

PE2-TEHTAAN LISÄAINESYÖTTÖJEN
TARKKUUDEN JA LUOTETTAVUUDEN
PARANTAMINEN

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Muovitekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2009
Elina Marttinen

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

Elina Marttinen: PE2-tehtaan lisäainesyöttöjen tarkkuuden ja luotettavuuden parantaminen

Muovitekniikan opinnäytetyö, 62 sivua, 30 liitesivua

Kevät 2009

TIIVISTELMÄ

Työ tehtiin Borealis Polymers Oy:n PE2-tehtaalle aikavälillä 01.05.2008-31.08.2008. Ohjaajana toimi PE 2-tehtaan kehityspäällikkö Sanna Martin. Tavoitteena oli selvittää PE2-tehtaan lisäaineensyötön epäkohdat ja epäluotettavuustekijät sekä määrittellä niille parannustoimenpide-ehdotukset. Teoriaosuudessa keskityttiin polymeerien hajoamisreaktioihin ja polymeereihin lisättäviin lisäaineisiin. Muoveihin lisättävien lisäaineiden yhteydessä tarkastellaan myös niiden toimintaperiaatteita.

Käytännössä työhön kuului tehtaan lisäainesyöttimien luotettavuustason kartoitus. Lisäksi tutkittiin syötettäviä lisäainemateriaaleja ja niiden ominaisuuksia. Tutkimusmenetelminä käytettiin erilaisia tilastollisia laskentamenetelmiä ja tarvittavia laboratorioanalyysijä. Nämä analyysit pitivät sisällään lisäaineiden sulamispisteiden, partikkelikokojen, virtaavuusominaisuuksien ja hygroskooppisuuden määrittelyä.

Lisäksi analysoitiin lisäainesyöttimien vikahistoria, minkä ansiosta keskeisimmät epäluotettavuustekijät selvitettiin ja niihin etsittiin ratkaisut. Suurimmat lisäainesyötön epäluotettavuustekijät olivat syötettävän materiaalin ominaisuuksien vaihtelu ja toimilaitteissa esiintyneet mekaaniset ongelmat. Erityisesti lisäaineiden huonot virtaavuusominaisuudet ja hauraus vaikuttivat syöttöluotettavuuteen. Mekaanisia ongelmia tuottivat mm. liian heikkorakenteinen sekoittaja lisäainemateriaalin syöttösäiliössä ja syöttöruuvien pinnoittuminen ja tukkeutuminen. Edellä mainittuihin ongelmiin määriteltiin parannusehdotukset työn yhteydessä.

Avainsanat: muovi, polymeeri, muovien lisäaineet, kemianteollisuus, muoviteollisuus, plast

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

MARTTINEN, ELINA:

Improvement of accuracy and reliability
of the additive feeding system in a poly-
ethylene plant

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 62 pages, 30 appendixes
Spring 2009

ABSTRACT

The objective of this study was to examine the additive feeding system of Borealis Polymers polyethylene PE2 plant and to determine the required improvement procedures. The work was commissioned by Borealis Polymers, a leading provider of plastic raw materials in Europe and the rest of the world.

In the theoretical part, several different types of plastic additives are introduced and their effect mechanisms are explained. This highlights the importance of plastic additives in order to achieve the desired characteristics of a certain plastic.

The practical part consisted of several different types of measuring methods and data analysing methods. During this work e.g. thermal measurements were taken of the feeding devices, physical properties of additives were determined and the process data from the feeders were statistically analysed. In addition the additive feeder's failure history was traced back to 2001 to specify the main causes for feeder failures.

The results of this study show that the two major unreliability factors in the additive feeding process were the variation in physical properties of the additives and the mechanical problems in the feeding devices. The required improvement procedures were determined on the basis of these results.

Key words: plastic additives, polymer, plastic industry, feeding system

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	BORSTAR PE2-POLYETEENITEHDAS	3
2.1	Borstar-teknologia	3
2.2	PE 2-polyeteenitehtaalla valmistettavat tuotteet	3
3	POLYMEERIEN HAJOAMINEN	4
3.1	Hajoaminen polymeerin elinkaaren eri vaiheissa	4
3.2	Polymeerien hajoamismekanismit	4
3.2.1	Terminen hajoaminen	5
3.2.2	Hapen vaikutuksesta tapahtuva hajoaminen	10
3.2.3	Valon vaikutuksesta tapahtuva hajoaminen	12
3.2.4	Veden, kemikaalien ja kemiallisen ympäristön vaikutuksesta tapahtuva hajoaminen	14
3.2.5	Otsonin vaikutus hajoamiseen	16
4	POLYMEEREISSÄ KÄYTETYT LISÄAINEET	17
4.1.1	Hapettumisenestoaineet	18
4.1.2	UV-stabilaattorit	20
4.1.3	Neutralointiaineet	22
4.1.4	Metallideaktivaattorit	23
4.1.5	Masterbatsit	23
4.1.6	Antistaattiset aineet	24
4.1.7	Tarttumisenesto- ja liukuaineet	25
4.2	Lisäaineiden fyysiset olomuodot	27
5	PE2- TEHTAAN LISÄAINEIDENSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ	28
5.1	Lisäaineidensyöttöprosessi	28
5.2	Lisäaineiden syötössä käytettävä laitteisto	28
6	ONLINE-LUOKITTELUUN SIIRTYMINEN JA SIIHEN SIIRTÄMISEN ESTÄVIÄ TEKIJÖITÄ	30
6.1	Lisäaineiden käyttäytyminen syöttösäiliöissä	31
6.2	Häiriötekijöitä materiaalivirtauksessa	32
6.3	Lisäaineiden ominaisuudet	32
6.4	Lisäainevaakojen mekaaniset ongelmat	33

6.5	Prosessiolosuhteiden vaikutus vaakoihin	34
7	KOKEELLINEN OSA	34
7.1	Lisäaineiden ominaisuuksien vaihtelu	34
7.1.1	Partikkelikoko	35
7.1.2	Sulamispisteet	37
7.1.3	Virtaavuus	37
7.1.4	Lisäaineiden hygroskooppisuus	40
7.2	Lisäainesyöttimien vika- ja häiriöhistorian selvittäminen	40
7.3	Lisäainesyöttöjen tarkkuus	43
7.4	Lisäainevaakojen mekaaniset ongelmat	45
7.4.1	Syöttöruuvien tukkeutuminen ja pinnoittuminen	46
7.4.2	Lisäainesyöttimien sekoittajien ongelmat	52
8	TULOSTEN ANALYSOINTI JA POHDINTA	54
8.1	Päätelmiä tutkimusten tuloksista	54
8.2	Toimenpide-ehdotukset	56
9	YHTEENVETO	57
	LÄHTEET	59
	LIITTEET	62

SANASTO

polymeeri	aine, jonka makromolekyyli on muodostunut monomeerien liittyessä yhteen
lisäaine	aine, jota lisätään polymeerin yhden tai useamman ominaisuuden parantamiseksi tai muuttamiseksi
vapaa radikaali	kemiallinen yhdiste, jolla on pariton elektroni tai valenssi. Niillä on suuri taipumus reagoida muiden radikaalien tai kemiallisten yhdisteiden kanssa
depolymeroituminen	polymeerin pilkkoutuminen
initaatio	hajoamisreaktion aloitusvaihe
propagaatio	hajoamisreaktion kasvuvaihe
terminaatio	hajoamisreaktion päättymisvaihe
oligomeeri	osittain polymerisoitunut monomeerien ketju
ristisilloittuminen	polymeroitumisreaktioista aiheutuvaa silloittumista molekyyliketjujen välillä
PE-LD	pieniheyspolyeteeni
PP	polypropeeni
polyolefiinit	yleisnimitys polyeteeni- ja polypropeenimuoveille
HALS	hindered amine light stabilizer
värimasteri	masterbatsiväriaine
blendaaminen	pelletoidun tuotteen sekoittamista tasalaatuisuuden korostamiseksi
antioksidanttiblendi	kahdesta tai useammasta antioksidanttikomponentista valmistettu lisäaine
ppm	miljoonasosa (parts per million)
cpk	luku, joka mittaa prosessin onnistumiskykyä

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Borealis Polymers Oy:n Porvoon tuotantolaitosten PE2-polyeteenitehtaalle. Työn taustalla on tarve tehostaa toimintaa vähentämällä tuotantoerien laadunvalvonta-analyysien lukumäärää. Tuotekampanjoja saatetaan ajaa pitkään muuttumattomilla prosessiarvoilla, jolloin samojen lisäaineanalyysien teettäminen tasaisin aikavälein ei ole tarpeellista. Samalla voidaan eliminoida analyysituloksien mahdolliset virhelähteet. Tämä toiminnan tehostaminen toteutettiin siirtymällä kokonaan reaaliaikaiseen tuote-erien luokitteluun. Tällä hetkellä jokaisesta valmistetusta tuote-erästä analysoidaan näytteet erikseen laadunvalvontalaboratoriossa ja projekti toteutettiin ns. Borealis Way-projektina, jossa oli mukana henkilökuntaa Borealis Polymers Oy:n eri yksiköistä.

Tarve lisäainesyöttöjärjestelmän luotettavuustarkasteluun oli aiheellinen, koska lisäainesyötössä oli havaittu epätarkkuutta ja syöttöhäiriöitä. Nämä epäkohdat vaikuttivat pahimmassa tapauksessa suoraan tuote-erän laatuluokitteluun.

Luotettavuuskartoituksen ja parannusehdotusten tekeminen oli haastavaa, koska tutkimus piti sisällään monia hyvinkin erilaisia aihepiirejä. Tarkastellut lisäainesyöttimet ovat osa suurempaa prosessikokonaisuutta. Niiden hallitseminen vaatii runsaasti tietoa mm. erilaisista mittaustekniikoista, ruuvisyöttimien toiminnasta, materiaalien käyttäytymisestä eri ympäristöissä ja lisäaineiden toimintatavoista polymeerissä.

Tutkimuksessa käytettiin apuna erilaisia historiatietoja tehtaan prosessitietokannasta, anturitekniisiä sovelluksia, laboratoriopalveluita ja henkilökunnan kokemusta työstä lisäainesyöttimien parissa. Teoriaosiossa esitellään polymeerien hajoamismekanismeja ja eri lisäaineita. Näiden kokonaisuuksien ymmärtäminen on välttämätöntä, jotta luotettavuuskartoituksen tarpeellisuus tulee ilmi.

Projektin yhteydessä tuli esille kuinka paljon lisäaineiden ns. ulkoiset eli fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat syöttöprosessiin. Näiden raaka-ainetietojen kerääminen oli yllättävän vaikeaa, koska ajankohtaista informaatiota ei ollut saatavilla toimittajan tai Borealis Polymers Oy:n puolelta. Työssä on pyritty jäsentelemään ja analysoimaan mahdollisimman moni lisäainesyöttöprosessiin vaikuttava tekijä ja löytämään epäkohdille parannusehdotukset.

2 BORSTAR PE2-POLYETEENITEHDAS

Borealis Polymers Oy:n Suomen tuotantolaitokset sijaitsevat Porvoon Kilpilahdes-
sa. Porvoon tuotantoyksiköitä on viisi, ja niissä tuotetaan fenolia, olefiinia, poly-
propeenaa, polyeteeniä ja Borstar- polyeteeniä. Borealis Polymers Oy kuuluu Bo-
realis-konserniin, jolla on toimintaa yli 120 maassa. Suomen tuotantolaitoksilla
työskentelee n.850 henkilöä, joista n. 50 PE 2-tehtaalla. PE 2-tehdas otettiin käyt-
töön vuonna 1995. Borealis Polymers Oy:n liikevaihto vuonna 2007 oli noin 1 mil-
jardi euroa. (Borealis 2009; Järvinen 2008, 219, 220.)

2.1 Borstar-teknologia

Borstar-tuotteet perustuvat ainutlaatuiseen teknologiaan, joka pitää sisällään oman
prosessitekniikan, katalyytin ja niistä syntyvät tuotteet. Teknologian etuna on val-
mistaa bi- ja multimodaalisia tuotteita. Näiden tuotteiden ominaisuuksia pystytään
räätälöimään polymerointiprosessissa käyttötarkoituksen mukaan. Valmistunut
polymeeri on helppo työstää, ja sen mekaaniset ominaisuudet ovat hyvät.
Borstar-teknologialla valmistettujen tuotteiden seinämäpaksuudet ovat ohuemmat
kuin perinteisillä polymerointimenetelmillä tuotettujen lopputuotteiden, jolloin
säästetään energia- ja kuljetuskustannuksissa. Lisäksi ohutseinäisille kappaleille
saadaan huomattavat lujuusominaisuudet. (Järvinen 2008, 220; Borealis 2009.)

2.2 PE 2-polyeteenitehtaalla valmistettavat tuotteet

PE 2-tehtaalla valmistetaan raaka-ainetta putkien, kaapelien ja kalvojen valmistuk-
seen. Lisäksi polyeteeniä valmistetaan ruiskuvalu-, puhallusmuovaus- ja rotaatiova-
luteollisuuden sovelluksiin. (Borealis 2009.)

3 POLYMEERIEN HAJOAMINEN

3.1 Hajoaminen polymeerin elinkaaren eri vaiheissa

Muovit ja erityisesti polyolefiinit ovat taipuvaisia polymeeriketjujen hajoamiselle tuotteen koko elinkaaren aikana. Muovipolymeerit altistuvat erilaisille hajoamisreaktioille raaka-aineen valmistuksessa tapahtuvan sulattamisen ja plastisoinnin aikana. Valmistuksen jälkeen perusraaka-aine varastoidaan, jolloin se on alttiina lämpötilan vaihteluille, UV-valon vaikutukselle tai hapettumisesta johtuville hajoamisreaktioille. Muovituotteiden lukuisissa eri työstö- ja valmistusprosesseissa sekä tuotteen käytön aikana että elinkaaren päätyttyä tapahtuu myös polymeeriketjujen hajoamista. (Zweifel 2001, 3; Kemikaalit ja työ 2008, 116, 117; Ebewele 2000, 237.)

Polymeerin eri elinkaaren vaiheissa tapahtuva hajoaminen aiheuttaa tuotteessa mekaanisten ym. ominaisuuksien heikentymistä. Tällaisia ovat esim. materiaalin vetolujuuden aleneminen, lopputuotteen pinnanlaadun huonontuminen ja kappaleen värien haalistuminen. (Zweifel 2001, 3.)

3.2 Polymeerien hajoamismekanismit

Polymeerien hajoaminen riippuu useasta eri tekijästä ja voi tapahtua usealla erilaisella mekanismilla. Hajoamisreaktioihin vaikuttavat peruspolymeerin rakenne, muovituotteen mahdollinen stabilointi ja käyttöympäristö.

Erityisesti lämpö, valo, hapen määrä, säätömiöt ja kemiallinen ympäristö ovat hajoamisreaktioiden alullepanijoita muovien käyttöympäristössä.

Peruspolymeerin rakenteen vaikutus tulee esille esim. vertailtaessa eri lämpötiloissa tapahtuvaa hapetusreaktiota polypropeenilla ja polykarbonaatilla. Polypropeenilla tapahtuu näkyvää hapettumista jo pelkässä huonelämpötilassa polykarbonaatin pysyessä stabiilina jopa prosessointilämpötiloissa. (Paju 2004, 9; Zweifel 2001, 3.)

Polymeerien hajoamisessa tai vanhenemisessa on kyse radikaalireaktioista, jolloin hajoamismekanismina voi olla esimerkiksi satunnainen ketjun pilkkoutuminen, heikkojen sidosten katkeaminen tai depolymeroituminen ketjun päästä. Luvuissa: 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 ja 3.2.4 käsitellään polymeerien eri hajoamismekanismeja. (Järvelä 2008, 2; Paju 2004, 9; Zweifel 2001, 4.)

3.2.1 Terminen hajoaminen

Muovien ylin käyttölämpötila on usein sidoksissa lämpötilaan, jossa kyseisellä polymeerillä alkaa tapahtua termistä hajoamista. Tällöin lämpöenergia aiheuttaa polymeerisidosten katkeamista, haaroittumista tai ristisilloittumista.

Polymeerinen terminen hajoaminen on tavallisesti usean lämpöliikkeestä aiheutuvan hajoamisreaktion summa. Nämä kemialliset reaktiot kisailevat keskenään ja ovat lämpötilasta riippuen eri tasapainoissa keskenään. (Paju 2004, 10.)

Polymeerille korkeissa lämpötiloissa perusketjusta voi katketa palasia tai osia, jotka reagoivat keskenään aiheuttaen muutoksia muovin ominaisuuksissa. Teollisessa mittakaavassa puhdas terminen hajoaminen tuotteessa on harvinaista, koska yleensä aina on läsnä happea. (Zeus 2005, 1; Paju 2004, 10; Laaksonen 2008, 11.)

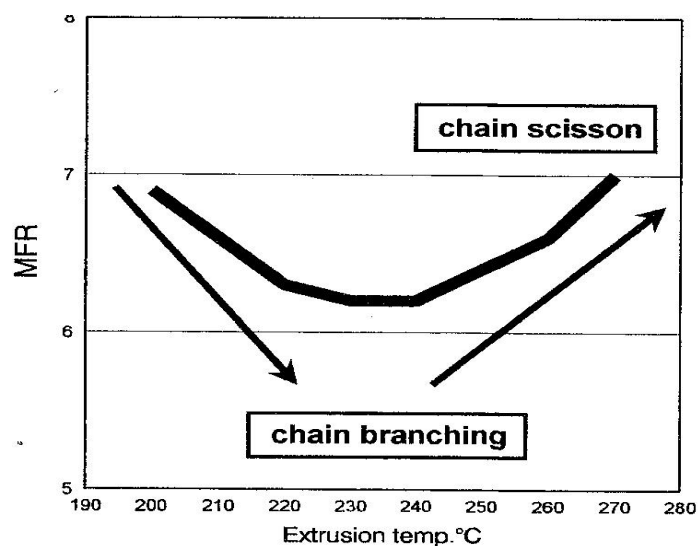
Terminen hajoaminen on yhdentyypinen hapettumisreaktio, josta on erotettavissa kolme päävaihetta: initaatio, propagaatio ja terminaatio.

Initaatiossa polymeeriketjusta vapautuu vetyatomi lämmön vaikutuksesta.

Tällöin polymeerisidos katkeaa, ja syntyy erittäin helposti reagoiva ja epästabili vapaa radikaali sekä pariton vetyatomi.

Initaatiossa tapahtuvan ketjun katkeamisen alulle panevaa syytä ei ole vielä täydellisesti määritelty, mutta on esitetty että polymerointireaktiossa käytetyistä katalyyteistä jäisi ketjuun metallijäämiä tai että monomeerien lähtöaineissa olisi epäpuhtauksia, jotka edistäisivät vedyn irtoamisreaktiota polymeeriketjusta. (Zeus 2005, 3; Zweifel 2001, 5.)

Teknisesti täysin epäpuhtauksista vapaan polymeeriketjun valmistus on mahdotonta, joten rakennevirheitä ja epäpuhtauksia ei voida täydellisesti poistaa valmistusprosessissa. Tästä johtuen polymeerisulaa prosessoidessa ensimmäisiä kertoja esim. pelletoinnissa, ekstruusiossa tai ruiskuvalussa polymeeriketjut altistuvat hapelle, kuumudelle ja mekaanisille leikkausvoimille, jolloin tapahtuu vapaiden radikaalien syntymistä. (Zweifel 2001, 5.)

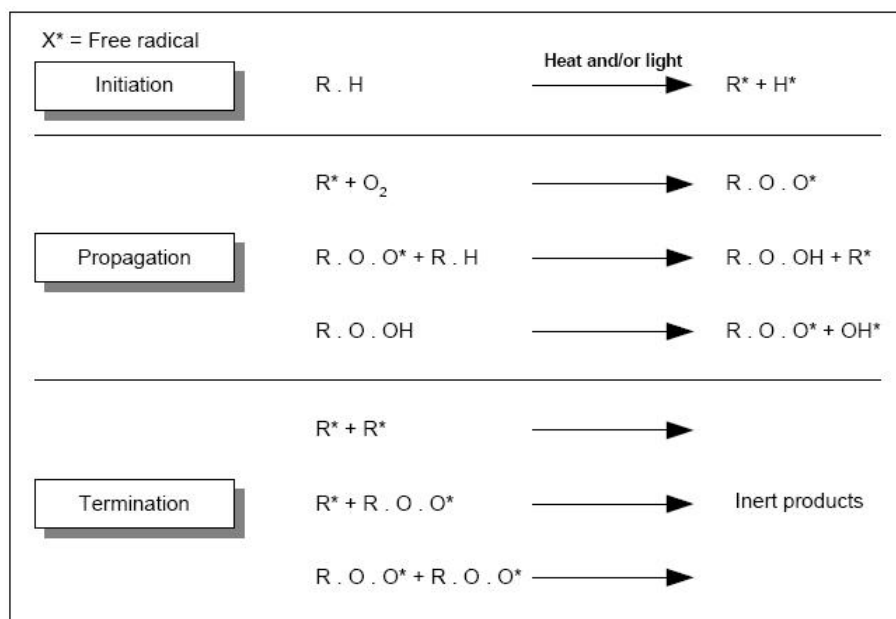


KUVIO 1. PE:n ekstruusiolämpötilan ja MFR:n välinen suhde. (Zweifel 2001, 8.)

Kuviosta 1 on nähtävissä kuinka ekstruusiolämpötilan nousu vaikuttaa sekä polymeeriketjujen katkeamiseen että ristisilloittumiseen polyeteenillä.

Termisen hajoamisen propagaatiossa tapahtuu useita kemiallisia reaktioita, joista yhdessä vapaa polymeeriradikaali reagoi happimolekyylin kanssa, jolloin uusien vapaiden radikaalien syntyminen jatkuu. Propagaatiovaiheen nopeus riippuu paljon siitä, kuinka helposti vety on erotettavissa peruspolymeeriketjusta ja lämpötilasta, jolle polymeeri altistuu. (Zeus 2005, 3; Zweifel 2001, 5.)

Termisen hajoamisen pysäyttäminen, eli terminaatio, saavutetaan luonnollisesti vapaiden radikaalien muodostaessa inertejä reaktiotuotteita tai hyväksikäyttämällä erilaisia stabilointiaineita Kuviossa 2 on esitettyä termisen hajoamisen eri vaiheet ja niiden vaikutus polymeeriketjun rakenteeseen.



KUVIO 2. Termisen hajoamisen yleinen mekanismi. (Zeus 2005, 4.)

Polymeeriketjun termisen hajoamisen tuloksena muovituotteessa voi esiintyä fyysisten tai optisten ominaisuuksien muutoksia. Yleensä termisen hajoaminen aikaansaa molekyylipainon ja -jakauman muuttumisen. Tästä johtuen kappaleen fyysisissä ominaisuuksissa ovat tavallisia seuraavat muutokset: liutuuntuminen, värimuutokset, säröily, pienentynyt sitkeys ja lisääntynyt hauraus. (Zeus 2005, 2.)

3.2.1.1 Termiset hajoamistuotteet ja niille altistuminen

Termisen hajoamisen aikana syntyy erilaisia hajoamistuotteita. Primääristen hajoamistuotteiden (monomeerit, oligomeerit) lisäksi syntyy sekundäärisiä hajoamistuotteita (hiilimonoksidia, vettä, typen oksideja, aldehydejä, ketoneja ja karboksyylihappoja). Mikäli termiselle hajoamiselle altistuneessa muovikappaleessa on peruspolymeerin lisäksi käytetty palonesto-, täyte-, antistaattisia tai muita lisäaineita, aiheuttavat edellä mainitut aineet myös epäpuhtauksia hajoamistuotteina ilmaan.

Työturvallisuuden kannalta tärkeimpiä hajoamistuotteita ovat reaktioissa vapautuvat orgaaniset yhdisteet. Näitä yhdisteitä esiintyy kaasumaisina, kiinteinä hiukkasiina ja aerosoleina. Kuvion 3 mukaan suuri osa muoviteollisuuden työntekijöistä altistuu happomaisille tai muille kemiallisille polymeerien hajoamistuotteille eri muovituotteiden valmistusprosesseissa. Esimerkiksi polyolefiinituotteiden valmistuksen yhteydessä on mitattu hajoamistuotepitoisuuksia mm. muurahaishapolle ja formaldehydille. (Kemikaalit ja työ 2008, 116.)

Lämpöhajoamistuotteille voi altistua sulamisen yhteydessä, kun muokataan polymeerit lopullisiksi muovituotteiksi, polymeerituotteiden ja niitä sisältävien materiaalien hitsauksessa, polttoleikkauksessa ja muissa lämpöä tuottavissa työvaiheissa sekä tulipalojen yhteydessä. Syntyvät hajoamistuotteet aistitaan usein epämiellyttävänä hajuna ja ärsyttävänä käryinä. (Kemikaalit ja työ 2008, 116.)

muovi/polymeeri	prosessi	mitatut hajoamistuotteet	pitoisuustaso, mg/m ³
polyolefiinit (PE, PP)	ruiskupuristus ja -puhallus, kalvon suulakepuristus ja päällystys	aerosoli formaldehydi asetaldehydi muurahaishappo etikkahappo	0,4–0,6 0,04–0,08 0,06–0,11 0,29–0,43 0,12–0,20
styreenimuovit*	ruiskupuristus, syväveto	styreeni aerosoli formaldehydi asetaldehydi muurahaishappo etikkahappo	0,13–0,21 0,4–1,1 0,05–0,07 0,04–0,1 0,15–0,38 0,05–0,10
polyvinyylikloridi	suulakepuristus, kalanterointi	aerosoli formaldehydi asetaldehydi muurahaishappo etikkahappo DEHP ftaalihappoanhydridi kloorivety	0,4–0,7 0,02–0,1 0,04–0,2 0,02–0,03 0,12 0,03–0,5 0,0002–0,0003 0,12–0,15
	ruiskupuhallus	aerosoli formaldehydi asetaldehydi muurahaishappo etikkahappo kloorivety	0,4–0,7 0,04 0,04 0,02 0,02 0,04
polyuretaani	ruiskuvalu	di-isosyanaatit	< 0,0002

*PS, IPS, ABS, SAN

KUVIO 3. Muovien työstössä syntyviä lämpöhajoamistuotteita. (Kemikaalit ja työ 2008, 117.)

