säilytysprosessi

Raaka-aineen vastaanotto ja säilytys kuuluvat vastuualueena varastotyöntekijöille. Tämän prosessin nykytilaa ja havaintoja käytiin läpi yhdessä varastotyöntekijöiden kanssa.

6.1.1 Nykytilan kartoitus

Raaka-aineet saapuvat kohdeyritykseen kuorma-autoilla joko perävaunussa tai kontissa. Perävaunusta raaka-aineet pystytään ottamaan trukilla suoraan ulkona vaunun kyljestä ja ne voidaan viedä heti tehtaan piha-alueella sijaitsevaan raaka-ainehalliin, jossa raaka-aineita säilytetään. Kontti sen sijaan täytyy purkaa ensin joko trukilla tai sähköpumppukärryllä tehtaan lähettämön lastauslaiturissa, josta raaka-aineet joko otetaan kaikki lähettämön puolelle tai vain osittain, jos lähettämössä ei ole tilaa. Kontin purkamisen jälkeen lähettämöön otetut raaka-aineet siirretään edelleen lastauslaiturista ulkotrukilla raaka-ainehalliin. Jos kaikki raaka-aineet eivät mahdu lähettämöön, loput raaka-aineet otetaan kontista siten, että yksi henkilö menee konttiin sisään sähköpumppukärryjen kanssa ja siirtää oktabiinit pumppukärryjä käyttäen kontin reunalle, josta toinen henkilö vie ne trukilla raaka-ainehalliin.

Osassa kohdeyrityksen käyttämistä raaka-aineista käytetään kaupintavarastoa. Se tarkoittaa sitä, että raaka-aineita varastoidaan kohdeyrityksessä, mutta raaka-ainetoimittaja omistaa raaka-aineet siihen asti, kunnes ne otetaan käyttöön tehtaalla. Tehdas ilmoittaa toimittajalle kulutetut raaka-aineet ja ne maksetaan sitä mukaa, kun ne on otettu käyttöön. Osassa raaka-aineista käytetään myös VMI-toimintaa (Vendor Managed Inventory), jossa varastonohjaus on ulkoistettu raaka-ainetoimittajalle. Tällöin raaka-

ainetoimittaja vastaa raaka-aineiden riittävydestä ennalta sovittujen varastotasojen mukaisesti. [31]

Kaupintavarastoraaka-aineita vastaanottaessa oktabiineihin laitetaan erillinen merkintä raaka-aineiden tiedoista, jotta niistä tiedetään suorittaa maksu, kun ne on otettu käyttöön. Tehtaalle saapuneet kaupintavarastoidut raaka-aineet myös kirjataan Excel-tiedostoon, johon merkitään, mitä nimikkeitä on saapunut, mitä eränumeroa ne ovat ja paljonko mitäkin erää on tullut. Varastotyöntekijät myös tarkastavat, että rahtikirjaan tai läheteeseen merkityt raaka-aineet ja määrät ovat todellisuudessa myös tulleet. Raaka-aineet, joilla ei ole käytössä kaupintavarastoa, otetaan vastaan toiminnanohjausjärjestelmässä tilausnumeroa vastaan, jolloin ne siirtyvät heti tehtaan varastosaldolle.

Vastaanotetut raaka-aineet viedään säilytykseen raaka-ainehalliin. Hallissa on vain joillekin raaka-aineille omat paikat, mutta suurin osa raaka-aineista laitetaan tilaan, johon ne mahtuvat. Hallissa säilytetään myös tuotteiden pakkaamiseen tarvittavia välipahveja ja laatikoita. Hallissa ei ole lämmitystä eikä ilmankuivausjärjestelmää.

6.1.2 Prosessianalyysi

Raaka-aineen vastaanoton ja säilytyksen prosessissa havaittiin muutama kehitettävä toiminto. Raaka-aineiden purkaminen kontista lastauslaiturin kautta lähettämöön ja siitä edelleen raaka-ainehalliin koettiin hankalaksi. Täydessä kontissa on 24 raaka-aineoktabiinia ja kun ne otetaan kerralla lähettämötilaan, ne täyttävät tilan suurelta osin. Lähettämön kautta kulkee paljon lavaliikennettä, koska lähettämön läheisyydessä ovat työstösolu, tiivistyssolu sekä keskeneräisten tuotteiden varasto, josta edellä mainittuihin prosesseihin otetaan tuotteita. Lisäksi lähettämön kautta kulkee tehtaan isoimpien ruiskuvalumuottien reitti muottivarastosta ruiskuvalukoneille.

Myös sähköpumpukärryillä kontissa olevien oktabiinien käsittely ja siirto kontin reunalle koettiin hankalana. Sähköiset pumpukärryt ovat melko isokokoiset, joten niiden kääntäminen kontissa vaatii tarkkuutta. Lisäksi noin tonnin painoisten oktabiinien siirtämisessä kontin reunalle täytyy olla varovainen. Kumpikin edellä mainituista toimintatavoista vaatii kahden henkilön työajan käytön. Kehitysehdotuksena tähän ongelmaan on alla olevan kuvan 23 mukainen siirrettävä nousuramppi. Sitä pitkin konttiin pääsisi suoraan trukilla eikä edellä mainituissa toimintatavoissa käytettyjä välivaiheita tarvittaisi.



Kuva 23. Siirrettävä nousuramppi kontin purkamiseen trukilla. [32]

Nousuramppi tekisi raaka-aineen vastaanottamisesta turvallisempaa ilman sähköpumpukärryjen kanssa kontissa työskentelyä ja muun lavalienteen joukossa liikkumista lähettämön tiloissa trukilla tai pumppukärryillä. Nousuramppi tekisi toiminnasta myös tehokkaampaa, koska kontin purkaminen ei sitoisi kahden henkilön työaikaa ja purku tapahtuisi nopeammin. Lisäksi kontin purkaminen ei estäisi muiden tehtaassa tapahtuvien toimintojen ylläpitämistä.

Toinen kehityskohde on raaka-aineen säilytys. Tällä hetkellä raaka-aineet säilytetään teltassa, jossa on käytännössä sama lämpötila ja ilmankosteus kuin ulkoilmassa. Teltta suojaa raaka-aineita auringon UV-säteilyltä, mutta talvisin lämpötila teltassa on pakkasen puolella, mikä ei ole suositeltava lämpötila raaka-aineiden varastoinnille. Varsinkin kesäisin ja syksyisin ilmankosteus on korkea. Kylmä lämpötila ja ilmankosteus vaikuttavat yhdessä siihen, että raaka-aineista tulee nopeammin käyttökelvottomia ja niiden kuivaus kestää kauemmin ja vie enemmän energiaa. Myös tuotteiden pakkaukseen käytettävät välipahvit ja pahvilaatikot pilaantuvat herkästi kosteassa ilmassa.

Teltan olosuhteiden lisäksi ongelmana raaka-aineiden säilytyksessä on niiden viemä tila. Muutama vuosi sitten yrityksessä ei ollut käytössä niin suurta raaka-ainevalikoimaa eikä raaka-aineiden menekkikään ollut vielä nykyisellä tasolla, joten säilytystila riitti melko hyvin. Nykyään uusien asiakkuuksien ja menekien kasvun myötä raaka-ainevalikoima ja kulutus alkaa olla niin suurta, että tämänhetkinen varastotila ei riitä. Tämä on johtanut siihen, että raaka-aineilla ei ole enää omia säilytyspaikkoja. Osan raaka-aineoktabiineista pystyy kasaamaan päällekkäin, mutta siitäkään ei ole riittävästi apua, koska monet uudet raaka-aineet toimitetaan kangassäkeissä, joita ei pysty kasaamaan päällekkäin. Raaka-aineita joudutaan laittamaan toisten raaka-ainelavojen eteen, mikä johtaa siihen, että kaikkia tarvittavia raaka-aineita ei pystytä pitämään koko ajan helposti saatavilla. Tämä

hankaloittaa raaka-aineiden inventointia sekä hakemista varastosta käyttöä varten. Raaka-aineita tuovat tehtaan puolelle varastotyöntekijät arkisin aamu- ja iltavuoroissa sekä raaka-aineestaavat ja ruiskuvaluasentajat yövuoroissa ja viikonloppuisin. Tuotannon tehokkuus kärsii, kun raaka-aineen hakuun joudutaan käyttämään ylimääräistä aikaa. Varaston järjestyksen ylläpitäminen vaatii tällä hetkellä kokopäiväistä työtä ja FIFO-periaatteen noudattaminen on haasteellista. Raaka-ainesaldojen fyysisen tarkastamisen vaikeus hankaloittaa myös raaka-aineostojen hallintaa.

Ratkaisuehdotuksena sekä olosuhde- että tilaongelmalle raaka-aineiden säilytyksessä olisi uusi telttahalli, jossa ilmankosteus pysyisi pienenä. Lisäksi voidaan harkita teltan lämmitystä. Näillä toimilla estettäisiin kondensaatioveden syntyminen ja raaka-aineet säilyisivät parempina pidempään kuin kylmässä ja kosteassa säilytyksessä. Lisäksi raaka-aineen kuivausprosessi olisi nopeampi, koska raaka-aine olisi jo valmiiksi lämpimämpää ja kuivempaa kuin tämän hetken prosessissa.

Teltan koon pitäisi olla nykyistä 450 neliömetrin telttaa suurempi. Uuden tilavamman teltan myötä pystyttäisiin merkitsemään jokaiselle raaka-aineelle omat lavapaikat ja jokainen raaka-aine olisi saatavilla koko ajan helposti. Tällöin tuotantoon ei tulisi katkoksia raaka-aineen hankalan sijainnin takia, vaan kaikki aika ja resurssit voitaisiin käyttää tuotannon tehokkaaseen toimintaan. FIFO-periaatteen noudattaminen raaka-aineiden käytössä olisi helpompaa uuden hallin myötä. Omien lavapaikkojen myötä nähtäisiin helposti, paljonko mitään raaka-ainetta on jäljellä, jolloin raaka-aineiden inventointiprosessi nopeutuisi nykyisestä merkittävästi ja olisi luotettavampaa kuin tällä hetkellä. Tämä vaikuttaisi myös raaka-aineiden tilausten hallintaan ja oikea-aikaisuuteen, kun varastosaldot pystyttäisiin varmistamaan nopeammin ja luotettavammin. Uuden hallin myötä saldovirheet huomattaisiin ja pystyttäisiin korjaamaan nopeammin.

Raaka-aineiden säilytyksen tilaongelma on merkitykseltään ehkä vielä suurempi kuin olosuhdeongelma, joten toisen kylmähallin hankinta olemassa olevan hallin lisäksi parantaisi raaka-aineiden vastaanotto- ja säilytysprosessia merkittävästi. Jos uusi halli hankittaisiin, kannattaisi kuitenkin harkita myös raaka-aineiden säilytysolosuhteiden parantamista, koska tällöin molemmat ongelmat pystyttäisiin ratkaisemaan samalla kertaa. Vanhaa kylmää hallia pystyttäisiin edelleen hyödyntämään varastotilana muihin tarkoituksiin kuten keskeneräisten tuotteiden varastointiin sekä tarvittaessa osittain raaka-aineiden säilytykseen, mikäli aivan kaikki raaka-aineet eivät mahtuisi edes uuteen halliin omille merkityille paikoilleen.

6.2 Raaka-aineen kuivausprosessi ja siirto ruiskuvalukoneille

Raaka-aineen kuivausprosessista ja siirrosta ruiskuvalukoneille huolehtivat pääsääntöisesti raaka-ainevastaavat, mutta myös ruiskuvaluasentajat avustavat heitä tehtävässä ja sijaistavat heitä poissaolotapauksissa. Kuivausprosessiin liittyy olennaisesti kuivauslaitteiden toimivuus, joten tehdastekniikan ja huollon työntekijät ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa kuivausprosessia hoitavien työntekijöiden kanssa. Prosessin nykytilaa ja havaintoja käytiin läpi kaikkien tähän prosessiin osallisina olevien edustajien kanssa.

6.2.1 Nykytilan kartoitus

Raaka-ainevastaavan tehtävänkuvaan kuuluu huolehtiminen siitä, että ruiskuvalukoneilla tuotteiden valmistukseen tarvittavat raaka-aineet ovat käyttövalmiina heti, kun muotti on asennettu ajovalmiiksi ruiskuvalukoneelle. Optimaalisessa tilanteessa ajon aloitus ei siis koskaan viivästyisi sen takia, että raaka-aine ei olisi valmiina käyttöön. Ruiskuvalutehtaassa on käytössä tietyt raaka-aineet joka päivä, joten nämä raaka-aineet ovat kuivumassa koko ajan. Näiden raaka-aineiden osalta kuivausprosessissa huolehditaan siitä, että kuivaussiilot pysyvät täysinä. On siis huolehdittava siitä, että siiloon imeetään raaka-ainetta kulutuksen mukaan. Tämä tapahtuu siten, että siilosta lähtevä letku on koko ajan raaka-aineen seassa, jotta se ei ime vain ilmaa. Raaka-ainetta voidaan imeä suoraan oktabiinista, suursäkistä tai erillisestä astiasta, johon raaka-ainetta on laitettu. Kun raaka-ainetta imeetään oktabiineista tai astioista, niissä pidetään kannet päällä, jotta sekaan ei pääse muita raaka-aineita tai epäpuhtauksia. Joskus imu tapahtuu myös suoraan 25 kg:n säkeistä, jolloin yleensä imeetään kerralla siiloon sen verran ainetta, että se riittää koko ruiskuvaluajoon. Tällöin ei tarvitse enää erikseen ajon aikana valvoa raaka-aineen pääsyä siiloon. Tarkimmin imuprosessia on valvottava silloin, kun imettävässä astiassa oleva raaka-aine vähenee sen verran, että imuletku ylettyy astian pohjaan. Tällöin raaka-ainekerrosta on lapioitava tasaisemmaksi ja varmistettava, että raaka-ainetta saadaan imettyä. Loput raaka-aineet saa imettyä ohjaamalla letku käsin oikeaan paikkaan. Kun oktabiini tai astia on tyhjä, se siirretään pois ja laitetaan tilalle uusi oktabiini tai uudelleen täytetty astia, josta siiloon saadaan taas imettyä uutta raaka-ainetta. Raaka-ainevaihdon yhteydessä merkataan kulutukseltaan suurimpien raaka-aineiden osalta raaka-aineiden vaihtolistaan käyttöön otetun raaka-aineen nimi ja eränumero sekä päivämäärä ja kellonaika, jolloin vaihto on tehty. Uuden raaka-aineen hakee raaka-ainehallista varastotyöntekijä, raaka-ainevastaava tai ruiskuvaluasentaja. Tyhjtä oktabiinit viedään joko pahvijätteisiin tai säästetään rouhittavien raaka-aineiden säilytystä varten. Suursäkit ja muovisäkit laitetaan jätteisiin.

