

**PROSESSIPARAMETRIEN
MUUTOKSIEN VAIKUTUS
ADHEESIOMUOVIIEN
OMINAISUUKSIIN**

Sanna Antikainen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka
Kemiantekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma
Kemiantekniikka

ANTIKAINEN, SANNA:

Prosessiparametrien muutoksien vaikutus adheesiomuovien ominaisuuksiin

Opinnäytetyö 129 sivua, josta liitteitä 65 sivua
Toukokuu 2012

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää keskeisimpien parametrien muutoksien vaikutus adheesiomuovien ominaisuuksiin. Tutkimus tehtiin viidelle eri polyeteenituotteelle, pääosin tuotteelle ME0420-05 Borealis Polymers Oy:n Boremix Compounding -tuotantolaitoksella Porvoossa. Tutkimus koski tuotantonopeuden kasvua ja pääpainona oli löytää ekstruuderille optimaalinen kierrosnopeus tuotannon muuttuessa ja mahdollisesti tämän jälkeen puuttua reseptiin, jos tarve vaatii. Lisäksi huomioon täytyi ottaa ekstruuderin ruuviprofiili. Tietoa analysoitaessa ja koeajosuunnitelmaa tehdessä käytettiin työkaluna Design-Expert® -ohjelmaa. Koeajot tehtiin tuotantomittakaavassa tuotantolinja SL-200:lla ja laboratorioanalyysit QC-laboratoriossa.

Opinnäytetyötä varten tuotannossa tehtiin useita tuotantonopeuskoeajoja, joista saatiin todella tärkeää tietoa reaktion kulusta ekstruuderissa ja näin ollen ruuvin täyttöasteen merkityksestä tuoteominaisuuksiin. Samalla selvitettiin myös eri vaakasyöttöjen vaikutusta tuoteominaisuuksiin. Näiden koeajojen ja normaalituotannon yhteydestä saaduista tiedoista laadittiin säätötaulukko tuotteelle ME0420-05.

Tuotantonopeuskoeajot onnistuivat erinomaisesti, minkä perusteella voidaan sanoa, että tuotteelle ME0420-05 kokeillut ekstruuderin kierrosnopeudet eri tuotantonopeuksilla olivat hyvin lähellä optimaalisia kierrosnopeuksia. Koeajojen perusteella nähtiin, ettei ruuviprofiiliin ole tarvetta puuttua ko. nopeuksilla. Kehittämisehdotuksena pidempiaikaista koeajoa voitaisiin kokeilla uudelleen.

Tämä opinnäytetyö sisältää luottamuksellista tausta-aineistoa ja tutkimustuloksia, jotka ovat vain Borealis Polymers Oy:n käyttöön.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Chemical Engineering

ANTIKAINEN, SANNA:

The Effect of Changing Process Parameters on the Properties of Adhesion Polymers

Bachelor's thesis 129 pages, appendices 65 pages
May 2012

The purpose of this Bachelor's thesis was to discover the effect of changing the most important parameters on the properties of adhesion polymers. The analysis was done for five different polyethene products, primarily for the ME0420-05 in the Borealis Polymers Oy Boremix Compounding plant in Porvoo. The analysis was about increasing production rate. The primary goal was to find an optimal rotation speed for the extruder as production rate changes and to alter the recipe if needed. Additionally the extruder's screw profile had to be considered. Design-Expert® program was used to analyze the information and prepare the test run schedule. The test runs were run in production scale at production line SL-200 and the laboratory analyses at the QC laboratories.

Many production rate trial runs were made for the thesis. These trial runs provided extremely important information regarding the reaction's progression in the extruder and therefore the meaning of the screw's degree of filling. At the same time the effect of different horizontal feeds on product properties was examined. The information gathered from these trial runs in addition to information from regular production was used to create a control table for product ME0420-05.

The production rate trial runs succeeded splendidly. Based on the trial runs it is possible to declare that the extruder's rotation speeds with different production rates for the product ME0420-05 were extremely close to optimal rotation speeds. Based on the trial runs it was discovered that there is no need to alter the screw profile with the aforementioned speeds. For an improvement proposal the longer term trial run could be tried again.

This Bachelor's thesis contains confidential background material and research results which are only available to Borealis Polymers Oy.

Key words: Borealis Polymers Oy, polyethene, adhesive polymer, reactive extrusion

SISÄLLYS

ERITYISSANASTO	5
1 JOHDANTO.....	6
2 BOREALIS POLYMERS OY	7
2.1 Yleistä	7
2.2 Asiakaskunta ja markkinatietoa.....	7
3 BOREMIX	8
4 MUOVIT	9
4.1 Yleistä	9
4.2 Adheesiomuovi ja teräsputkipinnoitus	9
4.3 Borcoat™ ME0420.....	9
5 POLYETEENI	10
5.1 Yleistä	10
5.2 Ominaisuudet.....	10
5.3 Polyeteenien jako.....	11
5.3.1 Pientiheyspolyeteeni	11
5.3.2 Keskitiheyspolyeteeni	11
5.3.3 Suurtiheyspolyeteeni.....	11
5.3.4 Lineaarinen pientiheyspolyeteeni	12
5.3.5 Hyvin pienen tiheyden polyeteeni.....	12
5.3.6 Silloittuva polyeteeni	12
6 EKSTRUUSIO	13
6.1 Perinteinen ekstruusio.....	13
6.2 Reaktiivinen ekstruusio	14
6.2.1 Maleiininhydridi.....	15
6.2.2 Peroksidi	16
6.2.3 Antioksidantti.....	16
7 DESIGN-EXPERT®.....	17
8 JOHTOPÄÄTELMÄT	18
LÄHTEET	19
LIITTEET.....	21