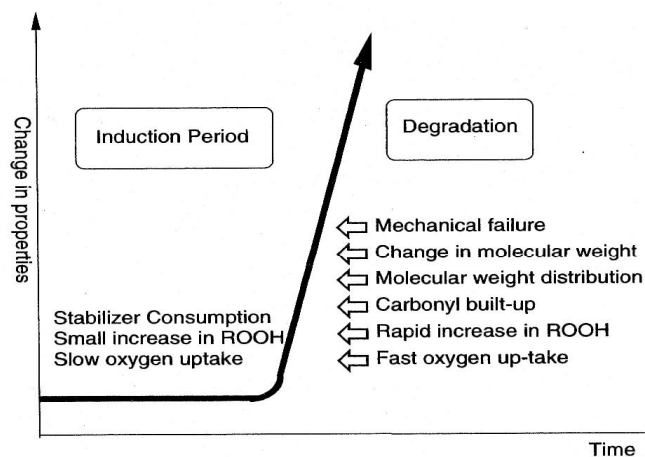
3.2.2 Hapen vaikutuksesta tapahtuva hajoaminen

Kaikki orgaaniset materiaalit reagoivat hapen kanssa riippumatta siitä, ovatko syntetisästi valmistettuja vai luonnon yhdisteitä. Kuten termisenkin hajoamisen tapauksessa, hapettuminen aiheuttaa eri aikaväleillä muutoksia polymeerin rakenteeseen ja täten myös sen ominaisuuksiin, esim. vetolujuuteen ja ulkonäköön.

Hapettumisreaktiot ovat tärkeitä polymeerien kannalta, koska niitä tapahtuu tuotteen elinkaaren joka vaiheessa, kuten aiemmin on mainittu.

Yleensä hapettumisreaktioista polymeereissä voidaan käyttää myös termiä vanheneminen. Hapettumalla tapahtuva hajoaminen onkin polymeerien tärkein hajoamisreaktio. (Zweifel 2001, 1; Laaksonen 2008, 11.)

Kuviossa 4 nähdään, kuinka muutokset polymeeriketjun molekyylipainossa kasvavat hajoamisen myötä. Tämä onkin tärkein syy muovituotteen valmistusmateriaalin ennenaikaisen vikaantumiseen hapettavassa käyttöympäristössä. (Zweifel 2001, 5.)



Scheme 1.3 Changes in material properties during aging of polymers

KUVIO 4. Muutokset materiaalin ominaisuuksissa polymeerin vanhentumisen aikana. (Zweifel 2001, 6.)

Reaktionopeus ilmassa olevan hapen kanssa on kuitenkin suhteellisen hidas, mikäli reaktiolämpötilaa ei ole korotettu. Hapettumisreaktiotkin ovat vapaita radikaalireaktioita, joissa syntyy erilaisia välituotteita, kuten happoja, alkoholeja ja peroksideja. Näistä välituotteista kehittyy edelleen oksiradikaaleja, jotka voivat myös osallistua polymeerien hajoamisreaktioon. Korkea lämpötila, katalyyttijäämät tai metallionit voivat nopeuttaa hapettumisreaktioita. Hapettumiselle suotuisissa olosuhteissa polymeerissä voi tapahtua ketjujen haarautumista, katkeilua ja/tai ristosilloittumista. (Laaksonen 2008, 12; Paju 2004, 11; Zweifel 2001, 3.)

Hapettumisreaktioilla on lähestulkoon samanlaiset reaktiovaiheet hajoamisen suhteen kuin termisessäkin hajoamisessa. Polymeerin hajoamisreaktiossa on erotettavissa initaatio-, propagaatio-, ketjun haaroittumis- ja ristosilloittumis- sekä terminaatiovaihe. (Zweifel 2001, 4.)

Polymeeriketjun rakenteella on vaikutusta hapettumisreaktion syntyyn ja kulkuun. Orgaaniset polymeerit voidaan jakaa tyydyttymättömiin ja tyydytettyihin ryhmiin hapettumisesta johtavan hajaantumisenopeuden mukaan.

Polymeerin morfologia vaikuttaa hapen liukoisuuteen ja diffuusioon ketjussa. Hapettuminen tapahtuuakin ensisijaisesti polymeerin amorfisissa osissa.

(Laaksonen 2008 13,14; Zweifel 2001, 9.)

Erilaisiin hiiliatomeihin kiinnittyneet vedyt irtoavat polymeeriketjuista eri tavalla.

Tertiääriseen hiileen kiinnittynyt vety irtoaa helpoiten polymeeriketjusta ja kaksois-sidoksien on todettu myös nopeuttavan hapettumisreaktiota. (Laaksonen 2008, 14.)

3.2.3 Valon vaikutuksesta tapahtuva hajoaminen

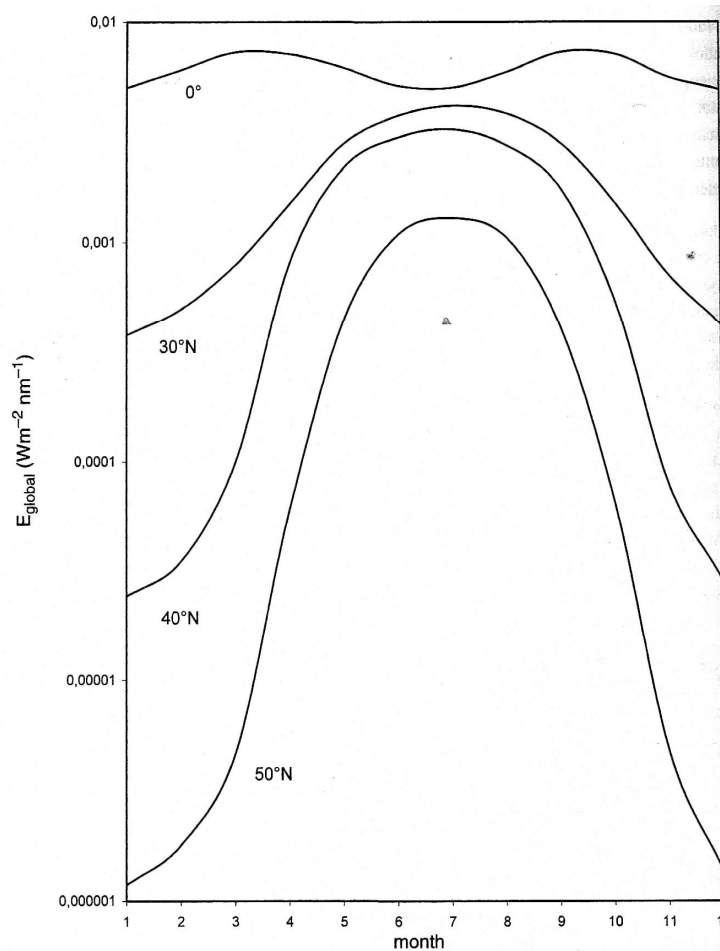
Polymeerien fotolyysi, eli valon vaikutuksesta tapahtuva hajoaminen on hapen ja valon yhdistelmäreaktio. Tärkein esimerkki edellä mainitusta yhdistelmäreaktiosta on auringonvalon ja ilmassa olevan hapen kombinaatio. Toisaalta, lämpöhajoamista ja fotolyysiä voi tapahtua päällekkäisinä reaktioina. (Zweifel 2001, 141.)

Kaikki auringosta tuleva säteily ei saavuta maanpintaa. Osa auringosta tulevan valon pitkistä aallonpituuksista imeytyy vesihöyryyn ja hiilidioksiidiin kulkiessaan ilmakehän läpi. Infrapunasäteilystä vain lyhyet aallonpituudet kantavat maanpinnalle asti. Ilmakehän eri kerrokset suodattavat tehokkaasti auringosta tulevaa UV-säteilyä, joten vain aallonpituudet välillä 290nm ja 400nm pääsevät vaikuttamaan maanpäällisiin polymeerimateriaaleihin. Nämä aallonpituudet vaikuttavatkin voimakkaimmin muoveihin. Suoran auringonvalon lisäksi muovikappaleisiin pääsee vaikuttamaan ilmakehässä hajonnut tai sironnut valo. (Zweifel 2001, 143.)

Ilmakehässä tapahtuvan valon hajoamisen ja sironnan takia muovikappaleeseen vaikuttavan UV-säteilyn määrä voi olla pilvisenä päivänä suurempi kuin pilvettömänä aurinkoisena päivänä. Fotolyysin tapahtuminen ja sen voimakkuus on riippuvainen myös maantieteellisistä ja fysikaalisista tekijöistä. Edellä mainittuja tekijöitä ovat esimerkiksi vuodenaikojen vaihtelut, sijainti ja valon maahantulokulma. (Zweifel 2001, 144.)

Muovikappaleeseen osuva valo joko heijastuu kappaleen pinnasta, hajoaa tai imeytyy polymeerimassaan. Valon imeytymisen synteettisiin materiaaleihin on todettu olevan yhteydessä materiaalin rakenteeseen. Toisaalta valosta johtuva hajoaminen polymeereillä on riippuvaista säteilyn aallonpituuksista. Tästä johtuen UV-säteilyn eri aallonpituudet ilmenevät hajoamisen voimakkuusvaihteluina ja erityyppisinä hajoamisvaurioina polymeerissä.

Tällaista hajoamisvaurioiden riippuvuutta UV-säteilyn aallonpituuksista kuvaa hyvin PE-LD:n ja PP:n käyttäytyminen. Polypropeenin on todettu olevan herkempi aallonpituuksille alle 330 nm:ä, kun taas pientiheksinen polyeteeni on herkempi aallonpituuksille yli 330 nm:ä. (Zweifel 2001, 148.)



KUVIO 5. UV-säteilyn intensiteetti aallonpituudella 297,5 nm, leveyspiirin ja vuodenajan funktiona. (Zweifel, 2001, 146.)

Kuviossa 5, 0°N vastaa päiväntasaajaa, 30°N vastaa Pohjois-Afrikkaa ja Floridaa, 40°N vastaa Espanjaa ja 50°N vastaa Keski-Eurooppaa. (Zweifel 2001, 146.)

Polyolefiineilla valosta johtuvan hajoamisen katsotaan olevan pääasiallisesti seurausta polymeroinnin katalyyttijäämistä tai muista seoksista polymeerin joukossa. Nämä aineet tai epäpuhtaudet absorboivat UV-valoa yli 290 nm:n aallonpituuksilla, ja ne voivat myös osallistua erilaisiin fotokemiallisiin reaktioihin. Fotolyysistä on myös erotettavissa ketjun initaatio-, propagaatio-, haarautumis- ja terminaatiovaiheet. Erona muihin hajoamismekanismeihin, fotolyysissä UV-valo toimii hajoamisreaktioiden alullepanijana. (Zweifel 2001, 154.)

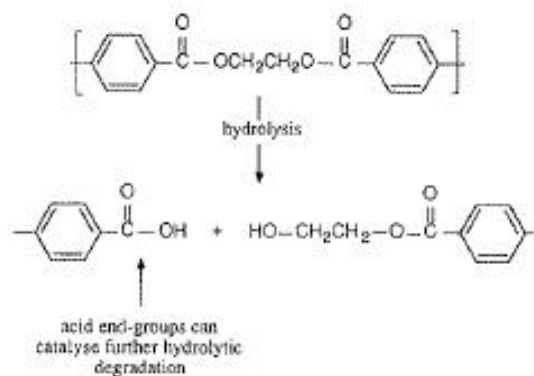
Polymeerin rakenteesta riippuu, hajoaako koko polymeeriketju vai jatkaako se propagaatiovaiheen jälkeistä haarautumista. Lisäksi UV-valon on havaittu tuottavan samantyyppisiä kemiallisia reaktioita polymeereissä kuin liian korkea lämpötila. Fotolyysi myös edistää polymeerin hapettumista. (Järvinen 2008,210; Laaksonen 2008, 19; Zweifel 2001, 154.)

Mikäli polymeerissä tapahtuu fotolyysistä johtuvaa ketjujen pilkkoontumista, muovista on havaittavissa ensimmäisenä värimuutoksia ja myöhemmin tuotteen haurastumista.(Järvinen 2008, 210.)

3.2.4 Veden, kemikaalien ja kemiallisen ympäristön vaikutuksesta tapahtuva hajoaminen

Muovituotteen kemiallinen ympäristö vaikuttaa polymeerin hajoamiseen usealla eri tavalla. Tärkeimpänä mainittakoon polymeerin ja kemikaalin välinen reaktio. Tähän reaktioon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kemiallisen aineen konsentraatio, kontaktin kesto aika ja lämpötila sekä polymeerin kemiallinen rakenne ja morfologia. Lisäksi polymeeriä ympäröivä kemikaali voi turvottaa ja pehmentää sitä. Nämä kemialliset reaktiot tuottavat myös kuplia kappaleen pintaan tai kovettavat elastomeerejä. (Peltonen 2007, 5; Paju 2004, 11.)

Polymeerien kannalta kemiallisesti aggressiivisia nesteitä löytyy kahta erilaista tyyppiä. Ensimmäiseen tyyppiin kuuluvat nesteet, jotka hyökkäävät polymeerin rakenteen kimppuun kemiallisesti ja hajottavat ketjua peruuttamattomasti samalla heikentäen mekaanisia ominaisuuksia merkittävästi. Hajottamismekanismena tällaisissa reaktioissa toimivat esimerkiksi hydrolyysi ja hapettumisreaktiot. Esimerkiksi polyeteenitereftalaatti hajoaa hydrolyyttisesti veden vaikutuksesta, kuten kuvioista 6 on nähtävissä. Näissä reaktioissa polymeeriketju muuntautuu kemiallisesti ristosil- loittuen tai katkeillen. Hydrolyysissä reaktio johtaa pääketjun katkeamiseen.



KUVIO 6. PET:n hydrolyyttinen hajoaminen (Peltonen 2007, 12.)

Hydrolyysiympäristönä polymeereille voivat toimia esim. kiehuva vesi, höyry tai kondensaatioliuokset. Hydrolyysin nopeus on riippuvainen ympäristön kosteudesta ja lämpötilasta. Hapot, emäkset ja mahdollisesti hydrolyysireaktiossa syntyvät polaariset molekyylit voivat kiihdyttää reaktionopeutta. Hydrolyysireaktio on otettava huomioon erityisesti polymeereillä, jotka ovat hygroskooppisia. Tällaisia ovat esimerkiksi polykarbonaatti ja polyamidi. Materiaaliin liuennut vesi voi aiheuttaa ongelmia höyrystyessään myöhemmissä prosessointivaiheissa. (Peltonen 2007, 10; Rönkä 2000, 20; Wright 1996, 35.)

Jälkimmäisen tyypin nesteisiin kuuluvat nesteet, jotka eivät kemiallisesti vahingoita polymeeriketjua vaan edistävät muovissa olevaa vauriota fysikaalisiin prosessein. Tällaisia nesteitä kutsutaan myös ESC (Environmental Stress Cracking)- nesteiksi. (Wright 1996, 35.)

Myös mikrobit aiheuttavat polymeereissä kemiallista hajoamista. Mikrobit erittävät polymeeriin kemiallisia entsyymejä, jotka saavat muovissa aikaan hydrolyysiä ja aminolyysiä. Tällaisia reaktioita käytetään biohajoavien muovituotteiden perustana. (Peltonen 2007, 25.)

3.2.5 Otsonin vaikutus hajoamiseen

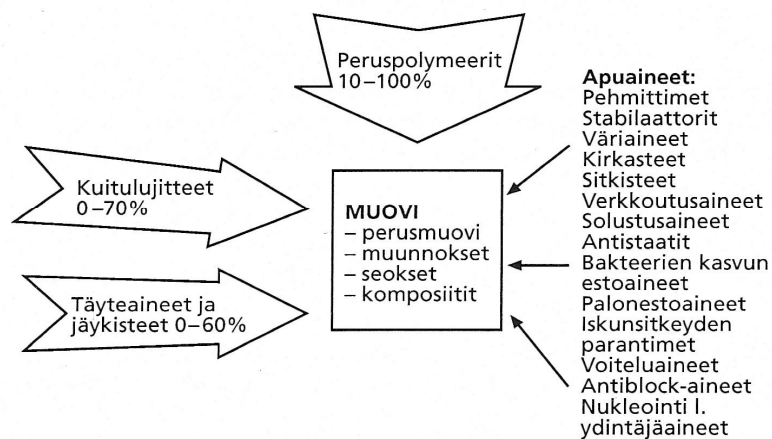
Otsoni vaikuttaa haitallisesti polymeereihin etenkin kumiteollisuudessa. Tyydyttömät polymeerit kuten kautsu ja kumit reagoivat herkästi otsonin kanssa.

Otsoni aiheuttaa kumimateriaaleissa halkeamien muodostumista.

Halkeamien syntyminen on suhteellisen vähäistä kappaleen ollessa lepotilassa mutta kiihtyy kappaleen ollessa venytyksen tai rasituksen alaisena.

4 POLYMEEREISSÄ KÄYTETYT LISÄAINEET

Kaikille teollisille ja kaupallisille muoveille tehdään jonkinasteinen lisääineistus. Jotta muovilla olisi sille tyypilliset ominaisuudet, on peruspolymeeriketjun modifioinnin lisäksi käytettävä erilaisia lisäaineita. Muovin peruspolymeerin molekyyli-rakennetta modifioimalla saavutetaan pysyviä ja stabiileja muutoksia polymeerin ominaisuuksissa. Lisäaineet jaotellaan usein apuaineisiin ja täyteaineisiin. Kuviossa 7 muovin koostumusta esitellään useiden tekijöiden muodostamana kokonaisuutena. Apuaineista puhuttaessa tarkoitetaan ainetta, jonka tavoitteena on parantaa peruspolymeerin rakennetta ja ominaisuuksia. Täyteaineita käytetään sen sijaan korvaamaan muovissa olevaa polymeeriä jollakin halvemmalla aineella. Muovissa käytetyt lisäaineet voidaan tilata raaka-ainevalmistajalta suoraan muoviin esisekoitettuna tai tuotteen valmistaja voi sekoittaa ne itse, esimerkiksi ennen ruiskuvaluprosessia. Tässä opinnäytetyössä keskitytään enemmän apuainetyyppisiin lisäaineisiin. Seuraavissa luvuissa on esitelty osaa muoveihin lisättävistä aineista. (Järvinen 2008, 206; Kurri & Malen & Sandell & Virtanen 2002, 27; Järvelä & Syrjäjä & Vastela 1999, 1.)



KUVIO 7. Muovien koostumus. (Kurri & Malen & Sandell & Virtanen 2002,28)

4.1.1 Hapettumisenestoaineet

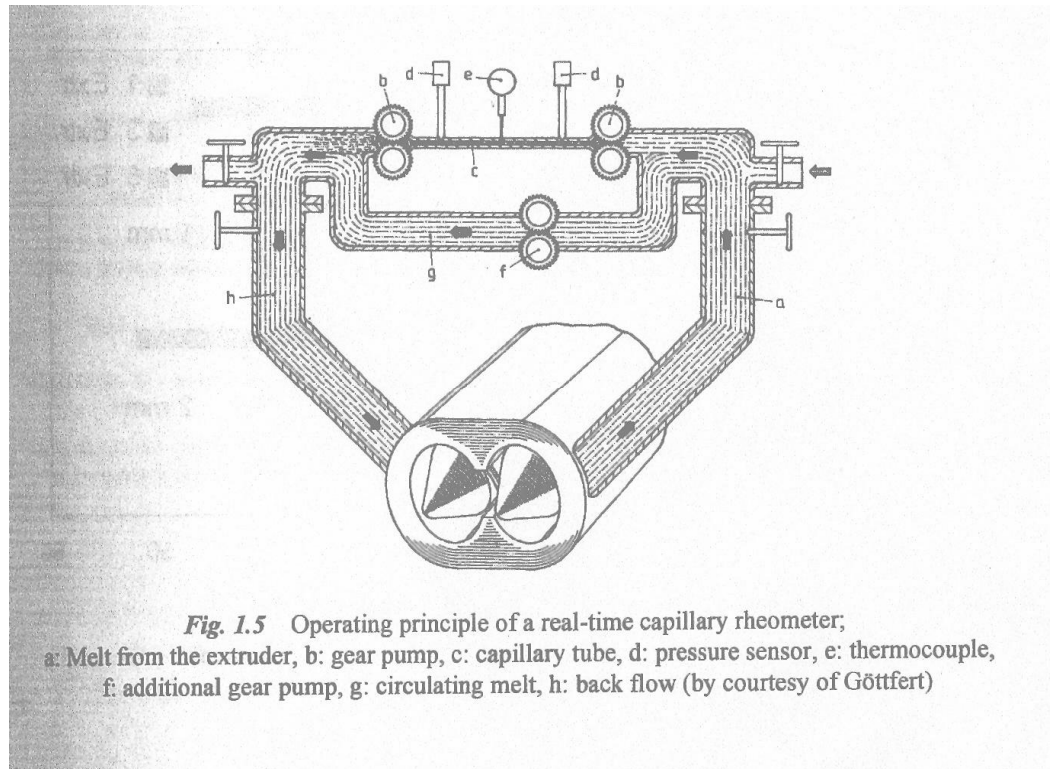
Hapettumisenestoaineita eli antioksidantteja käytetään lisäämään muovin vastustuskykyä happea ja siitä johtuvia hapettumisreaktioita vastaan. Muovin korkea työstölämpötila, pitkä viipymäaika tai liian suuri työstönopeus voivat altistaa polymeerirakenteen pilkkoutumiselle tai muulle hajoamiselle. (Järvinen 2008, 210.)

Antioksidanttien tulisi turvata muovin molekyylistä rakennetta plastisoinnin aikana, muovituotteen valmistuksen yhteydessä ja loppukäytön vaihtelevissakin sääolosuhteissa. Antioksidantin tehokkuus prosessoinnin aikana riippuu sen kyvystä ulottua ja hajaantua polymeerisulan läpi. Sen tulisi kyetä saavuttamaan polymeerissä erityisesti hapettumisreaktioille alttiit paikat. Stabilaattorin liukoisuus ja yhteensopivuus peruspolymeerin kanssa ovat merkittäviä seikkoja onnistuneen muovituotteen kannalta. Muovissa käytetyllä antioksidantilla tulisi olla myös alhainen haihtuvuus ja korkea resistanssi ympäristöön hajoamisen kannalta. (Zweifel 2001, 24.)

Muovisulaa työstetään useilla eri menetelmillä polymeroinnin jälkeen. Tällaisessa sulatyöstössä polymeerin hajoamisasteisiin vaikuttavat kolme pääseikkaa: korkea lämpötila, leikkausvoimat ja hapen läsnäolo. Prosessoinnin aikana tapahtunut vähäinenkin polymeeriketjujen hajoaminen voi johtaa muovissa merkittäviin vanhenemisvaikutuksiin. Sulan prosessointi on sekä polymeerin mekaanisia ominaisuuksia vähentävä tapahtuma että polymeerin käyttöiän stabiilisuuteen vaikuttava tekijä. (Zweifel 2001, 24.)

Sulan polymeerin prosessointitapahtuman stabiilisuutta voidaan tutkia reaaliaikaisilla kapillaarireometreilla ja kiertotie-reometreilla kuten kuviossa 8. Reaaliaikaisella reometrillä viskositeettiä mitattaessa pieni määrä polymeerisulaa ohjataan määritel-

lyn kapillaarin läpi ja pumpataan mittauksen jälkeen takaisin muun sulan joukkoon.
(Zweifel 2001, 24.)



KUVIO 8. Reaaliaikaisen kapillaarireometrin toimintaperiaate. (Zweifel 2001, 25.)

Antioksidanteilla pyritään antamaan lopputuotteelle myös pitkäaikaista stabiiliutta hapettumisreaktioita vastaan. Pitkäaikaista hapettumisenkestoa mitataan mm. erilaisilla uunivanhennusmenetelmillä. Vanhennustestissä polymeeriseosta vanhennetaan uunissa eri lämpötiloissa ja tarkastellaan tasaisin väliajoin, mikäli seoksessa on havaittavissa muutoksia. Nämä muutokset voivat ilmentyä mekaanisten ominaisuuksien heikkenemisenä, ulkomuodon ja värin muutoksina tai kemiallisen rakenteen muuttumisena. Polymeerin vanhennustestien avulla on huomattu suora korrelaatio mekaanisten ominaisuuksien menetyksessä ja keskimääräisen molekyylipainon vähenemisen välillä. Kun polymeeri saavuttaa kriittisen molekyylipainonsa, katoavat myös sen mekaaniset lujuusominaisuudet. Kuviossa 9 esitellään eri tes-

tausmenetelmiä sekä pitkäaikaisen stabiilisuuden että prosessointistabiiliuden mittaamiseen. (Zweifel 2001, 31,33.)

Polymeerien stabiloinnissa käytetään pääasiassa erilaisia fenoliyhdisteitä, fosfaatteja, rikkiyhdisteitä, aromaattisia amiineja ja muita amiiniyhdisteitä, alkyyliradiikaalien sieppareita ja näiden sekoituksia. Fenoliyhdisteiset antioksidantit toimivat parhaiten pitkän aikavälin stabiloinnissa ja fosfaatteja käytetään suojamaan polymeeriä sulatyöstön aikana. (Zweifel 2001, 11- 40.)

Table 1.4 Test methods and material properties to assess processing and thermo-oxidative stability of polymers

Processing Stability	Long Term Thermal Stability
<ul style="list-style-type: none"> • Melt Processing • Melt mass flow rate [MFR] • Melt volume flow rate [MVR] • Torque increase • Viscosity <ul style="list-style-type: none"> – Low shear / high shear viscosity [η] – Solution viscosity • Dynamic moduli <ul style="list-style-type: none"> – Storage modulus – Loss modulus • GPC <ul style="list-style-type: none"> – M_w, M_n, M_z, polydispersity • Color [YI] 	<ul style="list-style-type: none"> • Oven Aging Tensile test <ul style="list-style-type: none"> – Tensile strength – Elongation at break • Impact test <ul style="list-style-type: none"> – Tensile impact test – Charpy impact test – Izod impact test • Optical properties <ul style="list-style-type: none"> – Color [YI] – Gloss – Haze • Surface properties <ul style="list-style-type: none"> – Surface roughness – Craze formation (microscope) • Oxygen uptake • Oxygen induction time [OIT] • Carbonyl index • GPC <ul style="list-style-type: none"> – M_w, M_n, M_z, polydispersity • Weight loss [TGA]

KUVIO 9. Antioksidanttien testimenetelmät ja materiaaliominaisuudet, jotka määrittävät polymeerin stabiilisuuden lämpöä ja hapettumista vastaan. (Zweifel 2001, 24.)