Raaka-ainevastaavat näkevät tuotantoajolistaalta työnsä kannalta oleelliset asiat. Listalta nähdään parhaillaan ajossa olevat tuotteet ja vähintään muutama tulossa oleva tuote jokaisella ruiskuvalukoneella sekä näissä tuotteissa tarvittavat raaka-aineet. Raaka-aineiden lisäksi listalta nähdään tuotantoerien kappalemäärät. Tarkemmat tiedot eri ajoista löytyvät työmääräimistä, joista selviää niin ikään käytettävä materiaali ja tuotantoerän kappalemäärä. Lisäksi työmääräimistä löytyvät tuotteen paino, jaksonaika sekä ajossa kuluva raaka-aineen kokonaisuudessa. Nämä tiedot ovat tärkeitä raaka-ainevastaavan työssä, jotta osataan valita oikeankokoinen kuivaussiilo raaka-aineelle. Jotkut tuotteet valmistetaan kahden raaka-aineen sekoituksesta, joten myös sekoitussuhde nähdään työmääräimestä. Raaka-ainevastaavan täytyy seurata käynnissä olevia ajoja, tietää mitä raaka-aineita niissä käytetään ja olla selvillä myös eri ajojen valmiusasteesta. Tämän lisäksi heidän täytyy valmistella jo tulevia ajoja ja laittaa tarvittaessa niissä käytettävät raaka-aineet valmiiksi siiloihin. Raaka-aineet laitetaan kuivumaan, kun arvioidaan, että kone on ajovalmiina kuivumisajan puitteissa.

Kun ajettavaksi on tulossa raaka-aine, jota ei ole vielä valmiina missään siilossa, on mietittävä, minkä kokoiseen siiloon se laitetaan kuivumaan. Tämä on arvioitu käyttäen apuna valmistettavan kappaleen kokoa ja tuotantoerän määrää. Tehtaassa on kuusi eri kuivailmakuivurijärjestelmää, joissa kaikissa on useampi siilo. Yhteensä siiloja on noin kolmekymmentä ja kooltaan ne vaihtelevat 40 ja 1700 litran välillä. Käytettävän siilon pitää olla puhdistettu edellisestä raaka-aineesta. Mikäli näin ei ole, siilo ja putket puhdistetaan paineilman ja räätien avulla puhtaaksi. Erityisen tärkeää huolellinen puhdistus on silloin, kun raaka-aine on eri laatua kuin siilossa aikaisemmin ollut tai silloin, kun edellinen raaka-aine on ollut eriväristä. Joskus voi olla myös tilanne, että sopivan kokoista siiloa ei löydy tyhjänä, vaan siinä oleva raaka-aine on tyhjäntävä ensin pois siilosta. Kun siilo on saatu tyhjäntävä ja/tai puhdistettua, aletaan raaka-ainetta imeä siiloon asettamalla kuivurin käyttöliittymästä imutoiminto päälle kyseiselle siilolle. Siilo imetään täyteen raaka-ainetta. On tärkeää, että siilossa oleva raaka-aine merkitään paperille, joka kiinnitetään siilon kylkeen ja edellinen merkintä otetaan pois. Tämän jälkeen säädetään käyttöliittymästä materiaalille ominainen kuivauslämpötila, josta saadaan tieto materiaalitiedoista tai kokeenemmilta asentajilta. Myös kuivausajat löytyvät materiaalitiedoista, mutta usein tässäkin toimitaan muistin ja arvioinnin varassa. Kaikista materiaaleista ei ole työntekijöiden saatavilla materiaalitietoja.

Materiaalien kuivaustilan ulkopuolella on jakotukki, johon raaka-aineet kulkeutuvat ensin kuivaussiiloista omia putkia pitkin. Jakotukista valitaan letkuja kiinnittämällä, mistä siilosta otetaan raaka-ainetta millekin ruiskuvalukoneelle. Tässä vaiheessa on

varmistettava, että samasta raaka-ainesilosta ei oteta liian monelle koneelle raaka-ainetta, jotta raaka-aine ehtii kuivua. On myös varmistettava, että raaka-ainetta ei mene samasta silosta isolle ja pienelle ruiskuvalukoneelle, koska tällöin saattaa käydä niin, että pienelle koneelle ei päädy raaka-ainetta ollenkaan. Tämä johtuu siitä, että isot koneet imevät raaka-ainetta paljon suuremmalla imuteholla, jolloin sitä ei päädy pienille koneille riittävästi. Raaka-aineen kosteuspitoisuuden seurantaan ei ole mittareita, joten raaka-aineen kuivuus arvioidaan kuivausajan perusteella. Kun oikean silon raaka-aine on kytketty jakotukista siirtymään oikealle ruiskuvalukoneelle, voidaan ajo aloittaa, mikäli ruiskuvalukoneella kaikki on valmista ja raaka-aineen arvioidaan olevan kuivaa.

Raaka-aine saadaan siirtymään silosta ruiskuvalukoneelle jakotukin käyttöliittymästä, josta saadaan painettua imut päälle konekohtaisesti. Sekä ruiskuvalukoneen raaka-ainesuppilossa että kuivaussilossa on anturit, joiden avulla ne tunnistavat automaattisesti, milloin ruiskuvalukoneen suppiloon imetään lisää raaka-ainetta kuivaussilosta ja toisaalta, milloin kuivaussiloon imetään lisää raaka-ainetta oktabiinista, säkistä tai astiasta. Kuivureiden näyttö ilmoittaa, mikäli jossain letkussa on imuhäiriö, eikä se saa imettyä lisää raaka-ainetta siloon. Nämä häiriöt jäävät kuitenkin monesti huomaamatta, sillä näytöt sijaitsevat vaikeakulkuisissa paikoissa. Lisäksi silo voi päästä tyhjäksi ilman, että kuivuri ilmoittaa häiriöstä. Siilossa raaka-aineen sisäänmenoaukossa on läppä, joka on auki silloin, kun siilossa on riittävästi raaka-ainetta. Kun raaka-aineen pinta laskee tarpeeksi, raaka-aine ei pidä läppää enää auki vaan se menee kiinni. Tämä indikoi siitä, että siloon pitäisi imeä lisää raaka-ainetta. Joskus läppä kuitenkin voi jäädä jumiin auki-asettoon. Tällöin raaka-ainetta ei siirry siloon, koska imukäskyä ei ole läpän auki jäämisen takia koskaan tullut. Samanlainen systeemi on myös suurimmassa osassa ruiskuvalukoneiden raaka-ainesuppiloista. Joissain koneissa on kapasitiivinen mittari, joka mittaa pinnan tasoa. Kuivaussiloissa on myös lasi-ikkuna, josta raaka-aineen pintaa voi seurata. Se on kuitenkin melko alhaalla, joten jos raaka-aineen pinta on päässyt laskemaan jo lasin tasolle, siloon sen jälkeen lisätty raaka-aine ei välttämättä ehdi kuivua ajoissa. Lisäksi usein ei ole aikaa seurata pintaa manuaalisesti.

Muita raaka-ainevastaavan tehtäviä ovat kuivaushallin yleisen siisteyden ylläpitäminen. Tyhjä raaka-aineoktabiini ja -säkit viedään heti pois. Lattiat siivotaan raaka-ainegranaulaateista, jolloin pumppukärryt pääsevät liikkumaan paremmin ja painavat raaka-ainelavat liikkuvat helpommin. Käyttämättömät raaka-aineet viedään ajon jälkeen takaisin raaka-ainehalliin.

6.2.2 Prosessianalyysi

Myös raaka-aineiden kuivaus- ja siirtoprosesseissa havaittiin kehityskohteita. Kuivausta vaikeuttavat tämänhetkiset raaka-aineiden säilytysolosuhteet, jotka ovat suurimman osan vuodesta liian kylmät ja kosteat. Lisäksi ajoittainen raaka-aineiden vaikea saatavuus telttahallista vie aikaa ja hankaloittaa kuivausprosessin valmistelua. Nämä materiaalien kuivaukseen liittyvät ongelmat käytiin kuitenkin läpi jo raaka-aineiden vastaanotto- ja säilytysprosessissa, joten tässä prosessianalyysissä keskitytään enemmän muihin kuivausprosessin kehityskohteisiin.

Raaka-aineesta tehtävä on melko uusi tehtävänimike kohdeyrityksessä. Aikaisemmin ruiskuvaluusentajat hoitivat nämä tehtävät kokonaan. Nykyisillä raaka-aineista ei ole vielä kovin paljon työkokemusta tästä tehtävästä. Sen takia olisikin varmistettava, että he käyttävät kaikkia mahdollisia saatavilla olevia tietoja työnsä suorittamisessa.

Työmääräinten tiedot

Jokaisesta tuotantoerästä erikseen tehdystä työmääräimestä löytyy paljon tietoa, jota saa hyödynnettyä kuivausprosessissa. Tällä hetkellä tietoa ei ole hyödynnetty kaikilla tavoin, vaan ajolista on katsottu yleensä vain käytettävä raaka-aine ja tuotantoerän suuruus ja sen jälkeen on arvioitu tuotteen koon perusteella sen massa. Näiden tietojen perusteella on valittu tarvittava siilo arvioimalla. Työmääräimissä olisi kuitenkin saatavilla kappaleen tarkka massa ja ajon jaksonaika, joita hyödyntämällä riittävän kuivaussiilon kokoa ei tarvitsisi arvioida, vaan sen voisi laskea melko tarkasti luvussa 5.2.7 esitetyillä kaavoilla 1 ja 2. Tämä edellyttää tosin sitä, että tuotantoeristä kirjattu data on todenmukainen ja että eri erät ajetaan suunnilleen samoilla ajoarvoilla ja jaksonajoilla. Datan päivittämiseen onkin panostettu tänä vuonna ottamalla tuotantoeristä jaksonajat ja tuotteiden massatiedot talteen ja tarvittaessa tehty muutokset toiminnanohjausjärjestelmään. Kuivaussiiloissa ei ole tällä hetkellä selviä merkintöjä niiden tilavuuksista. Nämä tiedot olisi lisättävä siiloihin, jolloin oikean siilon valinta helpottuu.

Materiaalitiedot

Tällä hetkellä kaikista kohdeyrityksessä käytetyistä raaka-aineista ei ole työntekijöiden saatavilla materiaalitietoja, joista näkyvät muun muassa kuivauslämpötilat, kuivausajat ja prosessointilämpötilat. Nämä tiedot olisi laitettava työntekijöiden saataville jokaisesta

raaka-aineesta. Tehtaalle tehtiin viime vuonna oma uusi tila raaka-ainekuivureille, mutta olemassa olevat materiaalitiedot ovat edelleen vanhassa paikassa. Tiedot on siirrettävä sinne, missä niitä eniten tarvitaan eli kuivaustilaan. Raaka-ainevastaavilta on myös varmistettava, että he tietävät, mitä kaikkea kuivaukseen liittyvää tietoa on saatavilla. Kuivausajat, kuivauslämpötilat ja materiaalin tiheys ovat oleelliset kuivausprosessissa tarvittavat materiaalitiedot.

Kuivaussiilossa olevan raaka-aineen pinnankorkeuden seuranta

Kohdeyrityksessä toistuu lähes viikoittain tilanne, että jokin raaka-ainesilo pääsee tyhjentymään. Tällöin tuotanto pysähtyy kyseisestä siilosta raaka-ainetta ottavilla ruiskuvälukoneilla muutamaksi tunniksi, kun kuivausprosessi täytyy aloittaa alusta. Siilon tyhjeneminen johtuu useimmiten nykytilan kartoituksessa kuvatusta tilanteesta, jossa siilon läppä on jäänyt jumiin, eikä tällöin imuhäiriöilmoitusta tule. Ehdotuksena tämän ongelman ratkaisemiseen on siilossa olevan raaka-aineen pinnankorkeuden jatkuva seuranta mittaamalla. Tällä hetkellä siilot ilmoittavat siitä, jos putket eivät saa imuista huolimatta imettyä raaka-ainetta siiloon. Jos imukäskyä ei tule läpän juuttumisen takia, pinnankorkeus siilossa saattaa alentua niin, että sitä ei huomata. Sekä imuhäiriöilmoitus että pinnankorkeuden mittaaminen ja sitä kautta tuleva käsky siilon täyttämiseen tukisivat toisiaan ja raaka-aineen virtaamattomuus kuivaussiiloon huomattaisiin ajoissa, jolloin tilanteeseen ehdittäisiin reagoida eikä silo pääsisi tyhjäksi.

