



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Andreas Theocharous

Polypropeenilaitoksen lisäaineistuksen modernisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

6.2.2020

Tekijä Otsikko	Andreas Theocharous Polypropeenilaitoksen lisäaineistuksen modernisointi
Sivumäärä Aika	34 sivua + 1 liite 6.2.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Kemiantekniikka
Ohjaajat	TD Area Engineer Hans Maaniittu Lehtori Timo Seuranen
<p>Insinööriyön toimeksiantajana oli polyolefiineja ja peruskemikaaleja valmistava Borealis Polymers Oy:n polypropeenilaitos. Työn tarkoituksena oli kartoittaa vuonna 2019 laitoksella ilmenneiden laatuongelmien välittömiä ja juurisyitä eri näkökulmista ja luoda näiden perusteella kattava kuva laitoksen lisäainejärjestelmän nykyisistä ongelmakohdista. Näiden ongelmakohtien perusteella työssä luotiin kaksi erilaista vaihtoehtoa lisäainejärjestelmän uusimiselle, jotka toimivat myös pohjamateriaalina laitoksen sisäisen investoinnin esiselvitysvaiheelle.</p> <p>Insinööriyössä tehdyllä tarkastelulla havaittiin, että eniten ongelmia laitoksella aiheuttavat lisäaineiden punnitussväärit ja syöttöruuvit, jotka vaativat pikaista uudistusta laatuongelmien poistamiseksi. Samaan aikaan työssä selvisi nykyisten olemassa olevien laitteiden mahdollinen kapasiteetinnosto, joka kasvattaa laitoksen tuotekohtaista tuotantonopeutta.</p> <p>Ongelmakohtien tunnistamisen jälkeen työssä luotiin kolme erilaista vaihtoehtoista ratkaisua lisäaineongelmien poistamiselle. Ensimmäisessä vaihtoehdossa laitoksella uusitaan vain ongelmia aiheuttavat laitteet ja yhtenäistetään laitoksen lisäaineistusjärjestelmä helpompaa operointia varten. Toinen vaihtoehto kattaa kaikki ensimmäisessä vaihtoehdossa tehtävät muutokset, mutta sen lisäksi siinä kartoitettiin manuaalisen työn määrän vähentämistä automaation avulla. Tämän lisäksi työssä kartoitettiin mahdollisuutta siirtyä tulevaisuudessa erillisistä lisäainesäkeistä ns. onepackeihin.</p> <p>Investointihanketta varten työssä tehtiin molemmille vaihtoehdoille kustannus- ja kannattavuusarviot, joiden tunnuslukujen perusteella laitokselle tällä hetkellä sopivin ja kustannustehokkain ratkaisu olisi toteuttaa ensimmäinen vaihtoehto.</p>	
Avainsanat	polypropeeni, lisäaineistus, FTR, onepack

Author Title	Andreas Theocharous Additivition modernization in a polypropylene plant
Number of Pages Date	34 pages + 1 appendice 6 February 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Chemical Engineering
Instructors	Hans Maaniittu, TD Area Engineer Timo Seuranen, Senior Lecturer
<p>This thesis was commissioned by the polypropylene plant of the polyolefin and base chemical producing company Borealis Polymers Oy. The aim was to investigate a sustainable and efficient solution to the plant's uprising quality issues regarding the additivition system in 2019. These issues were assessed by exploring direct and root causes for every known failure and these failures were evaluated using the data from the plant's own maintenance and quality control unit. After concluding that the key additivition system equipment was the cause of the failures, two new additivition system options for future production were suggested. The findings from this thesis will be used as a base material for the prestudy phase in the company's future project.</p> <p>After evaluation it was recognized that the root cause of these problems was the malfunction of additive weighing and feeding equipment. This equipment needs to be modified as soon as possible in order to prevent continuous future losses. In addition, it was found that other pieces of current equipment could be upscaled to aid future increase of production capacity.</p> <p>Two possible options for modernizing the additivition system were developed based on the results from the evaluation. The first option consists of modernizing all highly critical equipment including a large portion of the additive scales and feeding screws, while also unifying the current system for easier operability and maintenance. It also includes the small upscaling of current equipment for more efficient production capacity in the future. The second option includes the same suggestions mentioned in the first, but also involves reducing the amount of physical work by automation. Finally, a brief assessment on the future usage of onepacks in the plant was produced.</p> <p>As part of the prestudy phase, cost estimates and feasibility reports were created for both presented options. Key figures from the feasibility reports indicate that it is more feasible to proceed with the first option now and in the future.</p>	
Keywords	polypropylene, additivition, FTR, onepack

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Borealis Polymers Oy	2
3	Polypropeeni ja sen lisäaineistus	3
3.1	Polypropeeni	3
3.1.1	Homopolymeeri	4
3.1.2	Random-kopolymeeri	5
3.1.3	Block-kopolymeeri	5
3.2	Lisäaineistus	5
3.2.1	Stabilisaattorit ja antioksidantit	6
3.2.2	Antistaatit ja voiteluaineet	6
4	Polypropeenilaitos	7
4.1	Polymerointi	8
4.1.1	Esikäsitteily ja loop-reaktorit	9
4.1.2	Kaasunerotus ja jälkikäsitteily	10
4.2	Pelletointi	10
4.2.1	Syöttösiilot	11
4.2.2	Lisäainevaa'at ja ensimmäinen sekoitusreaktori	12
4.2.3	Puskurisäiliöt ja toinen sekoitusreaktori	12
4.2.4	Ekstruuderit ja pelletin jatkokäsitteily	12
4.3	Laitoksen lisäaineistusjärjestelmä	13
4.3.1	Operointiperiaatteet	14
4.3.2	Nykyisen järjestelmän ongelmakohdat	16
5	Vuonna 2019 ilmenneet lisäaineistuksesta johtuvat laatuongelmat	18
5.1	Ongelmien tarkastelu laatuluokittelun perusteella	19
5.2	Ongelmien tarkastelu SAP:n notifiointien perusteella	22
6	Lisäainejärjestelmän uudistus	25

6.1	Laitteiden uusinta vikaantumistaajuuden perusteella (vaihtoehto 1)	25
6.2	Järjestelmän kokonaisvaltainen uudistus (vaihtoehto 2)	27
6.3	Onepackien käyttö laitoksella tulevaisuudessa	29
7	Kustannus- ja kannattavuusarvio	30
8	Yhteenveto	32
	Lähteet	33

Liite 1. Vaihtoehto 1:n laiteluettelo

Lyhenteet

FTR	First Time Right. Yrityksen sisäinen tuotannossa käytettävä tunnusluku.
IPS	Internal Product Specification. Konsernin sisäinen tuotelaatukohtainen spesifikaatio.
IRR	Internal Return of Rate. Kannattavuusarvion tunnusluku, joka kuvaa projektin sisäistä kannattavuutta.
NPV	Net Present Value. Kannattavuusarvion tunnusluku, joka kuvaa projektin potentiaalisten tulovirtojen ja kustannusten erotusta.
PP	Polypropeeni. Termoplastinen muovi.
TEAL	Trietyylialumiini. Polypropeenin valmistuksessa käytettävä raaka-aine.

1 Johdanto

Tässä työssä tarkastellaan Porvoon Kilpilahdessa sijaitsevan Borealis Polymers Oy:n polypropeenilaitoksen lisäaineistusjärjestelmää, ja siihen tehtävää tulevaisuuden uudistusta. Tätä insinööriötä käytetään samalla pohjamateriaalina yrityksen sisäisen investointihankkeen esiselvitysvaiheeseen.

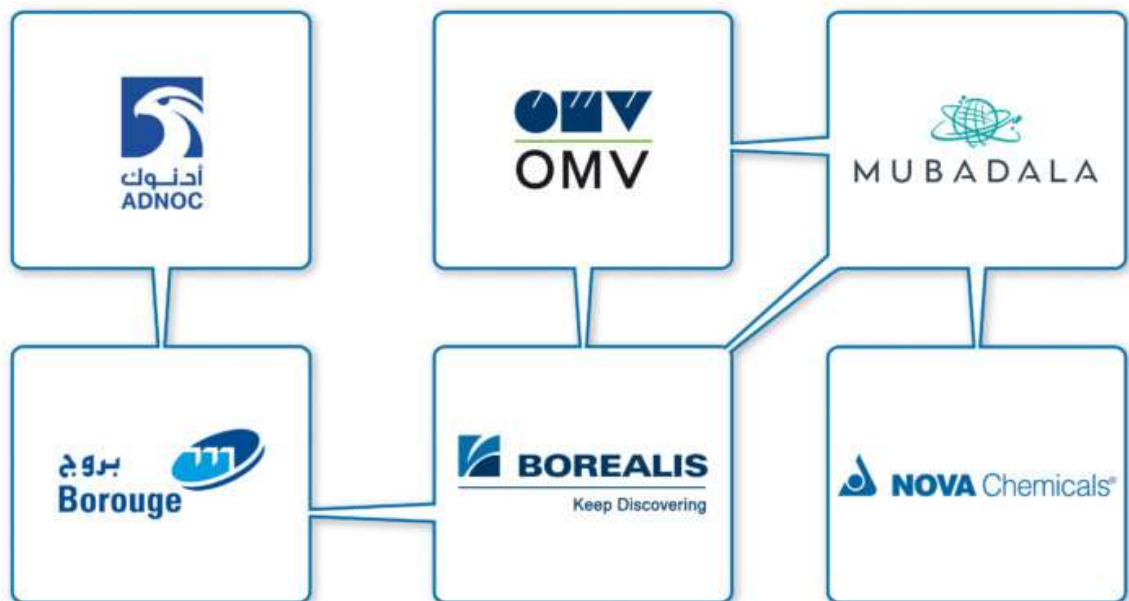
Laitoksen nykyinen lisäainejärjestelmä on vanha ja selkeästi elinkaarensa päässä; suurin osa laitteistosta on pääosin alkuperäisessä kunnossa, mikä on lopulta konkretisoitunut vuoden 2019 aikana ilmenneissä useissa laadullisissa ongelmissa. Nämä laadulliset ongelmat näkyvät suoraan taloudellisissa menetyksissä joko tuotteiden, tai ylimääräisten huoltojen tai muiden eritysjärjestelyjen muodossa. Työssä tarkastellaan näiden ongelmien aiheuttajia ja niiden välittömiä ja juurisyitä eri näkökulmista.

Työssä esitellään kaksi mahdollista uutta vaihtoehtoa uudelle lisäainejärjestelmälle, joihin kuuluu laitehankintojen lisäksi kustannus- ja kannattavuusarviot. Näiden lisäksi työssä pohditaan kolmantena vaihtoehtona mahdollista tulevaisuuden ratkaisua lisäainesarjojen vähentämiseksi onepackien muodossa, pyrkien kuitenkin säilyttämään laitoksen joustavuuden.

2 Borealis Polymers Oy

Borealis Polymers Oy on Porvoon Kilpilahdessa toimiva peruskemikaaleja ja polyolefiineja valmistava yritys, joka työllistää Suomessa noin 900 henkilöä. Yhtiöllä on Kilpilahden teollisuusalueella kuusi tuotantolaitosta: olefiinit, fenoli & aromaattit, polyeteeni, polypropeeni, Borstar-polyeteeni ja sekoitelaitos, joista tässä työssä tarkastellaan polypropeenilaitosta. Yhtiöllä on myös lisäksi Kilpilahden teollisuusalueella kaksi tuotekehityksestä vastaavaa koetehdasta ja innovaatiokeskus.

Borealis Polymers Oy on osa isompaa kansainvälistä Borealis-konsernia, jolla on yhteensä henkilöstöä noin 6 800 ja toimintaa yli 120 maassa. Borealis on maailmanlaajuisesti johtava polyolefiinien, peruskemikaalien ja lannoitteiden toimittaja. Borealis Konsernin liikevaihto vuonna 2018 oli 8,3 miljardia euroa, josta tulosta syntyi 906 miljoonaa euroa. Borealis-konsernista 64 % omistaa Yhdistyneiden Arabiemiraattien valtion sijoitusyhtiö Mubadala, ja loput 36 % omistaa itävaltalainen öljy- ja kaasuyhtiö OMV. [1.]

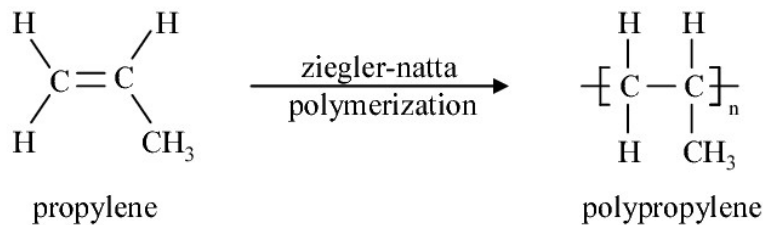


Kuva 1. Borealis-konsernin omistajuus ja yritys rakenne [1.]