4.1.2 UV-stabilaattorit

UV-valon aiheuttaman polymeerirakenteen hajoamista pyritään estämään tai hidastamaan lisäämällä muoveihin erilaisia UV-stabilaattoreita. Nämä stabiliaattorit joko pysäyttävät jo alkaneen polymeerin hajoamisreaktion tai tuhoavat itsensä polymeerin sijasta. Myös joitakin pigmenttejä voidaan hyödyntää muovin auringonvalolta

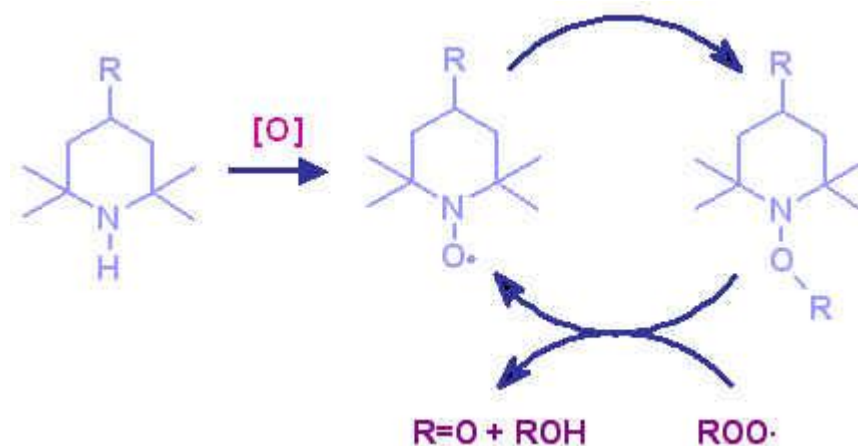
suojaamiseen, kuten esimerkiksi hiilimustaa tai valkoista titaanidioksidia. Titaanidioksidia käytettäessä on kuitenkin suositeltavaa lisätä polymeeriin ylimääräistä UV-stabilointiainetta, koska näissä valkoisissa pigmenteissä on todettu olevan suuria eroja valon- ja säänkestossa. (Järvinen 2008, 211.)

Kaikkein ilmeisin keino suojata polymeeriä valosta aiheutuilta vaurioilta perustuu UV-valon imeytymisen estämiseen tai polymeerin imeytyvän säteilyn määrän vähentämiseen. Toinen tapa suojata polymeeriä on vähentää hajoamisreaktioiden alulepanonopeutta molekyyliarakenteen kromaattisten ryhmien jännittyneissä tiloissa. Kolmas keino polymeerin suojauksessa auringonvalosta tulevaa säteilyä vastaan on stabilaattorin väliintulo hajoamisreaktiossa. Tässä tapauksessa UV-suoja muuttaa hajoamisreaktiossa syntyvät hydroperoksidit stabiilimmiksi yhdisteiksi. UV-suojan väliintulossa ei myöskään synny vapaita radikaaleja. Neljäntenä mahdollisuutena estää fotolyttistä hajoamista muovirakenteessa on vapaiden radikaalien sieppaamisen välittömästi niiden syntymisen jälkeen. (Zweifel 2001, 206.)

Onnistuneen UV-stabiloinnin edellytyksenä on stabilaattorin tasainen ja riittävä konsentraatio polymeeriseoksessa. Tämä seikka korostuu varsinkin kalvototeilisuudessa. On todettu että esimerkiksi PE-LD-kalvon UV-stabiilisuus on riippuvainen käytetystä stabilointimenetelmästä ja kalvon paksuudesta. Eri UV-stabilointimekanismit käyttäytyvät eri tavoin vaihtelevissa kalvonpaksuuksissa, joten nämä kaksi tekijää tulisi aina ottaa huomioon. (Zweifel 2001, 317.)

HALS-yhdisteet (Hindered amine light stabilizers) ovat tällä hetkellä tehokkaimman tyyppisiä UV-stabilaattoreita monilla polymeereillä. HALS-yhdisteiden toiminta perustuu fotolyysissä syntyvien radikaalien sieppaamiseen, eivätkä ne absorboi UV-säteilyä. Kuvio 10 havainnollistaa HALS-yhdisteiden toimintamekanismia. Nämä yhdisteet ovat myös erittäin tehokkaita stabilaattoreita ja niitä voidaan lisätä peruspolymeeriin erittäin pieninä pitoisuuksina. HALS-yhdisteiden tehokkuuden yhtenä tekijänä pidetään niiden kestävyyttä ja pitkäikäisyyttä muovissa. Tämä ominaisuus selittyy HALS:ien kyvystä käydä läpi syklinen prosessi fotolyysin aikana. Tällöin muovissa olevat HALS:it pikemminkin regeneroituvat kuin kuluvat poly-

meeriseoksesta. HALS- yhdisteet suojaavat polymeeriä myös lämpöhajoamiselta. (CIBA 2008.)



KUVIO 10. HALS-yhdisteen yksinkertaistettu stabilointimekanismi. (CIBA 2008.)

4.1.3 Neutralointiaineet

Polyolefiinien perusstabilointiin kuuluu UV-stabilaattoreiden ja antioksidanttien lisäksi myös neutralointiaineiden käyttö. Nämä aineet neutraloivat hapollisia katalyyttijäämiä, kuten esimerkiksi kloridijäämiä. Neutraloimattomina nämä happoyhdisteet aiheuttavat korroosiota metallisissa polymeerin jälkikäsittelylaitteistoissa esimerkiksi kuivaimissa ja ruiskuvalukoneissa. Lisäksi neutraloimattomasta materiaalista valmistetut muovituotteet saattavat rapistua ja kärsiä värimuutoksista käytön aikana. (Zweifel 2001, 485.)

Neutralointiaineiden tulee täyttää muillekin lisäaineille asetetut kriteerit, kuten riittävä lämmönkesto, yhteensopivuus peruspolymeerin kanssa ja optimaalinen dispersio matriisiaineeseen. Tyypillisesti neutralointiaineina käytetään orgaanisia metalli-stearaatteja, esim. kalsiumstearaattia tai maitohapon suoloja. Epäorgaanisina neutralointiaineina toimivat sinkkioksidit ja erilaiset mineraalit. Polyolefiineistä poly-

eteenillä yleisimmät neutralointiin käytettävät metallistearaattit ovat kalsiumstearaatti ja sinkkistearaatti. Stearaattien käytöllä aikaansaadaan polymeerimateriaalille lisäksi paremmat voiteluominaisuudet johtuen stearaattien luontaisista rasvaominaisuuksista. Metallistearaattien käytöllä voimistetaan niin ikään värien sekoittuvuutta ja pinnalaatua eri polymeeriseoksilla (Zweifel 2001, 487.)

4.1.4 Metallideaktivaattorit

Metallideaktivaattoreita käytetään pääasiallisesti polyolefiineille eristys- ja kaapeli-sovelluksissa suojaamaan muovia suoralta metallikosketukselta. Tässä välittömässä kontaktissa metalli voi joko katalysoida polymeeriä tai hajottaa sitä. Lisäaine estää polymeerin hajoamisen metallin vaikutuksesta. Polymeereille vaarallisia metalleja ovat esimerkiksi kupari, koboltti ja rauta. Metallideaktivaattoreita voidaan lisätä erikseen polymeeriin tai primääriseen antioksidantin kanssa. Metallideaktivaattorit voivat olla esimerkiksi fenolipohjaisia. Liitteessä 1 on esitelty erään metallideaktivaattorin ominaisuuksia. (CIBA 2008.)

4.1.5 Masterbatsit

Muovien lisäaineistuksessa käytetyt masterbatsit ovat muoviraaka-aineeseen esisekoitettuja väri- tai lisäainetiivisteitä. Muovien värjäyksessä käytetäänkin yleisesti masterbatseja eli väritiivisteitä. Värimasterbatseja ei pystytä työstön yhteydessä sekoittamaan tarpeeksi tasaisesti käytettyyn muoviin, joten usein raaka-ainevalmistaja huolehtii riittävästä perusväristä tuotteessa. Väritiivisteissä olevilla väripigmenteillä on värjäamisominaisuutensa lisäksi vaikutusta muovin muihin ominaisuuksiin.

Tämän takia on tärkeää tarkastella värien aikaansaamaa kokonaisvaikutusta muovissa ennen lopullista käyttöönottoa tuotantomittakaavassa. Joidenkin orgaanisten pigmenttien tiedetään aiheuttaneen vääntyilyä lopputuotteessa. Masterbatsin

sisältämä pigmenttiosuus voi olla hyvinkin korkea vaihdellen aina välillä 10 ó 80 %. Tämän seurauksena masterien osuus valmiissa muoviraaka-aineessa on tavallisesti 0,05 ó 2 paino- %. Mikäli polymeerin värjäämisessä käytetään valkoista väripigmenttiä, päästään jopa 10 paino- % osuuksiin.

Masterbatsit sisältävät usein myös muita lisäaineita, kuten esimerkiksi antioksidantteja. (Järvinen 2008, 208; Peltonen 2007, 20; Kurri & Malen & Sandell & Virtanen 2002, 31.)

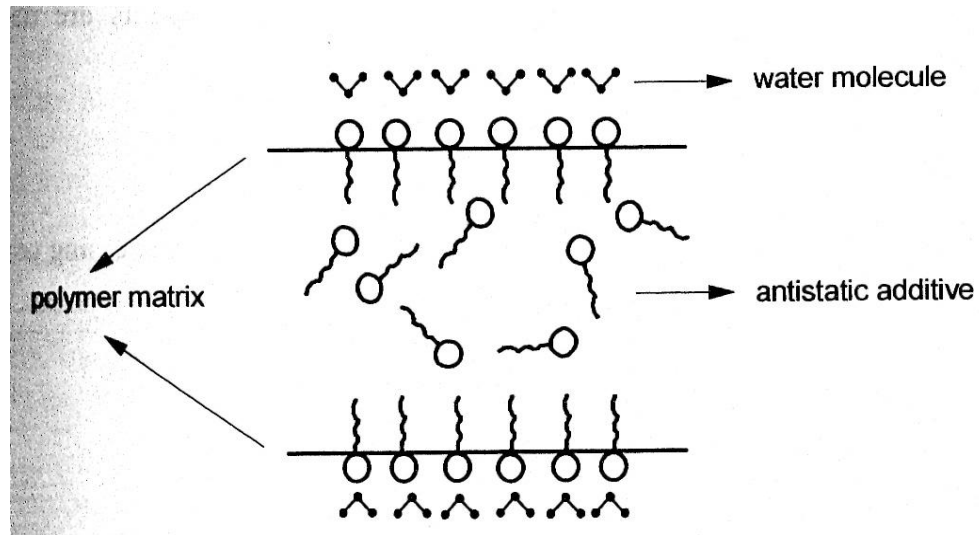
4.1.6 Antistaattiset aineet

Muoveilla ja polymeereillä on tyypillisesti hyvä sähköneristyskyky. Muovituotteen valmistuksessa ja käytössä voi kuitenkin muodostua sähköisiä varauksia. Nämä varaukset keskittyvät tavallisesti muovikappaleen pintaan ja voivat kerätä pölyä tuotteen pinnalle. Nämä varaukset saattavat aiheuttaa jopa räjähdysvaaran tai kipinöintiä. Antistaattisilla lisäaineilla pyritään lisäämään muovin sähkönjohtavuutta, jotta kyettäisiin estämään sähkövarausten akkumuloituminen muovissa. (Järvinen 2008, 209; Zweifel 2001, 628)

Muovien sähkönjohtavuuteen käytetään kolmentyyppisiä antistaatteja; joita ovat ulkoiset antistaattiset lisäaineet, sisäiset antistaattiset lisäaineet ja sähköä johtavat täyteaineet. Ulkoiset antistaatit ovat liuenneina sopivassa liuottimessa, jolla päällystetään suojattava muovi. Liuotinaine voidaan suihkuttaa muovin pinnalle tai muovi voidaan upottaa kyseiseen aineeseen. Tämän jälkeen liuotinaine haihdutetaan muovin pinnalta pois, jolloin antistaatti jää polymeerimateriaalin pintaan. Sisäiset antistaatit yhdistetään peruspolymeeriseokseen, josta ne migroituvat tuotteen pinnalle.

Sisäinen antistaatti voi luoda polymeeriin sähköä johtavan polun, joka hajottaa syntyvän varauksen ilmakehään kuten kuviossa 11 on esitetty. Tällainen antistaatti imee itseensä yleensä ilmasta kosteutta, jolloin tuotteen pinnalle on muodostunut johtava kerros. Sähköä johtavat täyteaineet lisätään myös peruspolymeerin sekaan. Yksi tunnettu esimerkkiaine tämäntyyppisestä antistaattista on hiilimusta. Näitä

aineita käytetään kun muovituotteen pinnan resistiivisyyden täytyy olla pienempi kuin 10^8 Ohmia. Sopivia sovelluskohteita ovat esimerkiksi sairaaloiden leikkaussalit, kaivosteollisuus tai elektroniikkateollisuus. (Järvinen 2008,209; Zweifel 2001, 630.)



KUVIO 11. Sisäisen antistaatin periaate (Zweifel 2001. 629.)

4.1.7 Tarttumisenesto- ja liukuaineet

Muovikalvoilla on taipumus tarttua toisiinsa kiinni, samalla vaikeuttaen kalvojen toisistaan erottamista. Tätä tarttumisilmiötä esiintyy varsinkin PE-LD:n, PE-LLD:n, PP:n, PET:n ja PA:n tyyppisillä polymeereillä. Mainittua tarttumisilmiötä ei ole täysin pystytty vielä selittämään. Yhden hyväksytytyn teorian mukaan polymeerin alhaisen molekyyllipainon osat tai vahamaiset lisäaineet tuottavat kalvon pinnalle adhesiivisen kerroksen. Tällöin kahden kalvon väliin muodostuu ns. öanti-blocking forceö ,eli tarttumisvoima. Tarttumisenestolisäaineet vähentävät kalvojen välistä adheesiota ja pienentävät tarttumisvoimaa muovikerrosten välissä. (Järvinen 2008, 210; Zweifel 2001,585.)

Tarttumisenestoaineiden toiminta perustuu muovikalvon pinnan modifioinnille. Kalvoraaka-aineeseen sekoitettuna tarttumisenestoaineet luovat kalvoon mikrokarhean pinnan, jolloin kalvojen väliin jää ilmarako kuvion 12 osoittamalla tavalla. Karhea pinta ja ilmarako alentavat kalvojen toisiinsa kiinnittymistä.

Yleensä antiblokkeina käytetään epäorgaanisia aineita. Yksi käytetyimmistä tarttumisenestoaineista on piidioksidi (SiO_2). Tosin sillä on myös kalvoa samentava vaikutus, ja se kuluttaa työstökoneita. Talkin valinta tarttumisenestoaineeksi on lisääntynyt varsinkin lineaarisiin polyeteeneihin lisättynä, koska sillä ei ole yhtä suurta työstölaitteistoja kuluttavaa vaikutusta. Talkki on myös piidioksidia kevyempi vaihtoehto, jolloin sen käyttö lisä-, sekä täyteaineena voidaan yhdistää. Muita tunnettuja tarttumisenestoaineita ovat zeoliitit, kalkkikivi ja erilaiset orgaaniset vaihtoehdot. (Järvinen 208, 210; Zweifel 2001,587.)

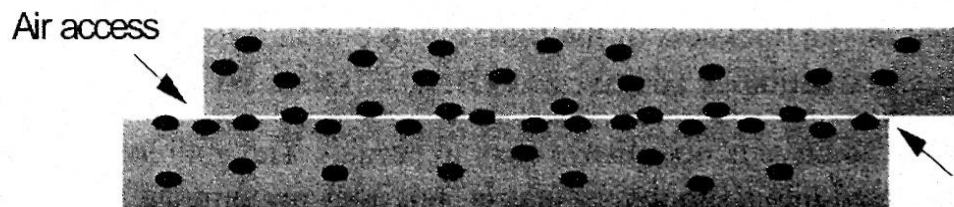


Fig. 8.9 Antiblock additive in polymer film

KUVIO 12. Tarttumisenestoaineen toiminta. (Zweifel 2001, 606)

Muovikalvoilla on myös korkea kitkakerroin, jonka seurauksena ne tarttuvat toisten kalvopintojen lisäksi prosessointilaitteistojen metallipintoihin. Liukuaineet eli slipit vähentävät kalvojen ja pintojen välistä kitkakerrointa helpottaen näin prosessointia.

Kemialliselta rakenteeltaan slippien täytyy olla yhteen sopimattomia peruspolymeerin kanssa, jotta voiteluominaisuudet tulevat esille. Slippien toiminta perustuu polymeerisulan jäähtymisen aikana tapahtuvaan kiteytymiseen.

Polymeerisulan prosessoinnissa slipit liukenevat polymeerin amorfisiin osiin ja raaka-aineen jäähtyessä alkaa kiteytyminen, jolloin liukuaineet pusertuvat ulos jähmettyvästä sulasta.

Slip-lisäaineet ovat usein voitelevia rasvahappoamideja, kuten erukamidi ja oleamidi. Tavallisesti slippejä käytetään yhdessä tarttumisenestoaineiden kanssa ja toisinaan antistaattien kanssa. Liukuaineiden käytön haittavaikutuksena saattaa olla pinovärien ja liimausaineiden huono tarttuvuus. (Järvinen 2008, 212; Zweifel 2001, 601- 605.)

4.2 Lisäaineiden fyysiset olomuodot

Muovien lisäaineita on saatavilla useissa eri olomuodoissa. Lisäaineita pystytään toimittamaan ainakin nestemäisinä, pastoina ja useina vaihtelevina kiinteinä vaihtoehtoina. Kiinteitä lisäainevaihtoehtoja ovat granulaatit, pulverit, rakeet, jyvät ja pastillit. Ulkomuodon ohella eri olomuodoilla on muita räätälöityjä ominaisuuksia, joilla pyritään vaikuttamaan lisäaineen käsittelyyn, turvallisuuteen, ulkonäköön, kokoon ja syötettävyyteen. Yleensä oikeantyyppisen lisäaineolomuodon valintaan vaikuttaa merkittävästi käytettävissä oleva lisäaineensyöttölaitteisto ja lisäaineen hinta. Kemiallisesti samaa ainetta voidaan toimittaa erilaisissa olomuodoissa, mutta ratkaisevana tekijänä on vaihteleva hinnoittelu lisäaineen valmistusprosessista riippuen. Kuviossa 13 kuvaillaan sekä sanallisesti että valokuvien avulla erän lisäaineen eri toimitusvaihtoehtoja. (CIBA 2008.)



KUVIO 13. Erään antioksidantin olomuotovaihtoehtoja. (CIBA 2008, 3.)

5 PE2- TEHTAAN LISÄAINEIDENSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ

5.1 Lisäaineidensyöttöprosessi

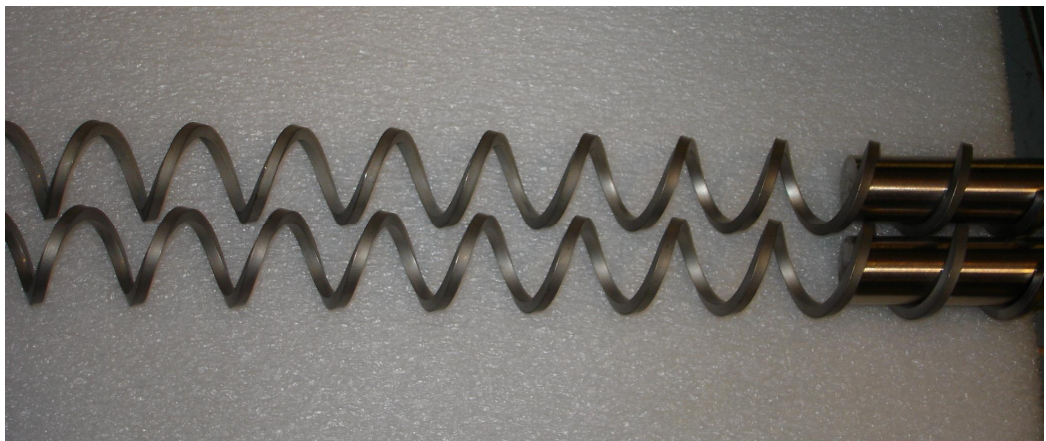
PE2-tehtaan käyttämät lisäaineet toimitetaan tehtaalle n.500 kg:n big bag -säkeissä tai 25 kg:n säkeissä. PE 2-tehtaassa on tuotannon käytössä n.10 ó 20 eri lisäainetta vuosittain. Näihin sisältyvät myös eri aineiden blendit ja ns. one pack -ratkaisut, joissa koko tuotteen lisäaineistus on valmiiksi oikeassa suhteessa yhdessä säkissä. Käytettävät lisäaineet vaihtelevat käyttötarkoitukseltaan tuotteen mukaan aina erilaisista antioksidanteista tarttumisenestoaineisiin ja UV-stabilaattoreihin.

Lisäaineet siirretään alipaineen avulla ylempiin lisäainesäiliöihin. Ylemmästä lisäainesäiliöstä tiputetaan lisäainetta sekvenssin ohjaamana oikea määrä varsinaisen lisäainesyöttimen syöttösäiliöön. Tämän jälkeen syötin annostelee lisäaineen ekstruderin syöttöhopperiin. (Borealis 2008.)

5.2 Lisäaineiden syötössä käytettävä laitteisto

Lisäaineiden syötössä käytetään neljää syötintä, joista kolme ovat samanlaisia. Kaikki syöttimet ovat ns. loss in weight -tyyppisiä ruuvisyöttimiä. Syötin mittaa vaakalla olevaa lisäaineen määrää ja säättää syöttöruuvien kierroksia, jotta syöttimestä poistuva materiaalivirta vastaisi asetusarvoa sen mukaan, miten vaakapaino putoaa. (Borealis 2008.)

A, B ja C-syöttimien syöttökapasiteetti on riippuvainen käytettävästä ruuvigeometriasta. Näillä kolmella syöttimellä voidaan annostella lisäaineita syöttöalueella 9 ó 190 kg/h. D-syöttimellä syötetään huomattavasti pienempiä pitoisuuksia alueella 5 ó 50 kg/h. D-syöttimellä ollaankin keskitytty syöttämään vain pieninä pitoisuuksina lisättäviä aineita. A-, B- ja C- syöttimien ruuvit ovat ns. ömpinaisiaö materiaalin kuljetusruuveja, kun taas D-syöttimellä käytössä on avoimet spiraaliruuvit. Lisäksi syöttimillä A, B ja C on samanlaiset möyhentimet syöttösäiliökartiassa, jotka pyörivät vaakatasossa. D- syöttimen materiaalisekoittaja pyörii hopperin sisällä pystysuorassa. Kuviot 14 ja 15 havainnollistavat ruuvigeometrioita. (Borealis 2008.)



KUVIO 14. Avoin spiraaliruuvi. (Borealis 2008.)



KUVIO 15. Umpinainen aineenkuljetusruuvi (Borealis 2008.)

6 ONLINE-LUOKITTELUUN SIIRTYMINEN JA SIIHEN SIIRTYMISEN ESTÄVIÄ TEKIJÖITÄ

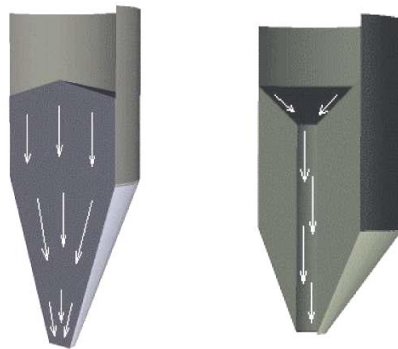
Borealoksen PE2-tehtaalla olisi tulevaisuudessa tarkoitus siirtyä online-perusteiseen laadunvalvonta- ja eräluokittelujärjestelmään. Tämä tarkoittaa sitä, että perinteisten pellettinäytteiden ottotaajuus tuotannon aikana vähenisi. Tällöin polymeerin pääsyötön, värimasteri- ja lisäainesyöttimien tarkkuus ja luotettavuus on kartoitettava. Tämän kartoituksen ja tarkastelun pohjalta syöttöjärjestelmien kehitystarpeet ja ohjeistus määritellään tulevaisuuden online-luokittelua varten. Onnistuneen muutosprosessin tuottoihin voidaan lukea lisäaineiden kulutuksen optimointi, tuotteen tasalaatuisuuden parantuminen, tuote-erien blendaustarpeen vähentäminen ja erillisesti analysoitavien lisäainetestien vähentyminen.

Luotettavuuskartoituksen yhteydessä esille nousi neljä kokonaisuutta, joilla oli selkeästi vaikutusta lisäaineiden syötön onnistumiseen. Nämä kokonaisuudet on esitelty seuraavissa luvuissa 6.1, 6.3, 6.4 ja 6.5.

6.1 Lisäaineiden käyttäytyminen syöttösäiliöissä

Kuten aiemmin on mainittu, PE2-tehtaalla käytetyt lisäaineet syötetään kiinteässä muodossa ekstruuderiin, jolloin niiden tyhjentymisen tai purkautumisen syöttösäiliöistä vastaa yleisiä silojen ja säiliöiden virtaus- ja tyhjentymismalleja. Kun jauhe- maista materiaalia puretaan silosta tai säiliöstä, sillä on kaksi mahdollista luonnol- lista virtaustapaa. Massavirtauksessa prosessiin syötettävä materiaali virtaa yhtä- jaksoisesti ja siirtyy prosessiin silosta sen täyttöjärjestyksessä. Suppilovirtauksessa syötettävä materiaalipatja murtuu yläosastaan, jolloin materiaalin keskelle syntyy purkausaukko kuvion 16 osoittamalla tavalla. Tällöin materiaali valuu pur- kausaukosta alkavaa purkaustunnelia pitkin prosessiin. Suuri osa siloista ja säiliöis- tä tyhjenee suppilovirtauksen avulla, vaikka massavirtaus takaisikin etuja onnistu- neen tyhjentymisen suhteen. (Jauhetekniikka 2008.)

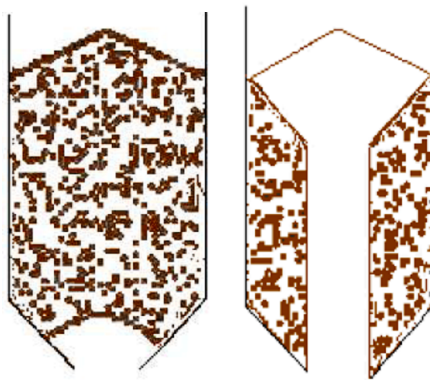
Toimivan ja luonnollisen massavirtauksen aikaansaaminen riippuu vahvasti käyte- tyn materiaalin virtausominaisuuksista sekä silon suunnittelusta. Tästä syystä val- taosa säiliöistä ja siloista tyhjeneekin suppilovirtausperiaatteella. (Jauhetekniikka 2008.)