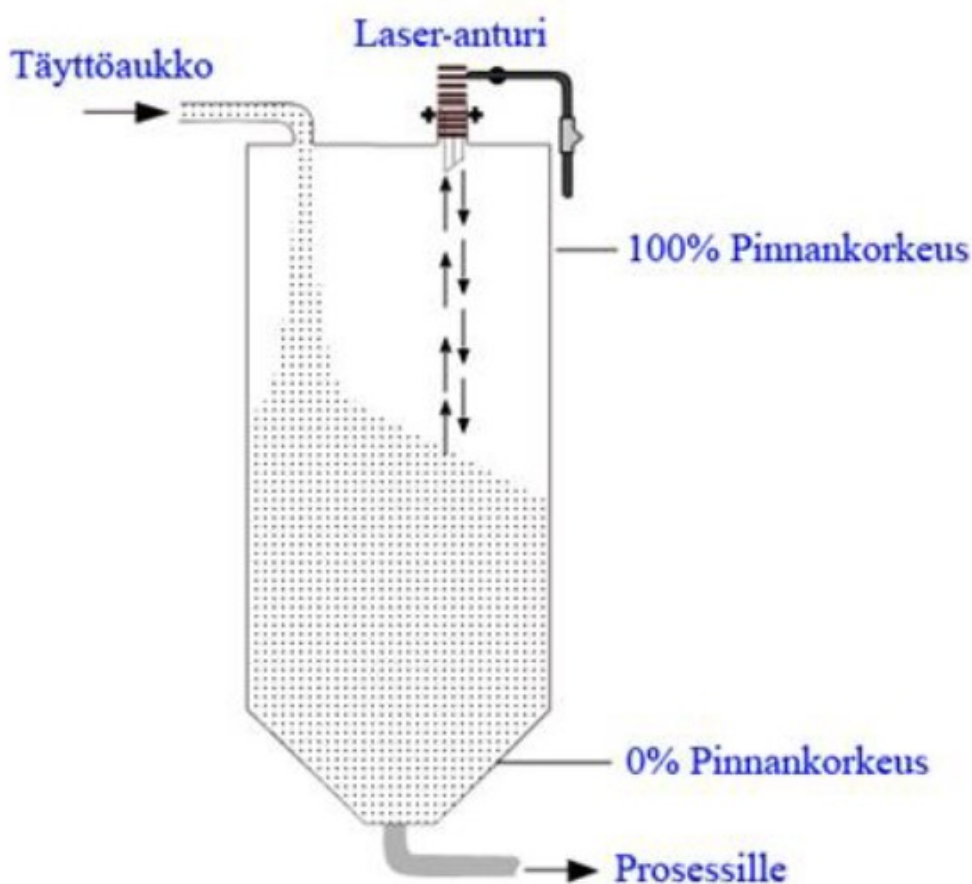
Jatkuvaan muovigranulaattien pinnankorkeuden mittaamiseen kuivaussiilossa soveltuvat muun muassa ultraäänen ja laseriin perustuvat menetelmät. Ultraäänimenetelmässä siilon yläosaan asennetaan anturi, joka toimii ultraäänipulssin lähettäjänä ja vastaanottajana. Tämä äänipulssi heijastuu mitattavan granulaatin pinnasta takaisin anturille. Anturi mittaa äänipulssin lähettämisestä vastaanottamiseen kulunutta aikaa ja sen perusteella määrittää pinnankorkeuden. Tämän menetelmän hyötynä on, että laitteiston ei tarvitse olla kosketuksissa mitattavan granulaatin kanssa. Ultraäänen väliaineena siilossa toimii ilma, joten siilossa oleva pöly voi aiheuttaa ongelmia mittaukseen. Lisäksi siilossa olevan granulaatin korkea lämpötila voi vaikuttaa mittaustuloksiin. Ongelmia aiheuttaa myös se, että siilon täytyminen on epätasaista, joten signaali voi heijastua väärään suuntaan. [29, 33]

Myös laseranturi asennetaan siilon yläosaan. Anturi lähettää lasersäteitä kohti granulaatin pintaa ja mittaa ajan, joka sillä kestää kulkea anturista granulaatin pintaan ja takaisin.

Kun lasersäteen nopeus ja aika, joka sillä kuluu edestakaiseen matkaan ovat tiedossa, anturi laskee etäisyyden anturilta granulaatin pintaan kaavalla:

$$s = v \frac{t}{2}, \quad (3)$$

jossa v on lasersäteen nopeus ja t on aika, joka lasersäteeltä kestää kulkea anturilta granulaatin pintaan ja takaisin. Kuvassa 24 on esitetty laseranturin toiminta siilossa olevan raaka-aineen pinnankorkeuden mittaamisessa. [29]



Kuva 24. Laseranturin toiminta pinnankorkeuden mittaamisessa siilossa. [29]

Lasermenetelmän hyötyjä ovat mittauksen nopeus, koskemattomuus mitattavan aineen pintaan ja se, että siilon olosuhteet eivät vaikuta mittaustuloksiin. Ongelmia mittauksiin voivat aiheuttaa siilossa oleva pöly sekä laserlähettimen linssin likaantuminen. [29]

Granulaatin pinnankorkeutta mitattaessa saattaa esiintyä myös muita ongelmia mittaamenetelmästä riippumatta. Granulaatit levittäytyvät siilossa epätasaisesti, joten pinta ei ole joka kohdassa samalla tasolla. Granulaatit poistuvat siilon alaosasta keskeltä, jolloin pinta laskee enemmän keskeltä kuin reunoilta. Granulaattien jakauma pinnan tasolla

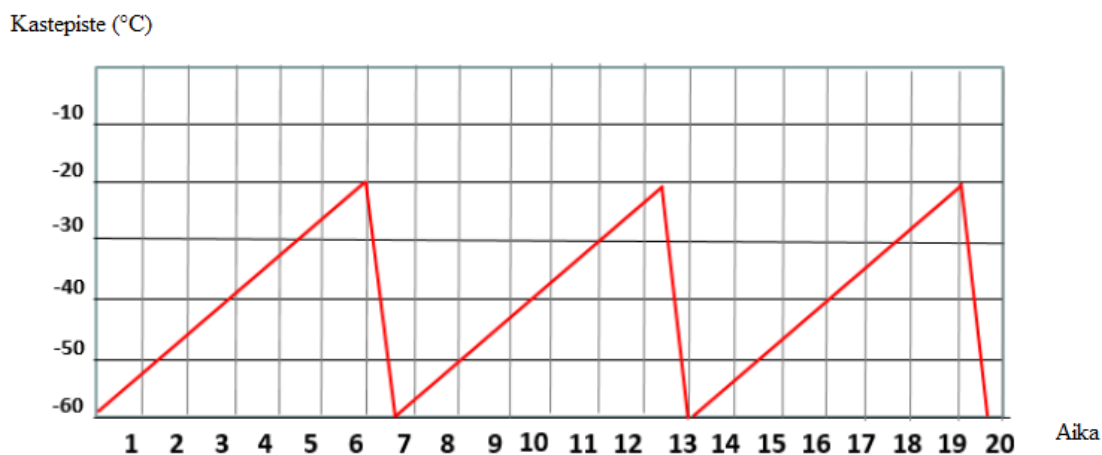
vaihtelee myös siilon täyttöaukon sijainnin mukaan. Eri kohdista mitattaessa pinnankorkeuslukemat saattavat vaihdella merkittävästi. Tämän takia anturia ei kannata asentaa aivan siilon reunaan eikä myöskään keskelle. Toinen ongelmia aiheuttava seikka on granaattien holvaantuminen, joka voi vääristää pinnankorkeusmittauksen tulosta. Mikäli pinnankorkeutta mitattaessa havaitaan granaattien holvautumista, voidaan harkita myös pneumaattisten vasaroiden hankintaa. [29]

Tämän diplomityön tekemisen aikana tehtaalle hankittiin jo yksi laseranturi mittaamaan yhden siilon raaka-aineen pinnankorkeutta. Pinnankorkeudelle pystytään asettamaan minimi- ja maksimiarvot, joiden rajoissa raaka-aineen pinnan täytyy koko ajan olla. Kun pinnankorkeus vähenee minimiarvon tasolle, anturi antaa signaalin, jolloin raaka-ainetta imetään lisää siiloon. Pinnankorkeuslukema nähdään koko ajan numeerisena laitteen näytöltä.

Kuivailmakuivurin kuivausilman kastepisteen seuranta

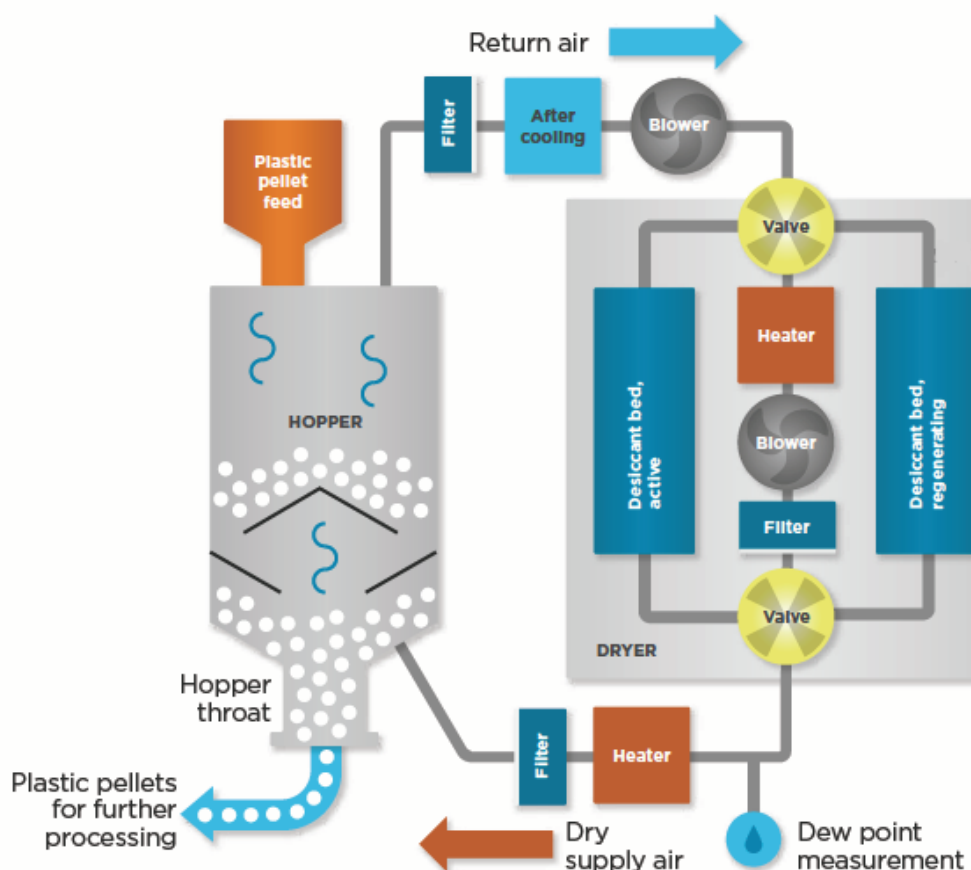
Tällä hetkellä kohdeyrityksen kuivailmakuivureiden tuottaman kuivausilman kastepistettä ei mitata jatkuvasti. Ainoastaan kerran vuodessa ulkoinen toimija käy tarkastamassa kuiva-aineiden tehon kastepistemittauksella. Jatkuvan kastepistemittauksen ansiosta varmistettaisiin, että käytettävä kuivausilma on koko ajan tarpeeksi kuivaa ja sen myötä raaka-aineiden kuivaus tehokasta.

Tällä hetkellä kuivailmakuivureiden kuiva-ainepatruunoiden vaihto tapahtuu aikaohjautusti kolmen tunnin välein. Tällöin ei ole täyttä varmuutta siitä, onko parhaillaan käytössä oleva ilma enää tarpeeksi kuivaa vai voisiko sitä vielä käyttää ennen patruunan vaihtoa. Toisaalta siitäkään ei ole varmuutta, onko regeneroinnissa olevan patruunan molekyyli-seula vielä valmis ottamaan kosteutta vastaan, niin että kuivausilmasta tulee tarpeeksi kuivaa. Kuiva-ainepatruunan vaihto voitaisiinkin optimoida mittaamalla kuivausilman kastepistettä ennen kuin ilma lämmitetään uudelleen. Kastepisteen raja-arvoksi asetettaisiin raaka-ainetiedoista löytyvä raaka-ainekohtainen kastepisteen arvo, joka kuivausprosessissa tulisi koko ajan vähintään olla. Kun kastepiste nousee tämän arvon yläpuolelle, kuivausilma on liian märkää ja kuiva-ainepatruuna on vaihdettava. Tämä vaihto havainnollistetaan kuvassa 25. [34]



Kuva 25. Kastepisteen arvolla $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ohjautuva kuiva-ainepatruunan vaihto. [35]

Kuvassa 25 kuvataan kastepistettä ajan funktiona. Kuvan esimerkkitilanteessa kastepisteen ohjausarvoksi on valittu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kun ilma saavuttaa tämän kastepisteen arvon, se toimii signaalina kuiva-ainepatruunan vaihdolle. Kun kuiva-ainepatruunan vaihto tehdään, raaka-ainetta kuivattava ilma saavuttaa melko nopeasti syklin alhaisimman kastepisteen arvon. Tämän jälkeen kastepiste nousee lineaarisesti saavuttaen jälleen jossain vaiheessa raja-arvoksi asetetun kastepisteen $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, jolloin tapahtuu taas kuiva-ainepatruunan vaihto. Prosessia optimoidessa on huomioitava, että kastepisteen arvoa ei kannata laskea kuiva-ainepatruunan vaihdon jälkeen liian matalalle, sillä kuivausaika ei enää merkittävästi vähene, mutta energiakustannukset nousevat huomattavasti. Kastepistemittarin sijoittuminen kuivailmakuivurin toimintaperiaatteessa nähdään kuvasta 26. [35]



Kuva 26. Kastepistemittarin optimaalinen sijoituspaikka kuivaussyklissä on kuivaussyklön ja lämmitysvastuksen välissä. [34]