3 Polypropeeni ja sen lisäaineistus

3.1 Polypropeeni

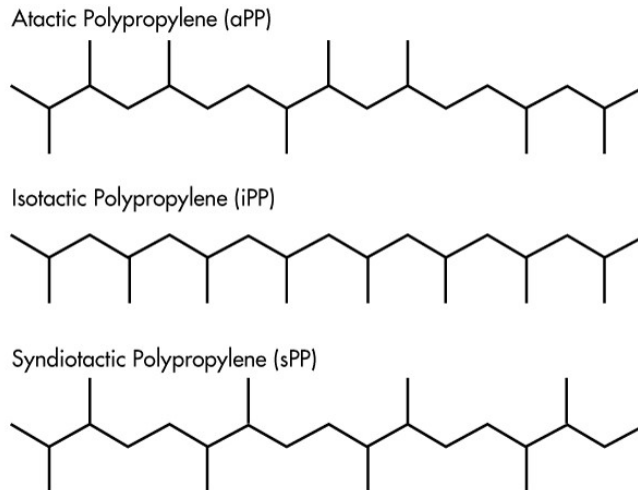
Polypropeeni on termoplastinen materiaali, joka valmistetaan polymeroimalla propeenimonomeerejä pitkiksi polymeeriketjuiksi. Propeenimonomeerit liittyvät toisiinsa organometallisen katalyytin avulla. Katalyytti hajottaa propeenimolekyylissä olevan kaksoisdoksen ja samalla mahdollistaa monien propeenimolekyylien toisiinsa liittymisen pitkäksi ketjuksi. Suurin osa näistä monomeereista on linkittynyt toisiinsa hiili-hiilidoksilla, sisältäen samalla propeenissa reagoimattoman metyyliryhmän. Polypropeenin muodostuminen on esitetty kuvassa 2. [2, s. 34.]



Kuva 2. Polypropeenin kemiallinen muodostuminen Ziegler-Natta-katalyytin avulla [3.]

Teollisessa mittakaavassa polypropeenia valmistetaan yleisesti bulk-polymeroinnilla organometallisen Ziegler-Natta-katalyytin avulla. Polymerointiprosessin parametrejä ja kokatalyytin syöttömääriä muuttamalla polypropeenista voidaan saada kolmea erilaista yksittäistä tai samassa polymeerissa ilmenevää useaa polymeeriketjua: ataktista, isotaktista tai syndiotaktista polypropeenia. Ataktisessa polypropeenissa metyyliryhmät ovat järjestäytyneet polymeeriketjulle täysin satunnaisessa järjestyksessä, kun taas isotaktisessa ja syndiotaktisessa polymeerissä ne ovat järjestelmällisesti joko yhdellä puolella ketjua tai ketjun puolia tasaisesti vaihdellen. Näiden polymeeriketjujen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet eroavat toisistaan merkittävästi. Esimerkiksi täysin isotaktinen polymeeri on rakenteeltaan hyvin kiteistä, luoden ominaisuuksiltaan jäykän ja lujan polymeerin, kun taas täysin syndiotaktinen polymeeri on ominaisuuksiltaan pehmeämpää ja joustavampaa. Tästä syystä useimmiten teollisuudessa valmistettavat po-

lymeerit eivät muodostu täysin yhdestä tietystä polymeeriketjusta, vaan niihin on polymeroitu useampaa eri polymeeriketjua, jotka ovat esitetty kuvassa 3. [4, s. 26; 5, s. 4–6.]



Kuva 3. Polypropeenin kolme erilaista muodostuvaa polymeeriketjua [6.]

Polypropeeni voidaan karkeasti jakaa kolmeen eri valmistettavaan pääpolymeeriin: homopolymeeri, random-kopolymeeri ja block-kopolymeeri. [5, s. 19.]

3.1.1 Homopolymeeri

Homopolymeeri on teollisesta näkökulmasta selkeästi yleisin polypropeenilaatu. Homopolymeerissä monomeeriketjut ovat järjestäytyneet toisiinsa kiinni pääosin isotaktisesti ja ataktisesti. Tämä järjestäytyminen takaa polymeerille kidemäisen mutta vakaan olomuodon, mikä helpottaa polymeerin työstettävyyttä. Tästä syystä homopolymeerejä käytetään esimerkiksi metalliputkissa pinnoitteina korroosionestävyyden parantamiseksi. Muita homopolymeerituotteiden käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset elintarvike- ja lääkepakkaukset ja autoteollisuuteen tarvittavat rakennemuovit. [5, s. 19; 7.]

3.1.2 Random-kopolymeeri

Random-kopolymeeri on polymeeri, jossa polymeroinnin aikana propeeniketjuun on polymeroitu pieni määrä (7 m-% tai vähemmän) eteeniä. Eteeni muuttaa polymeeriketjun ominaisuutta ja kiderakennetta niin, että propeeni- ja eteenimolekyylit liittyvät ketjulla satunnaiseen järjestykseen. Tämä satunnaisuus takaa lopputuotteeseen paljon enemmän pehmeyttä, läpinäkyvyyttä ja joustavuutta. Syötettävän eteenin määrä korreloi siis suoraan polymeerin pehmeys- ja muokattavuuteen. Random-kopolymeerin käyttökohteita on esimerkiksi erilaiset pakkaukset, jotka vaativat polymeeriltä joustavuutta ja pehmeyttä, ja tietyt putkituotteet. [5, s. 19–21; 7.]

3.1.3 Block-kopolymeeri

Block-kopolymeeri polymerisoidaan lähes samalla tavalla kuin random-kopolymeeri, mutta lisättävän eteenin määrä on paljon suurempi (5–15 m-%). Polymeerissä eteeniketjut polymeroidaan säännölliseen järjestykseen eli ns. blockeiksi. Nämä blockit takaavat polymeerille mekaanisesti todella vahvan kestävyys verrattuna homo- tai random-polymeereihin. Block-kopolymeerien käyttökohteita ovat mekaanista kestävyyttä vaativat teollisuuden sovellukset ja sellaiset kohteet, joissa mahdollinen käyttölämpötila on lähellä 0 °C tai alle. [5, s. 23; 7.]

3.2 Lisäaineistus

Teollisesti valmistettu puhdas polypropeeni voi olla tietyiltä ominaisuuksiltaan kestävä, mutta pitkäikäisyyden ja vaativien ominaisuuksien parantamiseksi siihen täytyy yleensä lisätä lisäaineita käyttökohteen mukaan. Esimerkiksi puhdas polypropeenipulveri kestää todella heikosti UV-säteilyä, minkä vuoksi sitä ei voida käyttää missään käyttökohteessa, missä se altistuisi auringonvalolle. Tyypillisiä polypropeenin lisäaineita ovat erilaiset antioksidantit, stabilisaattorit, kirkasteaineet, antistaatit ja voiteluaineet. [7; 8.]

3.2.1 Stabilisaattorit ja antioksidantit

Polypropeenin stabilisointi on sen hapellisen kestävyyskannalta todella tärkeää. Puhdasta polypropeeniketjun sisältämät vapaat metyyliryhmät reagoivat hapen kanssa lähes välittömästi, aiheuttaen haurastumista ja degradaatiota. Hapettava degradaatio laskee polypropeenin molekyylipainoa ja kasvattaa samalla sulaindeksiä. Polypropeenin sulaindeksi kuvaa sen juoksevuuksia tietyn paineen ja lämpötilan vaikutuksesta. Polypropeenin molekyylipainon lasku ja sulaindeksin kasvu johtaa viskositeetin laskuun, pintasäröihin ja vaikuttaa mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten elastisuuteen ja kovuuteen. [5, s. 27.]

Antioksidantit estävät hapettuvan degradaation reagoimalla vapaan metyyliryhmän kanssa muodostaen reagoimattomia sidoksia polymeeriketjuun. Yleisimpiä antioksidantteja ovat erilaiset aromaattiset ja fenoliset yhdisteet. Fenoliset yhdisteet estävät polymeerin tahraantumista ja kellertymistä, mutta tietyissä olosuhteissa hapettuessaan muodostavat kaksoissidoksellisia kinoneita. Nämä kinonit ovat luonteeltaan kromoforisia ja voivat aiheuttaa varsinkin Ziegler-Natta–katalyytipohjaisissa polypropeeneissa isoja väri-ongelmia. Korkean molekyylipainon omaavat fenolit ovat vähemmän haihtuvia ja korvaamattomia, varsinkin kun polymeeripulveria käsitellään korkeissa lämpötilaolosuhteissa. Polypropeenipulveriin lisätään yleisellä tasolla antioksidantteja noin 0,25–0,5 p-%, jotta hapettavalta degradaatiolta vältyttäisiin. [5, s. 27–29.]

3.2.2 Antistaatit ja voiteluaineet

Puhdas polypropeeni ei johda sähköä ollenkaan, mutta ollessaan hankaavassa kosketuksessa esimerkiksi metallisiin pinnoitteisiin polypropeenipelletin pinnalle voi syntyä staattinen varaus. Tämä varaus kerää itseensä kaiken pölyn ja sen mukana siirtyvän lian, mikä aiheuttaa ongelmia filmilaatuisissa tuotteissa. Mahdolliset staattisesta varauksesta johtuvat kipinät voivat myös aiheuttaa jatkokäsittelyssä laitteistolle oikosulkuja, ja pahimmillaan aiheuttaa esimerkiksi tulipalon tai pölyräjähdysten. Tästä syystä polypropeenipulveriin täytyy lisätä antistaattisia aineita ennen lopullista ekstrudointia. Yleisellä tasolla antistaatit voidaan jakaa ionisiin ja ei-ionisiin aineisiin. Ionisia antistaatteja ovat muun muassa erilaiset sulfaatit, fosfaatit ja karboksyylihapot. Ei-ionisiin antistaatteihin

kuuluvat esimerkiksi erilaiset esterit ja etoksyloidut rasvahappoamiinit. Molempien ryhmien antistaatit ovat lähes poikkeuksetta elintarvikelaatuisia, sillä niitä tarvitsevien polymeerien lopputuote on yleensä elintarvikepakkaukseen liittyvä tuote. [5, s. 44.]

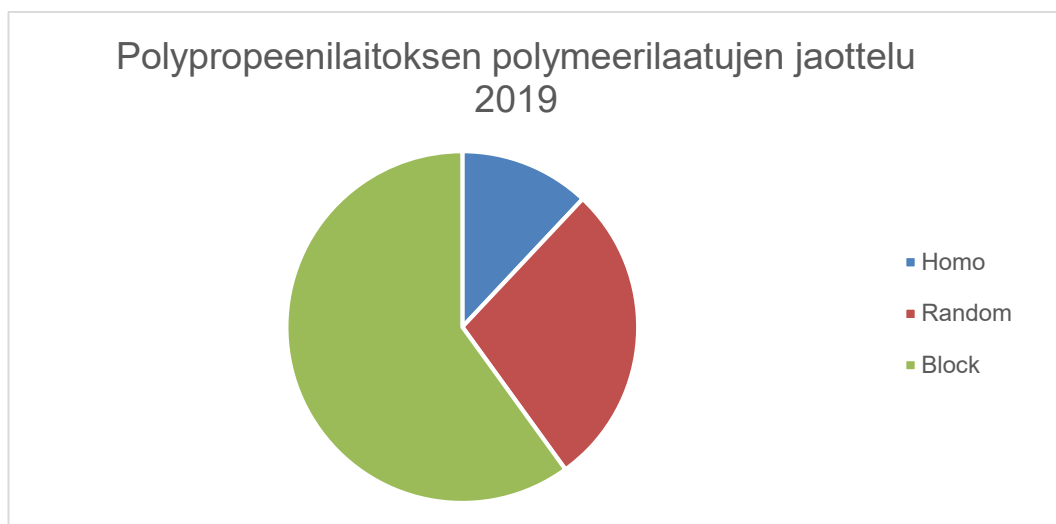
Polypropeeni ja muut polyolefiinit ovat helposti käsiteltäviä ja vaativat vähemmän voiteluaineita, kuin muut polymeeriseokset. Voiteluaineita lisätään, jotta prosessoitavan polymeerin sulaviskositeetti saadaan mahdollisimman pieneksi ja jotta polymeeri ei tarttuisi prosessoinnin aikana esimerkiksi laitteiston metallisiin pinnoitteisiin. Voiteluaineet voidaan jakaa karkeasti sisäisiin ja ulkoisiin voiteluaineisiin. Sisäiset voiteluaineet reagoivat molekyylitasolla, helpottaen polymeerin sisäisten ketjujen liikkuvuutta, kun taas ulkoiset voiteluaineet reagoivat polymeerin pinnalla, muodostaen suojan sulan polymeerin ja prosessointilaitteiston metallipinnoitteiden välille. Erilaisia sisäisiä ja ulkoisia voiteluaineita ovat esimerkiksi hiilivetypohjaiset vahat, polyeteeni, rasvahapot ja erilaiset esteriseokset. Esimerkki sisäisestä voiteluaineesta on kalsiumstearaatti, joka muuttaa sulaviskositeettia niin, että polymeeripulverin sisältämät sisäiset polymeeriketjut pääsevät liikkumaan toistensa välissä. [5, s. 45.]