KUVIO 16. Massavirtaus ja suppilovirtaus (Jauhetekniikka 2008.)

6.2 Häiriötekijöitä materiaalivirtauksessa

Mikäli materiaali ei purkaudu luonnollisesti suppilovirtauksen avulla, syynä saattaa olla materiaalin holvautuminen tai onkalon muodostuminen syöttösäiliöön. Onkaloitumisessa kaikki materiaali siilosta ei purkaudu tasaisesti tyhjennysprosessissa, vaan osa materiaalista pakkautuu siilon reunamille kuvion 17 osoittamalla tavalla. Holvaantumislmiössä materiaali muodostaa ns. holvin tai holvikaaren muotoisen rakenteen siilon syöttöaukon ympärille, jolloin materiaalivirtaus lakkaa. Näiden ongelmien hoitoon on mahdollista valita useampi eri menetelmä, kuten esim. täryttimien ja tärypohjien käyttö siilossa, fluidisointilaitteiston hyödyntäminen tai mekaanisten hämmentimien hyväksikäyttö. (Jauheteekniikka 2008.)



KUVIO 17. Holvautuminen ja onkaloituminen. (Jauheteekniikka 2008.)

6.3 Lisäaineiden ominaisuudet

Lisäaineiden syöttöjärjestelmän luotettavuuden kartoituksessa yksi tärkeimmistä luotettavuustekijöistä ovat itsessään ne lisäaineet, joita laitteistolla pelletointiprosessiin syötetään. Samalla laitteistolla syötetään huomattavasti toisistaan fyysisesti poikkeavia materiaaleja.

Lisäaineiden olomuodot vaihtelevat aina pulverimaisesta jauheesta kiinteään granulaattiin. Olenainen seikka lisäaineiden ominaisuuksia tutkittaessa on myös raaka-ainetoimittajien välinen eroavaisuus. Tutkimusten aikana huomattiin, että kemiallisesti saman lisäaineen eri valmistajat toimittivat fyysisiltä ja muilta ominaisuuksiltaan toisistaan poikkeavaa raaka-ainetta. Tämä on erittäin vaikuttava seikka, kun verrataan materiaalien käyttäytymistä syöttöprosessissa ja laitteistossa. Lisäksi haluttiin tutkia, mikäli lisäaineiden termiset tai kemialliset ominaisuudet aikaansaisivat epätarkkuutta syöttöprosessissa. Edellisten tutkimusten ohella tarkasteltiin lisäaineiden hygroskooppisuutta ja helposti eri testausmenetelmillä selvitettävissä olevia fyysisiä ominaisuuksia. Tutkimusten tuloksia esitely tarkemmin kokeellisessa osiossa 7.

6.4 Lisäainevaakojen mekaaniset ongelmat

Lisäainesyöttölaitteiston luotettavuuden kartoituksessa tärkeässä roolissa oli itse lisäainesyöttimet ja niiden toiminnassa tapahtuvat häiriöt. Nämä häiriöt vaikuttavat suoraan pelletointiprosessiin ja laadukkaan tuotteen valmistukseen. Neljästä käytössä olevasta lisäainesyöttimestä kolme: A, B ja C ovat samanlaisia, joten niiden vikahistorian selvittäminen ja vertailu oli tärkeää. Tutkimusten yhteydessä selvitettiin yleisimmät syöttöhäiriöihin johtaneet mekaaniset ongelmat ja niiden esiintymistaajuus vuotta kohti. Lisäksi tarkasteltiin itse syöttölaitteistojen lay-outia prosessitilassa ja muita mahdollisia häiriötekijöitä luotettavan lisäaineensyötön kannalta.

Vaakoihin liittyviä tutkimuksia on esillä luvussa 7.

6.5 Prosessiolosuhteiden vaikutus vaakoihin

Luotettavuuskartoituksen piiriin kuului myös syöttötapahtumaan vaikuttavat tekijät muualta prosessista, kuten esim. ekstruuderista aiheutuvat muutokset syöttötarkkuudessa. Tutkittiin onko lisäainesyöttimien sijoittelussa tuotantotilassa vaikutusta syöttöprosessiin ja lisäksi haluttiin tutkia mikäli lisäaineiden varastointi ja siirtotekniikoilla olisi ollut vaikutusta syöttöihin. Lisäaineita imetään alipaineen avulla säiliöistä, jotka on sijoitettu ulkoilman kanssa kosketuksissa olevaan tilaan. Tällöin olisi tutkittava, onko ulkoilman läsnäololla vaikutusta esimerkiksi lisäaineiden virtausominaisuuksin. Tutkimusta ja arviointia on esitetty luvussa 7

7 KOKEELLINEN OSA

7.1 Lisäaineiden ominaisuuksien vaihtelu

Lisäaineiden ominaisuuksien vaihtelua lähdettiin selvittämään, koska tarjolla ei ollut vaadittavaa materiaalityyppiä toimittajan tai Borealis Polymersin puolelta. Tutkimuksen aikana huomattiin syötettävien lisäainemateriaalien fysikaaliset tiedot hyvinkin puutteellisiksi. Lisäaineiden ulkonäöllinen kuvaus saattoi olla esitettynä hyvinkin suppeasti. Ulkomuoto saatettiin kuvata teknisten tietojen ohella esimerkiksi seuraavanlaisesti: materiaali on ulkonäöltään vaaleahkoa tai kellertävää granulaattia / jauhetta. Tämä tieto ei ole tarpeeksi informatiivinen, kun halutaan vertailla esimerkiksi samalla laitteistolla syötettävien lisäaineiden partikkelikokoja.

Lisäaineiden ominaisuuksien fysikaalisten tutkiminen oli hyvin tähdellistä, koska lisäainesyöttimet on aikanaan hankittu hankintamääritysten mukaan tietyt fysikaaliset vaatimukset täyttävälle lisäaineille.

Lisäainetoimittajien lukumäärä on kuitenkin kasvanut vuosien saatossa, joten alkuperäisten hankintamäärittelyjen mukaisten lisäaineiden käyttö on vaikeutunut huomattavasti tai muuttunut peräti mahdottomaksi.

PE 2-tehtaan omalla henkilöstöllä oli jo vankka kokemuspohja siitä, mitkä lisäainetyypit olivat osoittautuneet vuosien saatossa kaikkein ongelmallisimmiksi luotettavan lisäainesyötön kannalta. Varsinkin lisäainesäiliöissä esiintyneet valumisongelmat ja syöttöruuvien tukkeutuminen lisäaineesta olivat usein havaittuja ongelmatekijöiltä syöttöprosessissa. Tehtaan henkilöstön tietämyksestä oli huomattavasti hyötyä ja apua syötön luotettavuusongelmiin perehdyttäessä. Tutkimuksen edessä päätettiin perustaa muun muassa tehtaan käyttöön lisäainepankki, johon kyseiset tiedot lisäaineista kerättäisiin tulevaisuutta varten.

Ominaisuuksien tutkiminen toteutettiin kokonaan Borealis Polymers Oy:n omassa laadunvalvontalaboratoriossa, koska toimittajilta kyseisiä tietoja ei ollut tarjolla. Lisäaineista otettiin näytteet lasipulloihin, ja ne toimitettiin laboratorioon testattaviksi.

7.1.1 Partikkelikoko

Partikkelikoon määrittäminen tehtiin ASTM D 1921 standardin mukaisella seulamenetelmällä. Taulukko 1 esittelee erikokoisten partikkelien prosentuaaliset osuudet näytteessä.

TAULUKKO 1. Partikkelikokojen vertailua (Borealis 2008.)

Seula mm	Antioksidanttiblendi 1 p-%	Antioksidanttiblendi 2 p-%	Tarttumisenestoaine p-%
8,0	32,2	10,1	14,6
4,0	55,6	54,4	85,2
2,0	7,2	25	0,2
0,85	2,1	2,5	0
0,355	1,3	4	0
0,106	0,2	3,2	0
Pan	1,4	0,7	0
APS	3,56	2,58	3,36

Taulukosta nro 1 nähdään että, vaikka mitatulla tarttumisenestoaineella ja antioksidanttiblendi 1:llä on lähes yhtä suuret keskimääräiset partikkelikoot, niin antioksidantilla partikkelikoko on jakautunut useampaan kategoriaan. Antioksidanttien koostumuksessa oli havaittavissa hyvin paljon erittäin hienoa pölyä jo näytteenotovaiheessa mikä antoi viitteitä helposti hajoavan materiaalin suuntaan.

Tarttumisenestoaineella partikkelikojakauma on pienempi. Kaikki testatun tarttumisenestoaineen partikkelikoot mahtuvat kolmeen suurimpaan luokkaan, mikä selittyy osaltaan lisäaineiden erilaisilla valmistusmenetelmillä.

Lisäaineiden ulkomuodosta oli havaittavissa, että testatuilla antioksidanteilla ja tarttumisenestoaineilla oli erilaiset valmistusprosessit.

Lisäksi laboratoriohenkilökunta mainitsi osan testatuista lisäaineista hajonneen testausvaiheessa hienoksi pölyksi mikä vaikeutti tarkan partikkelikoon määrittystä. Kaiken kaikkiaan käytettyjen lisäaineiden partikkelikoot vaihtelivat keskimääräistä kokoa vertaillessa aina alle 1 mm:n partikkeleista yli 3,5 mm:n partikkeleihin.

7.1.2 Sulamispisteet

Lisäaineiden sulamispisteiden määrytykset tehtiin DSC- laitteistolla, ISO 11357 standardiin perustuvalla menetelmällä. Tällöin useampaa komponenttia sisältävien antioksidanttiblendien kaikki sulamispisteet saatiin selville.

TAULUKKO 2. Sulamispisteiden ja sulamisalueiden vertailua. (Borealis 2008.)

	melting range (°C)
UV-stabilaattori 1	55–140
Antioksidanttiblendi 1	125 -178
UV-stabilaattori 2	55. 77
Neutralointiaine	160
Antioksidanttiblendi 2	116–187
Tarttumisenestoaine	80–110

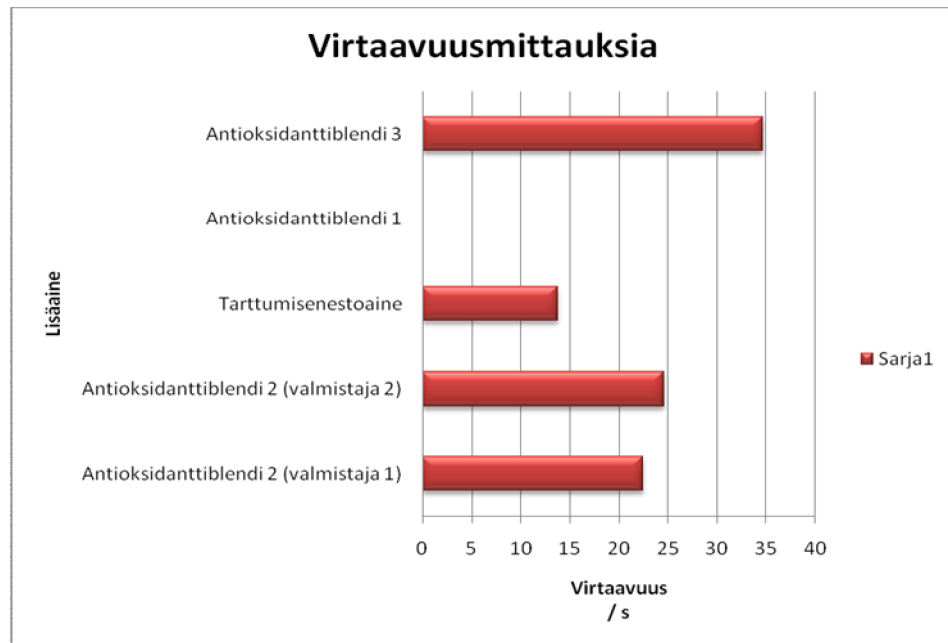
Taulukko 2. osoittaa että UV- stabilaattorit ovat selvästi alemmalla sulamisalueella kuin antioksidantit tai neutralointiaineet. Luvussa 7.1 analysoitiin lämpötilantureiden antamaa tietoa syöttimien lämpötiloista ja tulokset osoittivat, ettei merkittävää kitkalämpöä ja siitä aiheutuvaa sulamista tapahdu syöttimillä.

Tämän tiedon yhdistäminen lisäaineiden sulamispisteisiin vahvistaa aikaisempia johtopäätöksiä. Syöttöruuvien tukkeumatilanteissa syötetty lisäaine oli ollut useassa tapauksessa antioksidanttia. Sulamispisteiden vertailusta huomataan että antioksidanttien sulamisalueet ovat niin korkealla ,että mitatuissa lämpötiloissa ei sulaminen olisi todennäköistä.

7.1.3 Virtaavuus

Lisäaineille tehdyissä virtaavuustesteissä selvisi, että syötetyillä lisäaineilla oli hyvinkin erilaisia virtaavuusominaisuuksia. Virtaavuusmittaustausta ei tehty minkään standardin pohjalta vaan Borealoksen itse kehitetyllä menetelmällä.

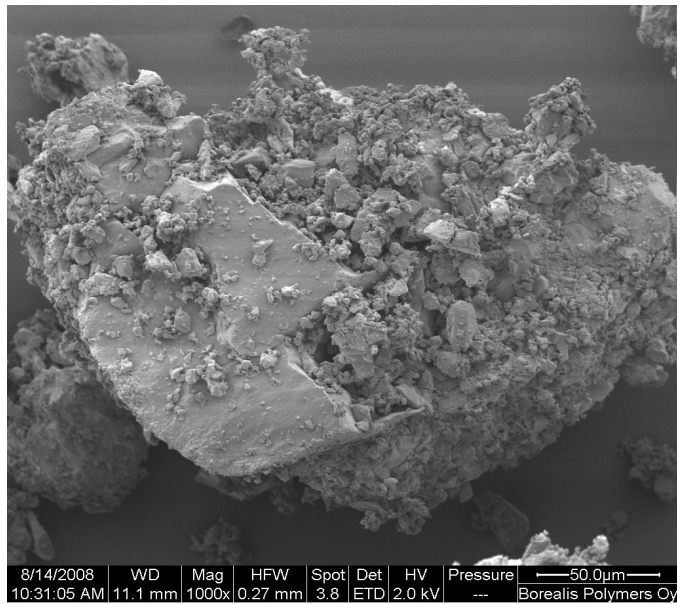
Tässä testissä määrätty määrä lisäainetta valutettiin suppilon läpi ja mitattiin valu-
vuuteen kulunut aika. Testi pystyttiin suorittamaan myös simuloidun täryn kanssa.
Näytettä tärytettiin tietty aika ennen virtaavuuden mittausta.



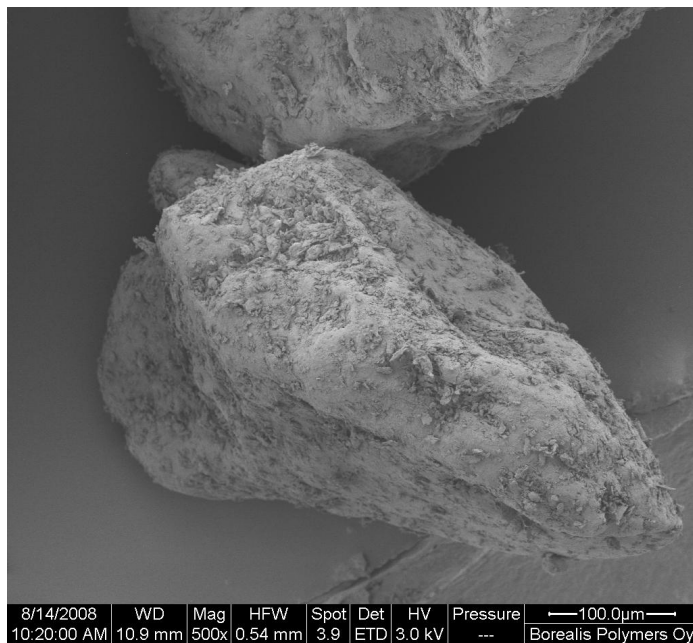
KUVIO 18. Lisäaineiden virtaavuuksia (Borealis 2008.)

Virtaavuustulokset näyttävät että mitatuilla antioksidanteilla kului selvästi pidempi
aika materiaalin virratessa sama matka kuin esim. testatulla tarttumisenestoaineella.
Tarttumisenestoaineella menee virtauksessa prosentuaalisesti vain n. 38 % siitä
ajasta, mikä antioksidanttiblendi 3:lla menee samaan matkaan kuvion 18 mukaan.

Kun etsittiin selitystä materiaalien vaihteleville fyysisille ominaisuuksille, päädyttiin
tutkimaan erilaisia vertailunäytteitä sekä optisen että elektronisen mikroskoopin
avulla. Kuvien vertailussa ovat huonosti virtaava ja helposti hajoava antioksidantti-
blendi ja hyvin virtaava antistaattinen aine. Kuviot 19. ja 20. ovat Borealis Poly-
mers Oy:n laboratoriohenkilökunnan ottamia.



KUVIO 19. SEM-kuva antioksidanttiblendistä, jonka pinnan irtopartikkelit heikentävät lisäaineen virtausominaisuuksia (Borealis 2008.)



KUVIO 20. SEM-kuva antistaattisesta aineesta, jonka pinta on selkeästi sileämpi kuin kuvion 19 antioksidantin. (Borealis 2008)

Aikaisemmin luvussa 6.2 käsiteltiin erilaisia häiriötekijöitä materiaalin virtauksessa siilorakenteissa. Jos ja kun lisäainemateriaali virtaa ulos syöttösäiliöstä suppilovirtauksella, onnistuneeseen säiliön tyhjennyksen yksi osatekijä on materiaalin virtaavuus. Kun samalla lisäainesyöttöinjälaitteistolla syötetään materiaaleja, joilla on hyvin erilaisia virtausominaisuuksia, ovat valuvuusongelmat syöttösäiliössä todennäköisempiä. Juuri valuvuusongelmat lisäainesyöttösäiliössä tuotiin esille tuotantohenkilökunnan toimesta tiettyjen lisäaineiden kohdalla. Valuvuusongelmat aiheuttavat laadullisia vaaratilanteita pelletointiprosessissa.

Mikäli valuvuusongelmista johtuen lisäainesyöttö keskeytyy hetkellisestikin, sillä voi olla kohtalokkaat seuraukset tuotteen kannalta. Tuote ei täytä asiakkaan materiaalivaatimuksia ja se joudutaan luokittelemaan alemman tason materiaaliksi.

7.1.4 Lisäaineiden hygroskooppisuus

Lisäaineista tutkittiin myös niiden hygroskooppiset ominaisuudet, jotta pystyttäisiin selvittämään, kuinka alttiita ne ovat kosteuden vaikutukselle. Ainoastaan tarttumisenestoaineena käytetty lisäaine osoittautui selvästi hygroskooppiseksi. Tällä lisäaineella ei oltu kuitenkaan havaittu syöttöongelmia.

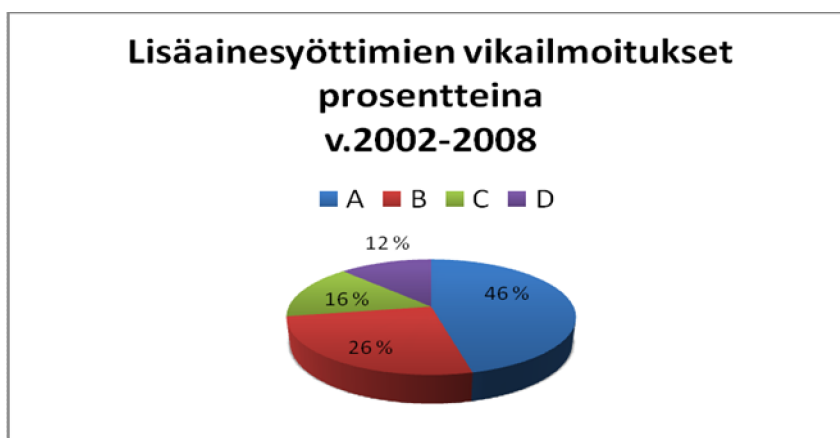
7.2 Lisäainesyöttimien vika- ja häiriöhistorian selvittäminen

Jotta kyettiin määrittämään kaikkien neljän lisäainesyöttimen syöttöluotettavuuden heikoimpia kohtia, oli vaakojen vikahistorian selvittäminen välttämätöntä. Lisäainesyöttimien vikahistorian selvittämisen työkaluina käytettiin esimerkiksi itse laadittuja tarkastuskortteja kullekin syöttimelle.

Tarkastuskorttien pohjalta laadittiin tilastotietoa ja paretoanalyysit jokaisen lisäainesyöttimen vika- ja häiriöhistorialle. Aineistoa oli saatavilla aina vuodesta 2002 lähtien.

Vuosien 2007 ja 2008 aikana tehtiin prosentuaalisesti selkeästi eniten vikailmoituksia A-, B ja C-syöttimiin (kuvio 21). D-lisäainesyöttimen vikahistoriasta ei ilmennyt epätavallista häiriöiden kasvua. Vikahistorian ilmoitukset D-vaakan kohdalla vastasivat normaalia käyttökunnossapitoa.

Vikahistoriasta selvisi että etenkin A-lisäainesyötin erottui runsailla häiriöilmoitusten lukumäärällä vuosien 2002-2008 välillä. Vikahistoriasta koottua taulukollista informaatiota tulkittaessa on huomioitava, että D-vaaka on hankittu A-, B- ja C-vaakoja myöhemmin.

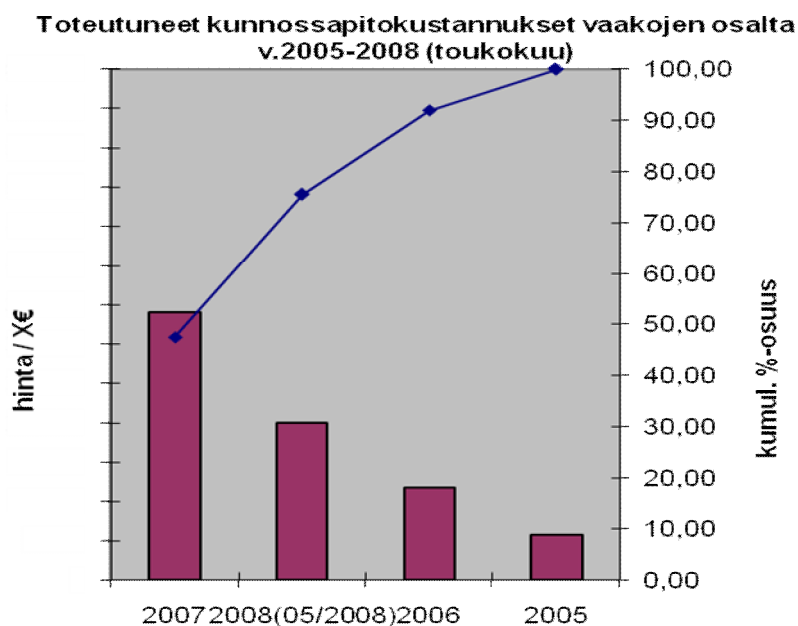


KUVIO 21. Vikailmoitusten prosenttiosuudet vuosina 2002-2008.

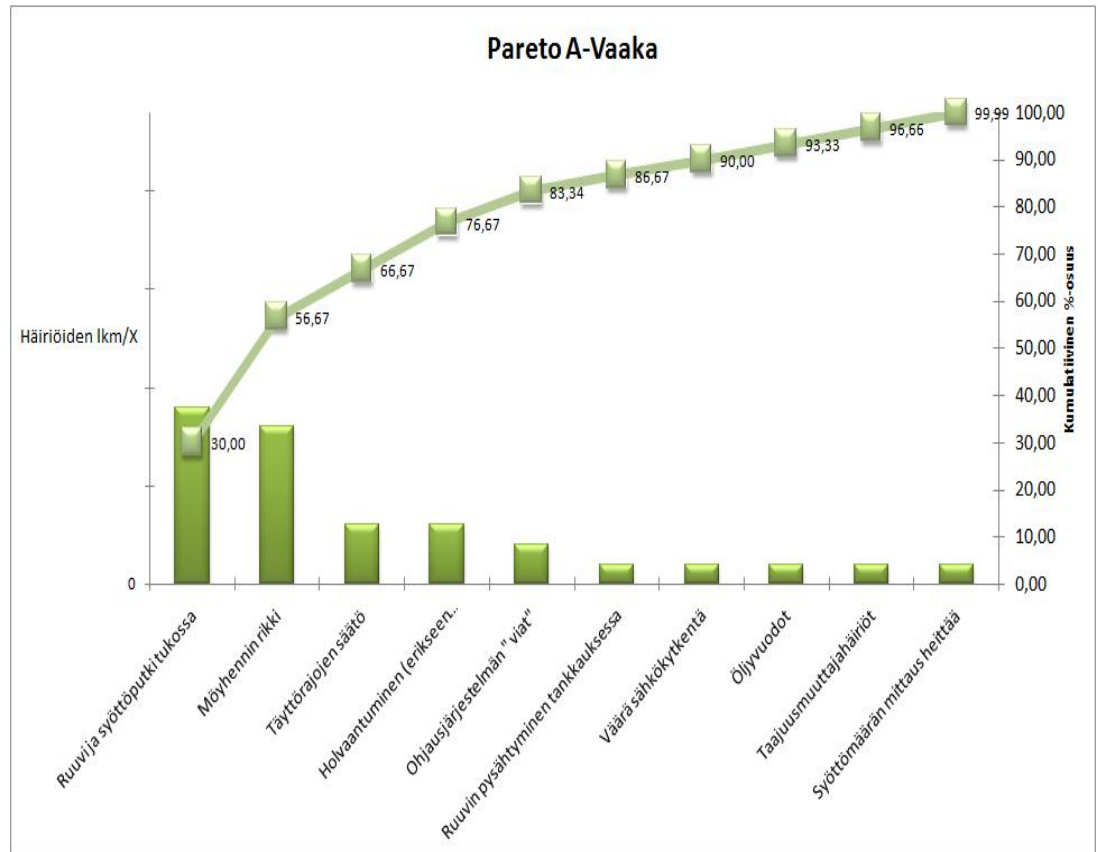
A-lisäainesyöttimen korkeaa vikailmoitusprosenttia selittää osaltaan se, että sen käyttöaste on muita lisäainesyöttimiä korkeampi. Vaikka PE 2-tehtaalla on valmius käyttää kaikkia syöttimiä yhdenaikaisesti, yleensä käytössä on kuitenkin kahdesta kolmeen syöttintä samanaikaisesti. Käytettävien syöttimien lukumäärä määräytyy tuotannossa olevan laadun mukaan.