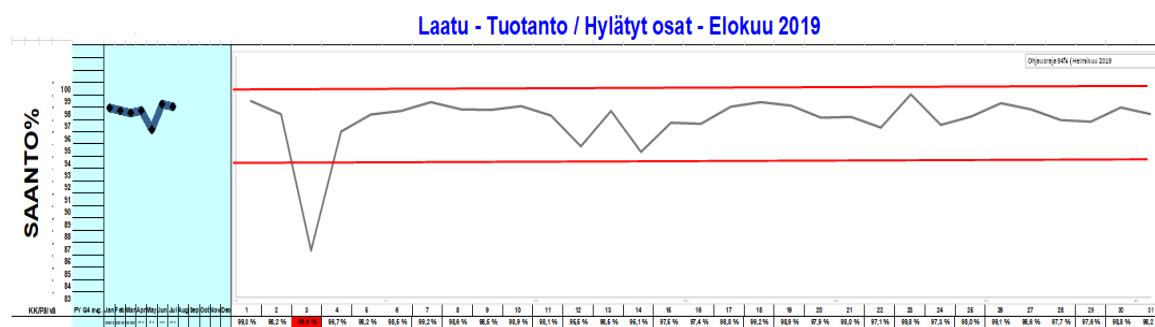
Kastepistemittauksen avulla pystytään havaitsemaan, jos kuivausprosessissa on jotain vikaa. Sen avulla varmistetaan tasainen kuivaustehokkuus ja sitä kautta myös tasainen tuotelaatu. Kun vaadittu kuivaustehokkuus on varmistettu, myös kuivausajat pysyvät kohtuullisina ja energiakustannuksissa säästetään. Optimaaliset kuivausajat varmistavat sen sijaan sen, että raaka-aineita ei ylikuivata eivätkä ne hajoa termisesti, koska niiden ei tarvitse olla tarpeettoman pitkiä aikoja lämpimässä kuivaussilossa. Energiasäästöjä saadaan myös sillä, että kuiva-ainepatruunoiden vaihto tehdään oikea-aikaisesti. [34]

Raaka-aineen kosteuspitoisuuden seuranta

Kuivatun raaka-aineen kosteuspitoisuutta ei mitata tehtaalla, joten raaka-aineen riittävän kuivuuden taso ja ajon aloittamisen ajoitus arvioidaan tällä hetkellä raaka-ainekohtaisten kuivausaikojen perusteella. Ajon aloittamisen ajoittamisessa pelataankin usein vähän varman päälle, jotta raaka-aine on varmasti kuivaa. Tästä huolimatta märkää raaka-ainetta voi päästä ruiskuvalukoneelle ja tuotantoon, mikäli kuivuriin tulee vika kesken ajon, siilo on päässyt tyhjenemään kesken ajon tai siilon tilavuus on liian pieni käynnissä

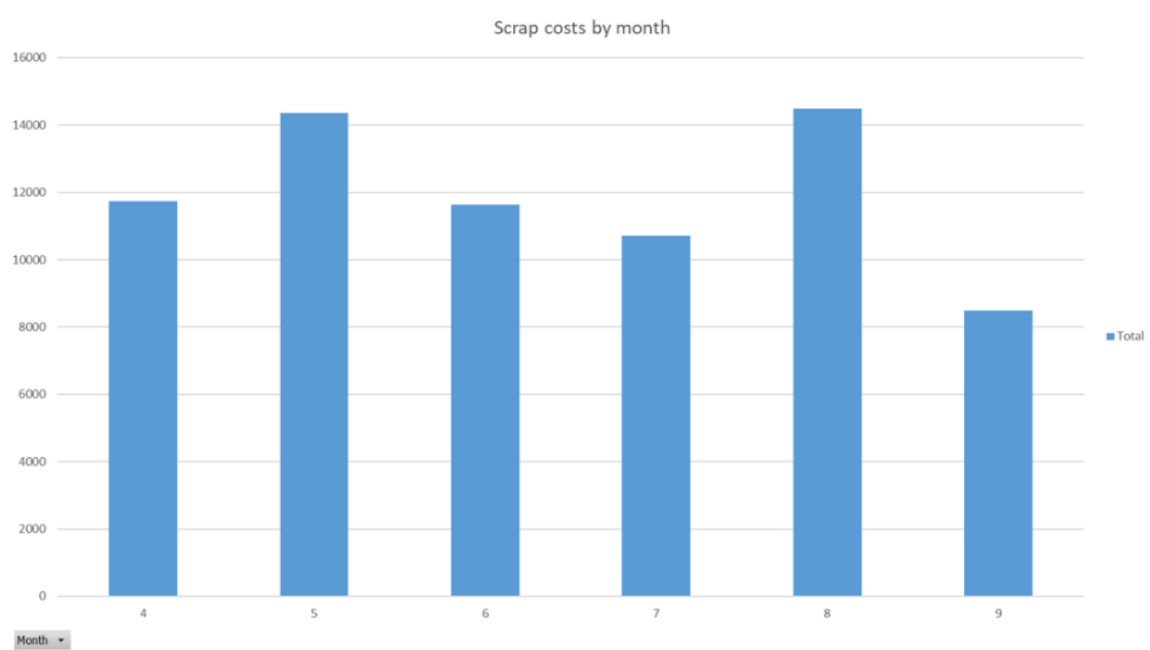
oleviin ajoihin nähden. Tehtaan ruiskuvalutuoantanto on pitkälle automatisoitua, joten robotin pakkaamien tuotteiden laatua ei tarkasteta yksitellen, ellei ongelmia ilmene ajon aikana. Mikäli tuotelaatu on huonoa esimerkiksi raaka-aineen märkyyden takia, kone voi tehdä kaksikin tuntia huonoja kappaleita, sillä automatisoitujen ajojen tuotelaatu tarkastetaan pääsääntöisesti kahden tunnin välein. Tästä aiheutuu kustannuksia hukkamateriaalin syntymisen, koneajan menettämisen ja huonojen kappaleiden käsittelyyn ja rouhintaan kuluvien resurssien takia.

Tehtaalla on alettu kerätä tilastoa vuoden 2019 alusta alkaen huonojen kappaleiden määristä jokaisessa tuotantoerässä. Päivittäisenä ohjausalarajana on 94 prosentin saanto. Mikäli on menty tämän rajan alapuolelle, on selvitetty tähän tilanteeseen johtanut erityisyys. Tätä havainnollistetaan kuvassa 27, jossa on esitetty tilasto elokuulta 2019. Punaisella viivalla on merkitty ohjausrajat 94 % ja 100 %. Elokuun aikana yhtenä päivänä on menty ohjausalarajan alapuolelle.



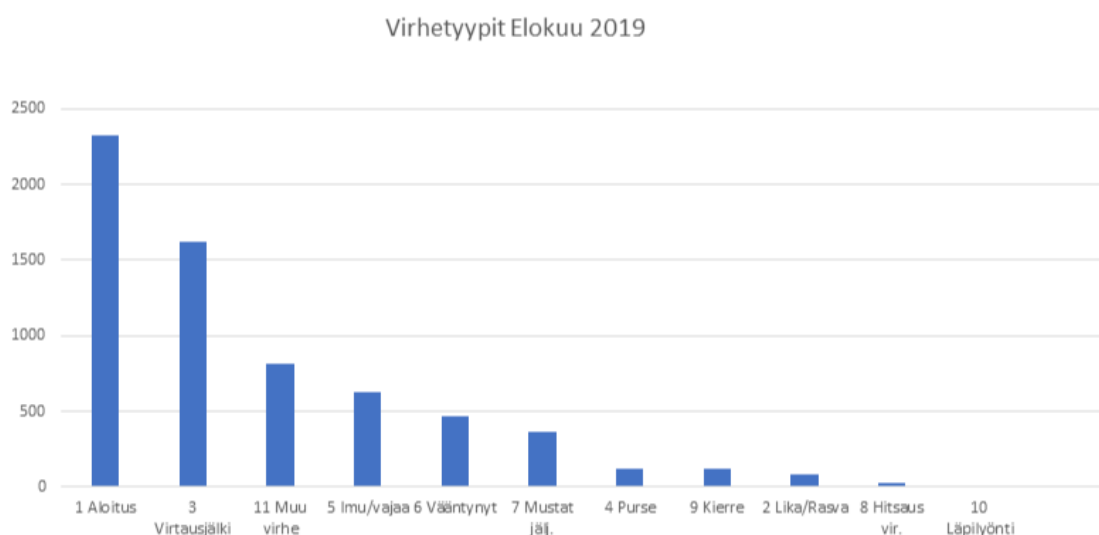
Kuva 27. Laadun päivittäinen seuranta tuotteiden saantoprosentin avulla. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Nämä erityisyydet selvittämällä pystytään välttämään ainakin samat virheet tai ongelmat seuraavissa saman tuotteen tuotantoerissä ja muidenkin tuotteiden kohdalla, mikäli ongelma ei ole ollut tuotekohtainen. Samalla on tuotu esiin euromääräinen huonoista kappaleista aiheutunut materiaalikustannus tuotteittain, jotta työntekijät ymmärtävät paremmin ja näkevät konkreettisesti, miten tärkeää tuotteen laatuun panostaminen on. Todellisuudessa kustannukset ovat vieläkin suuremmat kuin pelkästään materiaalihukasta syntyneet kustannukset, sillä kustannuksia syntyy myös koneajan menettämisestä sekä hukkakappaleiden käsittelystä. Mikäli ongelmaa ei pystytä heti ratkaisemaan, parempi vaihtoehto on pysäyttää ruiskuvalukone kuin valmistaa tuotteita huonolla saannolla. Kuvasta 28 nähdään kuukausittaiset raaka-ainekustannukset, jotka johtuvat huonojen kappaleiden valmistuksesta.



Kuva 28. Materiaalihukasta aiheutuneet kustannukset huhtikuusta syyskuuhun. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Kuvasta 28 nähdään, että kuukausitasolla huonoista kappaleista aiheutuneet kustannukset ovat merkittäviä. Yllä olevalla seurantajaksolla kustannukset ovat suurimmillaan yli 14 000 euroa kuukaudessa. Kuvassa 29 puolestaan on kuvattu yleisimmät tuotteissa esiintyvät virhetyypit.



Kuva 29. Tuotteissa esiintyvät virhetyypit kappalemäärän mukaisessa järjestyksessä. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Suurimpana yksittäisenä syynä huonoille kappaleille ovat tuotantosarjan aloituksessa syntyneet huonot kappaleet. Jokaisen tuotantoerän alussa syntyy vähintään muutamia huonoja kappaleita, mikä on väistämätöntä ja hyväksyttävää. Tehtaalla tehdään

päivittäin noin 10 tuotevaihtoa eli kuukaudessa vaihtoja tehdään noin 300. Elokuussa sarjan aloituksesta johtuvia huonoja kappaleita on kuvan 29 mukaan ollut noin 2300. Tästä saadaan keskimääräiseksi yhden tuotantoerän huonojen kappaleiden määräksi $2300/300 \approx 7,7$. Tämä on kohtuullinen lukema. Tärkeää olisikin havaita mahdollisimman nopeasti tuotantoerän edetessä, mikäli laatu on huonoa. Kuvasta 29 nähdään, että toiseksi yleisin virhetyyppi on virtaus- tai roiskejälki, jonka syntymiseen on ollut useimmiten syynä kuivureihin liittyvät ongelmat ja sitä kautta märkä raaka-aine. Alla olevassa taulukossa 4 on kaksi esimerkkiä tuotantoeristä, joissa raaka-aineen märkyys aiheutti merkittävät kustannukset.

Taulukko 4. Kaksi esimerkkiä tuotantoeristä, joissa raaka-aineen märkyys aiheutti merkittävät hukkamateriaalin kustannukset. [Yrityksen sisäinen materiaali]

	Esimerkki 1 (sininen PC+ABS)	Esimerkki 2 (musta PC+ABS)
Hyvät tuotteet (kpl)	4830	124
Hukka (kpl)	1284	38
Kokonaismäärä (kpl)	6114	162
Saanto (%)	79,00	76,54
Tuotteen massa (kg)	0,114	5,88
Raaka-aineen hinta (€/kg)	4,57	3,15
Hukan raaka-ainekustannus (€)	668,94	703,84

Taulukon 4 molemmissa esimerkeissä hukkamateriaalin kustannus on samaa luokkaa, noin 700 euroa. Myös saanto on molemmissa suunnilleen sama, vajaa 80 %. Huomattavaa on kuitenkin, että hukkakappaleiden määrässä on suuri ero, mutta näinkin suurella erolla voidaan päästä lähes samaan hukkakappaleiden raaka-ainekustannukseen tuotteiden suuren massaeron takia.

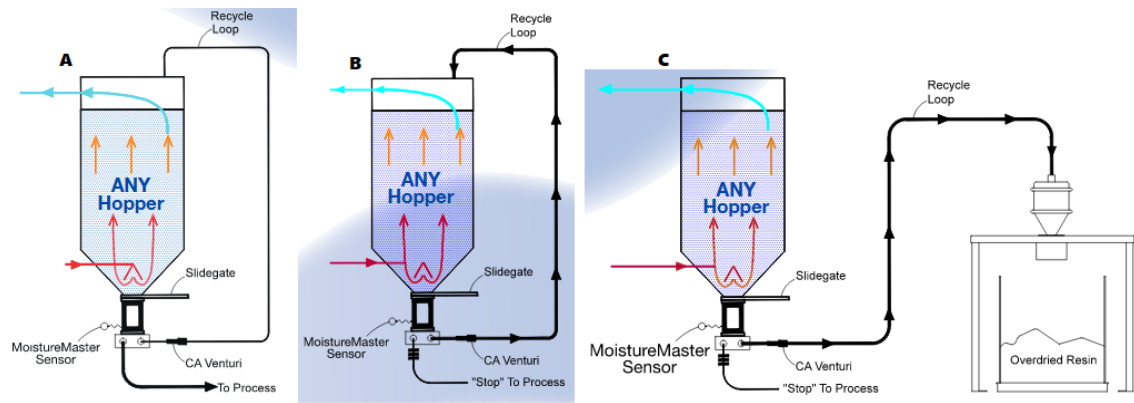
Molemmissa esimerkeissä huonojen kappaleiden syynä oli märkä raaka-aine. Oli syy raaka-aineen märkyyteen liian pienen kuivurin käyttö, ongelmat siilon täyttymisessä tai ongelmat kuivurin toiminnassa ja sitä kautta liian lyhyt kuivausaika tai vajaa kuivausteho, hukkakappaleista aiheutuvat raaka-ainekustannukset voitaisiin välttää käyttämällä raaka-aineen kosteusmittaria.