4 Polypropeenilaitos

Porvoon polypropeenilaitos on otettu käyttöön vuonna 1988, jolloin nimelliskapasiteetti on ollut 120 kt/vuosi. Prosessi itsessään on säilynyt pääpiirteittäin samana, mutta prosessilaitteistoa on vuosien varrella uusittu paljon. Laitoksen nykyinen nimelliskapasiteetti on 232 kt/vuosi. [7.]

Prosessi on patentoitu matalapaineinen Spheripol-prosessi, jossa Borealoksen omalta krakkerilta tuleva nestemäinen propeeni polymeroidaan pulverimaiseksi polypropeeniksi kahdessa loop-reaktorissa. Polymeroinnin jälkeen pulveri siirretään pneumaattisesti lisääaineistukseen, jossa siihen lisätään tarvittavat lisääaineet paremman kestävyys- ja tiettyjen tuoteominaisuuksien takaamiseksi. Lisääaineistuksen jälkeen polymeeripulveri sulatetaan ja ekstrudoidaan pieneksi pelletiksi, jollaisena se lopulta lähetetään homogenisoinnin jälkeen asiakkaalle eteenpäin joko pakattuna tai bulk-tuotteena. [7.]

Polypropeenilaitoksella valmistetaan kolmea eri polymeerilaatua: homopolymeeria, random-kopolymeeria sekä block-kopolymeeria. Näiden polymeerien valmistusprosessi on samankaltainen, mutta pienten parametrimuutosten avulla niiden tuoteominaisuudet saadaan asiakkaan vaatimuksien mukaisiksi. Jatkuvatoimisuuden varmistamiseksi polymeerilaadulta toiseen vaihtamisen aikana prosessissa tuotetaan myös ns. transitiopolymeeria, jonka laadullinen luokittelu on löyhempi kuin muilla polymeerilaaduilla. Transitiopolymeeri myydään asiakkaille halvemmalla hinnalla, kuin muut tuotteet, koska sen laadullinen jakauma ominaisuuksien mukaan on laajempi. Käytännössä jokainen laitoksella valmistettu polymeerituote menee johonkin yhteiskunnan tai teollisuuden käyttöön. Polypropeenilaitoksen polymeereista suurin osa menee teollisuuden ja yhteiskunnan putki-tuotteisiin ja niiden päällystyksiin ja pinnoituksiin, mutta laitoksella valmistetaan myös elintarvikelaatuisia polymeereja. [7.]

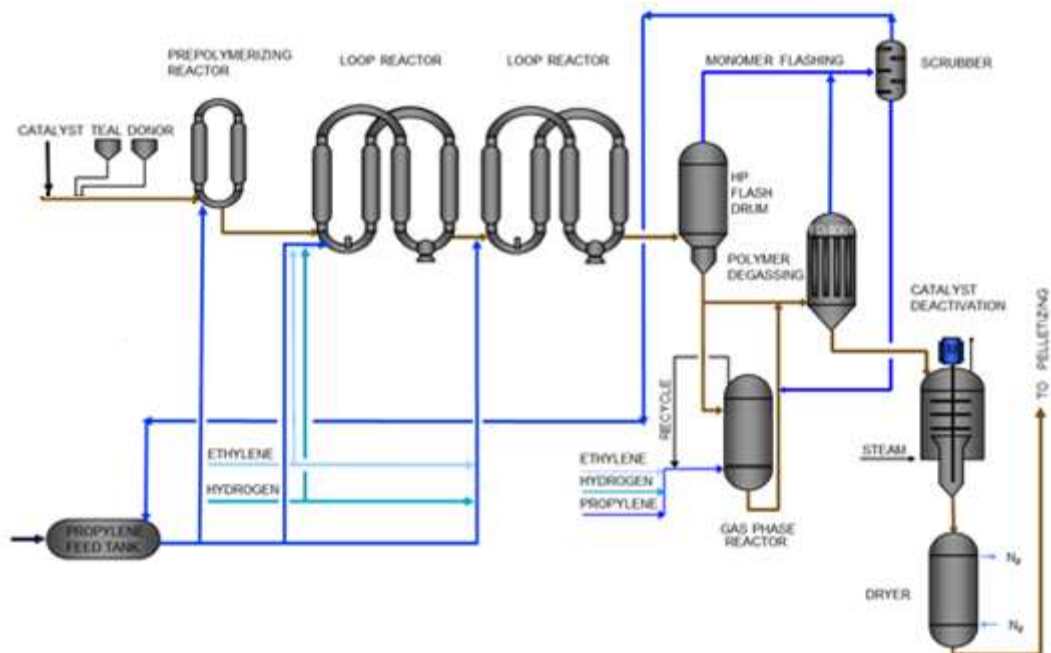


Kuva 4. Polypropeenilaitoksen polymeerilaadut suhteutettuna tuotantomäärään. [7.]

4.1 Polymerointi

Polypropeeni-laitoksella käytettävä Spheripol-prosessi on bulk-polymerointiprosessi organometallisen Ziegler-Natta-katalyytin avulla. Pääraaka-aineena prosessissa toimii vedyn ja eteenin lisäksi nestemäinen propeeni, joka polymeroituu polypropeeniksi katalyyt-

tiä hyödyntäen. Polymeroitumisen jälkeen polymeerislurry käsitellään poistaen reagoimattomat monomeerit ja muut jäämät, joista esimerkiksi kaasut voidaan pesun jälkeen kierrättää takaisin prosessiin tai palauttaa Borealiksen omalle krakkerille uudelleenkäytettäväksi. [9.]



Kuva 5. Yksinkertaistettu virtauskaavio käytössä olevasta Spheripol-polymerointiprosessista. [9.]

4.1.1 Esikäsitely ja loop-reaktorit

Ennen varsinaista loop-reaktoreilla tapahtuvaa polymerointia katalyytti esikäsitellään lisäämällä siihen kokatalyyteiksi kutsuttuja aineita kuten trietyylialumiinia (TEAL) ja Donoria. Esikäsitelty katalyyttipasta siirretään erillisen katalyytin syöttösylinterijärjestelmän avulla pienikokoiseen loop-reaktoriin, johon syötetään samanaikaisesti TEAL ja Donor. Esipolymeroinnin aikana katalyytin pinnalle polymeroidaan pieni kerros propeenaa, jotta katalyytti saadaan aktivoitua itse varsinaista polymerointia varten. Katalyytin aktivoimisen jälkeen polymeerislurry siirtyy jatkuvatoimisesti ensimmäiselle kahdesta loop-reaktorista. Samanaikaisesti ensimmäiseen loop-reaktoriin syötetään propeenaa, vetyä ja niiden lisäksi tietyillä laaduilla myös eteeniä. Loop-reaktorissa tapahtuvan polymerointire-

aktion viipymäaika on suoraan verrannollinen laitoksen nimelliseen kuormitukseen. Ensimmäisen loop-reaktorin jälkeen polymeerislurry polymeroidaan vielä toiseen kertaan identtisessä loop-reaktorissa, jotta viipymäaikajakauma saataisiin pidettyä mahdollisimman lyhyenä. [10.]

4.1.2 Kaasunerotus ja jälkikäsitely

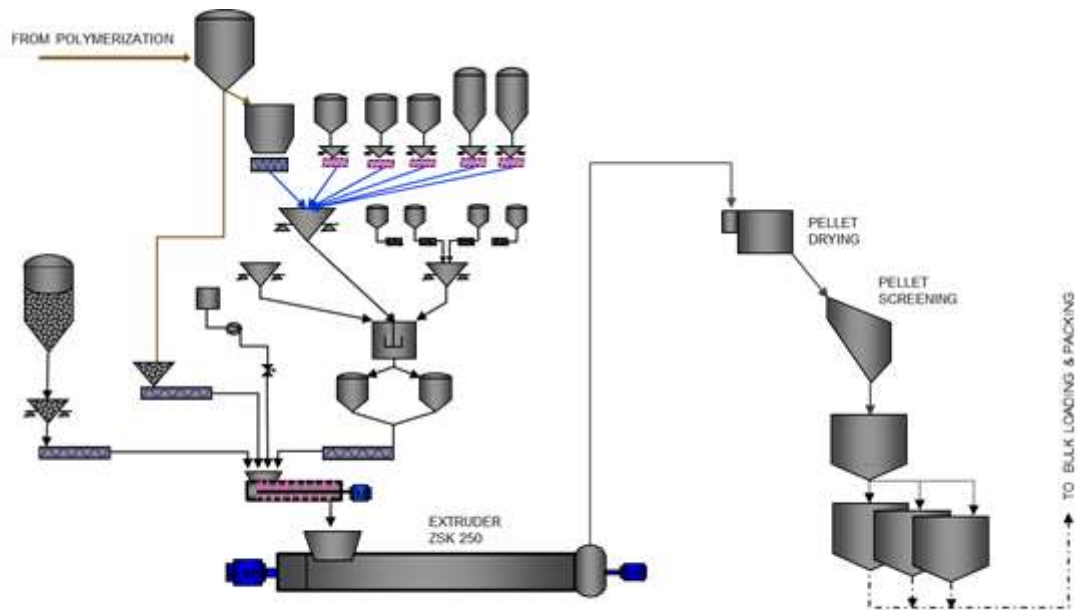
Loop-reaktoreiden jälkeen monomeeririkas polymeerislurry siirtyy korkeapaine kaasunpoistoon, jossa reagoimattomat hiilivedyt, kuten propeeni ja eteeni saadaan poistettua ja kierrätettyä. Korkeapaine kaasunpoiston jälkeen pulveri siirretään laadusta riippuen joko suoraan matalapaine kaasunpoistoon tai kaasufaasireaktorille. Esimerkiksi laitoksella valmistettävien block-kopolymeerien osareaktio tapahtuu kaasufaasireaktorissa, jossa niiden läpi puhalletaan propeeni-, eteeni- ja vetykaasua eri tuoteominaisuuksien saavuttamiseksi. Laadusta riippumatta polymeeripulveri saatetaan lopulta matalapaine kaasunpoiston kautta, jotta siitä saadaan poistettua viimeisetkin monomeerit, jotka voivat mahdollisesti aiheuttaa lopputuotteessa makuhaittoja, varsinkin jos valmistuksessa on elintarvikelaatuinen muovi. [10.]

Kaasunerotuksen jälkeen polymeeri höyrykäsittelään puhaltamalla kuumaa höyryä leijuvan polymeeripedin läpi. Höyrykäsittelyllä polymeeristä saadaan deaktivoitua katalyytti ja poistettua viimeisetkin ylimääräiset hiilivetyjäämät. Höyrykäsittelyn jälkeen polymeeri sisältää höyrykäsittelystä imeytynyttä vettä, joka poistetaan kuivaamalla polymeeri komprimoidulla ja lämmitetyllä tyypellä. Kuivaamisen jälkeen polymeeri siirretään typpikuljetuksella pelletointiin välisiiloihin odottamaan lisäaineistusta ja ekstrudointia. [10.]

4.2 Pelletointi

Pelletointiprosessi koostuu polymeerin lisäaineistuksesta ja lopputuotteen valmistuksesta ekstrudoimalla. Polymeerin lisäaineistus on panostyyppinen prosessi, jossa lisäaineista ja pienestä määrästä puhdasta polymeeripulveria koostuva esisekoitepanos siirretään sekvenssien avulla oikeassa suhteessa puhtaaseen polymeeriin jatkuvatoimisesti. Välisiiloista pneumaattisesti siirretty polymeeri varastoidaan väliaikaisesti pelletointirakennuksen katolla olevassa varastosäiliössä, josta se siirtyy kahdelle identtiselle

lisäainestuslinjastolle ja ekstruuderille, pääosin painovoimaa hyödyntäen. Tässä työssä näitä tuotantolinjoja kutsutaan nimillä A ja B. Ekstruudereille menevän pulverin massa-prosentista muutama prosentti on lisäainetta, ja loput puhdasta polymeeripulveria. Suurin osa pelletoinnin laitteistosta pidetään tyypiatmosfäärissä, sillä puhdas polymeeripulveri reagoi hapen kanssa, mikä aiheuttaa ongelmia lopputuotteen ominaisuuksissa kuten käyttöiässä tai vahvuudessa. Hienojakoinen polymeeripulveri on myös altistuvainen pölyntymiselle, mikä voi pahimmillaan aiheuttaa prosessissa pölyräjähdysten. [11.]