Selkeää syytä vikailmoitusten lisääntymiselle vuosina 2007-2008 ei löydetty ja vaikuttavia tekijöitä voi olla useita, kuten esimerkiksi henkilöstön lisääntynyt aktivoituminen vikailmoituskäytännössä, tuotantomäärien kasvu tai syötettävien lisäaineiden ominaisuuksien selvä poikkeavuus toisistaan Lisäainesyöttimien vika- ja häiriöhistorioita kartoittaessa esille nousi kolme tekijää, joiden minimointi tai poistaminen tulevaisuudessa vähentäisivät syöttöhäiriöiden todennäköisyyttä ja täten myös parantaisivat lisäainesyötön luotettavuutta. Nämä kolme suurinta häiriötekijää olivat syöttöruuvien ja syöttöputken tukkeutuminen lisäaineesta, syöttösäiliössä pyörivän sekoittajan hajoaminen tai deformatioituminen käyttökelvottomaksi tai lisäaineen virtausominaisuuksista aiheutuneet holvautumismuodostumat syöttösäiliössä.

Kuvion 23 mukaan A-lisäainesyöttimen jopa 86,7 % kirjatuista häiriöilmoituksista koski joko ruuvin- ja syöttöputken tukkeutumista tai sekoittajan hajoamista. Näiden tekijöiden minimoimisella on selkeä vaikutus mahdollisimman luotettavan lisäainesyötön aikaansaamiseksi. Tämän lisäksi kunnossapitotöiden kustannukset vähenivät huomattavasti vuosittaisella tasolla. Kuviossa 22 on nähtävillä lisäainesyöttimien kunnossapitokustannuksia. Muut vikailmoitusten aiheet olivat satunnaisia häiriötekijöitä. Luvussa 7.4 käsitellään näitä häiriötekijöitä tarkemmin.



KUVIO 22. Lisäainesyöttimien toteutuneet kunnossapitokustannukset vuosina 2005-2007

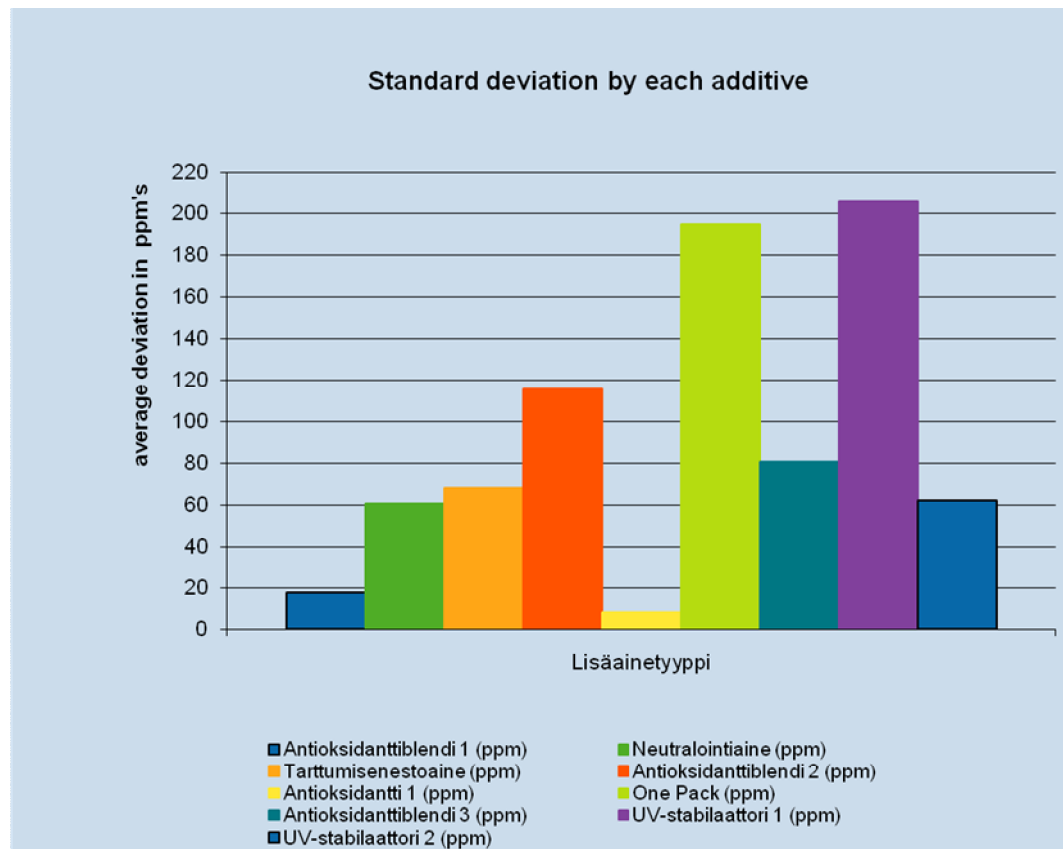


KUVIO 23. A-lisäainesyöttimen pareto kuvaaja

7.3 Lisäainesyöttöjen tarkkuus

Muun ohella tutkittiin vielä lisäainesyöttimien syöttötarkkuuksia. Onnistuneen lisäainesyötön varmistamiseksi oli tarkistettava lisäainesyöttimien mittatarkkuus. Syöttimet lähettävät reaaliaikaista informaatiota syöttömääristä ja materiaaliin virtauksesta prosessitietokoneelle, josta kerättiin tietoa analysointia varten.

Tilastotietoa kerättiin jokaiselta valmistetulta laadulta 20 viimeisen erän ajalta. Lisäainepitoisuudet syötetään prosessiin ppm:ien tarkkuudella.



KUVIO 24. Lisäainekohtainen keskihajonta lisäaineittain

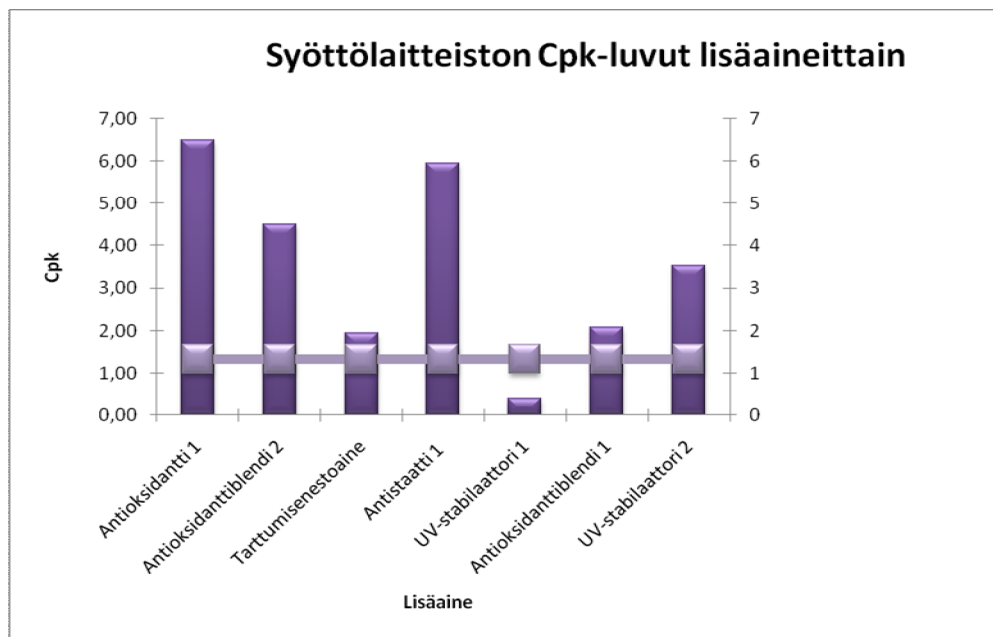
Suurimmat keskihajonnat laskettiin kuvion 24 mukaan olevan syötettävillä UV-stabilisointiaineilla. Tämä tulos osoittautui yllättäväksi, koska käytettyjen UV-stabilisointiaineiden kanssa ei havaittu samanlaisia ongelmia tuotannon puolelta kuin eräiden muiden syötettävien aineiden kanssa. Lisäaineet ovat mekaanisesti suunniteltu syöttämään vain tietyn partikkelikokoalueeseen kuuluvia materiaaleja. Syötetyt UV-stabilisointiaineet ovat partikkelikooltaan suurempia kuin vaakojen määrittelyssä listatut aineet. Antioksidanttien syöttö on hyvin tarkkaa kun otetaan huomioon syötetyt pitoisuudet kokonaisuudessaan. Myös lisäaineanalyysien tarkkuudessa ja toistettavuudessa on eroja.

Cpk- lukuja laskettiin lisäainekohtaisesti mittaamaan onnistunutta syöttöprosessia.

Yleisesti ottaen kaikilla lisäaineilla Cpk- luvut saavuttivat reilusti prosessin onnistumiseen vaaditun arvon, kuten kuvio 25 osoittaa.

Vain yksi UV-stabilointiaine jäi rajan alapuolelle. Tämän ei ollut koskaan kuitenkaan huomattu haittaavan syöttöprosessia, ja syöttötarkkuutta analysoitaessa todettiin tarkkuuden käytettävillä olevilla laitteilla olevan todella hyvä.

Lisäksi kartoitettiin vika- tai häiriötilanteessa syötettävänä olleita lisäaineita. Kartoituksessa selvisi, että yksi käytetty antioksidanttiblendi oli ollut häiriötilanteessa syötettävänä vikaantuneella laitteella useammin kuin muut lisäaineet.



KUVIO 25. Cpk-luvut jaoteltuna lisäaineittain

7.4 Lisäainevaakojen mekaaniset ongelmat

Lisäaineensyöttöluotettavuuteen vaikuttaa oleellisesti syöttölaitteiston kunto ja mekaaninen toimivuus. Jo vika- ja häiriöhistoriaa selvitettyä löydettiin kaksi

isompaa mekaanisten vikojen kokonaisuutta, jotka olivat esiintyneet selkeästi useammin kuin muut mekaaniset ongelmat. Ruuvien tukkeutuminen ja pinnoittuminen sekä sekoittajan hajoaminen olivat vaikuttaneet aikaisemmin luotettavan lisäainesyötön aikaansaamiseksi.

7.4.1 Syöttöruuvien tukkeutuminen ja pinnoittuminen

Syöttöruuvien pinnoittumista seurattiin sekä säännöllisin ajanjaksoin ja tarkastuksin että pitempiaikaisseurannan avulla. Tosin on muistettava, että syöttölaitteistot olivat tuotannon käytössä koko tutkimuksen ajan, jolloin syöttölaitteiston kunnan määritykseen vaikuttivat PE 2-tehtaan tuotannolliset aikataulutukset. Ruuvien pinnoittuminen oli hyvin selvästi havaittavissa pienenkin syöttöajan jälkeen.

Lisäaineruuvien havaittiin pinnoittuneen A-, B- ja C-lisäainesyöttimillä. D- syöttimen avoimilla spiraaliruuveilla ei tapahtunut ruuvien pinnoittumista. Koska A-, B- ja C-syöttimillä oli käytettävissä kahden eri syöttökapasiteetin ruuvia, oli selvitettävä mikäli toinen ruuvigeometria pinnoittuisi helpommin. Tällaista eroavaisuutta tai ruuvigeometrian vaikutusta ei havaittu. Lisäksi tarkasteltiin massavirtauksen ja ruuvien pyörimisnopeuden vaikutusta pinnoittumiseen. Näilläkään ei havaittu olevan suurta merkitystä ruuvien pinnoittumisen kannalta.

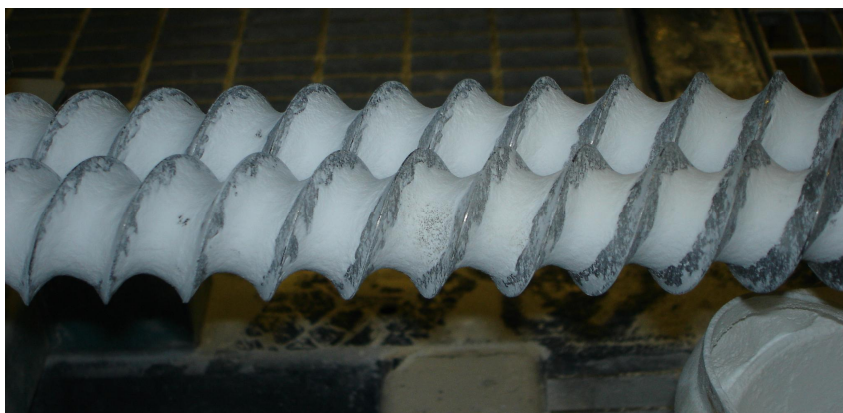
Pinnoittunut lisäaine oli kiinnittynyt syöttölaitteistoon hyvin tiukasti, eikä puhdistus ongelmatilanteissa onnistunut enää ilman voimakkaampia puhdistusmenetelmiä. Ruuveja voitiin puhdistaa esimerkiksi pähkinäpuhaltamalla.

Pinnoittumisen aiheuttavat lisäaineet tai lisäainetyypit kyettiin silti ratkaisemaan. Pinnoitteesta saatiin otettua näyte laboratorion testattavaksi, jotta pystyttiin varmasti määrittämään pinnoituksen aiheuttanut lisäaine. Pieni tai keskisuurikin lisäainekerrostuma ruuvilla vaikuttaa syötön tehokkuuteen. Kuviossa 26 lisäaineruuvista löytyi jo alkanutta hienojakeen kertymistä. Pahimmissa häiriötapauksissa ruuvit

olivat pinnoittuneet lisäaineesta täysin umpeen, jolloin materiaali ei enää virtaa ekstruuderille ja lisäaineensyöttö on katkennut.

Lisäainesyöttimien massavirtoja tutkittiin lisäksi ruuvien pyörimisnopeuden funktiona, jotta nähtäisiin, onko ruuvien pinnoittuminen havaittavissa prosessitietokoneen keräämästä informaatiosta. Analysoitavaksi valittiin kaksi toisistaan riippumatonta syöttötilannetta; ensimmäisessä tilanteessa lisäaineensyöttö onnistui normaalisti eikä ongelmia esiintynyt, ja toisessa lisäaineensyöttö on loppunut kesken ruuvien pinnoituttua umpeen lisäaineesta. Molemmissa tutkimuksissa oli käytetty saman raaka-ainevalmistajan tuotetta samasta valmistuserästä ja lisäainesyötön massavirran asetusarvot olivat olleet samat.

Molemmissa tapauksissa massavirtojen ja pyörimisnopeuksien informaatio kerättiin tasaisin väliajoin yhden vuorokauden aikana. Kuvaajat osoittavat selkeästi, kuinka ruuvien pyörimisnopeudet heittelevät aikaan saadakseen saman massavirtauksen kuin aikaisemmin. Lisäksi tukkeumatilanteen kaaviossa pyörimisnopeuksien keskiarvo asettuu hajanaisten nopeus- ja massavirta-arvojen joukkoon eikä arvokertymän keskelle. Lisäksi tukkeumatilanteen kaaviosta huomataan, kuinka pieninkin massavirtauksen aikaansaamiseksi ruuvinopeudet ovat olleet selkeästi yli keskiarvon. Kuviot ovat nähtävillä liitteessä 4.



KUVIO 26. Lisäaineen pinnoittama syöttöruuvi. (Borealis 2008.)

7.3.2 Lämpötilamittaukset lisäainesyöttimillä

Tutkittaessa lisäaineiden mahdollista sulamista ja termistä hajoamista aineenkuljetusruuvilla lisäainesyöttimissä, käytettiin apuna i-button lämpötila-antureita.

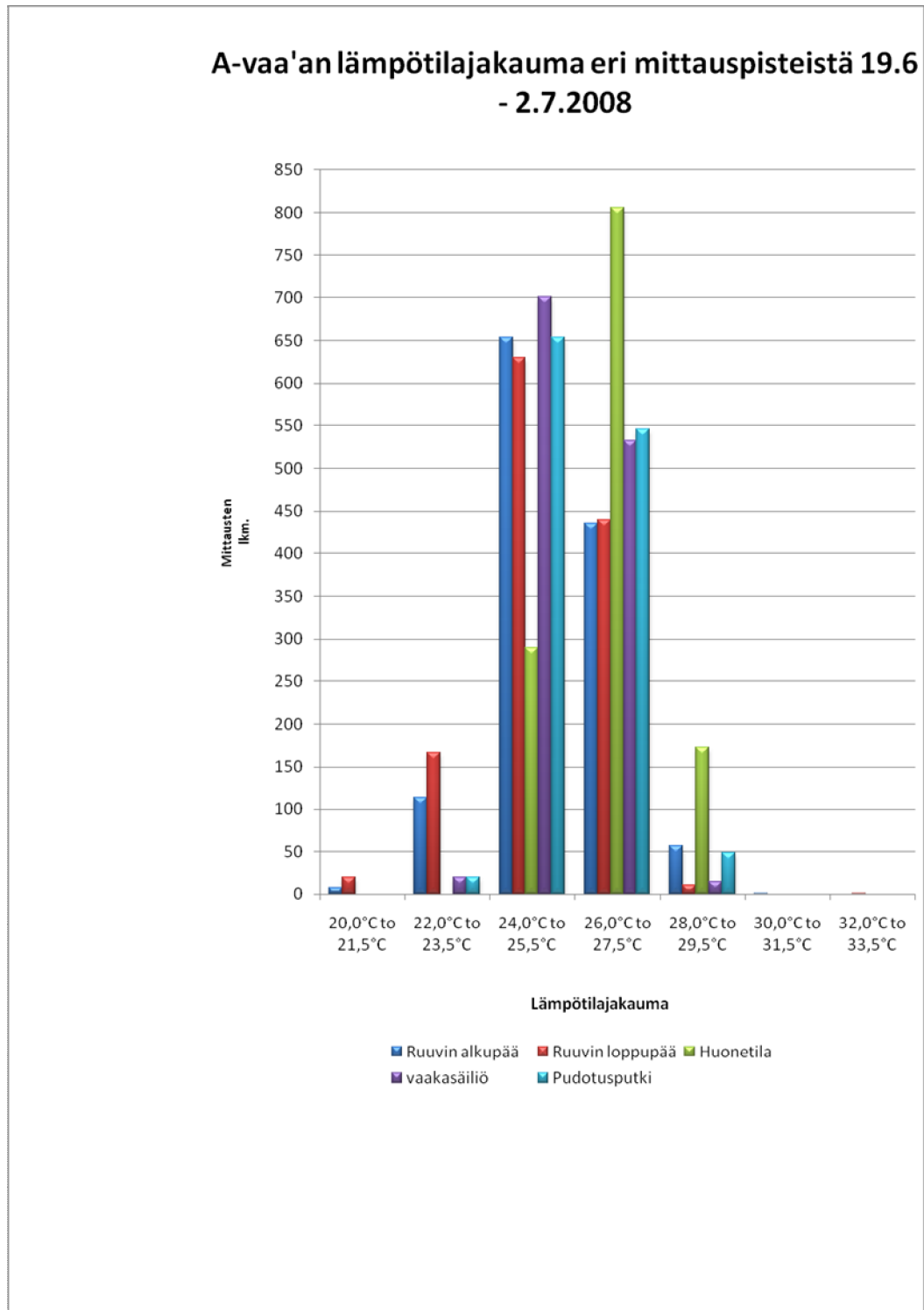
Lämpötilamittauksissa käytettiin i-button sarjan mallia DS 1920, joka on digitaalinen termometri. Anturin tarkemmat tekniset tiedot löytyvät liitteestä 2. Tämä lämpömittari kerää lämpötilatietoja omaan muistiin ympäristöstä tai esineestä johon se on kiinnitettyä halutulla aikavälillä. Keräysaikavälit voivat vaihdella suurestikin. Omissa mittauksissa käytettiin 15 minuutin näytteenottotaajuutta kahden viikon ajan. Käytetyn anturin lämpötilamittausväli vaihtelee välillä -55°C ja 100°C . (Maxim-IC 2009.)

Lämpötila-anturit sijoitettiin kahdelle lisäainevaaoalle samoihin kohtiin, jotta tulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia. Antureita oli viisi kpl:ta vaakaa kohti. Anturit asennettiin A ja C-vaaoille, jotta nähtäisiin vaikuttaako toimilaitteen sijainti mittaustuloksiin. Anturit sijoitettiin seuraavanlaisesti:

1. lisäaineruuvien alkupää
2. lisäaineruuvien loppupää
3. huonetila

4. vaakasäiliö
5. pudotusputki prosessiin

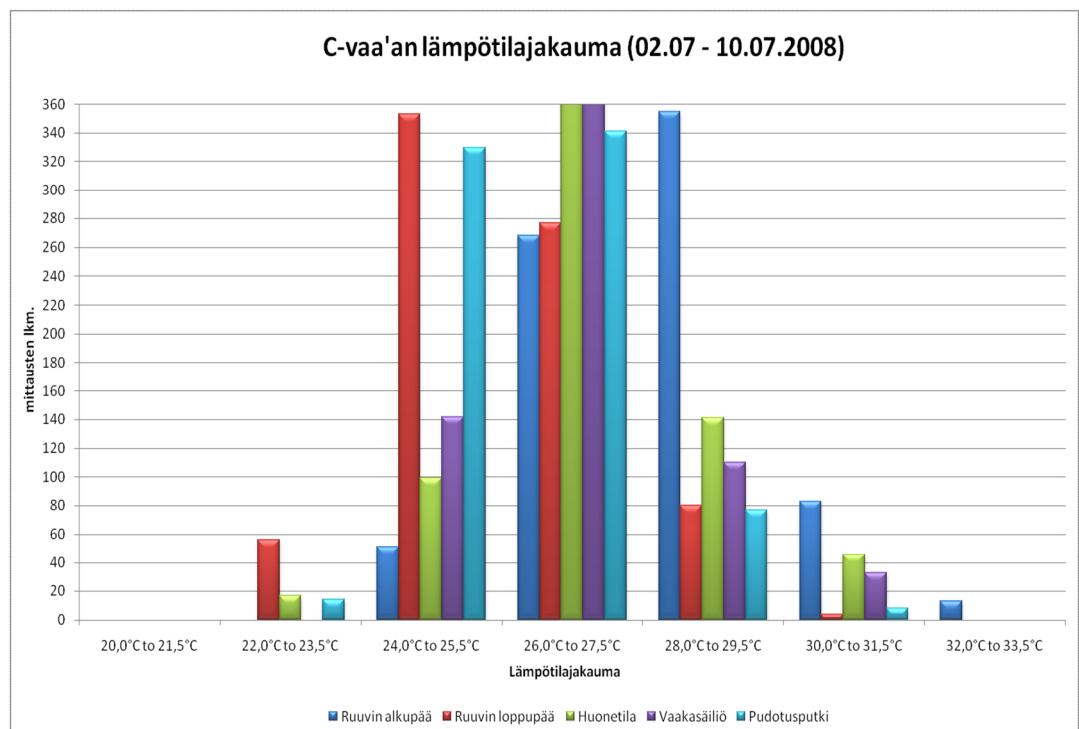
Lämpötilamittausten tulokset on esitettyinä kuvioissa 27 ja 28.



KUVIO 27. A-vaakan lämpötilamittaukset.

Kuten lämpötilamittaukset osoittavat, lämpötilajakauma ei osoita mitään merkkiä lämpötilojen noususta lisääineensyötön aikana. Suurin osa mitatuista lämpötiloista asettui normaalien kesälämpötilojen piiriin ja korkeimmiksi mitatut arvot jäivät alhaiselle tasolle. A-vaajan korkein mittausrvo sijoittui 32,0°C:n ja 33,5°C:n välille.

Jos tutkitaan erityisesti ruuville syntyviä lämpöjä, niin huomataan että alku- ja loppupään lämpötilat eivät juuri poikkea toisistaan. Tämä puolustaa oletusta siitä, että lisääinetta syötettäessä materiaalin sisäinen kitka ei aiheuta merkittävää lämpenemistä ja sulamista ruuville. Mainittakoon vielä, ettei lisääinesyöttimillä ole mitään ulkopuolista lämmitystä, joka edesauttaisi sulamisprosessia, kuten esimerkiksi ekstruudereilla. Mittausajankohdalle sattui myös lisääineensyöttöhäiriöitä, joiden oltiin aikaisemmin oletettu johtuneen ruuvin ja syöttöputken tukkeutumisesta sulaneen lisääineen vaikutuksesta.



KUVIO 28. C-vaajan lämpötilamittaukset.

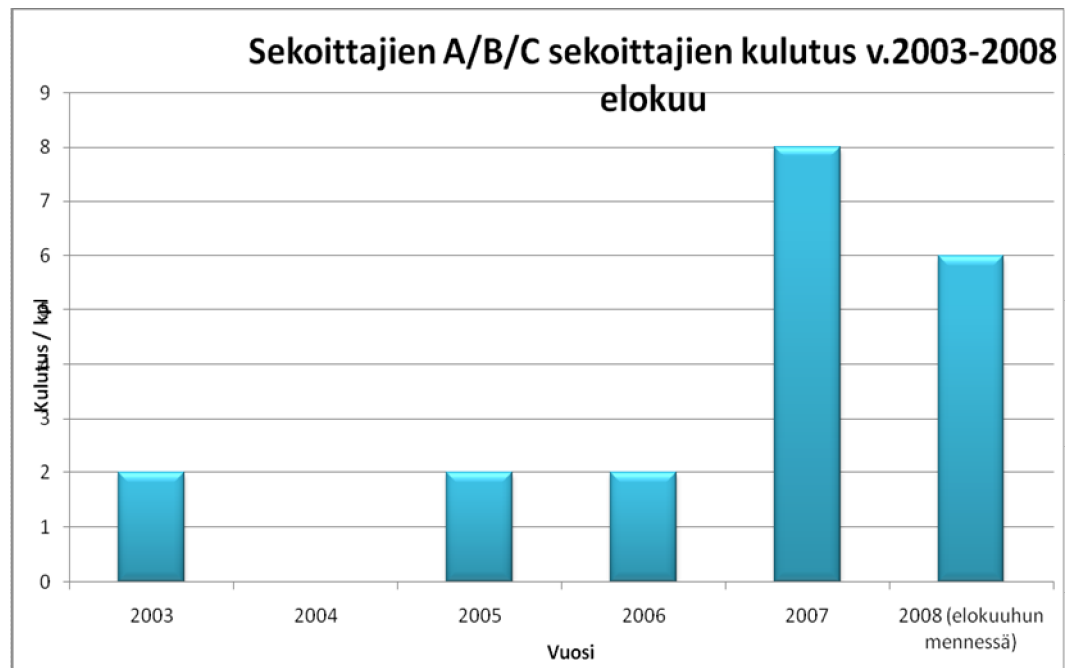
Myös C-lisäainevaakan lämpötilamittauksista nähdään, että merkittäviä lämpötilanousuja ei ollut havaittavissa. Suurimmat lämpötilat asettuivat myös C-vaakalla hieman 30 °C:n yläpuolelle. Molemmilla lisäainesyöttimillä syötettiin saman raaka-ainetoimittajan samaa granulaattimaista lisäainetta mahdollisimman hyvän vertailun saamiseksi.