ERITYISSANASTO

AO	Antioksidantti
BA	Butyyliakrylaatti
Borena	Borealiksen sisäinen intranet
DOE	Design-Expert®
FTIR	Infrapunaspektrofotometri
HDPE	Suurtiheyspolyeteeni
IPS	Sisäinen tuotespesifikaatio (Internal Product Specification)
LDPE	Pientiheyspolyeteeni
LLDPE	Lineaarinen pientiheyspolyeteeni
MAH	Maleiinianhydridi
MDPE	Keskitiheyspolyeteeni
MFR	Sulaindeksi (Melt Flow Rate)
OIT	Hapetuskestävyys (Oxidative Induction Time)
PEX	Silloituva polyeteeni
SEI	Energian kulutus massavirtaa kohti (Specific Energy Input)
VLDPE	Hyvin pienen tiheydenpolyeteeni

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää keskeisimmät parametrimuutoksien vaikutukset adheesiomuovien ominaisuuksiin. Pääosin tutkimus tehtiin polyeteenituotteella ME0420-05 tuotantolinjalla SL-200, mutta työssä tutkittiin myös muita polyeteenituotteita ja niiden ominaisuuksia. Lisäksi tutkimuksen pääpainona oli löytää optimaalinen ekstruuderin kierrosnopeus tuotannonopeuden noustessa 2,6 tonnista 3,1 tonniin tunnissa. Tämä tarkoittaa sitä, ettei reaktio pääse muuttumaan ekstruuderissa ja työstö pysyy hyvänä tuotannon noustessa. Optimaalisen kierrosnopeuden löytyessä, kierroksiin ei ole enää syytä puuttua, sillä se vaikuttaisi reaktioon ekstruuderissa ja näin ollen tuoteominaisuuksiin. Optimaalisen kierrosnopeuden löytymisen jälkeen tuotannossa säädellään syöttöjen määrää tarvittaessa, jotta tuoteominaisuudet pysyisivät raja-arvojen sisällä.

Tutkimuksessa käytettiin olemassa olevaa tietoa ajanjaksolta tammikuu 2011 - tammikuu 2012. Ainoastaan vetotestien tuloksia tutkittaessa käytettävissä oleva tieto oli ajanjaksolta kesäkuu 2011 – tammikuu 2012, sillä analysoitaessa tuloksia oli huomioitava epoksin vaihtuminen. Tiedon analysoinnissa ja koeajosuunnitelmaa tehdessä käytettiin työkaluna Design-Expert® -ohjelmaa (DOE).

Tausta-aineiston pohjalta on lähdetty tarkastelemaan prosessiparametrien muutoksien vaikutuksia lopputuotteen ominaisuuksiin ja suunnittelemaan tulevia koeajoja. Koeajojen tarkoituksena oli parantaa DOE:n antamaa mallia, sillä tuotannossa ajetaan hyväksi todetuilla prosessiparametreilla eikä niihin ole juurikaan tarvetta puuttua.

Liitteissä on esitetty tausta-aineisto, koeajosuunnitelmat, tulokset ja niiden analysointi sekä johtopäätökset.

2 BOREALIS POLYMERS OY

2.1 Yleistä

Kansainväliseen Borealis-konserniin kuuluvan Borealis Polymers Oy:n keskuspaikka sijaitsee Itävallassa. Yhtiö valmistaa raaka-aineita muoviteollisuuden tuotteisiin. Borealoksen toimipaikka Suomessa sijaitsee Porvoossa Kilpilahden teollisuusalueella, jossa tuotetaan olefiinia, fenolia, polyeteeniä, polypropeenaa ja Bostar-polyeteeniä. (Borealis Polymers Oy 2012).

Borealis syntyi vuonna 1994, kun Neste Oy ja norjalainen Statoil yhdistivät muovituotantonsa. Neste myi osuutensa vuonna 1998 International Petroleum Investment Companylle (IPIC) ja itävaltalaiselle OMV:lle. Samoin teki Statoil vuonna 2005, joten IPIC omistaa yhtiöstä 64 % ja OMV 36 %. (Borealis 2012.)

2.2 Asiakaskunta ja markkinatietoa

Vuonna 2011 Borealoksen liikevaihto oli noin 7,1 miljardia euroa, asiakkaita oli yli 120 maassa ja työntekijöitä oli 5100, 20 maassa. (Annual report 2011, 59.)