Kuva 6. Pelletointiprosessin yksinkertainen virtauskaavio kahdelle identtiselle tuotantolinjalle. [11.]

4.2.1 Syöttösiilot

Lisäaineistusprosessi käynnistyy valmistamalla jokaiselle tuotelaadulle ominainen esisekoitepanos. Suursäkeissä tulevat lisäaineet kuljetetaan manuaalisesti pumppukärryillä ja puretaan nosturien avulla rakennuksen yläkerroksissa oleviin syöttösiiloihin. Molemmilla linjastoilla on yhdeksän syöttösiiloa, joista jokaiseen siirretään kulutuksen vaatima lisäainemäärä. Siirrettävä lisäaine on pääosin hienojakoista pulveria, joten syöttösiilit on varustettu maadoituksella ja erillisellä pölynpoistojärjestelmällä, jotta esimerkiksi kipinästä aiheutuvan pölyräjähdysten riski saadaan minimoitua. [11.]

4.2.2 Lisäainevaat ja ensimmäinen sekoitusreaktori

Syöttösäiliöistä lisäaineet syötetään ruuvikuljettimilla lisäainevaaoille, jotka jatkuvatoimisesti punnitsevat lisäaineen määrää suhteessa panoksen kokoon ja käynnissä olevaan reseptiin. Vaaoille syöttäminen tapahtuu polypropeenilaitoksen ohjaamosta tarkkaillen täysin automaattisesti sekvenssien avulla. Ohjaamossa työskentelevä operaattori määrittelee syötettävän esisekoitepanoksen koon, jonka jälkeen prosessi hoitaa punnitsemisen ja annostelun automaattisesti. Esisekoite siirtyy punnitsemisen jälkeen painovoiman avulla ensimmäiseen sekoitusreaktoriin, jossa sitä sekoitetaan tietyn aikaa mahdollisimman homogeenisen lopputuloksen takaamiseksi. [11.]

4.2.3 Puskurisäiliöt ja toinen sekoitusreaktori

Sekoitussekvenssin päätyttyä pulveri siirtyy puskurisäiliöön odottamaan viimeistä sekoitusvaihetta. Puskurisäiliöitä on yhdellä linjastolla kaksi, joka mahdollistaa toisen säiliön kunnossapidon ajon aikana tai kahden eri esisekoitelaadun säilyttämisen eri puskurisäiliöissä. Puskurisäiliöt on mitoitettu suurelle määrälle esisekoitetta, mikä mahdollistaa hetkellisen jatkuvatoimisen ajon esimerkiksi vaakojen tai syöttöruuvien häiriötilanteissa.

Puskurisäiliöiden jälkeen esisekoite siirtyy jatkuvatoimisella ruuvisyöttimellä viimeiseen sekoitusreaktoriin, jossa siihen lisätään suurin osa käytettävästä polymeeripulverista ja mahdollinen viidennestä kerroksesta syötettävä väriaine ja/tai ulkoa varastosiiloista sivusyötettävä pelletti. Sekoitusreaktori on jatkuvatoiminen ja se vaavan avulla punnitsee ja syöttää lisäaineiltaan valmista polymeeripulveria suoraan ekstruuderiin. [11.]

4.2.4 Ekstruuderin ja pelletin jatkokäsittely

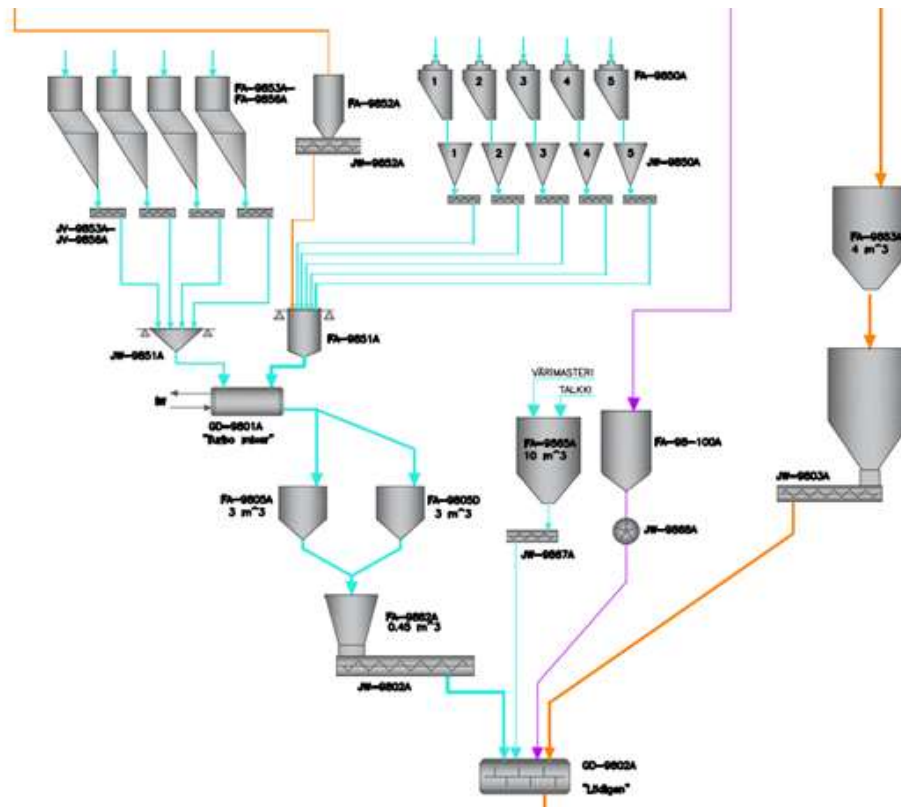
Ekstruuderin ruuvien elementtien geometrinen muoto homogenisoi pulverin vielä viimeisen kerran ennen sulatusta ja pelletiksi leikkaamista. Pelletit tehdään vedenalaisella leikkauksella, missä sula polymeeri puristetaan reikälevyä vasten ja heti, kun sula muovi menee reikälevyn läpi, pellettivesi jäädyttää muovin ja veitsileikkuri leikkaa ne pelleteiksi. Pelletit siirtyvät vesivirtauksen mukana keskipakokuivaimelle. Keskipakokuivaimessa pelletit kuivataan ja seulotaan ennen pneumaattista siirtoa blendereille. Blendereillä valmiit pelleteistä koostuvat tuote-erät homogenisoidaan, jolla saadaan

poistettua mahdolliset linjastojen väliset tai tuotantoerän aikaiset pellettierot. Homogenisoinnin jälkeen valmiit tuote-erät siirretään varastosiiloihin odottamaan materiaalinkäsittelyn toimitusta asiakkaalle joko bulk-tuotteena tai erikseen säkkeihin tai oktabiineihin pakattuna. [11.]

4.3 Laitoksen lisäaineistusjärjestelmä

Laitoksella käytössä oleva lisäaineistusjärjestelmä on pysynyt lähes samassa kokoonpanossa laitoksen käynnistämisestä asti. Molemmilla tuotantolinjoilla on käytössä oma identtinen lisäaineistusjärjestelmä, joka koostuu kahdesta eri annostelulaitteistosta, jotka on toimitettu laitokselle eri aikaan. Selkeyden vuoksi työn aikana näitä kahta eri annostelulaitteistoa kutsutaan nimillä vanha puoli ja uusi puoli. Vanhan puolen annostelujärjestelmä on käynnistetty laitoksen kanssa samaan aikaan vuonna 1988, ja suurin osa käytettävästä laitteistosta on myös tältä vuodelta. Esimerkiksi paljon ongelmia aiheuttavat vanhan puolen lisäaineväät ja ruuvit ovat kaikki lähes alkuperäisessä kunnossa, lukuun ottamatta pieniä mekaanisia muutoksia. Uusi puoli on otettu käyttöön muutama vuosi vanhan puolen jälkeen, mutta siltäkään ei ole täysin välttytty ongelmilta. Esimerkiksi ajoittaiset punnitus- ja syöttöongelmat aiheuttavat laitoksella haastavia tilanteita, koska joissakin tapauksissa aikaa korjauksille tai säädöille ei ole paljon, mikä johtaa useimmiten tuotteen laatuluokituksen laskuun, mutta pahimmassa tapauksessa myös tuotantopeuden laskemiseen, transitiotuotteen tekemiseen tai pahimmillaan suunnittelemaan alasajoon.

Polypropeenilaitoksen lisäaineistusjärjestelmä on esitetty kuvassa 7, missä vaaleansiniset viivat kuvaavat lisäainevirtoja, violetti kuvaa mahdollista sivusyöttövirtaa ja oranssi viiva kuvaa polymeerivirtaa. Vanhan puolen syöttösiilot ja punnitus- ja annostelulaitteisto näkyvät kuvassa oikealla, ja uuden puolen syöttösiilot ja ruuvit kuvassa vasemmalla.



Kuva 7. Laitoksen molempien tuotantolinjojen identtinen lisäaineistusjärjestelmä [9.]

4.3.1 Operointiperiaatteet

Lisäaineistusjärjestelmän annostelulaitteita ohjataan Valmetin automaatiojärjestelmällä pääosin polypropeenilaitoksen ohjaamosta, mutta myös paikallinen kenttäohjaus on mahdollista. Jokaisen tuotantoerän alussa lisäaineistuksen automaatiojärjestelmään syötetään seuraavat tiedot:

- tuotantoerän numero
- halutun reseptin numero
- tarvittavien sekoitusten lukumäärä.

Muovitehtaiden raaka-ainevarastolta laitokselle tulevat lisäaineet ovat pääosin 500–800 kg:n suursäkeissä, mutta joillakin laaduilla käytettävät lisäaineet ovat pienemmissä 20 kg:n pakkauksissa. Valmistettavan polymeerilaadun tarvitsemat lisäaineet siirretään tavarahissin ja pumppukärryn avulla pelletoinnin lisäainekatoksesta rakennuksen ylimpiin kerroksiin ja puretaan suursäkinosturin avulla manuaalisesti vanhan puolen syöttösiiloihin FA-9850A/B.1-5 ja uuden puolen syöttösiiloihin FA-9853A/B-56A/B. Siilot on kytketty keskuspölynpoistoon ja niistä on avattava pölynpoistventtiili ennen täyttöä, koska osa lisäainesekoituksista on todella herkästi pölyäviä. Suursäkit tyhjennetään ritilän läpi ja pölynpoistventtiili suljetaan täytön jälkeen. Syöttösäiliöissä on alapintakytkin, joka antaa hälytyksen ohjaamoon, kun säiliössä on jäljellä tavaraa n. 250 kg. [12.]

Manuaalisen siirtämisen ja purkamisen jälkeen annosteluprosessi aloittaa automaattisen toiminnan, joka perustuu kolmeen perättäiseen vaiheeseen, joita ajetaan samassa syklissä panostyyppisesti:

- polymeerin annostelu vaakasäiliöön
- lisäaineiden annostelu yksitellen syöttösäiliöistä vaaolle
- esisekoitepanoksen annostelu sekoitusreaktoriin ja sekoitussekvenssin jälkeinen annostelu puskurisäiliöihin.

Ensimmäisenä annostellaan polymeeri vaakasäiliöön FA-9851A/B. Lisäaineannostelut vaa'alle tapahtuvat säiliöistä FA-9850A/B.1-5. Ehtona näiden annosteluiden käynnistymiselle on, että polymeerin annostelu on pysähtynyt ja ruuvin päässä oleva läppäventtiili on kiinni. Samanaikaisesti syöttösäiliöistä FA-9853A/B-56A/B annostelu tapahtuu vuoron perään vaa'alle JW-9851A/B. Lisäaineannostelun aluksi avautuu syöttösäiliön pohjaventtiili ja sen jälkeen käynnistyy möyhennin. Vaakasäiliön täytyessä möyhennin pysähtyy ja pohjaventtiili sulkeutuu. Tämän jälkeen vaakasäiliön ruuvi annostelee reseptin mukaisen määrän lisäainetta. Vaakasäiliö täyttyy tarvittaessa uudestaan ja annostelua jatketaan, kunnes reseptin vaatima määrä lisäainetta on annosteltu. [12.]

Annostelun jälkeen molemmat vaa'at tyhjennetään sekoitusreaktoriin GD-9801A/B, missä käynnistyy valitun reseptin määrittelemä sekoitussekvenssi. Sekoitussekvenssin päätyttyä esisekoitepanos siirretään automaattisesti puskurisäiliöihin FA-9805A-D, joista panosta siirretään jatkuvatoimisesti syöttöhopperin FA-9882A/B ja syöttöruuvin JW-

9802A/B avulla toiseen sekoitusreaktoriin GD-9802A/B. Toisessa sekoitusreaktorissa esisekoitettuun panokseen sekoitetaan jatkuvatoimisesti pääpolymeerivirta, ja mahdolliset polymeerin värjäävät lisäaineet ja sivusyötettävä pelletti. Lopullista polymeerisekoitetta syötetään jatkuvatoimisesti ekstruuderille. [12.]