Lämpötilamittausten perusteella voidaan todeta, että suurelta annosteluruuvien nopeudet eivät edesauta lisäaineiden termistä hajoamista ruuvilla. Käytetyistä lisäaineista selvitettiin myös sulamispisteet, jotka tukivat oletusta, että mitatut lämpötilat ruuveilla eivät ole riittäviä raaka-aineiden sulattamiseen. Täten lisäaineiden termiset ominaisuudet eivät ole syy lisäainesyöttimien luotettavuuden huonontumiseen. (liitteessä 2 mittauspäiväkirjat molemmilta lisäainevaaoilta)

7.4.2 Lisäainesyöttimien sekoittajien ongelmat

Lisäainesyöttimien vikahistorian selvityksen yhteydessä havaittiin lisäainevaakojen syöttösäiliön sisällä olevan materiaalin sekoittajien hajoamisen haitanneen syöttöprosessia usein. Sekoittajien funktiona on pitää syöttimessä oleva materiaali liikkeessä, jotta vältyttäisiin valumisongelmilta. Tämäkin ongelma koski vain A-, B- ja C-lisäainesyötintä. D- syöttimen vertikaalisuunnassa pyörivän sekoittajan kanssa ei ollut havaittu vastaavia ongelmia.

Sekoittajien kulutus lukumääräisesti pystyttiin selvittämään vuosilta 2003-2008, ja tulokset esitetty kuviossa 29. Myös sekoittajien kulutus lisääntyi vuosina 2007 ja 2008 (elokuuhun mennessä) merkittävästi vuosiin 2003- 2006 verrattuna. Kuitenkaan edes vuosina 2003-2008 kulutus ei vastaa normaalia käyttökulumista. Kaiken kaikkiaan 40 % sekoittajista käytettiin vuonna 2007.



KUVIO 29. Sekoittajien kulutus v. 2003-2008.

Sekoittajien yleisin deformatiivisuuden tai hajoamisen syy oli rakenteen vääntymisen tai katkeamisen käytön aikana. Laitevalmistajalla ei ollut tarjota muunlaista sekoittajamallia, joten vääntyneiden tilalle tilattiin aina vastaavanlainen. Itse sekoittajan rakenne todettiin heikoksi lisääainedensyöttöprosessiin. Hajoamistilanteissa osia sekoittajasta repesi kokonaan irti, tai rakenne alkoi vääntyä muodottomaksi.

Sekoittajan muodottomuudesta tai hajoamisesta seurasi materiaalivirtauksen heikkenemistä, ulkopuolisten osien kulkeutumista syöttöruuveille tai muita häiriöitä prosessissa. Rakenteen heikoimmat osat löytyivät sekoittajan pääakseliin liitetyistä sekoitusrivoista ja muista akselin liitossaumoista. Itse akseli säilyi ehjänä vaikka muuten sekoittaja oli vääntynyt muodottomaksi. Kuviossa 30 on nähtävissä sekoittajan vääntynyttä muotoa.



KUVIO 30. Vääntynyt sekoittaja.

8 TULOSTEN ANALYSOINTI JA POHDINTA

8.1 Päätelmiä tutkimusten tuloksista

Tutkimuksissa todettiin lisäaineiden ominaisuuksien vaihtelun vaikuttavan lisäaineensyötön onnistumiseen. Erityisesti huonosti virtaavat ja helposti hajoavat lisäaineet aiheuttavat ongelmia ja hauraat lisäainemateriaalit pölyävät ja pinnoittavat syöttölaitteistoa, jolloin ne luovat pohjaa mekaanisten ongelmien syntymiselle ja täten myös syöttökatkoksille. Hauraat materiaalit ovat lisäksi haitallisempia työterveydelle ja turvallisuudelle hienon pölyn syntymisen vuoksi.

Luvun 7.3.2 elektronimikroskooppikuvista nähdään, kuinka lisäaineiden pinnan rakenne konkretisoituu ja vahvistaa jo aikaisemmin tehtyjä päätelmiä ongelmamateriaaleista.

Erityisesti materiaalin hauraus osoittautui suurimmaksi eroavaisuudeksi eri raakaainetoimittajien välillä samalla lisäaineella. Projektin aikana tuotiin lisäaineiden fyysisten ominaisuuksien vaihtelu myös muun organisaation tietoon, jotta pystyttäisiin

tulevaisuudessa vertailemaan eri raaka-ainetoimittajien välisiä eroja. Tällöin voitaisiin optimoida prosessissa käytettävät lisäaineet niiden ominaisuuksien mukaan, jotka sopivat parhaiten lisäaineidensyöttölaitteistolle. Borealis Polymers Oy:n olisi-kin tärkeää asettaa lisää laatuvaatimustasoja omille raaka-ainetoimittajilleen, jotta paras mahdollinen laatu saavutettaisiin lopputuotteessa.

Lisäaineiden virtaavuusominaisuuksien parantamiseen on tarjolla teollisuudessa useita erivaihtoehtoja. Esimerkiksi fluidisointilaitteistoilla, siilotykeillä, täryttimillä, säiliöiden pinnoituksilla ja erilaisilla mekaanisilla hämmentimillä voidaan parantaa jauhemaisen aineen virtaavuutta. Tämän projektin yhteydessä päädyttiin parantamaan omaa jo olemassa olevaa laitteistoa uusien komponenttien hankkimisen sijaan.

Mekaanisten ongelmien syntymiseen osasyynä vaikutti hauraiden lisäaineiden hajoaminen, jolloin hienot lisäainepartikkelit tarttuvat laitteiston pintaan aiheuttaen pahimmillaan syöttökatkoksia. Mikäli lisäaineiden rakenteeseen ei saada merkittäviä parannuksia, olisi hyvä varmistaa muilla keinoin syöttöruuvien kunnan tilanne säännöllisin väliajoin. Tällä pystyttäisiin minimoimaan ruuvien täydellistä umpeutumista.

Sekoittajan heikko rakenne ei selvästikään ole sopiva käytössä olevaan syöttöprosessiin. Jo pelkästään sekoittajien kulutukseen puuttuminen vähentää tulevaisuudessa kunnossapitokustannuksia ja vähentää tehdashenkilökunnan työmäärää.

Tutkimuksen yhteydessä todettiin, ettei prosessiolosuhteilla ole huomattavaa vaikutusta luotettavan lisäaineensyötön aikaansaamiseksi. Ainoastaan sääolosuhteiden vaikutusta voidaan pohtia.

Vaikka suurin osa käytetyistä lisäaineista ei ollutkaan hygroskooppisia, kuten luvussa 7.1.4 todettiin, voidaan silti pohtia kosteuden vaikutusta prosessilaitteiston osissa. Mikäli kosteus on tiivistyneenä lisäaineen imulaitteiston mekaanisiin osiin, voidaan pohtia, pääseekö se vaikuttamaan itse syöttötilanteeseen esimerkiksi suu-

rentamalla kitkaa lisäainepartikkelien ja säiliömateriaalin välillä. Tällä voisi olla vaikutusta materiaalin virtausominaisuuksiin. Tätä ominaisuutta ei pystytty kuitenkaan testaamaan.

8.2 Toimenpide-ehdotukset

Edellisissä luvuissa käsiteltyihin ongelmiin esitettiin toimenpide-ehdotuksia jo kesän 2008 aikana. Osa ehdotuksista on jo toteutettu, ja seuranta näiden muutosten osalta jatkuu edelleen. Tärkeimpien toimenpide-ehdotusten joukossa oli mm. seuraavia asioita:

1. sekoittajien rakenteen vahvistaminen
2. lisäainesyöttimen tärkeiden osien teflonointi
3. selvitetään rakenteeltaan erilaisten sekoittajien hankinta- ja asennusmahdollisuus
4. tarkennusten ja vaatimusten lisääminen lisäaineiden hankintaominaisuuksiin
5. määräaikaishuudotukset ja seuranta lisäainesyöttimille

Sekoittajan rakennetta vahvistettiin jo heinäkuussa 2008, ja tarkoituksena on saada A-,B- ja C-syöttimelle vahvistetut mallit käyttöön mahdollisimman pian. Ne vahvistetut sekoittajat, jotka ovat olleet käytössä heinäkuusta 2008 lähtien, ovat kestäneet syöttöprosessia vaurioitumatta. Vahvistettuja sekoittajia ei tilattu alkuperäiseltä valmistajalta, vaan muutostyöt tehtiin itse. Tämä ratkaisu pysyy käytössä, kunnes vertikaalisen sekoittajan hankintatilanne selvenee.

Yhden lisäainesyöttimen ruuvit, syöttöputket ja syöttösäiliö teflonoitiin muiden prosessin muutostöiden yhteydessä syyskuussa 2008. Lyhyenkin seurannan perusteella voidaan todeta, että ruuvien ja muiden syöttölaitteiston osien pinnoittuminen on ollut vähäisempää, mutta materiaalien virtausominaisuuksien parantumiseen ei muutoksella ole ollut suurta vaikutusta.

Kaikkien edellä mainittujen ehdotusten lisäksi on luotava laskenta-
automaatiojärjestelmä, jonka perusteella lopullinen tuote-erien luokittelu tapahtuu.

9 YHTEENVETO

Luotettavaan lisäainesyöttöön vaikuttaa moni tekijä teollisuusympäristössä aina syötettävästä raaka-aineesta mekaanisiin toimilaitteisiin. Tämän työn yhteydessä paneuduttiin mahdollisimman kokonaisvaltaisesti lisäainesyöttöjärjestelmän toimintaan ja siihen vaikuttaviin tekijöihin. Tutkimusten aikana esille nousi tekijöitä, jotka olivat häirinneet luotettavaa ja tarkkaa syöttöprosessia. Näihin ongelmiin selvitettiin perussyöt ja valmisteltiin toteutettavat muutokset. Esimerkiksi lisäainesyöttimien sekoittajien mekaaniset rakennemuutokset nostivat syöttimien luotettavuustasoa merkittävästi, koska juuri sekoittajien vikaantuminen oli aikaisemmin häirinnyt lisäainesyöttöä huomattavalla tavalla. Myös ruuvien tukkeutumisen todellisen syyn löytäminen ja todistaminen edesauttoivat asianmukaisten korjaustoimenpiteiden suunnittelussa. Nämä tiedot yhdistettynä lisäainemateriaalien fyysikaalisiin testauksiin luovat pohjan laajalle lisäainesyöttöprosessin tuntemukselle. Vastaisuudessa uusien ongelmatilanteiden yhteydessä on helpompi paikantaa ongelmanaiheuttaja.

Yksi tärkeimmistä asiakokonaisuuksista tämän tutkimuksen yhteydessä oli syötettävän lisäaineen laadun tarkkailu. Nyt voidaan seurata eri lisäainevalmistajien toimittamien aineiden eroavaisuuksia ja varautua niiden syöttämisestä aiheutuviin muutostilanteisiin jo etukäteen.

Vaikka teollisuuden raaka-aineiden tarjonta on valtaisa, kyetään yrityksen omalla toiminnalla seuraamaan raaka-aineiden muutoksia. Täten syöttöprosessin onnistumista voidaan täydentää toimittajien tarjoaman datan lisäksi omien tutkimusten tuloksilla.

Online- luokitteluun siirtyminen tuo mukanaan mahdollisuuksia keskittää kehittämistä uusille prosessin osa-alueille, koska pystytään luotettavan syöttölaitteiston avulla hoitamaan pitkät saman tuotteen valmistuskampanjat. Tarkka ja luotettava syöttölaitteisto sulkee pois myös inhimillisistä tekijöistä johtuvat virheelliset tuotterien luokittelut, koska virhe-tekijä voi ilmaantua missä tahansa näytteenkäsittelyvaiheessa aina näytteenotosta sen analysointiin.

Kokonaisuudessaan luotettavuuskartoituksessa onnistuttiin ratkaisemaan useita online-luokitteluun siirtymiseen estäviä tekijöitä ja pystyttiin säilyttämään asetetut aikatauluvaatimukset. Kaiken kaikkiaan lisäainesyöttöprosessin luotettavuuskartoitus vahvisti ns. jatkuvan prosessien parantamisen mallia, jossa pyritään kehittämään prosesseja jatkuvasti, eikä vain ongelmatilanteiden ilmennyttyä.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Ebewele, R. 2000. Polymer Science and Technology. CRC Press

Järvelä, P., Syrjälä, K., Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. 3. Painos. Tampere:
Plastdata

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy

Kurri, V., Mälen, T., Sandell, R., Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet.
3. tarkistettu painos. Hakapaino Oy

Zweifel, H. 2001. Plastics Additives Handbook. 5th Edition. Munich: Hanser Publishers

Elektroniset lähteet

Backluns, P., Engström, K., Henricks-Eckermann, M-L. Kemikaalit ja työ/Muovit ja lämpöhajoaminen.[viitattu 15.12.2008]. Saatavissa:

<http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Aihesivut/Kemikaaliturvallisuus/Valittua+keaalitieto/Kemikaalit+ja+tyo/sisallysluettelo.htm>

Borealis Polymers. 2009.[viitattu 22.2.2009]. Saatavissa: www.borealisgroup.com

CIBA Specialty Chemicals. 2008. Polymer Additives Product forms.[viitattu 20.12.2008]. Saatavissa:

http://www.ciba.com/polymer_additives%5B1%5D-2.pdf

Jauhetekniikka Oy., Miten saavutetaan luotettava materiaalin purku silloista ja säiliöistä- Strategia ratkaisun valintaan. [viitattu 15-1-2009]. Saatavilla:

<http://www.jauhetekniikka.fi/pdf/Materiaalin%20purku%20siloista%20ja%20s%20E4ili%20F6st%20E4.pdf>

Kemia-lehti 2005. Borealis uskoo muovituotannon tulevaisuuteen. [viitattu 21.2.2009]. Saatavissa:

http://www.kemia-lehti.fi/pdf/Kemia_2005_8_10_12%20Borealis.pdf

Maxim-IC. 2009. [viitattu 20.2] Saatavissa: http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2818

Paju, M. 2004. Polymeeriset eristeet ja niiden kunnossapito. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. [viitattu 16.12.2008] Saatavissa:

<http://www.ee.lut.fi/lab/sahkomarkkina/>

Peltonen, H.2007. Polymeerien kemiallinen korroosio ja säänkestävyys. MOL-6600 Polymeerien vaurioanalyysi ja tutkimusmenetelmät, luento 6. Tampereen teknillinen yliopisto. [viitattu 20.12.2008]. Saatavissa:

http://www.tut.fi/plastics/liitteet/MOL6600/MOL6600_luento6.pdf

Peltonen, H.2007. Polymeerien lisäaineet. MOL-6600 Polymeerien vaurioanalyysi ja tutkimusmenetelmät, luento 8. Tampereen teknillinen yliopisto. [viitattu 20.12.2008]. Saatavissa:

http://www.tut.fi/plastics/liitteet/MOL6600/MOL6600_luento8.pdf

Muut lähteet

Borealis Polymers Oy, 2008. Prosessiohjeet, tietokannat ja valokuvat.

Laaksonen, H.2008. Polymeerien hajoaminen ja vanheneminen. Luentomateriaali
Lahden ammattikorkeakoulu; Muovien kemian jatkokurssi 3. [viitattu 15.12.2008]

LIITTEET

Liite 1: Irganox MD 1024 CIBA Specialty for Chemicals

Liite 2: I-button Data sheet

Liite 3: Lämpötilamittaukset

Liite 4: Massavirta ruuvien pyörimisnopeuden funktiona, tukkeumatilanne

Liite 5: Massavirta ruuvien pyörimisnopeuden funktiona, normaalitilanne

Liite 6. CIBA Polymer Additive Product Forms

Ciba Inc.



Ciba® IRGANOX® MD 1024

Metal Deactivator and Antioxidant for Wire and Cable Applications

Characterization	IRGANOX MD 1024 is a metal deactivator and primary (phenolic) antioxidant.	
Chemical name	2, 3-bis [3-(3, 5-di- <i>t</i> -butyl-4-hydroxyphenyl) propionyl] propanoic acid.	
CAS number	32687-78-8	
Structure	IRGANOX MD 1024	
Molecular weight	553 g/mol	
Applications	Polyethylene wire and cable resins Filled polyolefins Polyolefins in contact with copper NBR and hoses X-SBR SBR	
Features/benefits	Styrene homo- and copolymers As the world's most widely applied metal deactivator for telecommunications wire and cable IRGANOX MD 1024 provides unmatched extraction resistance and processing stabilization. Used alone, or with other phenolic antioxidants, such as IRGANOX 1010, IRGANOX MD 1024 is recommended for the stabilization of polymers in contact with copper both during processing and long-term service.	
Product forms	Code: Appearance:	IRGANOX MD 1024 White to slightly yellowish crystalline powder
Guidelines for use	For any application in contact with copper during processing or long-term service: 0.1-0.2% IRGANOX MD 1024.	
Physical Properties	Melting Range (°C)	221-232 °C
	Flashpoint (°C)	> 180
	Density (20°C)	1.11 g/cm ³
	Vapor Pressure (20°C)	ca. 1x10 ⁻¹⁰ Pa
	Bulk density	320-380 g/l
	Solubility (20°C)	g/100g solution
	Acetone	4
	Benzene	0.1
	Chloroform	0.4
	n-hexane	< 0.01
	Methanol	4
	Water	< 0.01

Deliverable Rev. Dec 1 2005 - Rating Date Rev. 2005 - Product Name IRGANOX MD 1024 - Copyright © 2004 Ciba Inc.

page 1

Handling & Safety	In accordance with good industrial practice, handle with care and prevent contamination of the environment. Avoid dust formation and ignition sources. For more detailed information please refer to the material safety data sheet.																				
Registration	IRGANOX MD 1024 is listed on the following inventories: <table border="0"> <tr><td>Australia</td><td>AICS</td></tr> <tr><td>Canada</td><td>DSL</td></tr> <tr><td>China</td><td>IECSC</td></tr> <tr><td>Europe</td><td>REACH</td></tr> <tr><td>Japan</td><td>ENCS</td></tr> <tr><td>Korea</td><td>ECL</td></tr> <tr><td>New Zealand</td><td>TSA</td></tr> <tr><td>Philippines</td><td>PCDS</td></tr> <tr><td>Switzerland</td><td>BUMAL</td></tr> <tr><td>USA</td><td>TSCA</td></tr> </table> <p>IRGANOX MD 1024 is approved in many countries for use in food contact applications. For detailed information refer to our Product List, or contact your local sales office.</p>	Australia	AICS	Canada	DSL	China	IECSC	Europe	REACH	Japan	ENCS	Korea	ECL	New Zealand	TSA	Philippines	PCDS	Switzerland	BUMAL	USA	TSCA
Australia	AICS																				
Canada	DSL																				
China	IECSC																				
Europe	REACH																				
Japan	ENCS																				
Korea	ECL																				
New Zealand	TSA																				
Philippines	PCDS																				
Switzerland	BUMAL																				
USA	TSCA																				

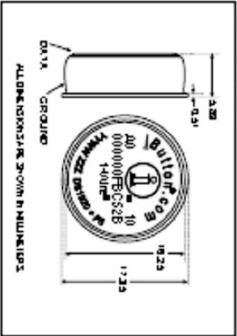
IMPORTANT: The affixing of a mark of Buyer's ownership, SHALL MAKE NO REPRESENTATION OR WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. No statements herein are to be construed as inducements to buying any trademarked product. Under no circumstances shall Seller be liable for incidental, consequential or indirect damages or claims of negligence, breach of warranty, strict liability, tort or contract arising in connection with the product(s). Buyer's sole remedy and Seller's sole liability for any claims shall be Buyer's purchase price. Data and results are based on controlled or lab work and must be confirmed by Buyer by testing for the intended conditions of use. The product(s) has (have) not been tested for, and is (are) therefore not recommended for, use for which prolonged contact with mucous membranes, abraded skin, or blood is intended; or for use for which long inhalation with the human body is intended. Please note that products may differ from country to country. If you have any queries, kindly contact your local Ciba Inc representative. Further information at website: <http://www.dibacim>


DS1920
Temperature iButton®
www.dallassemi.com
SPECIAL FEATURES

- Digital Thermometer Measures Temperatures from -55°C to +100°C in Typically 0.5s
- Zero Standby Power
- 0.5°C Resolution, Digital Temperature
- Reading is Two's Complement of °C Value
- Access to Internal Counters Allows Increased Resolution through Interpolation
- Reduces Control, Address, Data, and Power to a Single Data Contact
- 8-Bit Device Generated CRC for Data Integrity
- 8-Bit Family Code Specifies DS1920 Communications Requirements to Reader
- Special Command Set Allows User to Skip ROM Section and Perform Temperature Measurements Simultaneously for All Devices on the Bus
- 2 Bytes of EEPROM to Be Used Either as Alarm Registers or User Memory
- Alarm Search Directly Indicates Which Device Sets Alarming Temperature

ORDERING INFORMATION

PART	PACKAGE
DS1920 P3+	PINPACKAGE
DS1920 AN	P5 METOCAN

+Metalized Mandrel Package
F5 METOCAN

COMMON iButton FEATURES

- Unique, Factory-Blended and Tracked 64-Bit Registration Number (8-Bit Family Code + 48-Bit Serial Number + 8-Bit CRC Tester) Assures Absolute Traceability Because No Two Parts Are Alike
- Multikey Controller for MicroLAN
- Digital Identifier and Identification by Non-entry Contact
- Chip-Based Data Contact Compatibility Stores Information
- Data Can Be Accessed While Affixed To Object
- Economically Communicates to Bus Master with a Single Digital Signal at 16 Stops
- Standard 10mm Diameter and 1.1-Wire Protocol Device Compatibility with iButton Family
- Pinless Shape is Self-Aligning with Cup-Shaped Probes
- Durable Stainless Steel Case Designed with Registration Number Withdrawal Hersh Etchmark
- Easily Affixed with Self-Strick Addresser Backing Latched by its Flange, or Locked with a Ring Pressed Onto its Rim
- Presettable Detector Addresses: When Reader First Applies Voltage
- Designed to Meet UL94V-0 (4th Edn.) Intrinsically Safe Apparatus, Under Duty Concept for Use in Class I, Division 1, Group A, B, C, and D Locations; Contact Dallas Semiconductor for Certification Schedule

EXAMPLES OF ACCESSORIES

- DS9096P Self-Strick Addresser Pad
- DS9101 Multipurpose Clip
- DS9093BA Mounting Lock Ring
- DS9093F Snap-In Foot
- DS9092 Pinless Probe

Additional accessories are available at www.dallassemi.com.
 Sales and technical support is provided by Dallas Semiconductor.
 Dallas Semiconductor, a member of Texas Instruments, is a registered provider of Dallas Semiconductor products. © 2004 Dallas Semiconductor, Inc.

1 of 22

REV-04/008

DS1920

iButton DESCRIPTION

The DS1920 Temperature iButton provides 9-bit temperature readings, which indicate the temperature of the device. Information is sent to/from the DS1920 over a 1-wire interface. Power for reading, writing, and performing temperature conversions is derived from the data line itself. Because each DS1920 contains a unique silicon serial number, multiple DS1920s can exist on the same 1-wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental control, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and in process monitoring and control.

OVERVIEW

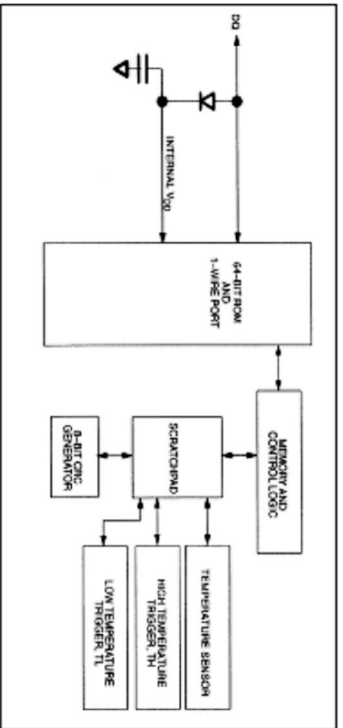
The block diagram of Figure 1 shows the major components of the DS1920. The DS1920 has three main data components: 1) 64-bit based ROM, 2) temperature sensor, and 3) nonvolatile temperature alarm triggers TH and TL. The device derives its power from the 1-wire communication line by storing energy on an internal capacitor during periods of time when the signal line is high and continues to operate off this power source during the low time of the 1-wire. The until it returns high to replenish the parasitic (capacitor) supply.

Communication to the DS1920 is via a 1-wire port. With the 1-wire port, the memory and control functions will not be available before the ROM function protocol has been established. The master must first provide one of five ROM function commands: 1) Read ROM, 2) Match ROM, 3) Search ROM, 4) Skip ROM, or 5) Alarm Search. These commands operate on the 64-bit based ROM portion of each device and can single out a specific device if many are present on the 1-wire line as well as indicate to the bus master how many and what types of devices are present. After a ROM function sequence has been successfully executed, the memory and control functions are accessible and the master may then provide any one of the five memory and control function commands.

One control function command instructs the DS1920 to perform a temperature measurement. The result of this measurement will be placed in the DS1920's scratchpad memory, and may be read by issuing a memory function command, which reads the contents of the scratchpad memory. The temperature alarm triggers TH and TL consist of 1 byte of EEPROM each. If the alarm search commands are not applied to the DS1920, these registers may be used as general purpose user memory. Writing TH and TL is done using a memory function command. Read access to these registers is through the scratchpad. All data is read and written least significant bit first.

3 of 22

DS1920 BLOCK DIAGRAM Figure 1



DS1920

PARASITE POWER

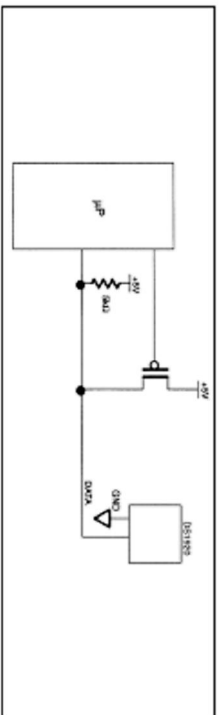
The block diagram (Figure 1) shows the parasite-powered circuitry. This circuitry "steals" power whenever the data contact is high. Data will provide sufficient power as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the 1-Wire 2-wire System section). The advantage of parasite power is that no local power source is needed for remote sensing of temperature.