Markkinoilla on nimenomaan muovigranulaattien kuivausprosessiin suunniteltuja raaka-aineen kosteutta seuraavia mittareita. Mittari sijoitetaan kuivaussiilon alapuolelle. Nämä mittarit mittaavat reaaliaikaisesti 30 millisekunnin välein raaka-aineen kosteuspitoisuutta, jota voidaan seurata ohjausnäytöltä. Mittariin määritellään raaka-ainelaadun mukaan kosteuspitoisuuden ala- ja ylärajat, joiden välissä oleva raaka-aineen kosteuspitoisuus

on sallittu. Jos raaka-aineen kosteuspitoisuus on toleranssien ulkopuolella, raaka-aineen kuljettaminen ruiskuvalukoneelle estetään. Mittarin ansiosta märkää raaka-ainetta ei siis päädy ruiskuvalukoneelle, joten yllä olevien esimerkkien kaltaiset ylimääräiset raaka-ainekustannukset voitaisiin mittarin avulla välttää. [36]

Mittarissa käytettävä kosteuden mittaustekniikka perustuu kapasitanssiin sekä veden suhteellisen korkeaan dielektrisyysvakioon verrattuna polymeereihin. Mittarilla pystytään mittaamaan kosteuspitoisuutta pienimmillään 0,0005 prosenttiin saakka. Tällaisen mittarin käyttö ei vaadi manuaalista näytteen ottoa ja kosteuden mittaamista näytteestä. Lisäksi kaikki siilosta tuleva raaka-aine mitataan, joten toleranssien ulkopuolella oleva kosteuspitoisuus jää heti kiinni ja prosessi pysähtyy. Markkinoilta myös löytyvään manuaalikäyttöiseen mittariin verrattuna reaaliaikainen kosteusmittari on selvästi paremmin ruiskuvalutehtaalle soveltuva ratkaisu, sillä manuaalinen näytteenotto kattaa vain pienen määrän raaka-ainetta ja sitoo henkilöresursseja eikä estä määrän raaka-aineen päätymistä ruiskuvalukoneelle. [35, 36, 37]

Raaka-aineen kuivausaikaan vaikuttaa sen alkukosteuspitoisuus, joka vaihtelee säilytysolosuhteiden eli lämpötilan ja kosteuden mukaan. Ruiskuvalutehtaalla raaka-aineen kuivuutta on arvioitu pelkästään materiaalitiedoissa lukevan kuivausajan perusteella. Nykyisillä raaka-aineen säilytysolosuhteilla raaka-aineen alkukosteuspitoisuus on suurempi verrattuna optimaalisiin kuiviin säilytysolosuhteisiin, joten materiaalitiedoissa lukeva kuivausaika ei välttämättä riitä vaaditun kosteuspitoisuuden saavuttamiseen. Toisaalta mikäli raaka-ainetta on säilytetty jo valmiiksi kuivemmassa kuivaustilassa, sen alkukosteuspitoisuus on pienempi, jolloin raaka-ainetta saatetaan helposti varmuuden vuoksi ylikuivata. Jatkuvasti kosteutta valvovan mittarin käyttöönoton ansiosta sekä ali- että ylikuivaamisesta päästäisiin eroon. Alikuivaamisen välttämällä raaka-aineet ovat tarpeeksi kuivia ja soveltuvia tuotantoon. Ylikuivaamisen välttämällä tuotantoerät sen sijaan voitaisiin aloittaa monessa tapauksessa aikaisemmin nykyiseen tilanteeseen verrattuna. Lisäksi säästettäisiin kuivaamiseen kuluva energiaa ja vältettäisiin raaka-aineiden terminen hajoaminen. [37, 38]



Kuva 30. Kosteusmittausensorin toiminta eri tilanteissa: A) kosteuspitoisuus toleranssien sisällä, B) kosteuspitoisuus liian suuri ja C) kosteuspitoisuus liian pieni. [38]

Kuvassa 30 on esitetty kosteusmittausensorin toimintaa erilaisissa tilanteissa. Vasemmanpuoleisessa kuvassa raaka-aineen kuivausprosessi toimii kuten pitääkin. Raaka-aineen kosteusprosentti on asetettujen toleranssien välissä ja raaka-aine kulkeutuu ruiskuvalukoneelle normaalisti. Keskimmaisessä kuvassa sensoriin tuleva raaka-aine on liian märkää, joten sen kulkeutuminen ruiskuvalukoneelle estetään ja liian märkä raaka-aine kulkeutuu takaisin siilon yläosaan uudelleen kuivattavaksi. Tässä vaiheessa voidaan tutkia syytä siihen, miksi raaka-aine on liian märkää, mutta ainakaan raaka-ainetta ei hukata. Oikeanpuoleisessa kuvassa sen sijaan sensoriin tuleva raaka-aine on liian kuivaa ja sen kulkeutuminen ruiskuvalukoneelle estetään jälleen. Liian kuiva raaka-aine ohjataan astiaan, jossa sen kosteuspitoisuus jälleen nousee ja se voidaan myöhemmin kuivattaa uudelleen ja käyttää tuotantoon. Tässäkin tapauksessa syy liian kuivaan raaka-aineeseen voidaan tutkia tässä vaiheessa tarkemmin ja kuivausparametrejä säätää, mutta raaka-ainehukalta ja niistä syntyvistä turhilta kustannuksilta vältytään. Kosteusmittarin käytöllä päästäisiin siis heti käsiksi kuivausongelmiin eikä vasta sitten, kun huonolaatuiset kappaleet on jo valmistettu ja niiden huono laatu huomattu, jolloin niistä syntyneet kustannukset ovat jo realisoituneet. [38]

Siilojen tilan reaaliaikainen seuranta

Mikäli edellä käsitellyt raaka-aineiden kuivausprosessin toimintaa parantavat apuvälineet saataisiin käyttöön, olisi niiden ja muiden kuivureihin liittyvien tietojen seurattavuuden kannalta optimaalista, että tiedot näkyisivät yhdessä ohjauspaneelissa siilokohtaisesti. Paneelista olisi hyvä näkyä siiloittain seuraavat tiedot:

- Onko kuivaus päällä (Nähdään kuivausilman mitatusta lämpötilasta)
- Onko imu päällä (On/Off)
- Kuivauslämpötilat silloissa (°C)
- Sillojen tilavuudet (l eli dm³)
- Silloissa olevat raaka-ainelaadut
- Silloissa olevien raaka-aineiden pinnankorkeus sekä ala- ja ylähälytysrajat (%)
- Kuivausilman kastepiste (°C)
- Raaka-aineiden kosteus sekä ala- ja ylähälytysrajat (p.-%)
- Ruiskuvalukone tai -koneet, joille sillosta menee raaka-ainetta

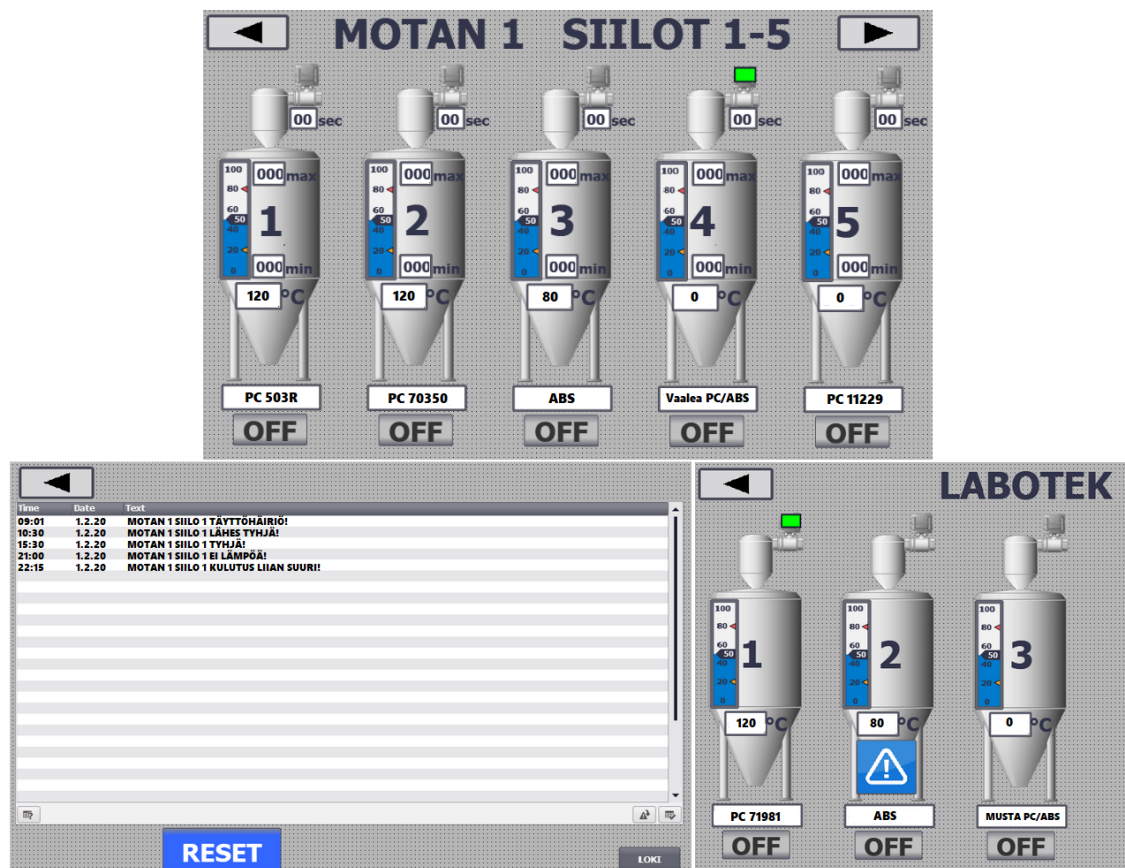
Ohjauspaneelissa silot nimettäisiin kuivurikohtaisesti esimerkiksi sillo 1, sillo 2 ja niin edelleen. Nimen perään olisi hyvä laittaa myös silon tilavuustieto. Oikean silon valintaa helpottamaan ohjauspaneeliin voitaisiin ohjelmoida kaavat 1 ja 2 ja tehdä kentät, joihin työntekijät voivat syöttää niiden tuotteiden jaksonajat ja massat, joita kyseisestä sillosta aiotaan käyttää. Kaikkien raaka-aineiden tiheydet ja kuivausajat sekä sillojen tilavuudet voitaisiin syöttää perustietoina ohjelmaan, josta se osaa poimia tiedot kaavaan, kun silloissa oleva raaka-aine on valittu ja asetettu kyseiseen silloon. Kaavojen tulosten mukaan näyttö ilmoittaa heti esimerkiksi punaisella värillä, mikäli sillo ei riitä kaikille asetetuille tuotteille. Kun raaka-ainetieto silloittain saadaan valittua suoraan näytölle, ei tarvita enää nykyistä tapaa, jossa sillojen kylkeen kirjoitetaan paperille raaka-aineen nimi. Kaikki silot ovat kuivaustilan ylätasanteella, joten tällä vältettäisiin tarpeeton kiipeäminen sinne, tiedot olisivat helpommin nähtävillä ja tiedon muuttaminen olisi helpompaa.

Sillojen kuivauksen päälle laittaminen ja kuivauslämpötilojen säädöt tapahtuisivat edelleen kuivureiden ohjausyksiköistä, mutta imujen päälle kytkentä ja päältä pois kytkentä voitaisiin hoitaa yhdestä ohjauspaneelistä. Lisäksi ohjauspaneelistä nähtäisiin helposti silot, joissa kuivaus on päällä, koska siitä näkyisi kuivausilman mitatut lämpötilat silloittain. Mikäli lisälaitteita kuivausprosessin kehittämiseksi hankitaan, myös pinnankorkeuden tasot, kuivausilman kastepisteet ja raaka-aineen kosteusprosentit olisi hyvä saada ohjauspaneeliin silloittain suoraan sensoreiden mittaamina, ja näistä tulisi hälytykset ohjauspaneeliin, mikäli arvot ovat manuaalisesti asetettujen ohjausrajojen ulkopuolella.

Edellä mainittujen tietojen lisäksi olisi tärkeää tietää, mihin ruiskuvalukoneisiin mistäkin sillosta kuluu raaka-ainetta. Tällä hetkellä tämä tieto täytyy käydä katsomassa melko kaukana kuivaustilan ulkopuolella sijaitsevasta jakotukista. Jakotukkiin olisi mahdollista asentaa sensoreita, jotka tunnistavat, kun raaka-aineletku on kiinni jakotukissa ja tästä saataisiin tieto ohjauspaneeliin siitä, mille ruiskuvalukoneelle raaka-ainetta siirtyy

siiloittain. Automaattinen tieto tästä varmistaisi sen, että ohjauspaneelin tiedot päivittyvät varmasti, eli oikea ruiskuvalukone on kohdistettu oikeaan siiloon. Tällöin myös edellä mainitut siilon tilavuuden riittävyden laskutoimitukset pysyvät helpommin ajan tasalla.