4.3.2 Nykyisen järjestelmän ongelmakohdat

Nykyinen lisäainejärjestelmä on pääosin suunniteltu laitoksen alkuperäisen kapasiteetin mukaan, ja se sisältää monta pullonkaulakohtaa ja mahdollista riskialtista kohtaa. Ensimmäinen selkeä pullonkaula on molempien puolien lisäainevaakojen kapasiteetti ja punnitsemisnopeus. Varsinkin uuden puolen syöttöruuvit ja vaaka ovat annostelultaan varsin hitaita, kun lisäainetta voidaan syöttää vain yhdestä syöttösilosta kerrallaan. Tämä ongelma ilmenee varsinkin sellaisilla polymeerilaaduilla, joissa syötettävät lisäaineiden määrät ovat suuria suhteessa muuhun syöttöön. Polymeeriruuvit eivät kerkeä annostelemaan tarpeeksi nopeasti lisäaineita vaa'alle, mikä tarkoittaa sitä, että valmistuva esisekoitepanos siirtyy prosessissa lähes suoraan lisäaineistuksesta ekstruuderille. [13.]

Lisäainejärjestelmän vanhan puolen vaa'at ovat myös kapasiteetiltaan liian pieniä, ja usealla eri laadulla tulee vaa'an punnituksia ja täyttöjä monta kertaa ennen kuin oikea määrä on saatu punnittua. Tuotannon jatkuvatoimisuuden kannalta tilanne ei ole ihanteellinen, sillä esimerkiksi mahdollisen ruuveille tai vaa'alle ilmaantuvan mekaanisen häiriön sattuessa lisäainetta ei saada syötettyä prosessissa eteenpäin, mikä johtaa scrap-tuotteen tekemiseen tai pahimmillaan ekstruuderin alasajoon. [13.]

Tietyillä laitoksella ajettavilla värillisillä laaduilla on myös ilmennyt ongelmia värisyöttöruuvien vikaantumisten ja kapasiteetin kanssa. Esimerkiksi erityislaatuja, kuten elastomeeripohjaista polymeeriä, voidaan tällä hetkellä ajaa vain tuotantolinja B:llä, sillä A:n värisyöttöruuvien kapasiteetti ei yksinkertaisesti riitä syöttämään tarvittavaa määrää elastomeerilisäainetta. Pelkän syöttöruuvien uusiminen ei kuitenkaan riitä, sillä tuotantolinja A:n värisäiliö on kapasiteetiltaan paljon pienempi, joten täydellä tuotantonopeudella ajaminen vaatii myös syöttöruuvien uusimisen lisäksi A:n värisäiliön suurentamisen. [13.]

Molemmilla tuotantolinjoilla vanhan puolen lisäainevaa'at on sijoitettu ympyränmalliseen muotoon ja aivan liian lähelle toisiaan, mikä aiheuttaa haasteita kunnossapitotöissä. Vaa'at ovat todella herkkiä värähdyksille ja pienillekin osumille, joten ajon aikana tehtävissä kunnossapitotöissä jokainen pieni värähdys tai vahingollinen osuma luo riskin väärälle punnitukselle ja annostelun epätarkkuudelle. Lisäainejärjestelmän vanhan puolen B-linjaston vaa'at ja niiden sijoittelu rakennuksessa on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. B-linjaston vanhan puolen vaa'at ja niiden sijoittelu pelletointirakennuksessa

Yksi ongelmia aiheuttava riski nykyisessä järjestelmässä on potentiaalinen tavarahissin pitkäaikainen vikaantuminen. Lisättävät lisäaineet siirretään tavarahissillä rakennuksen ylimpiin kerroksiin, ja hissin vikaantuessa lisäaineita ei saada syötettyä prosessiin, mikä lopulta johtaa molempien tuotantolinjojen alasajoon. Laitoksen hissille on tehty vuosien aikana useita kunnossapidollisia huolto- ja ylläpitotöitä, mutta riski hissin yllättävästä vikaantumisesta on edelleen olemassa. Isommassa vikatilanteessa hissi voi olla poissa käytöstä useita vuorokausia, mikä tarkoittaa suunnittelematonta alasajoa korjauksen ajaksi. [13.]

5 Vuonna 2019 ilmenneet lisäaineistuksesta johtuvat laatuongelmat

Polypropeenilaitoksella on vuosien varrella ja varsinkin vuoden 2019 aikana ilmennyt useita tuotelaadullisia ongelmia, joista poikkeamatta suurin osa liittyy lisäaineistukseen. Pelkästään vuoteen 2018 verrattuna lisäaineista johtuvat laatuongelmat ovat kasvaneet jo 1100 %. Laatuongelmat ilmenevät toimipaikalla olevan laboratorion tuoteluokittelun jälkeen, mikä tarkoittaa, että laatuongelmaiset pelletit eivät täytä yrityksen sisäisiä tai asiakkaan ulkoisia laaturajoja, joten tuotteet myydään joko alennushintaan tai pienessä osassa tapauksista uusiokäytetään prosessissa. Laitoksella sovelletaan Borealis Groupin omaa tuotteiden luokitteluohtetta, jossa määritellään tuotteiden luokittelu laboratorioanalyysien ja IPS:n (Internal Product Specification) mukaan. [14.]

Borealis Groupin ohjeen perusteella tuote-erät luokitellaan seuraavanlaisesti

- FTR (First Time Right): Tuote-erä täyttää kaikki IPS:n vaatimukset, eikä poikkeamia ole huomattu laboratoriossa tai tuotannossa.
- COG (Controlled Grade): IPS:n kaikki vaatimukset eivät täyty, mutta erä voidaan toimittaa asiakkaalle tuoteomistajan hyväksynnällä.
- DOG (Down-grade): Suuri osa IPS:n vaatimuksista ei täyty, erä voidaan toimittaa asiakkaalle alennettuun hintaan.
- NOG (Non-grade): Ei voida luokitella IPS:n mukaan tuotelaaduksi.
- SOG (Scrap Off-grade): Ei luokitella miksikään tuotelaaduksi, sisältää mm. lattialta siivotut ja täryseulalta ylitteen ja alitteen mukana tulleet pelletit.

Laitoksen FTR on pysynyt viime vuosien aikana tasaisesti 96–98%:ssa, mutta vuoden 2019 FTR laski muutaman prosenttiyksikön aikaisemmista vuosista, sillä ei-FTR-tuotteiden määrä oli jo ylitetty toukokuussa vuoteen 2018 verrattuna. Tämä pääosin johtui vuoden aikana ilmenneistä laiteongelmista, jotka aiheuttivat pahimmissa tapauksissa laatuokituksen alentumisia useiden perättäisten valmistettujen erien kohdalla. FTR-tulokseen vaikuttaa myös polymeerilaadun vaihtamisen onnistuminen, jotta mahdollisimman

suurelta transitiomäärältä välttyttäisiin. Vuoden 2019 aikana luokitellut laadut ja määrät esitetty kuvassa 9, jossa utility tarkoittaa transitiotuotetta.



Kuva 9. Polypropeenilaitoksen vuoden 2019 FTR ja lisäaineista johtuvat laatuluokituksen alen-
tumis- tai hylkyyn menneet tuotteet suhteutettuna tuotantomäärään.

5.1 Ongelmien tarkastelu laatuluokittelun perusteella

Laitoksella vuoden 2019 aikana ilmenneistä laatuongelmista ja tuote-erän luokituksen alenemisista selkeästi suurin osa johtuu lisäaineista. Lisäaineiden ongelmien kasvu vuodesta 2018 on ollut noin 58 prosenttiyksikköä. Juurisyytä kaikille laatuongelmille ei ole vielä tunnistettu, mutta suurin osa välittömistä syistä johtuu lisäainelaitteiston vikaantumista ja laitteiston luonnollisesta ikääntymisestä. Yleisesti lisäaineongelmat huomataan ensimmäisen laadunvalvontanäytteen jälkeen, mutta laadunvalvontalaboratoriosta saatavassa tuloksessa on kuitenkin viivettä jonkun verran, mikä mahdollistaa riskin suu-
relle määrälle ei-FTR-tuotetta, kun muutoksia lisäainemäärään ei saada tehtyä välittömästi, kun ongelma huomataan polypropeenilaitoksen ohjaamossa vasta liian myöhään. Suurin osa viiveestä johtuu siitä, että osa lisäaineanalyyseistä tehdään vasta erän val-

mistuttua, mikä vikatilanteessa tarkoittaa sitä, että huomattava määrä tuotantokampanjasta on jo keretty valmistaa, minkä vuoksi kaikki tuotantokampanjan aikaisemmat erät ovat ei-FTR tuotetta. Osa viiveestä myös johtuu laadunvalvonnassa tehtävien analyysien pitkästä kestosta. Yksi mahdollinen ongelmia selittävä tekijä on myös joillekin tietyille tuotteille asiakkaiden vaatimuksista määritellyt tiukat IPS:n rajat, mikä mahdollistaa erittäin pienistäkin lisäainepitoisuusvirheistä johtuvat luokituksen alennukset. Laatuluokitusten alentumisien välittömät syyt vuonna 2019 on esitetty kuvassa 10.

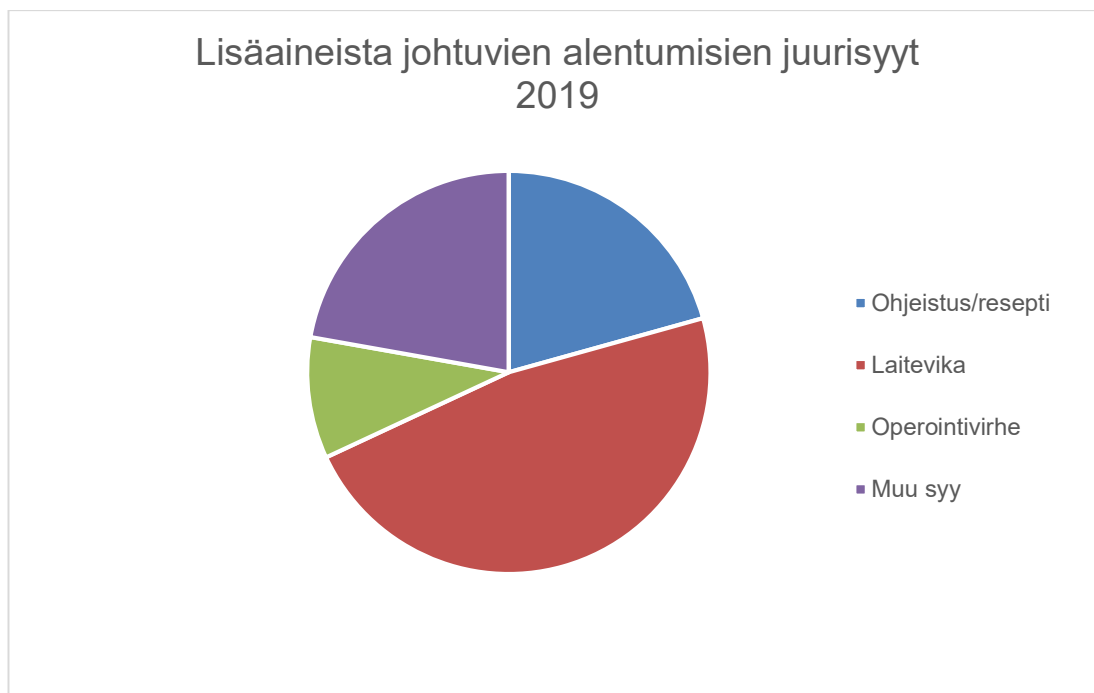


Kuva 10. Vuoden 2019 aikana ilmenneet luokituksen alentumisien välittömät syyt

Lisäainevaakojen tai ruuvien vikaantuessa ekstruuderille syötettävään esisekoitepanokseen menee mahdollisesti liikaa tai liian vähän lisäaineita, kun vaa'at eivät saa tarkkaa määrää syötettyä. Lisäainevaakojen virhe saatetaan huomata Valmetin automaatiojärjestelmässä, ennen kuin esisekoitepanos syötetään ekstruuderiin, mutta joissakin tapauksissa järjestelmä ei hälytä, jos vaa'alta tullut data näyttää korrektilta. Tästä esimerkkinä kesällä 2019 oli tilanne, jolloin vaaka näytti syöttävän oikeita määriä ilman hälytyk-

siä, mutta todellisuudessa ruuvien huoltoluukun hitsisauma oli pettänyt. Vaaka oli punninnut syötettävät lisäaineet täysin oikein, mutta ne olivat vuotaneet sen pohjasta suoraan lattialle, mikä lopulta johti pitoisuuseroihin lopputuotteessa. Kyseiset ruuvit sijaitsevat rakennuksessa sellaisessa tilassa, jossa normaalin operoinnin aikana ei tarvitse käydä, joten vuotavan huoltoluukun havaitseminen oli haastavampaa kuin normaalisti. Ohjaamossa tilannetta seurannut operaattori ei ollut havainnut datasta, että mitään poikkeavaa olisi tapahtunut, mutta ensimmäisen laadunvalvontatuloksen jälkeen ongelmat havaittiin heti.