In order for the DS1920 to be able to perform accurate temperature conversions, sufficient power must be provided over the data line when a temperature conversion is taking place. The DS1920 requires a current during conversion of up to 1mA, therefore, the data line will have sufficient drive due to the 5kΩ pulling resistor. This problem is particularly acute if several DS1920s are on the same data line and attempting to convert simultaneously.

The way to assure that the DS1920 has sufficient supply current is to provide a strong pullup on the data line whenever temperature conversion or copying to the EEPROM is taking place. This may be accomplished by using a MOSFET to connect the data line directly to the power supply as shown in Figure 2. The data line must be switched over to the strong pullup within 10μs maximum after issuing a command that involves copying to the EEPROM or initiates a temperature conversion.

3 of 22

STRONG PULLUP FOR SUPPLYING DS1920 DURING TEMPERATURE CONVERSION Figure 2



DS1920

OPERATION—MEASURING TEMPERATURE

The DS1920 measures temperature through the use of an on-board proprietary temperature measurement technique. A block diagram of the temperature measurement circuitry is shown in Figure 3.

The DS1920 measures temperature by counting the number of clock cycles that an oscillator with a low temperature coefficient goes through during a gate period determined by a high temperature coefficient oscillator. The counter is preset with a base count that corresponds to -55°C. If the counter reaches 0 before the gate period is over, the temperature register, which is also preset to the -55°C value, is incremented, indicating that the temperature is higher than -55°C.

At the same time, the counter is then preset with a value determined by the slope accumulator circuitry. The counter is then clocked again until it reaches 0. If the gate period is still not finished, then this process repeats.

The slope accumulator compensates for the nonlinear behavior of the oscillators over temperature, yielding a high-resolution temperature measurement. This is done by changing the number of counts necessary for the counter to go through for each incremental degree in temperature. To obtain the desired resolution, therefore, both the value of the counter and the number of counts per degree C (the value of the slope accumulator) at a given temperature must be known.

Internally, this calculation is done inside the DS1920 to provide 0.5°C resolution. The temperature reading is provided in a 16-bit, sign-extended two's complement reading. Table 1 describes the exact relationship of output data to measured temperature. The data is transmitted serially over the 1-Wire interface. The DS1920 can measure temperature over the range of -55°C to +100°C in 0.5°C increments. For Fahrenheit usage, a bipolar mode or conversion factor must be used.

Note that temperature is represented in the DS1920 in terms of a 1/2°C LSB, yielding the following 9-bit format:

MSB	1	1	1	0	0	1	1	1	0	LSB
	= -2.5°C									

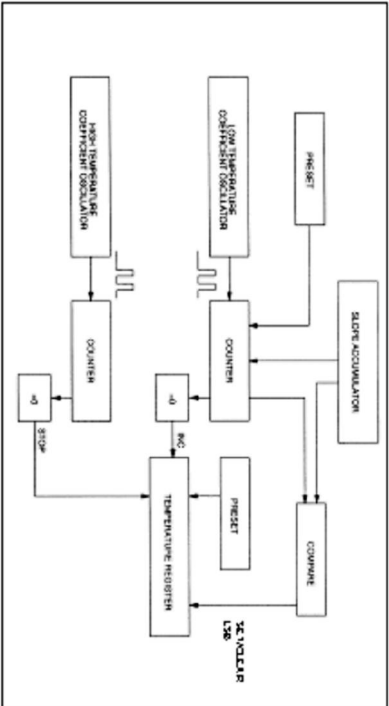
4 of 22

The most significant (sign) bit is duplicated into all of the bits in the upper MSB of the 2-byte temperature register in memory. This "sign-extension" yields the 16-bit temperature readings as shown in Table 1.

Higher resolutions may be obtained by the following procedure. First, read the temperature, and truncate the 0.5°C bit (the LSB) from the read value. This value is $TEMP_READ$. The value left in the counter may then be read. This value is the count remaining ($COUNT_REMAIN$) after the gate period has elapsed. The last value needed is the number of counts per degree C ($COUNT_PER_C$) at that temperature. The actual temperature may be then calculated by the user using the following formula:

$$TEMPERATURE = TEMP_READ \cdot 0.25 + \frac{(COUNT_PER_C \cdot COUNT_REMAIN)}{COUNT_PER_C}$$

TEMPERATURE MEASURING CIRCUITRY Figure 3



TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIPS Table 1

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (HEX)	DIGITAL OUTPUT (DEC)
+100°C	0000000011001000	00C8h
+25°C	0000000010011000	0032h
+7°C	0000000000000001	0001h
+0°C	0000000000000000	0000h
-7°C	1111111111111111	FFF9h
-25°C	1111111111001100	FFC9h
-55°C	1111111110010010	FF72h

5 of 22

OPERATION—AL ARM SIGNALING

After the DS1920 has performed a temperature conversion, the temperature value is compared to the trigger values stored in TH and TL. Since these registers are 8 bits only, the 0.5°C bit is ignored for comparison. The most significant bit of TH or TL directly corresponds to the sign bit of the 16-bit temperature register. If the result of a temperature measurement is higher than TH or lower than TL, an alarm flag inside the device is set. This flag is updated with every temperature measurement. As long as the alarm flag is set, the DS1920 will respond to the alarm search command. This allows many DS1920s to be connected in parallel during simultaneous temperature measurements. If some of the temperature exceeds the limits, the alarming device(s) can be identified and read immediately without having to read nonalarming devices.

64-BIT LASED ROM

Each DS1920 contains a unique ROM code that is 64 bits long. The first 8 bits are a 1-Wire family code (DS1920 code is 10h). The next 48 bits are a unique serial number. The last 8 bits are a CRC of the first 56 bits. (See Figure 4.) The 64-bit ROM and ROM Access Control section allow the DS1920 to operate as a 1-Wire device and follow the 1-Wire protocol detailed in the 1-Wire Bus System section. The memory and control functions of the DS1920 are not accessible until the ROM function protocol has been established. This protocol is described in the ROM function protocol document (Figure 5). The 1-Wire bus master must first provide one of five ROM function commands: 1) Read ROM, 2) Match ROM, 3) Search ROM, 4) Skip ROM, or 5) Alarm Search. After a ROM function sequence has been successfully executed, the functions specific to the DS1920 are accessible and the bus master may then provide any one of the five memory and control function commands.

CRC GENERATION

The DS1920 has an 8-bit CRC stored in the most significant byte of the 64-bit ROM. The bus master can compute a CRC value from the first 56 bits of the 64-bit ROM and compare it to the value stored within the DS1920 to determine if the ROM data has been received error-free by the bus master. The equivalent polynomial function of this CRC is:

$$CRC = X^8 + X^7 + X^6 + 1$$

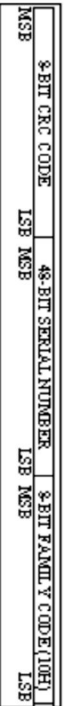
The DS1920 also generates an 8-bit CRC value using the same polynomial function shown above and provides this value to the bus master to validate the transfer of data bytes. In each case where a CRC is used for data transfer validation, the bus master must calculate a CRC value using the polynomial function given above and compare the calculated value to either the 8-bit CRC value stored in the 64-bit ROM portion of the DS1920 (for ROM reads) or the 8-bit CRC value computed within the DS1920 (which is read as a 9th byte when the search/read is read). The comparison of CRC values and decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS1920 that prevents a command sequence from proceeding if the CRC stored in or calculated by the DS1920 does not match the value generated by the bus master.

The 1-Wire CRC can be generated using a polynomial generator consisting of a shift register and XOR gates as shown in Figure 6. Additional information about the Dallas 1-Wire Cycle Redundancy Check is available in the *1-Wire/2-Wire Systems*.

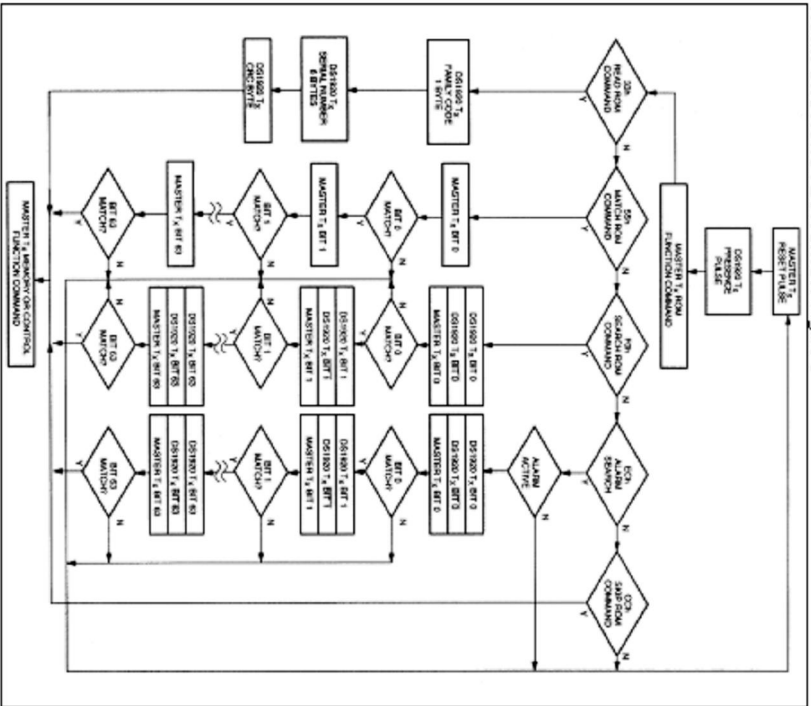
The shift register bits are first initialized to 0. For the ROM section, starting with the least significant bit of the family code, 1 bit at a time is shifted in. After the 8th bit of the family code has been entered, then the serial number is entered. After the 48th bit of the serial number has been entered, the shift register contains the CRC value. Shifting in the 8 bits of CRC should return the shift register to all 0s.

5 of 22

64-BIT LASERED ROM Figure 4

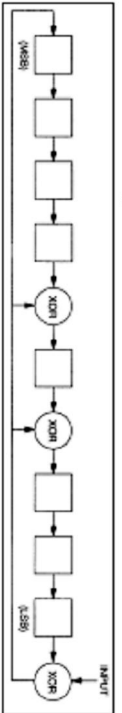


1E1.900



7-6-22

1-Wire CRC CODE Figure 6



1E1.900

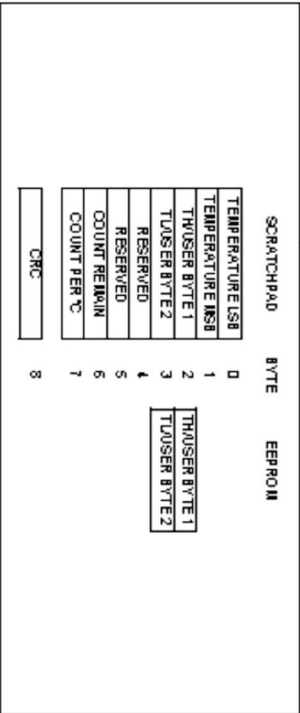
MEMORY

The DS1920's memory is organized as shown in Figure 7. The memory consists of a scratchpad and 2 bytes of EEPROM that store the high and low temperature registers TH and TL. The scratchpad helps ensure data integrity when communicating over the 1-Wire bus. Data is first written to the scratchpad where it can be read back. After the data has been verified, a copy scratchpad command will transfer the data to the EEPROM. This process ensures data integrity when communicating the memory.

The scratchpad is organized as 8 bytes of memory. The first 2 bytes contain the measured temperature information. The 3rd and 4th bytes are volatile copies of TH and TL and are refreshed with every power-on reset. The next 2 bytes are not used upon reading back, however, they will appear as all high 1s. The 7th and 8th bytes are count registers, which may be used in obtaining higher temperature resolution (see the *Operation—Advancing Temperature* section).

There is a 9th byte that may be read with a Read Scratchpad command. This byte is a cyclic redundancy check (CRC) over all of the 8 previous bytes. This CRC is implemented as described in the CRC Generation section.

DS1920 MEMORY MAP Figure 7



8-6-22

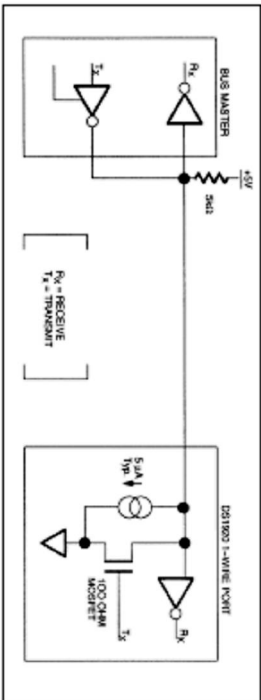
1-WIRE BUS SYSTEM

The 1-Wire bus is a system that has a single bus master and one or more slaves. The DS1920 behaves as a slave. The discussion of this bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

HARDWARE CONFIGURATION

The 1-Wire bus has only a single line by definition; it is important that each device on the bus be able to drive it at the appropriate time. To facilitate this, each device attached to the 1-Wire bus must have open-drain or 3-state outputs. The 1-Wire part of the DS1920 (data contact) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in Figure 8. A multiplop bus consists of a 1-Wire bus with multiple slaves attached. The 1-Wire bus requires a pullup resistor of approximately 5k Ω . The idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the state if the transaction is to resume. If this does not occur and the bus is left low for more than 120 μ s, one or more of the devices on the bus will be reset.

HARDWARE CONFIGURATION Figure 8



TRANSACTION SEQUENCE

The protocol for accessing the DS1920 via the 1-Wire port is as follows:

- Initialization
- ROM Function Command
- Memory/Control Function Command
- Transaction/Data

INITIALIZATION

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s).

The presence pulse lets the bus master know that the DS1920 is on the bus and is ready to operate. For more details, see the *1-Wire Signaling* section.

90422

ROM FUNCTION COMMANDS

Once the bus master has detected a presence pulse, it can issue one of the five ROM function commands. All ROM function commands are eight bits long. A list of these commands follows (see the Flowchart in Figure 5).

Read ROM [3bh]

This command allows the bus master to read the DS1920's 8-bit family code, unique 48-bit serial number, and 8-bit CRC. This command can only be used if there is a single DS1920 on the bus. If more than one slave is present on the bus, a data collision will occur when all slaves try to transmit at the same time (open drain will produce a wired-AND result).

Match ROM [5bh]

The match ROM command, followed by a 64-bit ROM sequence, allows the bus master to address a specific DS1920 on a multiplop bus. Only the DS1920 that exactly matches the 64-bit ROM sequence will respond to the subsequent memory function command. All slaves that do not match the 64-bit ROM sequence will respond to a reset pulse. This command can be used with a single or multiple devices on the bus.

Skip ROM [cch]

This command can save time in a single drop bus system by allowing the bus master to access the memory functions without providing the 64-bit ROM code. If more than one slave is present on the bus and a read command is issued following the Skip ROM command, data collision will occur on the bus as multiple slaves transmit simultaneously (open-drain pulldowns will produce a wired-AND result). The Skip ROM command is useful to address all DS1920s on the bus to do a temperature conversion. Since the DS1920 uses a special command set, other device types will not respond to these commands.

Search ROM [f0h]

When a system is initially brought up, the bus master might not know the number of devices on the 1-Wire bus or their 64-bit ROM codes. The search ROM command allows the bus master to use a process of elimination to identify the 64-bit ROM codes of all slave devices on the bus. The ROM search process is the repetition of a simple, three-step routine: read a bit, read the complement of the bit, then write the desired value of that bit. The bus master performs this simple, three-step routine on each bit of the ROM. After one complete pass, the bus master knows the contents of the ROM in one device. The remaining number of devices and their ROM codes may be identified by additional passes. Refer to Chapter 5 of the *Book of 1-Wire: Standards* for a comprehensive discussion of a ROM Search, including an actual example.

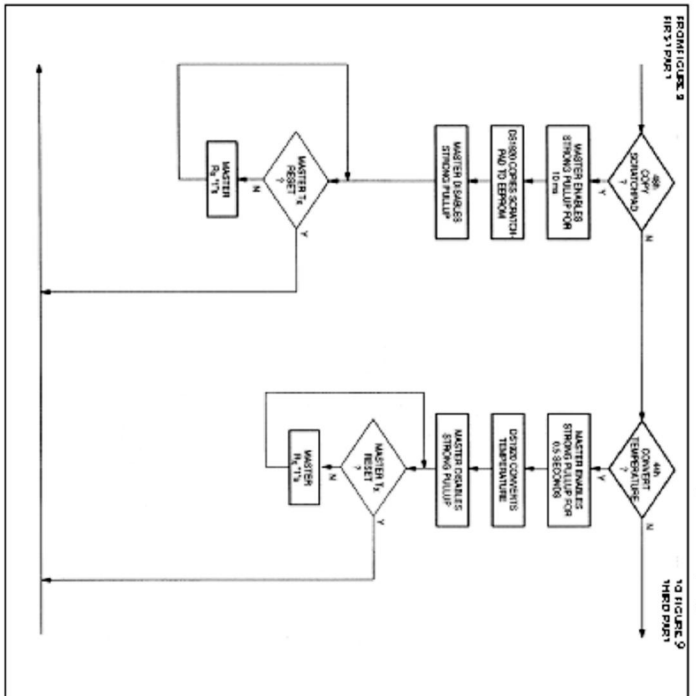
Alarm Search [ECh]

The flowchart of this command is identical to the Search ROM command; however, the DS1920 will respond to this command only if an alarm condition has been encountered at the last temperature measurement. An alarm condition is defined as a temperature higher than TH or lower than TL. The alarm condition remains set as long as the DS1920 is powered up or until another temperature measurement reveals a nonalarming value. For alarming, the trigger values stored in EEPROM are taken into account. If an alarm condition exists and the TH or TL settings are changed, another temperature conversion should be done to validate any alarm conditions.

10 90422

MEMORY AND CONTROL FUNCTIONS FLOWCHART (continued) Figure 9

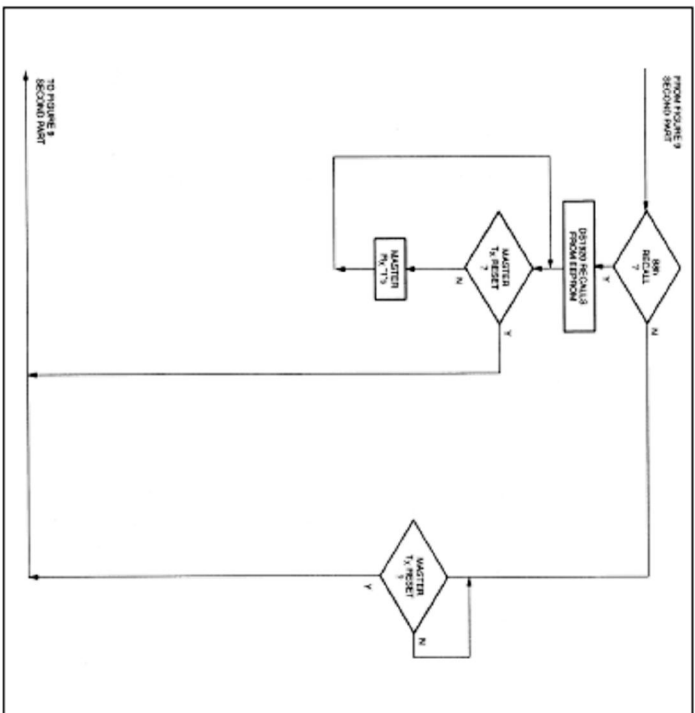
DS1920



DS 0222

MEMORY AND CONTROL FUNCTIONS FLOWCHART (continued) Figure 9

DS1920



DS 0222

1-WIRE SIGNALING

The DS1920 requires strict protocols to ensure data integrity. The protocol consists of five types of signaling on one line: Reset Sequence with Reset Pulse and Presence Pulse, Write 0, Write 1, Read Data and Strong Pullup. All these signals except Presence Pulse are initiated by the bus master. The initialization sequence required to begin any communication with the DS1920 is shown in Figure 10. A Reset Pulse followed by a Presence Pulse indicates the DS1920 is ready to accept a ROM command. The bus master transmits (Tx) a Reset Pulse (t_{RP}, minimum 480 μs). The bus master then releases the line and goes into receive mode (Rx). The 1-Wire bus is pulled to a high state via the pullup resistor. After detecting the rising edge on the 1-Wire line, the DS1920 waits (t_{wa}, 15-60 μs) and then transmits the Presence Pulse (t_{pp}, 60-240 μs).

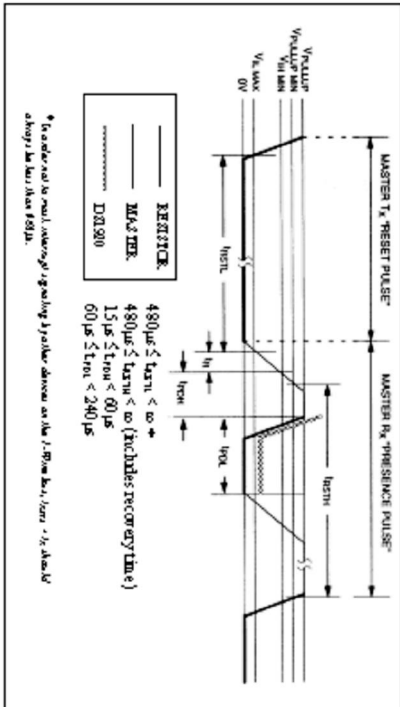
READ/WRITE TIME SLOTS

The definitions of write and read time slots are illustrated in Figure 11. All time slots are initiated by the master driving the data line low. The falling edge of the data line synchronizes the DS1920 to the master by triggering a delay circuit in the DS1920. During write time slots, the delay circuit deasserts when the DS1920 will sample the data line. For a read data time slot, it is to be transmitted, the delay circuit deasserts how long the DS1920 will hold the data line low overwriting the 1 generated by the master. If the data bit is a 1, the DS1920 will keep the read data time slot unchanged.

STRONG PULLUP

To provide energy for a temperature conversion or for copying data from the scratchpad to the EEPROM, a low-impedance pullup of the 1-Wire bus is required just after the corresponding command has been sent by the master. During temperature conversion or copying the scratchpad, the bus master cannot be transitioned from a state where the data line is sinking high via the pullup resistor to a state where the data line is actively driven to 5V, providing a minimum of 1mA of current for each DS1920 during temperature conversion. This low-impedance pullup should be active for 0.75 seconds for temperature conversion or at least 10ms for copying to the scratchpad. After that, the data line returns to an idle high state controlled by the pullup resistor. The low-impedance pullup does not affect other devices on the 1-Wire bus. Therefore, it is possible to multiplex other 1-Wire devices with the DS1920.

INITIALIZATION PROCEDURE 'RESET AND PRESENCE PULSES' Figure 10



DS 0222

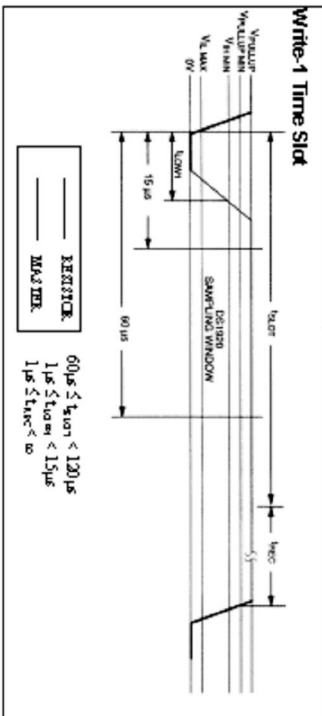
DS1920 MEMORY AND CONTROL FUNCTION COMMANDS Table 2

INSTRUCTION	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-WIRE BUS AFTER BUSING PROTOCOL	NOTES
Convert Temperature	TEMPERATURE CONVERSION COMMAND	48h	strong pullup	1
MEMORY COMMANDS				
Read Scratchpad	Read bytes from scratchpad (addresses 0-31)	80h	<read up to 9 data bytes>	
Write Scratchpad	Writes bytes into scratchpad (addresses 2 and 3 (TH and TL temperature registers))	40h	<write data into 2 bytes at addr 2 and addr 3>	
Copy Scratchpad	Copy scratchpad into non-volatile memory (addresses 2 and 3 only). Recall no lines stored in non-volatile memory into scratchpad (temperature registers).	48h	strong pullup	2
Recall		80h	idle	

NOTES:

1. Temperature conversion takes up to 0.75 seconds. After receiving the Convert Temperature command, the data line for the DS1920 must be held high for at least 0.75 seconds to provide power during the conversion process. As such, no other activity may take place on the 1-Wire bus for at least this period after a Convert Temperature command has been issued.
2. After receiving the Copy Scratchpad command, the data line for the DS1920 must be held high for at least 10ms to provide power during the copy process. As such, no other activity may take place on the 1-Wire bus for at least this period after a Copy Scratchpad command has been issued.

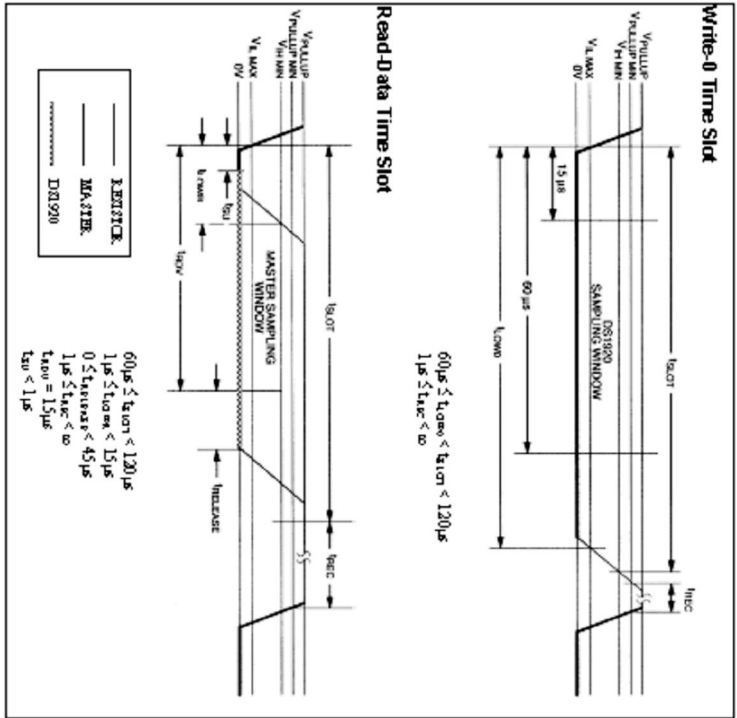
READ/WRITE TIMING DIAGRAM Figure 11



DS 0222

READ/WRITE TIMING DIAGRAM (continued) Figure 11

DS1920



17 of 22

MEMORY FUNCTION EXAMPLE Table 3

Example: Bus Master initiates temperature conversion, then reads temperature.