Yhtenä ominaisuutena ohjauspaneelissa voisi olla se, että aina kun raaka-aineletku otetaan pois tietyltä koneelta, myös massa- ja jaksonaikatiedot häviävät paneelista. Näin ollen vanhat tiedot eivät jää vahingossa näytölle. Sen sijaan, kun letku jälleen kiinnitetään uudelleen, ruiskuvalukoneen numero ilmestyy kyseisen siilon viereen, johon uudet massa- ja jaksonaikatiedot voidaan jälleen päivittää. Mikäli halutaan testata siilon tilavuuden riittämistä ennen letkun kiinnilaittamista, voidaan tätä tarkoitusta varten tehdä testiympäristö. Siinä voidaan valita siilo ja raaka-aine sekä asettaa massat ja jaksonajat ja kokeilla, riittääkö siilo suunniteltuihin tarkoituksiin.



Kuva 31. Esimerkkejä ohjauspaneelin näyttösivuista. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Kuvassa 31 on hahmotelmia siitä, millaiselta ohjauspaneeli tulisi näyttämään. Aloitussivulta voidaan valita kuivuri, jota halutaan tarkastella tarkemmin (esimerkiksi Motan 1 tai Labotek). Kun haluttu kuivuri on valittu, nähdään seuraavassa näkymässä kyseisen kuivurin kaikkien siiloiden tila (siilossa olevan raaka-aineen pinnankorkeus sekä ala- ja ylärajat, kuivausilman lämpötila, siilossa olevan raaka-aineen nimi ja ovatko imut päällä

vai eivät). Tällä hetkellä ainakin nämä toiminnot saataisiin varmasti toteutettua ja myöhemmin voitaisiin vielä kehittää näkymää esimerkiksi kuivausilman kastepisteen seurannalla sekä sillä, että nähtäisiin siilokohtaisesti suoraan näytöltä, mitkä ruiskuvalukoneet käyttävät raaka-ainetta mistäkin siilosta. Kuvassa 31 Labotekin siilon 2 alapuolella on kuvattu häiriöilmoitus sinisellä pohjalla olevalla kolmiolla ja huutomerkillä. Kun tätä kolmiota painaa, avautuu kuvan 31 alhaalla vasemmalla oleva näkymä. Tästä näkymästä nähdään, mikä häiriö on kyseessä. Lisäksi nähdään aiemmat häiriöt sekä kaikkien häiriöiden päivämäärät ja kellonajat. Erilaisia häiriöitä ovat siilon täyttöhäiriö, siilo lähes tyhjä, siilo tyhjä, ei lämpöä sekä siilon kulutus liian suuri. Kun häiriötekstiä painaa, näyttöön ilmestyy ohje siitä, mitä kyseisessä häiriötilanteessa tulee tarkistaa ja tehdä, jotta häiriö saadaan kuitattua ja ongelma ratkaistua. Tavoitteena on tehdä myös eräänlainen infosivu, josta nähdään suoraan kaikkien kuivureiden ja siilojen tila häiriöiden osalta. Häiriöt näkyvät tässä näkymässä punaisella ja häiriötön tila vihreällä. Tästä voidaan nopeasti tarkistaa, onko kaikki kunnossa. Mikäli ei ole, infosivulta voidaan paikantaa, missä kuivurissa ja siilossa on häiriö. Tämän jälkeen voidaan tutkia tarkemmin, mistä häiriöstä on kyse valitsemalla valikosta kyseinen kuivuri ja tutkimalla häiriössä olevan siilon tilaa sekä häiriöilmoitusta. [Yrityksen sisäinen materiaali]

6.3 Raaka-aineiden rouhinta ja uudelleen hyödyntäminen

Kohdeyrityksessä on oma rouhintalaitteisto ja suurta osaa raaka-ainehukasta pyritään uudelleen hyödyntämään. Myös raaka-aineiden rouhinta ja uudelleen käyttö kuuluvat raaka-ainevastaavien työnkuvaan. Jos rouhittavaa on kertynyt suuria määriä, voidaan välillä palkata myös vuokratyöntekijöitä hoitamaan pelkästään rouhintaa. Prosessin nykytilaa ja havaintoja käytiin läpi yhdessä rouhintaa suorittavien henkilöiden kanssa.

6.3.1 Nykytilan kartoitus

Ruiskuvalussa syntyneet pienikokoiset huonot kappaleet pakataan pahvilaatikoihin ja isompikokoiset kappaleet lavalle. Laatikoihin ja lavoille kirjoitetaan, mitä raaka-ainetta kyseiset kappaleet ovat. Tämän jälkeen ne viedään rouhintakoneen lähistölle. Raaka-aineita rouhitaan tyhjiin, ison muovisäkin sisältäviin oktabiineihin, joita saadaan, kun raaka-ainehallissa tehdään oktabiinin vaihto. Kun rouhintaa ollaan aloittamassa, tyhjään oktabiiniin merkitään, mitä raaka-ainetta siihen rouhitaan. Rouhittaessa käytetään kuulosuojaimia, suojalaseja ja hengityssuojaimia. Rouhittavia raaka-aineita ovat PC, ABS ja PC+ABS-muoviseos. Rouhittaessa on oltava tarkkana, että vain samaa raaka-ainetta rouhitaan kerrallaan eikä oktabiiniin mene sekaisin eri raaka-aineita.

Kun rouhinta aloitetaan, rouhintakone laitetaan ensin päälle ja sen jälkeen imurilaitteisto. Tämän jälkeen rouhintakoneeseen voidaan syöttää kappaleita. Pienempiä kappaleita voidaan syöttää useampia kerrallaan ja tiheään tahtiin. Sen sijaan isompia kappaleita syötettäessä koneeseen kannattaa syöttää vain yksi kappale kerrallaan ja pitää pieni tauko ennen kuin syöttää uutta kappaletta, jotta kone saa rouhittua kappaleet eikä se mene tukkoon. Kaikkein isoimmat kappaleet eivät mahdu sellaisenaan rouhintakoneeseen, joten ne on sahattava pienempiin osiin vannesahalla. Kun oktabiini tulee täyteen rouhitusta raaka-aineesta, täynnä oleva muovisäkki suljetaan teippaamalla ja oktabiinin kansi laitetaan kiinni. Myös kansi teipataan vielä tiukasti kiinni. Sen jälkeen täysi oktabiini viedään raaka-ainehalliin. Tämän jälkeen laitetaan jälleen tyhjä oktabiini imurilaitteiston alle, johon voidaan rouhia seuraavat kappaleet, mikäli samaa raaka-ainetta on vielä rouhittavana. Mikäli halutaan vaihtaa rouhittavaa raaka-ainetta, on rouhintalaitteisto ja imuri puhdistettava vanhasta raaka-aineesta paineilmaa käyttäen. Sen lisäksi rouhitaan vielä joitain kappaleita uudesta raaka-aineesta aluksi suoraan roskakoriin, jotta vanha raaka-aine on varmasti poistunut laitteistoista. Vasta tämän jälkeen otetaan käyttöön uusi tyhjä oktabiini, johon uutta raaka-ainelaatua voidaan alkaa rouhia. Kun rouhintaa ollaan lopettamassa, rouhintakoneen annetaan käydä viimeisen rouhittavaksi heitetyn kappaleen jälkeen vielä puolisen tuntia, jotta kone saa rouhittua varmasti kaiken ja se tyhjenee rouhittavasta raaka-aineesta. Sen jälkeen sammutetaan imurilaitteisto ja viimeisenä rouhintakone. Rouhintatilan siisteydestä huolehditaan siivoamalla sitä aika ajoin.

Rouheen hyödyntämiseen on tehtaalla käytössä kaksi sekoittajaa. Niistä voidaan säätää rouheen prosenttiosuus, joka sekoitetaan neutraaliin raaka-aineeseen. Tällä hetkellä aktiivisessa käytössä on ainoastaan yksi sekoittaja, jossa käytetään polykarbonaattia.

6.3.2 Prosessianalyysi

Rouhintaprosessin nykytilan kartoituksessa ei havaittu suurempia puutteita tai ongelmia. Joitain pieniä seikkoja kuitenkin löytyi. Huonoja kappaleita sisältävissä laatikoissa tai laivoissa oli osittain puutteellisia tai epäselviä merkintöjä, mitä raaka-ainetta ne sisältävät. Osa laatikoista on käytetty jo moneen kertaan, joten niissä voi olla monia merkintöjä ja uusinta merkintää oli joissain tapauksissa vaikea tietää. Vanhat merkinnät pitäisi siis ylliviivata ja uusien merkintöiden olla selkeä. Koska rouhinnassa on käytetty paljon vuokratyövoimaa, eivät nämä henkilöt tunnista suoraan tuotteesta, mikä raaka-aine on kyseessä. Tästä syystä rouhintatilaan olisi hyvä saada myös lista niistä raaka-aineista, joita ylipääntään rouhitaan. Tämä lista on esitetty taulukossa 5. Listan ulkopuolella olevia raaka-aineita käytetään huomattavasti vähemmän ja niiden hyödyntäminen

uudelleentuotannossa on vaikeaa, joten ne laitetaan sekajätteeseen. Taulukossa 5 käytetyt raaka-ainetunnukset tai vähintään lihavoidut osat niistä olisi myös kirjoitettava rouhittavaksi tuotuihin laatikoihin ja lavoihin. Rouhittua raaka-ainetta sisältäviin oktabiineihin kirjoitetaan puolestaan sarakkeessa ”oktabiiniin merkintä” olevat merkinnät. Tämä ohjeistus on laitettava näkyviin sekä ruiskuvalun pakkaajille tuotantotiloihin, että rouhijoille rouhintatilaan.

Taulukko 5. Rouhittavien raaka-aineiden raaka-ainetunnukset ja merkinnät rouheoktabiiniin. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Oktabiiniin merkintä	Rouhintaan tuotuihin laatikoihin ja lavoihin merkittävä raaka-ainetunnus
PC Lexan kaikki	Lexan 943A-70350 Lexan 943A-71981 Lexan 943A-11229 Lexan ML3001-73223
PC Lexan 503R	Lexan 503R-73223
PC Makrolon	Makrolon PCR96 GF 700001
Vaalea PC+ ABS	Lupoy GN5001RFH IA010-E
ABS	Elix ABS / Starex ABS

Yllä olevan taulukon 5 lisäksi rouhintapaikalle tarvitaan lisää ohjeistusta. Rouhintakoneen käytöstä, puhdistuksesta raaka-aineenvaihdon yhteydessä, vannesahan käytöstä, suojarusteista ja rouhintatilan puhtaanapidosta olisi hyvä olla kuvalliset ohjeet rouhintapaikalla. Lisäksi rouhintapaikalla näkyi tuotteita, jotka olivat pölyisiä ja likaisia. Näitä tuotteita ei voida enää rouhia, joten ne menevät sekajätteeseen, mistä kuuluisi myös olla ohjeistus. Jokainen työntekijä saa perehdytyksen rouhintaan, mutta asioiden kertaaminen ja varmistaminen kävisi helposti ohjeistuksen avulla, varsinkin kun työntekijät rouhintapaikalla vaihtuvat usein.

Taulukon 5 rouhittavista aineista 10 % lasia sisältävä PC Lexan 503R-73223 -rouhe hyödynnetään tällä hetkellä hyvin sekoittamalla sitä 20-35 % neitseelliseen raaka-aineeseen. Muut PC Lexan -raaka-aineet rouhitaan keskenään ja lähetetään ulkoiselle toimijalle, joka värjää ne ja sekoittaa joukkoon 10 % lasia, jolloin niistäkin tulee 503R-73223:n kaltaista rouhetta. Sen jälkeen raaka-aineet lähetetään takaisin tehtaalle ja hyödynnetään samalla tavalla kuin tehtaalla rouhittu Lexan 503R-73223. PC Lexan -rouhe hyödynnetään siis erittäin hyvin tällä hetkellä tehtaalla. Sen sijaan muiden taulukossa 5 mainittujen rouheiden käytössä on kehitettävää. Näitä rouheita on käytetty tuotantoon ajoittain, mutta tästä ei ole syntynyt rutiinia kuten Lexan 503R-73223 -rouheen käytöstä. Tähän olisikin saatava muutos niin, että myös muita rouheita alettaisiin käyttää aktiivisemmin tuotannossa.

Kohdeyrityksessä on myös toinen sekoittaja, joka on otettava jatkossa aktiiviseen käyttöön. PC Makrolon -raaka-ainetta kuluu tehtaalla kuukausittain noin 7000 kg, joten tästä raaka-aineesta ajettuihin tuotteisiin rouhe saataisiin kulumaan melko nopeasti. Kahdesta jäljellä olevasta raaka-aineesta, vaaleasta PC+ABS:sta ja ABS:sta, on suoritettu joitain koeajoja hyvällä menestyksellä niin, että tuotteita on ajettu pelkästä rouheesta. Näitä koeajoja on jatkettava ja tutkittava, mihin tuotteisiin pelkkä rouhe soveltuu. Erityisesti lopputuotteessa piiloon jäävissä sisäosissa tuotteen visuaalinen laatu ei ole niin tärkeää, joten tällaisiin tuotteisiin pelkästä rouheesta ajaminen soveltuu hyvin. Jo tällä hetkellä tiedossa on useita tuotteita, joihin näitä kahta raaka-ainetta voidaan pelkkänä rouheena käyttää. Näistä tuotteista tehdään lista tuotannosuunnittelun tueksi ja niitä ajetaan jatkossa aktiivisesti pelkästä rouheesta. Lisäksi tutkitaan rouheesta ajon mahdollisuutta muissa tuotteissa, joihin rouhetta ei ole vielä kokeiltu. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Tehtaalla on tällä hetkellä kertyneenä rouhetta tuhansia kilogrammoja. Nämä kaikki rouheet on mahdollista käyttää uudelleen, mikä tarkoittaa suuria säästöjä raaka-ainekustannuksissa. Rahallisen arvon lisäksi rouheet vievät runsaasti lavapaikkoja raaka-ainehallista ja vaikeuttavat raaka-aineiden varastointia ja määrän hallinnointia. Näistä syistä rouhe olisi tärkeää saada kulutettua pois. Edellä mainituilla toimenpiteillä näin myös tapahtuu ja jatkossa on huolehdittava siitä, että rouhetta ei pääse kerääntymään varastoon suuria määriä, vaan se hyödynnetään mahdollisimman pian rouhinnan jälkeen uudelleen käyttöön.