Toinen vuoden 2019 aikana tapahtunut tilanne oli vanhan puolen yhden lisäainevaakan jatkuva ylipunnitseminen. Lisäainevaaka punnitsi ja annosteli kaksinkertaisen määrän haluttua lisäainetta jokaiseen tehtyyn esisekoitepanokseen noin kahden vuorokauden ajan. Prosessin automaatiojärjestelmä oli hälyttänyt yhdellä vaa'oilta vaakavirhettä, mutta ohjaamossa työskennellyt operaattori ei ollut huomionnut jatkuvaa vaakavirhettä, mikä johti lukuisten erien laadunalennukseen. Tilannetta hankaloitti se, että laitoksella käytettävä automaatiojärjestelmä antaa usein ns. "väärä hälytyksiä", joten todelliset hälytykset jäävät helposti huomaamatta. Tässäkin tapauksessa ongelmat huomattiin ensimmäisenä laadunvalvontalaboratoriossa. Lisäaineista johtuvien ongelmien juurisyiden jaottelu on esitetty kuvassa 11.

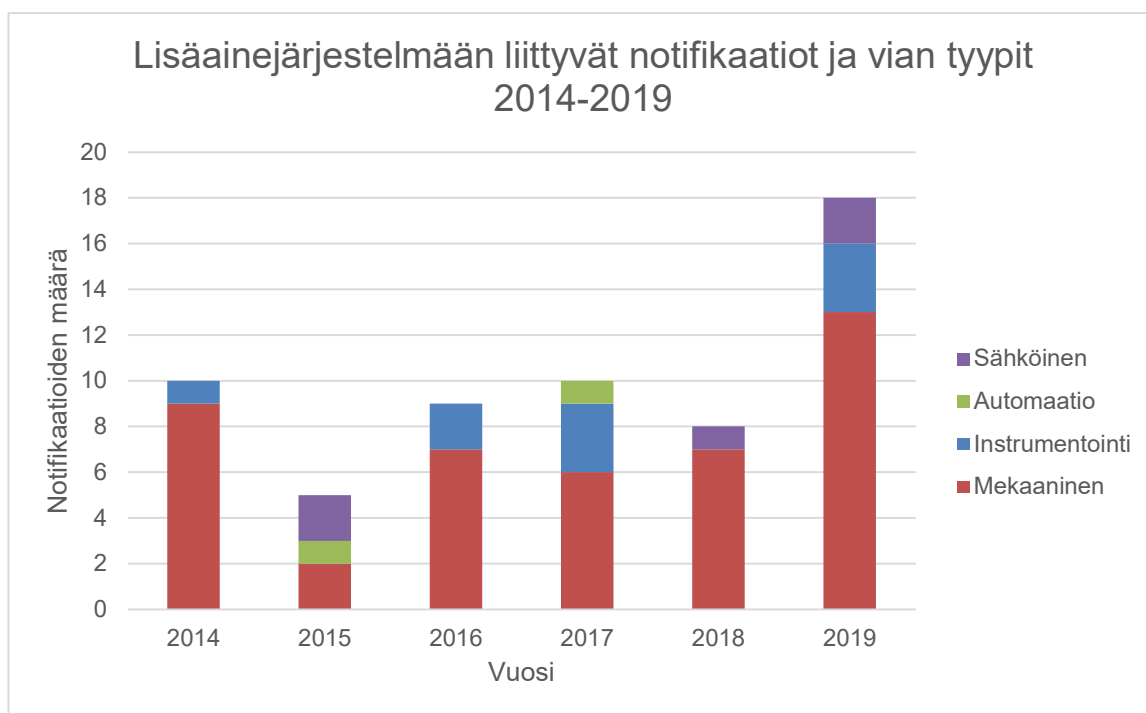


Kuva 11. Juurisyytä lisäaineista johtuvan laatuluokittelun alentumiseen

5.2 Ongelmien tarkastelu SAP:n notifikaatioiden perusteella

Borealiksella on käytössä SAP ERP-toiminnanohjausjärjestelmä, jolla tuotannon henkilökunta välittää tarvittavat huolto- ja korjaustoimenpiteet eteenpäin kunnossapidolle. Tämä tapahtuu erillisen notifikaatio- ja työtilausjärjestelmän avulla. Tuotannon huomattessa jonkin laitteen vikaantumisen tai häiriön, siitä tehdään SAP:ssa notifikaatio, johon yksinkertaisuudessaan kirjoitetaan laitteen tunnus ja mahdollisimman tarkka kuvaus ilmenneestä häiriöstä/viasta. Kunnossapidon yhteyshenkilö saa tiedon vikaantuneesta laitteesta ja aloittaa huolto- ja korjaustoimenpiteiden suunnittelemisen ja valmisteleminen. Tuotannon ja kunnossapidon notifikaatioiden välistä viivettä on hankala arvioida, sillä lähes jokainen tilattu huoltotyö on erilainen ja osa töistä voidaan vasta aloittaa, kun esimerkiksi tietyt varaosat ovat saapuneet tai kun kunnossapito on saanut tarvittavan määrän aliurakoitsijoita tilattua. Tästä syystä yleinen mittari töiden kestolle voi olla muutamasta tunnista moneen päivään. Hetkellisen viiveen takia osa kriittisistä kunnossapitotöistä voidaan suorittaa ns. ”hälytystehtävänä”, mikä kuitenkin saattaa maksaa laitokselle enemmän suhteessa normaaleihin kunnossapitotöihin, mahdollisten ylitöiden takia.

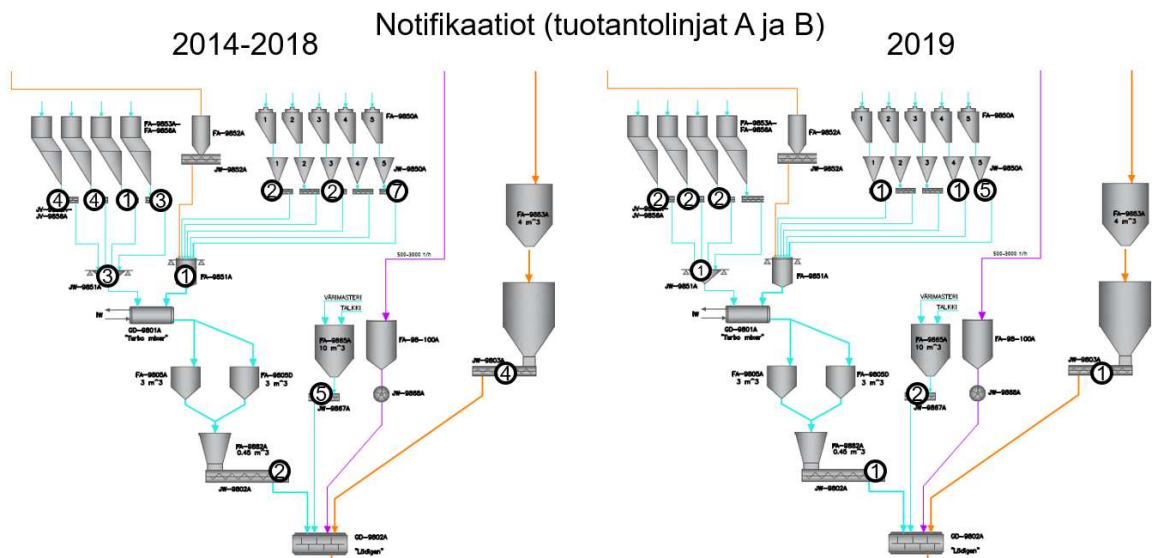
Laitoksella tehtävistä notifikaatioista noin 20 % liittyy lisäaineistusjärjestelmään. Vuosien 2014–2018 aikana lisäainejärjestelmän laitteisiin liittyviä notifikaatioita tehtiin keskimäärin noin 7 vuodessa, mutta tämä luku on kuitenkin kasvanut vuoden 2019 aikana. Pelkästään vuoteen 2018 verrattuna lisäainejärjestelmän notifikaatioiden määrä on kasvanut vuoden kuluessa jo 125%. Suurin osa tästä kasvusta johtuu laitteiston mekaanisista ongelmista, jotka ovat vuoden aikana kasvaneet n. 75 %. Kuvassa 12 on esitetty molempien lisäaineistuslinjojen notifikaatioiden määrät vuosilta 2014–2019 ja eroteltu notifikaation tyyppi ilmenneen vian/ongelman mukaan.



Kuva 12. Vuosien 2014-2019 lisäaineistusjärjestelmän laitteiden notifikaatiot ja vikatyypit

Suurin osa notifikaatiotyypeistä on järjestelmässä ilmeneviä mekaanisia ongelmia, kuten syöttöruuvien vikaantumisia, vaakalaitteiston mekaanisten osien rikkoontumisia tai erilaisia lisäainepulverivuotoja. Näistä mekaanisista ongelmista lähes poikkeuksetta kaikki ovat liittyneet molempien puolien vaakoihin tai syöttöruuveihin. Uudella puolella eniten ongelmia aiheuttavat ruuvien toimimattomuus ja väärä syöttönopeus, kun taas vanhalla puolella vaa'at annostelevat väärin tai eivät annostele lisäainetta ollenkaan, vaikka ohjaamoon saataisiin tieto annostelun onnistumisesta, ja siitä, että ruuvit ovat syöttäneet

lisäainetta oikean määrän. Mekaanisten ongelmien suuri kasvu kertoo laitteiston lähes-tyvän elinkaarensa loppua, mikä tarkoittaa ongelmien oletettua tasaista kasvamista seu-raavana vuonna. Lisäainejärjestelmään liittyvät notifikaatiot laitekohtaisesti vuosilta 2014-2019 on esitetty kuvassa 13, jossa laitteen päällä oleva numero kuvaa tarkastelta-van ajanjakson aikana kertynyttä molempien tuotantolinjojen yhteenlaskettua notifikaati-oiden määrää.



Kuva 13. Molempien tuotantolinjojen yhteenlasketut notifikaatiomäärät laitekohtaisesti vuosilta 2014-2019.

6 Lisäainejärjestelmän uudistus

Tässä työssä tehdyllä aiemmalla tarkastelulla on huomattu, että lisäainejärjestelmässä selkeästi eniten laadullisia ja tuotannollisia ongelmia aiheuttavat uuden ja vanhan puolen lisäainevaa'at ja ruuvit. Lisäaineruuvit ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan pysyneet samana vuosien aikana, mutta esimerkiksi vaakoja ohjaavat vaakapäätteet ovat elinkaarensa päässä, aiheuttaen laitoksen toimivuudelle ja operatiivisuudelle isoja haasteita. Vanhoissa vaaissa ja ruuveissa on myös paljon liikkuvia osia, jotka altistuvat mekaaniselle kulumiselle ja ovat ikääntyessään hyvin alttiita vikatilanteille ja häiriöille. Lyhyen aikavälin ratkaisuna on vaihtaa aikaisemmin esitellyt korkean vikataajuuden omaavat laitteet uusiin, mutta pitkällä aikavälillä täytyy myös tarkastella koko järjestelmän toimintaperiaatetta, ja esimerkiksi mahdollisuutta automatisoida osa fyysisesti tehtävistä töistä, jolloin saadaan poistettua osa järjestelmään liittyvistä tämänhetkisistä riskeistä.

Uudistusta tehdessä täytyy kuitenkin muistaa, että uusien laitteiden ja järjestelmien lisääminen luo uusia mahdollisesti vikaantuvia kohtia järjestelmässä. Porvoon laitoksen joustavuuden säilyttämiseksi ratkaisuna voisi olla rakentaa pneumaattiset siirtolinjat varastosäiliöineen volyymiltään suurimman kulutuksen omaaville lisäaineille, sekä yrittää saada nykyiset lisäaineet bulk-lastina laitokselle. Tässä luvussa esitellään kaksi erilaista investointivaihtoehtoa lisäainejärjestelmän uudistamiselle, joita selkeyden vuoksi kutsutaan nimillä vaihtoehto 1 ja vaihtoehto 2. Vaihtoehtoon 2 sisältyy vaihtoehto 1:n muutokset, mutta sen lisäksi siinä tarkastellaan mahdollisuutta eliminoida osa manuaalisesti tehtävästä työstä, erillisen syöttöjärjestelmän avulla. Lisäksi luvussa käsitellään kolmantena vaihtoehtona mahdollisuutta siirtyä tulevaisuudessa täysin erillisistä lisäainesarjoista onepackeihin. [13.]