DS1920

MASTER MODE	DATA (5B HIST)	COMMENTS
Rx	Reset	Reset pulse (480-960µs)
Rx	Presence pulse	Presence pulse
Rx	53h	Issue "March ROM" command
Rx	<64-bit ROM code>	Issue address for DS1920
Rx	48h	Issue "Convert Temperature" command
Rx	<DATA LINE HIGH>	Data line is held high for at least 0.75 seconds by bus master to allow conversion to complete.
Rx	Reset	Reset pulse
Rx	Presence pulse	Presence pulse
Rx	3Ah	Issue "March ROM" command
Rx	<64-bit ROM code>	Issue address for DS1920
Rx	BDh	Issue "Read Scratchpad" command.
Rx	<9 data bytes>	Reads the scratchpad plus CRC; the master now recalculates the CRC of the eight data bytes received from the scratchpad, compares the CRC calculated and the CRC read. If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
Rx	Reset	Reset pulse
Rx	Presence pulse	Presence pulse, done

18 of 22

D01900

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage on Any Pin Relative to Ground
 Operating Temperature
 Storage Temperature

-0.5V to +7.0V
 -55°C to +100°C
 -55°C to +100°C

This is a timing timing only specification. Operation of the device at these or any other conditions other than those indicated in the operation section of this specification is not implied. Operation at absolute maximum ratings conditions for extended periods of time may affect device reliability.

DC ELECTRICAL CONDITIONS(V_{CC} = -55°C to +100°C)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYPE	MAX	UNITS	NOTES
Pulldown Voltage	V _{UV}	I/O Functions	2.8	5.0	6.0	V	1, 2
		Accurate Temperature Conversions	4.3		6.0	V	
Logic 1	V _{in}		2.2			V	2
Logic 0	V _{in}		-0.3		0.8	V	2, 10

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS(V_{CC} = 4.3V to 6.0V, T_A = -55°C to +100°C)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYPE	MAX	UNITS	NOTES
Thermometer Error	t _{ERR}	0°C to +70°C			1/2	°C	11
		-55°C to +0°C and +70°C to +100°C					SEE TYPICAL CURVE
Active Current	I _{DD}			1000	1300	μA	3, 4
Input Load Current	I _I				5	μA	
Output Logic Low at 6mA	V _{OL}				0.4	V	2

CAPACITANCE(T_A = +25°C)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYPE	MAX	UNITS	NOTES
IO1 (1-Wire)	C _{INPUT}			800	pF	9

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: TEMPERATURE CONVERSION AND COPY SCRATCHPAD(V_{CC} = 4.3V to 6.0V, T_A = -55°C to +100°C)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYPE	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion	t _{CONV}		0.2	0.75	seconds	
Copy Scratchpad	t _{CONV}			10	ms	5

19 6432

D01900

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: 1-WIRE INTERFACE(V_{CC} = 2.8V to 6.0V, T_A = -55°C to +100°C)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYPE	MAX	UNITS	NOTES
Time Slot	t _{LSLOT}	60		120	μs	
Write 1 Low Time	t _{W1L}	1		15	μs	
Write 0 Low Time	t _{W0L}	60		120	μs	
Read Data Valid	t _{RDV}		exactly 15		μs	
Read Data Setup	t _{RDSETUP}	0	15	45	μs	
Recovery Time	t _{REC}			1	μs	8
Reset Time High	t _{RTH}	480			μs	
Reset Time Low	t _{RTL}	480		4800	μs	6, 7
Presence Detect High	t _{PDH}	15		60	μs	
Presence Detect Low	t _{PDL}	60		240	μs	

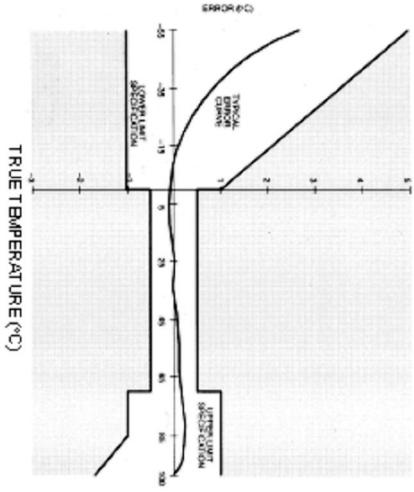
NOTES:

1. Temperature conversion will work with 4.3°C accuracy down to V_{UV} = 3.4V.
2. All voltages are referenced to ground.
3. I_{DD} specified with low-impedance pulldown to 5.0V.
4. Active current refers to temperature conversion.
5. Writing to EEPROM consumes approximately 200μA.
6. t_{CONV} may be up to 480μs with longer times; the result of temperature conversion may get lost.
7. The reset low time should be restricted to a maximum of 900μs, to allow interrupt signaling, otherwise it could mask or cancel interrupt pulses.
8. Read data setup time refers to the time the host must pull the 1-Wire bus low to read a bit. Data is guaranteed to be valid within 1μs of this falling edge and will remain valid for 14μs minimum (15μs total from falling edge on 1-Wire bus).
9. Capacitance on the data contact could be 800pF when power is first applied. If a 360 resistor is used to pull up the data line to V_{CC}, 5μs after power has been applied, the parasitic capacitance will not affect normal communication.
10. Under certain low-voltage conditions, V_{UV} may have to be reduced to as much as 0.5V to always guarantee a present pulse.
11. See the *Typical Performance Curve* for specific data limits outside the 0°C to +70°C range. Thermometer error reflects sensor accuracy as tested during calibration.

20 6432

TYPICAL PERFORMANCE CURVE

DS1920 TEMPERATURE Bottom



ERROR = READING - TRUE TEMPERATURE
 (IT SHOULD BE TRUE TEMPERATURE IS TYPICALLY COLDER THAN THE TEMPERATURE BEING)

PACKAGE INFORMATION
 For the latest package information, please refer to www.onsemi.com/pdf/ds/1920.pdf

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	DOCUMENT NO.
P3 MICRO CAN		56-30 CAN 190

21 of 22

REVISION HISTORY

REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
082906	In the Component Revisions, reworded the UL statement	1
110906	Extended the temperature conversion time from 0.5s to 0.75s maximum.	11, 15, 16, 18, 19
040108	Remove the P3 Micro CAN drawing and ordering information, added header DS1920-P3+ and removed leaded package from the Ordering Information table.	1

21 of 22

© 2008 National Semiconductor Corporation. All rights reserved. DS1920 is a registered trademark of National Semiconductor Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners. National Semiconductor Corporation, 2905 Zanker Road, Santa Clara, CA 95050-8809, USA. Tel: 408-737-7600. Fax: 408-737-7600. E-mail: ds1920@onsemi.com. Web: www.onsemi.com. This document is provided in Chinese language only. For more information, please refer to the English version of this document.

Lisäainesyöttimien lämpötilamittaukset

Lämpötilamittaukset A- ja C-syötin

Syötin-A 19.6-2.7.2008

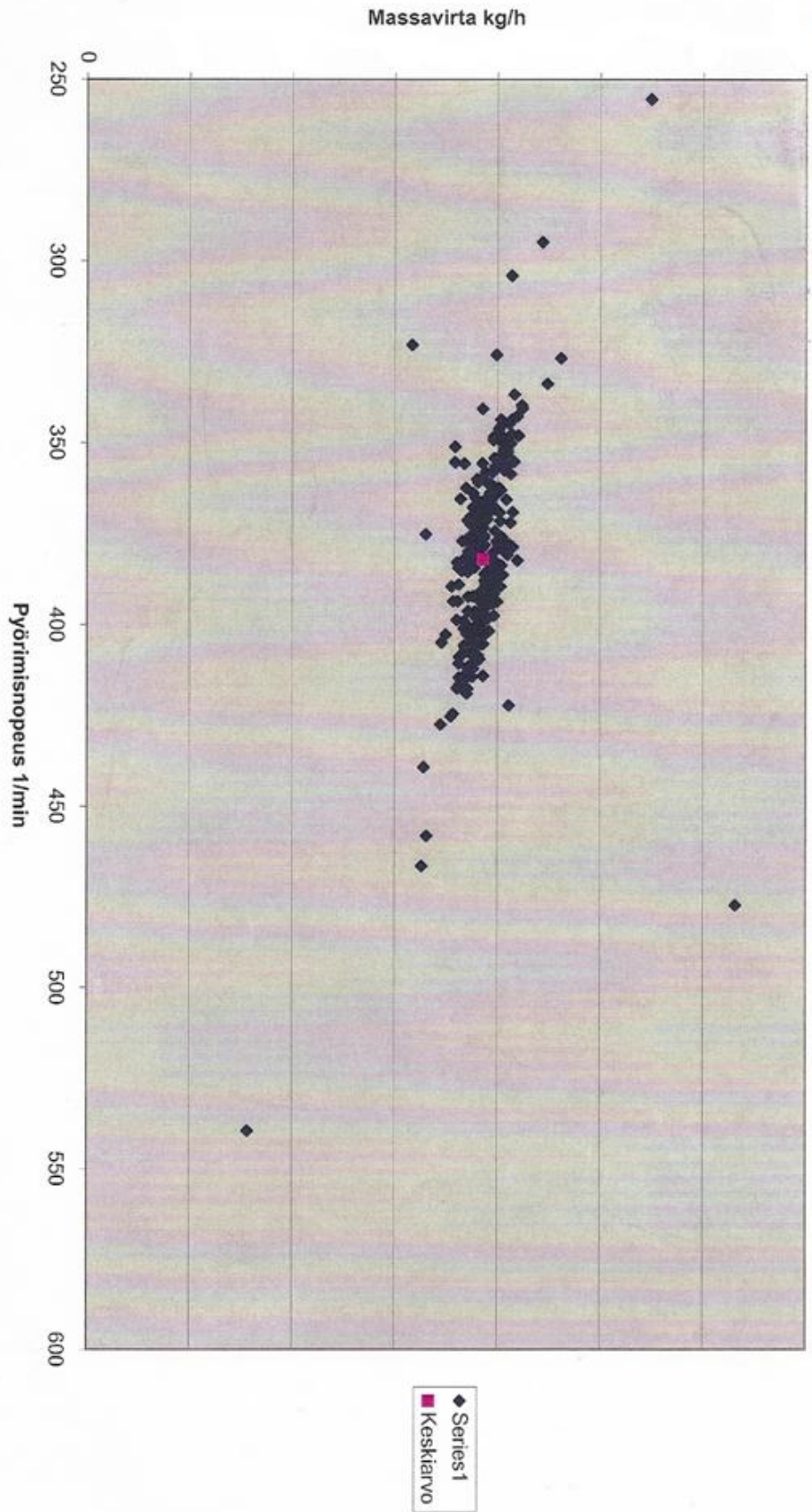
	alkupää	loppupää	huonetila	vaakasäiliö	pudotusputki
20,0°C to 21,5°C	8	20		0	0
22,0°C to 23,5°C	113	167		0	20
24,0°C to 25,5°C	654	630		290	654
26,0°C to 27,5°C	436	440		806	533
28,0°C to 29,5°C	57	11		173	15
30,0°C to 31,5°C	1	0		0	0
32,0°C to 33,5°C	0	1		0	0

Syötin-C 2.7-10.7.2008

	alkupää	loppupää	huonetila	vaakasäiliö	pudotusputki
20,0°C to 21,5°C	0	0	0	0	0
22,0°C to 23,5°C	0	56	17	0	14
24,0°C to 25,5°C	51	353	99	142	330
26,0°C to 27,5°C	268	277	467	485	341
28,0°C to 29,5°C	355	80	141	110	77
30,0°C to 31,5°C	83	4	46	33	8
32,0°C to 33,5°C	13	0	0	0	0

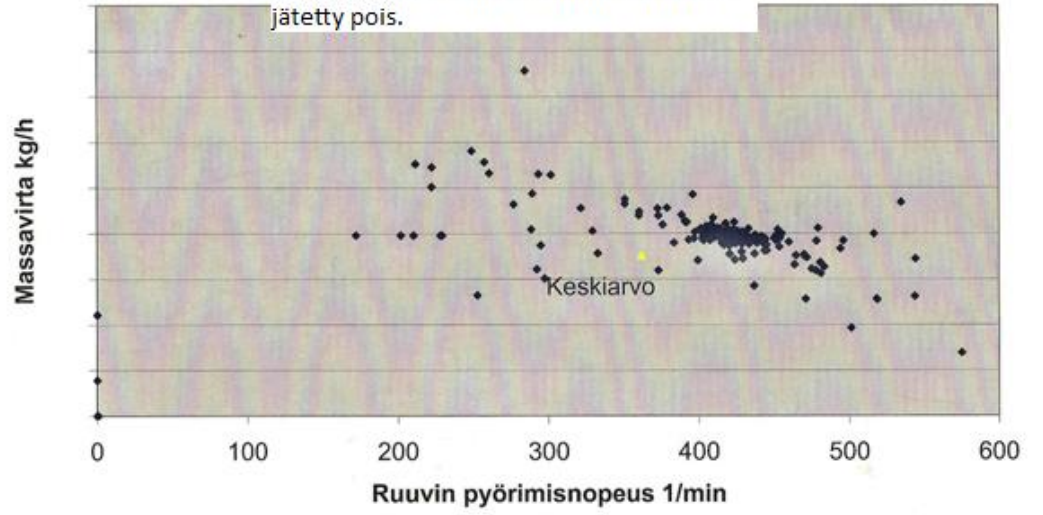
Normaali
syöttötilanne

Massavirta pyörimisnopeuden funktiona



Massavirta pyörimisnopeuden funktiona

Tukkeumatilanne, massavirran tarkat arvot jätetty pois.

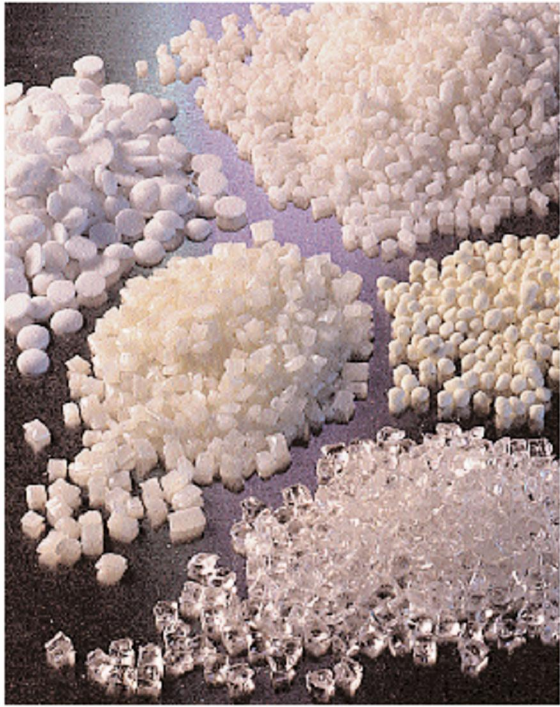




Polymer Additives Product Forms




Technology That Works for You



Additives

Wissenswertes über die Ciba



Product Form Innovation at Ciba Specialty Chemicals

Ciba Specialty Chemicals' customer focus has been a key success factor in the development of unique non-dusting and free flowing additives.

As the pioneer in polymer production, we have been developing granular product forms since the late 1940s. Numerous customers around the world have benefited significantly from granular non-dusting additive forms. Improvements can be realized over powders in the following areas:

- Better handling and less waste.
- Improved industrial hygiene.
- Simplified product conveying.
- Improved dosing accuracy.

Through innovation, creativity and dedication of resources we have achieved the following milestones in the creation of granular forms:

1979 DF	Dust free free flowing for Light Stabilizers.
1983 FF	Free flowing for Antioxidants, Light Stabilizers and Blends.
1989 AB	Free flowing beads for high molecular weight Light Stabilizers.
1991 FD	Dust free free flowing for oligomeric Light Stabilizers and Antioxidants.
1995 DD	Durable dust free for Antioxidants and Blends.

Due to the wide range of different product forms available, many products can be offered in the form which best meets your needs.

Irganox® 1010

Product Forms for Antioxidants, Light Stabilizers, and Blends

Powder

Characteristics

For customers with plants which are adapted for powder handling (dust collectors, subside silos, and dosing systems), we offer nearly our entire line of traditional products in powder form. Both pure products and blends are available. This product form is also suited for unblended blends in bulk packaging.

FF

Free Flowing

Characteristics

Our free flowing products represent an outstanding improvement to our powders in terms of flowability and storage stability with low dust levels. These products are obtained without sacrificing typical powder properties including the retention of a particle size matching that of polymer resin. The FF product form is available for both pure and blended products. In addition, most FF products can also be delivered in bulk packaging.

DF

Dust-Free, Free Flowing

Characteristics

The DF products are actually dust free microspheres with a very narrow particle size distribution which permit reduced application. Like the FF and Powder form products, DF products are also available in bulk packages.



Product Forms for Light Stabilizers and Blends

FB

Free Flowing Bands

Characteristics

This form was specifically developed for high molecular weight HALS products. The free flowing bands are virtually dust free and are designed for direct addition to polymers as a PU/F or granules. Pure products and blends are available in this form.

LD

Low Dust

Characteristics

The low dust micro granules are designed for applications where direct addition of the additive is not possible. The product form offers good dispersibility combined with handling properties which are superior to powders.

FD

Free Flowing, Dustfree

Characteristics

FD products are virtually dust free free flowing powders that are highly resistant to attrition. Due to the small particle size this product form can be used very broadly. Both the pure products and some blends are available in traditional and bulk packaging.



Advantageous Product Forms for Antioxidants and Blends

G*

Granules

Characteristics
These mobile granules* are particularly suited for the direct dosing of batch-made blends. They are easy to dispense and handle. The risk of de-mixing is eliminated with this dust free form, which is also available in bulk packages.

*not available for GSE

FD

Free-flowing, Dust-free pastilles

Characteristics
The FD form is used for low melting additives (both pure products and blends). This form minimises clumping on storage and enables these products to be delivered in bulk where this was previously impossible. These free-flowing pastilles are virtually dust-free and facilitate handling, dosing, and conveying.

DD

Durable, Dust-free

Characteristics
Our durable dust-free product form combines a remarkably low dust content with excellent reliability. These pellets are highly resistant to attrition and offer a narrow particle size distribution. They are easy to handle, can be pneumatically transported and permit direct additive dosing. The dosing of multi-component products during storage and handling is streamlined.



*Ciba Specialty Chemicals' Polymer Stabilizers
Offering a Wide Range of Product and Form Options*




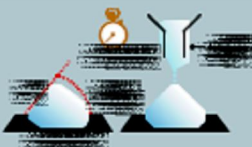
Below is a sampling of the product forms available for some of our most popular stabilizers. For a complete listing of products and product forms, contact your local sales representative.

Anti-Oxidizing Process Stabilizers and Blends	
Product	Available product forms
Inganox® 161 0	R, FF, DD
Inganox 167C	R, FF, FD, Milk
Inganox 162S	R, FF
Inganox 245	R, FF
Inganox 1690	R, FF
Inganox 1520	Liquid
Inganox 1220	R, FF
Inganox E 900	R, FF
Inganox E 215	R, FF, DD*
Inganox E 225	R, FF, DD*
Recyclostab® d11	CP*
Inganox E 26d	DD
Inganox*1 63	R, FF
Inganox LC 20	FF
Inganox LM 91	FF
FS d1 0	FF
FS d1 0	R, FF

*DD form of all products is available only in the USA
*The double A is a DL

Light Stabilizers and Blends	
Product	Available product forms
Chimassorb® 944	FD, LD
Chimassorb 119	FL
Thiouin® 77 0	DF
Thiouin 622	FF, LD
Thiouin 702	FD, FDL
Thiouin 111	FD, FDL
Thiouin 791	FF
Thiouin 692	R, FF
Thiouin 69d	R, FF
Thiouin 122	Liquid
Thiouin P	R, FF
Thiouin 22d	R, FF
Thiouin 220	R, FF
Thiouin 157 7	FF

Characterization of Polymer Additives Product Forms

Criteria	Test method
<p>Dust content and emission/Resistance to attrition</p> <p>Haubach test</p> <p>The granular product is filled in a rotating chamber. The dust already present as well as the dust formed during the test is flushed out by an airstream and collected on an dust filter.</p>	
<p>Fraility test</p> <p>Staking test</p> <p>The granular product is placed on a vibrating steel machine together with steel balls. The time needed to break down the granules to a particle size which passes through the sieve is taken as one indication of resistance to attrition.</p>	
<p>Pressure storage test (caking characteristics, appropriate packaging)</p> <p>The product is stored for three days at 4°C under the load of a steel weight. The degree of caking indicates if the material is suitable for bulk packaging.</p>	
<p>Flow properties</p> <p>Flowability</p> <p>The product is poured on a plane. The formed angle of the product pile indicates the degree of flowability.</p> <p>Pourability (Flowtime DIN 53402)</p> <p>The product is poured through a funnel with a defined outlet. The time necessary to pass indicates the pourability of the product.</p>	

IMPORTANT

These materials are not intended for use in products for which prolonged contact with mucous membranes or abrasion of skin, or implantation within the human body, is specifically intended, unless the finished products have been tested in accordance with the Food and Drug Administration and/or other applicable safety testing requirements. Because of the wide range of such potential uses, Ciba Specialty Chemicals Corporation is not able to recommend these materials as safe and effective for such uses and assumes no liability for any such use.

THERE IS NO REPRESENTATION, WARRANTY OR CONDITION, WHETHER EXPRESS OR IMPLIED BY ANY STATUTE OR OTHERWISE, INCLUDING WARRANTIES AND CONDITIONS OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR ANY OTHER MATTER FOR THE PRODUCT(S) REFERRED TO HEREIN.

UNDER NO CIRCUMSTANCES SHALL CIBA SPECIALTY CHEMICALS CORPORATION BE LIABLE FOR PERSONAL INJURY, PROPERTY, OR ECONOMIC LOSS OR FOR INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, SPECIAL, PUNITIVE, OR INDIRECT DAMAGES WHATSOEVER OF ANY DESCRIPTION OR AMOUNT FROM ALLEGED NEGLIGENCE, BREACH OF WARRANTY OR CONDITION, STRICT LIABILITY, TORT, CONTRACT, DEFECTIVE PRODUCT (PATENT OR LATENT) OR ANY OTHER LEGAL THEORY, ARISING OUT OF THE MANUFACTURE, SALE, USE, OR HANDLING OF THE PRODUCT(S) REFERRED TO HEREIN OR RELATING IN ANY OTHER WAY TO SUCH PRODUCT(S).

Buyer's sole remedy and Ciba Specialty Chemicals Corporation's sole liability for any claims whatsoever, whether based upon any of the above causes or otherwise, shall be limited to the buyer's purchase price of the product which is the subject of the claim or the amount actually paid for such product, whichever is less.

The test data and results set forth herein are based on laboratory work and do not necessarily indicate results that the buyer or user will obtain. Full-scale testing and product performance on the responsibility of the buyer and user.

LIABILITIES

All recommendations for the use of our products, whether given by us in writing, orally, or to be implied from the results of tests carried out by us, are based on the current state of our knowledge. Notwithstanding any such recommendations, buyer or user shall remain responsible for satisfying himself that the products as supplied by us are suitable for his intended process or purpose. Since we cannot control the application, use or processing of the products, we cannot accept responsibility therefor. Buyer has to ensure that the intended use of the products will not infringe any third party's intellectual property rights. We warrant that our products are free from defects in accordance with, and subject to, our general conditions of sale and supply.

Head Office

EUROPE, MIDDLE EAST, AFRICA
 Ciba Specialty Chemicals Inc.
 Additex
 P.O. Box
 CH-4002 Basel
 Switzerland

NAPTA
 Ciba Specialty Chemicals Corp.
 Additex
 500 White Plains Road
 P.O. Box 2005
 Tarrytown, NY 10591-2005
 USA

SOUTH AMERICA
 Ciba Specialty Químicos Ltda.
 Av. Pte. Vicente Roc, 30
 BR-05000-000 SÃO PAULO-SP
 Brazil

ASIA-PACIFIC
 Ciba Specialty Chemicals
 Singapore Pte. Ltd.
 Jurong Point No. 2 Office
 P.O. Box 264
 SGP 639026 SINGAPORE

JAPAN
 Ciba Specialty Chemicals
 Tokyo Head Office
 P.O. Box 22
 Minato-ku
 1-Tokyo 105
 Japan

<http://www.dbsac.com>

Ciba Specialty Chemical Inc.
 Additex

© Ciba Specialty Chemical

Ciba Additives worldwide

Algeria, Hydra
 Argentina, Buenos Aires
 Australia, Thomsons/Melbourne
 Austria, Vienna
 Benelux: Belgium, Groot-Bijgaarden
 Brazil, São Paulo
 Bulgaria, Sofia
 Canada, Mississauga/Toronto
 Chile, Santiago
 Colombia, Santafé de Bogotá
 Czech Republic, Prague
 Denmark, Copenhagen
 Egypt, Cairo
 Finland, Helsinki
 France, Rueil-Malmaison
 Germany, Lempertshelm
 Great Britain and Ireland, Macclesfield
 Hungary, Budapest
 India, Mumbai
 Indonesia, Jakarta
 Iran, Teheran
 Italy, Portofino/Monza
 Japan, Tokyo
 Korean Republic, Seoul
 Malaysia, Klang
 Mexico, Puebla
 New Zealand, Auckland
 Norway, Oslo
 Pakistan, Karachi
 People's Republic of China, Shanghai
 Philippines, Manila
 Poland, Warsaw
 Portugal, Porto
 Russia, Moscow
 Saudi Arabia, Al-Khobar
 Singapore
 Slovenia, Ljubljana
 South Africa, Isando/Johannesburg
 Spain, Barcelona
 Sweden, Västra Frånåsa
 Switzerland, Basel
 Taiwan ROC, Kaohsiung
 Thailand, Bangkok
 Turkey, Istanbul
 UAE, Abu Dhabi/Dubai
 USA, Tarrytown, NY
 Venezuela, Caracas



Web: www.dbsac.com