6.4 Kehitysehdotusten yhteenveto ja arviointi

Tässä kappaleessa oleviin taulukoihin 6, 7 ja 8 on kerätty yhteen eri raaka-aineprosesseissa havaintoihin perustuneet ongelmat ja niille esitetyt kehitysehdotukset. Taulukossa on myös arvioitu kehitysehdotusten hyötyä ja vaikuttavuutta (pieni, kohtuullinen, suuri), kehitysehdotusten toteutuksen helppoutta (helppo, keskiverto, vaikea) ja kehitysehdotusten hintaa (halpa, kohtuullinen, kallis) suhteutettuna niiden tuomiin hyötyihin.

**Taulukko 6. Raaka-aineen vastaanotto- ja säilytysprosessin kehitysehdotusten yhteen-
veto.**

Prosessi	Raaka-aineen vastaanotto ja säilytys
Kehitettävä toiminto	Raaka-ainekontin purku
Ongelma nykytilanteessa	Tehtaan muiden toimintojen keskeytyminen, kahden henkilön työpanos, turvallisuusriski
Kehitysehdotus	Siirrettävä nousuramppi
Hyöty/vaikuttavuus	Suuri
Toteutuksen helpous	Helppo
Hinta	Kohtuullinen
Kehitettävä toiminto	Raaka-aineiden säilytys
Ongelma nykytilanteessa	Vääränlaiset säilytysolosuhteet → raaka-aineiden pilaantuminen herkemmin, kuivausajan piteneminen ja suurempi energiantarve kuivauksessa
Ongelma nykytilanteessa	Liian vähän varastointitilaa raaka-aineille → ei merkittäviä säilytyspaikkoja jokaiselle raaka-aineelle, vaikea saatavuus varastosta, etsimiseen kuluva aika, tehoton tuotanto, saldojen tarkastus ja inventointi hankalaa, FIFO vaikeasti hallittavissa
Kehitysehdotus	Uusi telttavarasto
Hyöty/vaikuttavuus	Suuri
Toteutuksen helpous	Helppo
Hinta	Kallis

Taulukossa 6 esitetään yhteenvedo raaka-aineen vastaanotto- ja säilytysprosessista, jossa kehitettävää havaittiin sekä raaka-ainekontin purkamisessa että raaka-aineen säilytyksessä. Nykytilanteessa raaka-ainekontin purkamisessa suurimpina ongelmina huomattiin tuotantotehokkuutta heikentävät vaikutukset tehtaan muihin toimintoihin, kahden henkilön työpanos, tarpeettomat välivaiheet sekä turvallisuusriski, joka liittyy kontin sisällä tehtävään raaka-ainelavojen käsittelyyn. Kehitysehdotuksena näiden ongelmien ratkaisuun esitetään siirrettävää nousuramppia. Sen hyötyä voidaan pitää suurena, sillä sen avulla edellä mainitut ongelmat ratkaistaisiin. Parannus olisi helppo toteuttaa, sillä se vaatisi ainoastaan hankinnan ja perehdytyksen rampin käyttöön. Investoinnin hinnaksi tulisi noin 14 000 euroa. Tehtaalle toimitetaan viikossa keskimäärin yksi kontti raaka-ainetta, joten vuodessa kontteja puretaan noin 50. Kontin purkamiseen aikaa kuluu tällä hetkellä kahdella työntekijällä noin tunti. Mikäli ramppi hankittaisiin, toisen henkilön työpanos voitaisiin vapauttaa kokonaan toisiin tehtäviin ja kontti pystyttäisiin

purkamaan arviolta puolessa tunnissa, joten yhteensä työajassa säästettäisiin puolitoista tuntia yhtä konttia kohden. Näin ollen työaikaa vapautuisi vuodessa 50 konttia x 1,5 h/kontti = 75 h. Työntekijä maksaa yritykselle noin 1,7 kertaa keskituntiansion verran. Kontin purkamisessa säästetyt kustannukset olisivat keskituntiansiolla laskettuna noin 2000 € vuodessa. Pelkästään nämä kulut huomioimalla rampin takaisinmaksuajaksi saataisiin noin 7 vuotta. Jos kustannuksiin lisätään vielä kontin purkamisen aiheuttama tuotantotehokkuuden heikkeneminen muissa toiminnoissa, alenee takaisinmaksuaika vielä tästä. Voidaan siis todeta, että korkeintaan 7 vuodessa investointi maksaa itsensä takaisin. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Raaka-aineen säilytyksessä ongelmana ovat vääränlaiset säilytysolosuhteet. Liian kylmät ja kosteat olosuhteet vaikuttavat siihen, että raaka-aineet pilaantuvat herkemmin. Kosteat säilytysolosuhteet vaikuttavat myös kuivausajan pitenemiseen ja sitä kautta suurempaan energiantarpeeseen ja kustannuksiin. Toisena raaka-aineiden säilytykseen liittyvänä ongelmana on tilan puute. Kaikille raaka-aineille ei ole merkittäviä säilytyspaikkoja. Tämä johtaa siihen, että moni raaka-aine on hankalasti saatavilla, lavojen siirtely vie aikaa eikä kaikkien raaka-aineiden fyysinen saldojen varmistus onnistu helposti. Nämä seikat sitovat resursseja ja heikentävät tehokkuutta muista tehtaan toiminnoista. Myös FIFO-periaatteen noudattaminen raaka-aineiden kulutuksessa sekä raaka-aineostojen hallinta vaikeutuvat merkittävästi tilan puutteen takia.

Ratkaisuna sekä raaka-aineiden säilytysolosuhteiden parantamiseen että säilytyksen tilaongelmaan esitetään nykyisen telttahallin viereen uutta telttahallia, jossa vähintäänkin ilmankosteutta pystytään hallitsemaan. Lisäksi voidaan tarvittaessa harkita lämmitystä. Vanhaa telttahallia pystyttäisiin hyödyntämään muuna varastotilana esimerkiksi keskenkäisille tuotteille. Uusi halli ratkaisisi edellä mainitut ongelmat, joten sen hyöty olisi erittäin suuri vaikuttaen tehtaan moneen eri osa-alueeseen. Toimittajilta selvitettyjen hintojen mukaan uusi halli maksaisi noin 70 000 €, asfaltointi pohjatöineen noin 10 000 € ja rakennuslupa noin 3 000 €. Lisäksi ilmankuivauksesta aiheutuvat kustannukset olisivat noin 15 000 € ilmankuivaimesta asennuksineen ja noin 2 000 € sähkönkulutuksesta vuodessa. Yhteensä kustannuksia tulisi noin 100 000 €. Varovaisenkin arvion mukaan työntekijöiltä kuluu vähintään neljä tuntia päivässä raaka-aineiden etsimiseen, siirtelyyn, järjestelyyn tai saldojen selvittämiseen oston tueksi. Lisäksi nykyisillä olosuhteilla on vaikutusta kuivausaikojen kestoon sekä tuotannon tehokkuuteen. Uuden hallin avulla työaikaa säästyisi vuodessa 365 x 4 tuntia = 1460 tuntia. Tämä aika maksaa yritykselle noin 40 000 euroa vuodessa. Mikäli hallin takaisinmaksuaika lasketaan pelkästään tämän

avulla eikä huomioida hallista aiheutuvia muita hyötyjä, saadaan hallin takaisinmaksuajaksi $100\,000\text{ €} / 40\,000\text{ €/vuosi} = 2,5$ vuotta. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Taulukko 7. Kehitysehdotusten yhteenveto raaka-aineen kuivaukseen ja siirtoon ruiskuvalukoneelle.

Prosessi	Raaka-aineen kuivaus ja siirto ruiskuvalukoneelle
Ongelma nykytilanteessa	Märän raaka-aineen pääsy ruiskuvalukoneelle
Kehitysehdotus 1	Työmääräntien tietojen parempi hyödyntäminen siilon valinnassa, tietojen jatkuva päivittäminen, siilojen tilavuudet näkyviin
Kehitysehdotus 2	Materiaalitietojen siirto kuivaushalliin ja puuttuvien tietojen hankinta
Kehitysehdotus 3	Siilossa olevan raaka-aineen pinnankorkeuden jatkuva seuranta laseranturilla
Kehitysehdotus 4	Kastepistemittarin asentaminen kuivurin kuivausyksikön ja lämmitysvastuksen väliin
Kehitysehdotus 5	Raaka-aineen kosteutta seuraavan mittarin asennus siilon alaosaan
Kehitysehdotus 6	Siilojen tila visuaalisesti näkyviin ohjauspaneeliin kuivureittain
Suosittelujen ehdotusten hyöty/vaikuttavuus	Suuri
Suosittelujen ehdotusten toteutuksen helppous	Helppo
Suosittelujen ehdotusten hinta	Halpa

Taulukossa 7 esitetään kehitysehdotukset raaka-aineen kuivaukseen ja siirtoon ruiskuvalukoneelle. Suurimpana ongelmana kuivausprosessissa havaittiin olevan märän raaka-aineen pääsy ruiskuvalukoneille ja siitä aiheutuvat raaka-ainekustannukset sekä muut kustannukset. Juurisyynä tässä ongelmassa on se, että raaka-ainetta ei saada kuivatuksi kunnolla. Tähän taas suurimmassa osassa tapauksista vaikuttaa se, että kuivaussiilo on päässyt tyhjenemään huomaamatta liikaa, jolloin uusi siiloon tullut raaka-aine ei ole ehtinyt kuivua kunnolla. Näin ollen ongelman ratkaisussa on parempi keskittyä juurisyyn ratkaisemiseen kuin raaka-aineen kosteuspitoisuuden mittaamiseen. Lisäksi kosteusmittareiden hinta yhtä siiloa kohden on noin 15 000 euroa, joten tämä investointi tulisi kalliiksi. Ongelmat pystytään ratkaisemaan halvemmilla keinoilla.

Ratkaisevin parannusehdotus on siilossa olevan raaka-aineen pinnankorkeuden jatkuva seuranta laseranturilla. Diplomityön aikana hankittu laseranturi on osoittautunut varmaksi ratkaisuksi ja lisää antureita on jo hankinnassa. Näin ollen signaali siilon täyttymisestä tulee anturiin asetetun vähimmäisrajan mukaan eivätkä siilon läppäsystemin toimintahäiriöt enää pääse vaikuttamaan siihen, että silo jäisi täyttymättä. Yhden anturin hinta on 250 euroa ja vaikka anturit hankittaisiin kaikkiin 30 siiloon, investoinnin hinta pysyisi silti kohtuullisena.

Toinen varteenotettava kehitysehdotus on kastepistemittarin asennus kuivurijärjestelmiin. Tällä varmistettaisiin se, että kuivausilma on koko ajan tarpeeksi kuivaa ja mahdollistaa tehokkaan kuivauksen ja materiaaleille asetettujen kuivausaikojen toteutumisen. Toisaalta tällä varmistettaisiin myös kuiva-ainepatruunojen optimaaliset vaihdot ja säätettäisiin energiakustannuksissa. Yhden kastepisteanturin hinta on noin 2 000 euroa ja mikäli sellainen hankittaisiin kaikkiin kuuteen kuivurijärjestelmään, hinnaksi tulisi noin 12 000 euroa.

Helposti toteutettava parannus, joka vaikuttaa myös jollain tasolla kuivausprosessin tulokseen, on materiaalitietojen siirtäminen kuivaushalliin ja puuttuvien materiaalitietojen hankinta työntekijöiden saataville. Tälle parannukselle hintaa ei tule oikeastaan ollenkaan. Parannus, joka aiotaan myös toteuttaa, on siilojen tilan seurantaan ja muokkaamiseen hankittava yksi yhteinen ohjauspaneeli. Siiloissa olevien raaka-aineiden tiedot voidaan merkitä paneeliin ja tietoja voidaan muokata suoraan näytöltä raaka-aineen vaihtojen yhteydessä. Näytöltä näkyvät myös siilojen mitatut kuivausilman lämpötilat ja näin ollen tiedetään, missä siiloissa kuivaus on päällä. Lisäksi siiloissa olevien raaka-aineiden pinnankorkeus näkyy reaaliaikaisesti näytöltä ja raaka-aineen imut voidaan laittaa päälle ja pois. Tarkoitus olisi myös saada siilokohtaisesti tieto automaattisesti siitä, mitkä ruiskuvalukoneet käyttävät raaka-aineita mistäkin siilosta. Oikean siilon valinnan tueksi eri ruiskuvalukoneille kehitetään ohjauspaneelin ohjelma, johon työntekijät voivat syöttää tuotteiden massat ja jaksonajat. Näiden tietojen ja etukäteen ohjelman perustietoihin syötettyjen siilojen tilavuuksien sekä raaka-aineiden tiheyksien ja kuivausaikojen perusteella ohjelma laskee, soveltuuko kyseinen silo tuotteen valmistukseen eli ehtiikö raaka-aine kuivua kuivausajan puitteissa. Muokattavan ohjauspaneelin lisäksi aiomuksena on asentaa eri paikoille ruiskuvalutehtaaseen kaksi näyttöä, joista siilojen tilaa voidaan myös valvoa. Mikäli aiotaan hankkia vielä kastepistemittaritkin kuivureihin, myös raaka-aineita kuivaavan ilman kastepistettä voidaan seurata suoraan näytöiltä. Arvioitu hinta ohjauspaneelille toimintoinen on 5 000 euroa. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Kehitysehdotuksista ainakin ehdotukset 1, 2, 3 ja 6 kannattaa toteuttaa. Jo näiden ehdotusten toteutuksilla voidaan melko varmasti raaka-aineen märkyydestä johtuvat ongelmat selvittää ilman, että tarvitaan raaka-aineen kosteutta mittaavaa mittaria. Ehdotusta 4 voidaan myös harkita vielä myöhemmin, jos halutaan perehtyä tarkemmin energiankulutukseen kuivauksen aikana. Yrityksen kuukausittaisten laaturaporttien mukaan voidaan todeta, että raaka-aineen märkyydestä johtuvista syistä tulee pelkästään materiaalikustannuksia vähintään 1 500 euroa. Vuositasolla tämä tekee vähintään 18 000 euroa. Osa materiaaleista voidaan rouhia ja käyttää uudelleen, mutta se vaatii työtunteja, ja huonojen kappaleiden valmistus vie koneaikaa ja henkilöresursseja. Parannusehdotukset 1, 2, 3 ja 6 tulevat maksamaan yhteensä 7 500 € + 5 000 € = 12 500 €. Olettaen, että kaikki raaka-aineen märkyydestä johtuva materiaalihukan syntyminen pystyttäisiin näillä investoinneilla estämään, saadaan investointien takaisinmaksuajaksi 12 500 € / 18 000 €/vuosi ≈ 0,7 vuotta. [Yrityksen sisäinen materiaali]

Taulukko 8. Kehitysehdotusten yhteenveto raaka-aineiden rouhintaan ja uudelleen hyödyntämiseen.