6.1 Laitteiden uusinta vikaantumistaajuuden perusteella (vaihtoehto 1)

Vuoden aikana ilmenneiden ongelmien ja niiden analysoinnin perusteella lisäainejärjestelmän laitteista kriittisimmässä tilassa ovat vanhan puolen annosteluvaa'at ja syöttöruuvit sekä uuden puolen syöttöruuvit. Nämä laitteet aiheuttavat jatkuvasti ongelmia, jotka näkyvät laatuluokitusten alentumisissa. Koko vanhan puolen annostelujärjestelmä ja sen laitteisto ovat mekaanisesti alkuperäisessä kunnossa, lukuun ottamatta esimerkiksi syöttöruuvien ajoittaista vaihtamista. Vanhan puolen järjestelmä on elinkaarensa päässä ja

luonnollisen ikääntymisen myötä erittäin altis ongelmille, koska erilaisia laitteita ja instrumentteja on paljon.

Tässä työssä esitettyjen havaintojen perusteella molempien linjastojen vanhan puolen annostelujärjestelmä uusitaan täysin: vanhalla puolella jokaiselle syöttösiilolle kuuluvat vaa'at ja syöttöruuvit poistetaan ja tilalle hankitaan yksinkertaisempi ja virtaviivaisempi järjestelmä. Syöttösiiloilta tulevaa lisäainetta ei enää punnita erikseen, vaan punnitus tapahtuu yhdellä ainoalla vaa'alla, jonne lisäaineet syötetään yksitellen, millä annosteluvaiheesta saadaan yksi helposti vikaantuva laite eli erilliset vaa'at eliminoitua kokonaan pois. Uudelle vaa'alle syöttö tapahtuu uusilla ruuvisyöttimillä ja niihin liitetyllä uudella ohjauksjärjestelmällä. Uuden järjestelmän sijoittelu toteutetaan myös niin, että lisäaineiden syöttösiilon mahdollinen tyhjennys onnistuu vaivattomasti. Uudella puolella ongelmalliset mekaaniset syöttöruuvit poistetaan ja tilalle hankitaan samalla kapasiteetilla toimivat uudet syöttöruuvit. Nämä muutokset yhtenäistävät molempien puolien lisäaineistusjärjestelmän saman tyyppiseksi, mikä antaa laitokselle joustavuutta ongelmatilanteissa, kun identtisuuden takia järjestelmän kunnossapito ja esimerkiksi lisäaineiden siirto syöttösiilosta toiseen vikatilanteissa helpottuu huomattavasti.

Tulevaisuuden kapasiteetin nostoa ajatellen molempien linjojen värisyöttöruuvit uudistetaan, mikä mahdollistaa suurta syöttömäärää vaativien elastomeerilaatujen ajon molemmilla linjoilla, yhden sijaan. Molemmat värisyöttöruuvit uusitaan korkeammalle kapasiteetille ja täysin identtisiksi. Elastomeerilaadun ajaminen molemmilla tuotantolinjoilla vaatii kuitenkin A:n värisäiliön tilavuuden kasvattamista kymmeneen kuutiometriin; nykyiseltään noin neljän kuutiometrin säiliö ei riitä varastoimaan elastomeeri-laaduilla ajettavaa lisäainetta. Laiteluettelo muutettavista laitteista löytyy liitteestä 1.

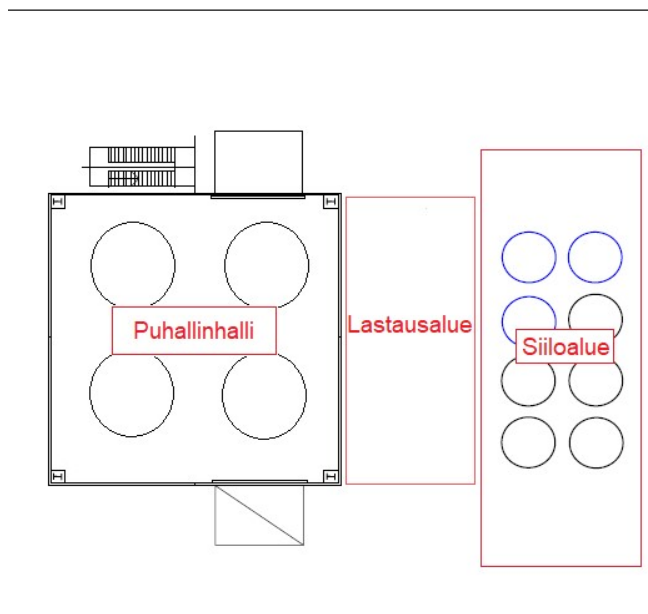
Rakenteellisista syistä pelletointirakennuksen kuudenteen ja neljänteen kerrokseen joudutaan tekemään hieman muutoksia: kuudennen kerroksen välipeltitasossa olevaa aukkoa ja tilaa joudutaan suurentamaan, että uudet syöttöruuvit ja niiden tyhjennykset mahtuvat ylätasolle. Neljännessä kerroksessa sijaitsevien värisäiliöiden välipeltitasossa olevaa säiliöreikää joudutaan A:lla suurentamaan, jotta isompi kymmenen kuution säiliö mahtuu sille suunnitellulle paikalle. Kymmenen kuution säiliö ei kuitenkaan mahdu tavarahissiin, joten sen nostaminen neljänteen kerrokseen vaatii nosturin ja rakennuksen

seinään tehtävän väliaikaisen aukon. Peltitason alla olevia tukirakenteita joudutaan kuitenkin siirtämään, sillä niiden poistaminen luo riskin operaattorin putoamiselle peltitasolta.

6.2 Järjestelmän kokonaisvaltainen uudistus (vaihtoehto 2)

Koko lisäaineistusprosessi on elinkaarensa päässä ja erittäin altis ongelmille ja riskeille. Tällä hetkellä lisäaineiden siirtäminen prosessiin on täysin manuaalista työtä, joka vaatii aina vähintään yhden operaattorin. Laitoksen kapasiteetin kasvaessa ja tiukkojen laadullisten määräyksien takia on syytä tarkastella koko toimintafilosofiaa ja mahdollisuutta vähentää osaa manuaalisesta työstä. Tulevaisuuden ratkaisuna manuaalisen työn vähentäminen ja lopulta kokonaan poistaminen ei kuitenkaan laitoksella onnistu ilman erillistä automatisoitua lisäaineiden syöttöjärjestelmää.

Ehdotettuna muutoksena lisäainejärjestelmää automatisoidaan niin, että volyymiltään suurimman kulutuksen omaavat lisäaineet syötetään jatkossa pelletointialueen puhallinhallin vieressä sijaitsevalta pelletin lastaus- ja purkualueelta erillisellä pneumaattisella siirtojärjestelmällä. Tällä alueella on jo valmiiksi kuorma-autoliikennettä, kun osa prosessin lisäaineista, kuten pelletit ja talkki, puhalletaan konttitavarana puhallinhallin katolla oleviin varastosiiiloihin. Tätä varten puhallinhallin viereen rakennetaan erillinen siiloalue, mihin tulee viisi lisäainesiiloa eniten käytössä oleville lisäaineille ja kolme väriainesiiloa väriaineille. Säiliöautot tuovat lisäaineet ja väriaineet bulk-tavarana, mistä materiaalit siirretään siiiloihin odottamaan puhallusta ylimmän kerroksen syöttösiiloihin. Jokaiselle siiilolle on oma siirtolinjansa kontaminaatoriskin välttämiseksi, mutta järjestelmään täytyy silti saada pesu- ja puhallusmahdollisuus. Pesumahdollisuudella varmistetaan siirtolinjojen puhtaus, jos siiiloihin halutaankin siirtää uutta erilaista lisäainetta lyhyellä aikavälillä. Tällä erillisellä järjestelmällä poistetaan eniten käytössä olevien lisäainesäkkien manuaalinen käsittely, säilyttäen kuitenkin mahdollisuuden tehdä niin järjestelmän häiriötilanteissa. Lisäaineiden käsittelyyn kuuluu hissillä siirtämisen lisäksi lastaaminen ja tyhjien lisäainepakkausjätteiden lajittelu. Alustava yksinkertainen layout siiloalueen sijainnista on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Ehdotettu alue uusille lisä- ja väriainesiloille.

Isojen lisäainemäärien varastointi siloissa poistaa lähes 80 % hissillä siirrettävistä isoista suursäkeistä, joten pelletointirakennusten kerroksiin tulee todella paljon tilaa sekä rakennuksen palokuorma vähenee. Manuaaliset lisäainesyöttimet täytyisi kuitenkin säilyttää niin kauan aikaa, että järjestelmän jatkuva toimivuus saataisiin varmistettua. Nykyisessä järjestelmässä lisäaineiden siirtämiseen ja muuhun manuaaliseen työhön operaattoreilta kuluu noin 650 työtuntia vuosittain. Manuaalisen työn määrän vähentämisellä myös kasvatetaan henkilöturvallisuutta ja ergonomiia pienentämällä loukkaantumisten ja työperäisten sairauksien riskiä. Porvoon raaka-ainetarastolta poistuu uusien silojen myötä lisäaineiden ja väriaineiden varastointitarve, mikä vähentää lisäaineiden siirtoon käytettäviä työtunteja ja vähentää varastonpitokustannuksia huomattavasti.

6.3 Onepackien käyttö laitoksella tulevaisuudessa

Porvoon polypropeenilaitoksen lisäaineistusjärjestelmä on joustava verrattuna muihin Borealis Groupin polypropeenilaitoksiin siinä mielessä, että lisäaineet syötetään yksitel- len erillisistä suursäkeistä, eikä käytössä ole lähes ollenkaan ns. ”onepack”-tyyppisiä rat- kaisuja. Onepackissä osa valmistetun laadun reseptiin tarvittavista lisäaineista on yhden sekoitetun suursäkin sisällä, joten tarvetta niin monelle erilliselle lisäainesyöttimelle ei ole. Parhaimmassa tilanteessa lisäaineistusjärjestelmä olisi niinkin virtaviivainen, että sii- loissa olevat lisäaineet syötettäisiin annostelun jälkeen suoraan sekoitusreaktoriin tai ekstruuderille, ilman erillisiä puskurisäiliöitä tai lisäsekoituksia. Tällainen yksinkertainen toteutus vaatii kuitenkin erilaisten lisäaineiden määrän vähenemisen, tai siirtymisen onepackien käyttöön. Tiettyjen laatujen suuren kulutuksen ja nopeiden laadunvaihdos- ten takia alihankkijalla tai toimipaikan omalla raaka-ainevarastolla täytyisi olla varastoin- timahdollisuus suurelle määrälle valmiita onepackeja, jos toimittajalla yllättäen on han- kaluuksia saada suursäkkejä toimitettua Kilpilahteen. Onepackien tai ylipäättään suursä- kien käyttö vaatii kuitenkin aina operaattorin, joka manuaalisella työllä siirtää suursä- kin hissillä ylimpään kerrokseen ja tyhjentää lisäaineen säkistä syöttösiiloon.

Lisäaineiden syöttöjärjestelmää tarkastellessa onepackit ovat tulevaisuuden ratkaisu, mikäli laitoksella halutaan minimoida mekaanisten laitteiden määrää sillä monesta eri liikkuvasta ja potentiaalisesti hajoavasta lisäainevaa’asta tai syöttöruuvista päästäisiin eroon. Prosessi itsessään yksinkertaistuisi huomattavasti onepackien avulla, mutta täy- dellisiä ne eivät kuitenkaan ole. Haittapuolena on onepackien lisäainepitoisuuksien muuttamisen hitaus ja vaativuus. Myös mahdolliset toimittajan sekoitusongelmat, kuten tiettyjen lisäaineiden liiallinen pitoisuus tai liian vähäinen pitoisuus, tuovat myös haasteita onepack-ratkaisuissa, sillä erikseen yhden lisäaineen lisääminen on lähes mahdotonta, ellei kyseistä lisäainetta lisättäisi erikseen omasta suursäkistä erillisellä syöttöjärjestel- mällä. Onepack-lisäaineita toimittavalla taholla tai laitoksella täytyisi tällaisessa tilan- teessa olla mahdollisuus sekoittaa lisäaineet uudestaan tarpeen mukaan. Borealoksen Porvoon toimipaikalla ei ole mahdollisuutta sekoittaa itse omia onepackeja, joten jos toi- mittajalla ei ole mahdollisuutta tarjota tätä palvelua, onepackeihin siirtyminen vaatii lai- toksesta oman sekoituslaitteiston. Tietyillä Porvoon toimipaikalla käytössä olevilla lisäai- neilla onepack-lisäaineiden ostohinta voi olla suurempi kuin erikseen ostetuilla lisäai-

neilla, joten pelkästään onepackeihin siirtyminen ei ole joissakin tapauksissa kannattavaa. Haastavan toteutuksen takia nopeat reseptimuutokset ovat yleisellä tasolla harvinaisia onepack-laitoksilla. [13.]

7 Kustannus- ja kannattavuusarvio

Borealiksella on kaikkiin investointi- ja muutosprojekteihin omat yrityksen sisäiset kustannus- ja kannattavuuslaskentataulukot, joita tässä työssä sovelletaan. Kustannuslaskelmaan sisältyy prosessilaitteiston lisäksi erilaiset suunnittelu- ja insinöörikulut. Kustannuslaskelmassa otetaan myös huomioon purku- ja rakennuskulut, kuten prosessilaitteiston ja siihen liittyvän sidoslaitteiston, esimerkiksi instrumenttien ja kaapelointien, purku ja uudelleenjärjestely. Laskelmassa on myös otettu huomioon mahdolliset rakennuksessa tehtävät muutokset kuten tukirakenteiden lisääminen tai vähentäminen, tai uusien huoltotasojen muutokset.

Projektin kustannuslaskelmassa kokonaishintaan sisältyy prosessilaitteiden lisäksi erilaisten aliurakoitsijoiden teettämät työt, kuten rakennuksessa olevien tukirakenteiden purku/siirto, vanhojen prosessilaitteiden ja niiden tukijärjestelmien purku, uuden prosessilaitteiston asennus ja siihen liittyvien sähkö- ja instrumenttijärjestelmien asennus- ja testaustyöt, mahdollisesti vaadittavat teline- ja nostotyöt sekä erilaisten muiden sidosryhmien kuten suunnittelutoimistojen ja konsulttien käytetyt tuntimäärät. Rahallisesti katsottuna suurin osa projektin kustannuksista menee uuden laitteiston ostamiseen ja projektin läpiviemisen vaatimaan suunnittelutyöhön.

Kannattavuusarviossa on otettu huomioon vuoden aikana ilmenneiden ongelmien vuotuinen jatkuvuus sillä tasolla, että ongelmien määrä pysyy vakiona niin kauan, että investointi on toteutettu. Tämä tilanne on laitteiston vanhuuden ja epäluotettavuuden takia hyvin oletettavissa, mutta todellisuudessa ongelmien määrä voi olla jopa eksponentiaalisesti nouseva. Kannattavuusarviossa oletetaan ongelmien katoavan täysin investoinnin jälkeen. Arviossa on myös otettu huomioon molempien linjastojen väri/elastomeeriruvien kapasiteetinnoston vaikutus. Kapasiteetinnostolla elastomeeria voidaan tuottaa yli kaksinkertaisella nopeudella, mikä vähentää operaattorien ylityötarvetta. Elastomeerituote on markkinoiltaan hyvin kapea, mikä tarkoittaa, että vuodessa tuotettu määrä ei

pysy millään tavalla vakiona. Tästä syystä ei voida olettaa, että pelkkä kapasiteetinnosto toisi vuosittain lisämyyntiä. Kustannusarviossa on oletettu, että kapasiteetinnoston myötä elastomeerituotteen vuosittainen tuotantomäärä pysyy samana, mutta tuotant nopeuden kasvun myötä elastomeerikampanjat voidaan valmistaa nopeammin, mikä nostaa muiden laitoksella tuotettavien polymeerilaatujen tuotantomäärää. Onepackien käyttöä laitoksella ei lähdetty tutkimaan eteenpäin kustannus- ja kannattavuusarvioiden myötä, koska nykyiseltään jokaisesta erillisestä lisäaineesta siirtyminen onepackin muotoon ei ole tällä hetkellä laitokselle kannattavaa.

Kannattavuusarvion tunnusluvuista olennaisimpia ovat tunnusluvut NPV ja IRR. NPV (Net Present Value) kuvaa projektin tai investoinnin kannattavuutta. Se on projektin nykyisten tulo- ja menovirtojen välinen erotus tietyllä ajanjaksolla eli nettonykyarvo. Positiivinen NPV tarkoittaa, että projektin potentiaalinen tulovirta ylittää potentiaaliset projektin kustannukset. Tässä tilanteessa projekti tai investointi on siis kannattava. Negatiivinen NPV tarkoittaa projektin potentiaalisten kustannusten ylittävän potentiaalisen tulovirran, joten pelkästään tunnuslukua tarkastellessa projekti tai investointi ei ole kannattava. [15;16.]

IRR (Internal Rate of Return) kuvaa projektin tai investoinnin potentiaalista hyödyllisyyttä yritykselle tulevaisuudessa, eli yrityksen sisäistä korkokantaa. Yleisellä tasolla suuri IRR kuvaa projektin korkeaa kannattavuutta yritykselle investointipäätöstä tehdessä. Esimerkiksi yrityksellä voi olla tavoitteena rakentaa täysin uusi tuotantolinjasto, tai kehittää nykyistä tuotantolinjastoa. Molempien projektien kannattavuusarvioita vertaillaessa IRR kertoo sen, kumpi projekteista on todennäköisesti tulevaisuudessa kannattavampi vaihtoehto. Eri yritykset kuitenkin arvioivat projektiansa kannattavuutta eri tavalla, joten yleistä linjaa siitä, kuinka iso IRR täytyisi olla, ei ole. [17.]

Vaihtoehto 1:n lisäainejärjestelmän pelkän laitteiston uusimisprojektin NPV on n. 0,3 M€ ja IRR 19 % valitulla ajanjaksolla. Nämä tunnusluvut kertovat, että uusimisprojekti on taloudellisesti kannattava. Laitoksen vuosittaiset lisäainejärjestelmästä johtuvat laatu- luokitusten alentumiset ja sitä kautta taloudelliset menetykset oletettavasti poistuvat myös kokonaan sekä yhden tuotettavan polymeerilaadun kapasiteetti nousee väri/elastomeeriruuvin vaihdon myötä. Projektin IRR kertoo myös, että investointi on yleisesti kannattava yrityksen sisäisten mittarien perusteella. Vaihtoehto 2:n lisäainejärjestelmän

kokonaisvaltaisen uudistusprojektin NPV on 0,2 M€ ja IRR on 11 % valitulla ajanjaksolla. NPV:n perusteella uusimisprojekti olisi kannattava, mutta vertaillaessa molempien projektien IRR-lukuja keskenään, järkevämmäksi projektiksi valikoituisi pelkästään vikataajuudeltaan suuren laitteiston uusiminen. Erillisen siiloalueen ja siirtolinjojen rakentaminen ei ole tällä hetkellä laitokselle yhtä kannattavaa.

8 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli tarkastella polypropeenilaitoksen nykyistä lisäaineistusjärjestelmää ongelmakohtineen ja löytää toimiva tulevaisuuden ratkaisu vuonna 2019 ilmenneiden laatuongelmien ratkaisemiseksi.

Ilmenneiden laatuongelmien välittömien ja juurisyiden tarkastelun avulla havaittiin tämän hetken suurimmaksi ongelmaksi lisäainejärjestelmän laiteviat. Laitteiden tarkastelulla suurimmaksi ongelmien aiheuttajaksi ilmenivät vanhan puolet vaa'at ja ruuvit, jotka vaativat mahdollisimman nopeaa uusimista. Tätä varten esiteltiin kaksi erilaista vaihtoehtoista ratkaisua lisäaineistuksen toteuttamiselle. Ensimmäisessä vaihtoehdossa uusitaan vain vikataajuudeltaan kriittiset laitteet, jotta jatkuvat ongelmat saadaan oletetusti poistettua. Samalla ilmeni mahdollisuus uusida osa laitoksen laitteistosta, joka ei välttämättä aiheuta ongelmia, mutta hidastaa laitoksen tuotantoa tällä hetkellä yhdellä tuotelaadulla. Toiseen vaihtoehtoon kuuluu ensimmäisessä vaihtoehdossa tehtävät muutokset, mutta siinä myös tarkasteltiin mahdollisuutta siirtyä pois manuaalisesta työstä automatisoimalla osa lisäaineistusprosessista.

Tukena yrityksen sisäiselle esiselvitysvaiheelle työssä tehtiin molemmista vaihtoehdoista kannattavuus- ja kustannusarviot, jotka tällä hetkellä tunnuslukujen perusteella osoittavat, että vaihtoehto 2 ei ole yhtä kannattava toteuttaa, joten nopein ja kustannustehokkain tapa poistaa laitoksen laadulliset ongelmat ovat toteuttaa vaihtoehto 1. Lisäksi työssä käsiteltiin vaihtoehtoa siirtyä nykyisistä erillisistä lisäainesäkeistä onepackeihin, joka tulevaisuudessa voi olla potentiaalinen vaihtoehto. Tällä hetkellä laitoksella käytössä olevalla lisäainejärjestelmällä onepackit eivät kuitenkaan ole kannattava ratkaisu, ja niihin siirtyminen vaatii investointien lisäksi laitteisto- ja toimitusketjumutoksia.

Lähteet

- 1 Borealis Group AG. 2019. Konsernin esittelyaineisto.
- 2 Moore, Edward P. 1996. Polypropylene Handbook: polymerization, characterization, properties, processing, applications. Hanser Publishers, New York.
- 3 Kahouli, Alexander; Gallot-Lavallée, Olivier; Rain, Pascal; Lesaint, Olivier; Guillermin, Christophe & Lupin, J-M. 2013. Relationship between structure and dielectric properties of Bi-oriented isotactic polypropylene films for capacitors.
- 4 Karian, Harutun G. 2009. Handbook of polypropylene and polypropylene composites. 2. painos. Marcel Dekker, New York.
- 5 Maier, Clive. Calafut, Teresa. 1998. Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook. Plastics Design Library, New York.
- 6 Martin, Paul. 2018. What's the Difference Between Polymer Types. Verkkoaineisto. MachineDesign. <<https://www.machinedesign.com/community/article/21837192/whats-the-difference-between-polypropylene-types>>. Luettu 7.10.2019.
- 7 Borealis Polymers Oy. 2019. Polypropeenilaitos. Laitoksen esittelyaineisto. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 8 MOL Plc. 2016. Introducing polyolefins. Verkkoaineisto <https://mol.hu/images/pdf/A_MOL_rol/tvk-rol/tarsasagunkr%C3%B3l_roviden/egyetemi_kapcsolatok/debreceni_egyetem/oktatasi_anyagok/bemutatok/A%20poliolefinek%20bemutatasa_prezi_eng.pdf>. Luettu 10.10.2019
- 9 Polypropeenilaitos, Operaattorien koulutusaineisto. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Borealis Polymers Oy.
- 10 Polypropeenilaitos, Osastokäsikirja: Polymerointi. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Borealis Polymers Oy.
- 11 Polypropeenilaitos, Osastokäsikirja: Pelletointi. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Borealis Polymers Oy.
- 12 Polypropeenilaitos. Osastokäsikirja: Lisäaineistuksen operointiperiaatteet. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Borealis Polymers Oy.

- 13 Kuha, Jussi. 2019. Tekninen kouluttaja, Borealis Polymers Oy, Kilpilahti. Keskustelut 5.11–30.11.2019.
- 14 Laatuluokitusdokumentti BMS PO-4006. 2019. Konsernin sisäinen dokumentti. Borealis Group AG.
- 15 Rakesh Jory, Surendranath. Benamraoui, Abdelhafid. Boojihawon, Devkumar. O. Madichie, Nnamdi. 2016. Net present value analysis and the wealth creation process: a case illustration. *The Accounting Educator's Journal*, Vol. 26. s. 85–99.
- 16 Kenton, Will. 2019. Net Present Value (NPV). Investopedia. Verkkoaineisto. <<https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>>. Luettu 3.1.2020.
- 17 Magni, Carlo Alberto. 2011. Average Internal Rate of Return and Investment Decisions: A New Perspective. *The Engineering Economist*, Vol. 55. s. 150-180.

Vaihtoehto 1:n laiteluettelo

Positio	Laitetunnus
Vanha puoli	JW-9851A1
Vanha puoli	JW-9851A2
Vanha puoli	JW-9851A3
Vanha puoli	JW-9851A4
Vanha puoli	JW-9851A5
Vanha puoli	JW-9851B1
Vanha puoli	JW-9851B2
Vanha puoli	JW-9851B3
Vanha puoli	JW-9851B4
Vanha puoli	JW-9851B5
Vanha puoli	FA-9851A
Vanha puoli	FA-9851B
Uusi puoli	JV-9853A
Uusi puoli	JV-9854A
Uusi puoli	JV-9855A
Uusi puoli	JV-9856A
Uusi puoli	JV-9853B
Uusi puoli	JV-9854B
Uusi puoli	JV-9855B
Uusi puoli	JV-9856B
Uusi puoli	JW-9851A
Uusi puoli	JW-9851B
Elastomeerin syöttö	JW-9867A
Elastomeerin syöttö	JW-9867B
Elastomeerin syöttö	FA-9865A