Prosessi	Raaka-aineiden rouhinta ja uudelleen hyödyntäminen
Kehitettävä toiminto	Rouhintaprosessi
Ongelma nykytilanteessa	Merkinnät epäselviä rouhintaan tulevissa lavoissa ja laati-koissa
Ongelma nykytilanteessa	Työntekijöiden epätietoisuus siitä, mitä raaka-aineita rouhitaan
Ongelma nykytilanteessa	Ei toimintaohjeita rouhintapaikalla
Kehitysehdotus 1	Ohjeistus merkinnöistä
Kehitysehdotus 2	Lista rouhittavista raaka-aineista
Kehitysehdotus 3	Ohjeet rouhintaprosessista
Hyöty/vaikuttavuus	Kohtuullinen
Toteutuksen helppous	Helppo
Hinta	Halpa
Kehitettävä toiminto	Raaka-aineiden uudelleen hyödyntäminen
Ongelma nykytilanteessa	Rouheiden kertyminen varastoon ja hyödyntämättä jättäminen
Kehitysehdotus 1	Toisen sekoittajan käyttöönotto
Kehitysehdotus 2	Mahdollisten pelkästä rouheesta ajettavien tuotteiden selvittäminen koeajojen avulla ja jo tiedossa olevien tuotteiden tuotanto pelkästä rouheesta
Hyöty/vaikuttavuus	Suuri
Toteutuksen helppous	Helppo
Hinta	Halpa

Taulukossa 8 esitetään yhteenveto kehitysehdotuksista raaka-aineiden rouhintaan ja uudelleenhyödyntämiseen. Ensimmäiset kehitysehdotukset käsittelevät rouhintaprosessia. Rouhintaprosessissa havaitut ongelmat olivat epäselvät merkinnät rouhintaan tulevissa laatikoissa ja lavoissa, epätietoisuus rouhittavista raaka-aineista sekä toimintaohjeiden puuttuminen rouhintapaikalla. Näiden ongelmien ratkaiseminen vaatii ohjeiden tekemisen ja työntekijöiden perehdyttämisen niihin, joten toteutuksena nämä kehitysehdotukset ovat helppoja ja kustannukset pieniä. Taulukossa 5 käytiin läpi merkinnät, jotka pakkaajien tulee kirjata laatikoihin tai lavoihin. Taulukosta ilmenevät myös kaikki rouhittavat raaka-aineet. Toimintaohjeet tulee tehdä yhdessä laatuosaston sekä kokeneempien rouhijoiden kanssa. Ohjeilla on työturvallisuutta parantava vaikutus ja lisäksi näillä toimilla varmistetaan, että raaka-aineet eivät mene keskenään sekaisin ja kaikki rouhintaan tarkoitettu materiaali saadaan hyödynnettyä. Rouhintaan tehdyillä ohjeilla varmistetaan myös, että kaikki rouhittava materiaali on rouhintaan kelpaavaa eikä pilaa koko rouhintaerää. Rouhittavia raaka-aineita on kertynyt tehtaalle tuhansia kiloja. Raaka-aineen hinta on keskimäärin 3 €/kg, joten kaikki raaka-aine, joka saadaan hyödynnettyä uudelleen, on säästöä raaka-ainekustannuksissa. Näin ollen näillä pienilläkin toimilla on vähintäänkin kohtuullinen hyöty. Lisäksi kun työntekijöillä on tietoisuus rouhittavista raaka-aineista, tarpeettomat raaka-aineet eivät jää viemään tilaa tehtaan tiloihin.

Raaka-aineiden uudelleen hyödyntämisessä ongelmana on se, että siihen ei ole panostettu aktiivisesti, vaan rouheita on päässyt kerääntymään varastoon. Ainut raaka-aine, jonka rouhetta on hyödynnetty sekoittajan kautta, on lasitäytteinen PC Lexan 503R-73223. Edellä mainittuun ongelmaan ratkaisuna on tehtaan toisen sekoittajan käyttöönotto. Sekoittaja on toimintakuntoinen ja vaatii asennuksen tiettyihin silloihin, joista raaka-ainetta otetaan. Toista lasitäytteistä PC materiaalia Makrolon PCR96GF:aa kuluu tehtaalla kuukausittain noin 7 000 kg. Tätä rouhetta on kertynyt varastoon tuhansia kiloja, joten toinen sekoittaja kannattaisi ottaa käyttöön tämän materiaalin hyödyntämiseen. Pelkkää ABS-rouhetta ja vaaleaa PC+ABS-rouhetta on käytetty jo onnistuneesti monien tuotteiden valmistuksessa, joten rouheiden käyttöä näissä tuotteissa on otettava aktiivisemmin käyttöön. Lisäksi pitäisi pyrkiä suorittamaan koeajoja mahdollisista muista tuotteista, joihin rouhe voisi soveltua ilman että tuotelaatu kärsii. Näiden toimintojen toteutus ei vaadi suuria investointeja. Niistä saatava hyöty on kuitenkin suuri, sillä jokainen hyödynnetty raaka-ainekilogramma tuo säästöä yritykselle ja rouheiden kuluttaminen luo varastointitilaa raaka-aineille.

LÄHTEET

- [1] Zheng R. Tanner R. Fan X-J. Injection Molding. 2011.
- [2] Järvinen P. Muovin suomalainen käsikirja. 2000.
- [3] Nykänen S. Höök T. Ruiskuvalu. 2015. Viitattu: 18.6.2019. Saatavilla: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>.
- [4] Koivisto K. Laitinen E. Niinimäki M. Tiainen T. Tiilikka P. Tuomikoski J. Konetekniikan materiaalioppi. 2008.
- [5] Höök T. Polymeerimateriaalit. Tampereen teknillinen yliopisto. 2014. Viitattu 10.7.2019 Saatavilla: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_injmoulding_materials_FI.pdf.
- [6] Dreamstime. Polycarbonate. Viitattu: 10.7.2019. Saatavilla: <https://www.dreamstime.com/polycarbonate-pc-thermoplastic-polymer-molecule-structural-chemical-formula-molecule-model-polycarbonate-pc-thermoplastic-image138416739>
- [7] ScienceDirect. Acrylonitrile Butadiene Styrene. 2009. Viitattu: 10.7.2019. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/acrylonitrile-butadiene-styrene>
- [8] Järvinen P. Muovit ja muovituotteiden valmistus. 2017.
- [9] Muovit ja kumit. Raaka-ainekäsikirja 4. 2001.
- [10] Fibox Oy. Muovimateriaalit. Viitattu: 11.7.2019. Saatavilla: http://www.fibox.fi/17/Muovimateriaalit_FIN1.html
- [11] Vink Finland Oy. Akrylinitriilibutadieenistyreeni. Viitattu: 11.7.2019. Saatavilla: https://www.vink.fi/abs_muovi
- [12] Bruder U. Lähteenmäki E. Termoplastiset elastomeerit. Muoviplast 1/2014.
- [13] Fibox Oy. PUR-tiivisteet. Viitattu. 13.7.2019. Saatavilla: http://www.fibox.fi/20/PUR-tiivisteet_FIN1.html
- [14] Bühnen GmbH. Advantages of using PUR. Viitattu: 13.7.2019. Saatavilla: <https://www.buehnen.de/en/news-en/535-advantages-of-using-pur>
- [15] Rosato D.V. Rosato D.V. Rosato M.G. Injection Molding Handbook. 2000.
- [16] Jeffery J. Iconn Systems. Plastic resins and moisture whitepaper: Manufacturing Methods and the Impact of Moisture on Plastic Resins. Viitattu: 16.7.2019. Saatavilla: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/203881/_CONTENT-RESOURCES/PDFs/Moisture-and-Plastic-Resins-White-Paper.pdf

- [17] Hirn. M. Miksi muovigranulaatti pitäisi kuivata?. Muoviplast 6/2017.
- [18] Sisäilmayhdistys Ry. Materiaalien ominaisuudet. Viitattu: 13.7.2019. Saatavilla: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Materiaalien-ominaisuudet>
- [19] Bruder U. Lähteenmäki E. Ruiskuvaluvirheet – Syyt ja toimenpiteet. Muoviplast 5/2018.
- [20] Bruder U. Lähteenmäki E. Ruiskuvaluvirheet – Syyt ja toimenpiteet. Muoviplast 6/2018.
- [21] Bruder U. Lähteenmäki E. Ruiskuvaluvirheet – Syyt ja toimenpiteet. Muoviplast 1/2019.
- [22] Kurri V. Malén T. et. al. Muovitekniikan perusteet. 2008.
- [23] Lähteenmäki P. Kuosmanen O. Järvelä P. Pääkkönen E.J. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Muovitekniikan laitos. Ruiskuvalutuotteen pintavirheet ja niiden syyt. 1996.
- [24] Puhakka T. Järvelä P. Polymeeristen materiaalien kuivaus. 2002. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Materiaaliopin laitos. Muovi- ja elastomeeritekniikka.
- [25] Stoughton P. Plastics Technology. How to Dry PET for Container Applications. 2014. Viitattu 24.7.2019. Saatavilla: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-dry-pet-for-container-applications>
- [26] Kuivas H. Tulipesän säädettävän lämmönsiirtimen toteutus koekattilassa. 2011. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Viitattu: 22.7.2019. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27516/Kuivas_Hannu.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [27] Dupont. Crastin PBT Thermoplastic Resins. Molding Guide. Viitattu: 29.7.2019. Saatavilla: <https://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/plastics-polymers-and-resins/thermoplastics/documents/Crastin/Crastin%20PBT%20Molding%20Guide.pdf>
- [28] Jauhetekniikka. Jauhetekniikka Fluidi™ Apupurkain siiloihin ja säiliöihin. Viitattu: 3.8.2019. Saatavilla: <http://www.jauhetekniikka.fi/tuotteet/jauheiden-varastointi/apupurkaimet>
- [29] Rasi. M. Kiintoaineen pinnanmittaus pellettisiilossa. 2012. Viitattu: 6.10.2019. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40193/Rasi_Matias.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [30] Lahti. P. Järvelä.P. Laatu ja prosessin kehittäminen. 2002. Raportti 03/02. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Muovi- ja elastomeeritekniikka. Materiaaliopin laitos.

- [31] Logistiikan maailma. Varastonohjauksen ulkoistaminen Viitattu: 15.9.2019. Saatavilla: <http://www.logistiikanmaailma.fi/huolinta-terminaalit/varastointi/varastonohjaus/varastonohjauksen-ulkoistaminen/>
- [32] Lintec Oy. Lastauksien ratkaisut tehokkaammin ja turvallisemmin. Viitattu 16.9.2019. Saatavilla: <https://www.lintec.fi/nousutasot>
- [33] Keuda. Ultraäänellä pinnankorkeuden mittaus. 2019. Viitattu: 6.10.2019. Saatavilla: <https://keuda.moodle.fi/mod/page/view.php?id=351404>
- [34] Vaisala. Continuous Dew Point Measurement Ensures Product Quality and Enables Optimized Energy Consumption in Plastics Dryind. 2018. Viitattu: 6.10.2019 Saatavilla: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/VIM-G-Humidity-Plastics-Drying-Application-Note-B211376EN-B.pdf>
- [35] Jordan. M. Drying Your Polymer. 2018. Viitattu: 7.10.2019. Saatavilla: <https://www.wolvcoll.ac.uk/wp-content/uploads/2018/04/4.1-Mike-Jordan-Summit-Drying-solutions-2018.pdf>
- [36] Summit Systems. Moisture Minder. 2019. Viitattu: 18.10.2019. Saatavilla: <https://www.summitsystems.co.uk/wp-content/uploads/2018/01/Moisture-Minder.pdf>
- [37] Novatec. All About MoistureMaster™. 2012. Viitattu: 18.10.2019. Saatavilla: <https://www.ptonline.com/cdn/cms/uploadedfiles/kc/NovatecQandA.pdf>
- [38] Novatec. MoistureMaster SA Stand Alone Sensor™ Stop Over-Drying and Under-Drying Your Resins!. 2015. Viitattu 18.10.2019. Saatavilla: <https://manualzz.com/doc/8667321/moisturemaster-sa-stand-alone-sensor-%E2%84%A2-stop-over-drying-a...>