Borealoksen ja Borougen tuotantokapasiteetti on yli 5,4 miljoonaa tonnia polyolefiinia vuodessa, joista 26 % on seurausta äskettäin valmistuneeseen kapasiteetin kasvuun Abu Dhabissa. (Facts and Figures 2010/11).

Borealoksen Suomen tuotannosta menee vientiin noin 75 %. Pääsovellukset ovat putkituotteet, teräsputkenpäällystys ja kaapelituotteet. Toiminta on vahvaa Euroopassa ja kasvaa Lähi-idässä ja Aasiassa yhteisyritys Borougen avulla. (Borena 2012.)

3 BOREMIX

Boremix eli compounding-laitos on Porvoon Borealiksen yksi tuotantolaitoksista, jossa on kolme tuotantolinjaa, jotka valmistavat polyeteenistä ja polypropeenista erikoistuotteita erilaisiin asiakassovelluksiin. Tuotantolinja SL-200:n päätuotteet ovat teräsputken päällystyksen adheesiotuotteet, tuotantolinja SL-400:n värilliset polypropeenituotteet pääasiassa lattialämmitysputkiin ja tuotantolinja SL-500:n Ambicat -katalyyttituotteet matalajännitekaapelituotteisiin. Näistä uusin tuotantolinja on SL-200, joka aloitti toimintansa vuonna 2004, tuotantolinja SL-400 on vuodelta 1972 ja SL-500 vuodelta 1988. Polymeerit tulevat Boremixin linjoille pääsääntöisesti LDP:n siiloalueen kautta tai suoraan rekalla bulk-toimituksena. (Borena 2012 & Boremix –esitysmateriaali 2011).

Yleinen tuotantonopeus tänä päivänä on tuotantolinjalla SL-200:lla 1500 - 2600 kg/h, SL-400:lla 2500 - 3000 kg/h ja SL-500:lla 800 - 1100 kg/h (Boremix – esitysmateriaali 2012). Tuotteiden kysynnän vuoksi on tärkeää pystyä nostamaan tuotantonopeuksia ja näin ollen vastaamaan asiakkaiden kasvaviin tarpeisiin.

4 MUOVIT

4.1 Yleistä

Muovit ovat petrokemian sivutuotteita ja ne valmistetaan polttoaineiden tuotannosta ylijäävistä hiilivetyvirroista. Aiemmin nämä hiilivetyvirrat poltettiin öljynjalostamojen soihduissa taivaalle. Muovien ydin on polymeeri, joka on syntynyt monomeerien liittyessä yhteen. Polymeereihin voidaan seostaa erilaisia lisä-, lujite- ja täyteaineita vaadittavien lopputuotteen ominaisuuksien mukaan. (Muoviteollisuus 2008.)

4.2 Adheesiomuovi ja teräspuutkipinnoitus

Adheesiomuovilla tarkoitetaan ns. liimamuovia, jolla voidaan liittää pintoja yhteen. Kun puhutaan adheesiosta, tarkoitetaan sidontavoimaa liiman ja liimattavan materiaalin välillä. Koheesiolla tarkoitetaan puolestaan liiman sisäistä lujuutta. (Kemian aineisto 2004.)

Teräspuutkipinnoittamisen tarkoituksena on suojata pinnoitettava materiaali korroosiolta ja mekaanisilta vaurioilta. Tätä testataan kiinnipysyvyyttesteillä, joiden avulla arvioidaan pinnoitteen adheesiota. (Borena, Test method, BTM14936.)

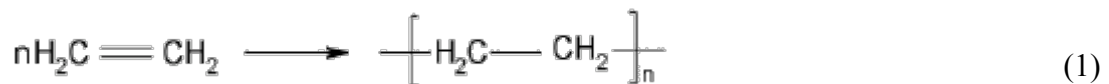
4.3 BorcoatTM ME0420

Yksi tutkimuksessa käytettävistä polyeteenituotteista oli BorcoatTM ME0420. Tuote on hajuton, kiinteä ja väriltään luonnonvalkoinen. Lisäksi se on stabiili kestopuovi, joka ei ole kemiallisesti reaktiivinen. Tuotteen tiheys on $0,934 \text{ g/cm}^3$ ja sen MFR on $1,3 \text{ g/10min}$. Koska tuote ei sisällä suuria pitoisuuksia vaaralliseksi luokiteltuja aineita, niitä ei tarvitse ottaa huomioon EY-direktiivin mukaisesti. (Borealis, Data sheets for Borcoat ME0420 2012.)

5 POLYETEENI

5.1 Yleistä

Yksinkertaisin polymeeri on polyeteeni, joka on syntynyt polymeroitumisreaktiossa, kun eteenimolekyylit liittyvät yhteen kaksoissidoksen kohdalta (yhtälö 1). Jotta polymeroitumisreaktio onnistuisi, tarvitaan reaktiivinen monomeeri, katalyytti ja lämpöenergiaa. (Kemian aineisto 2004.)



Koska eteenillä ei ole sivuryhmiä, jotka vaikuttaisivat polymeerin etenemispään stabiili-suuteen, voi polymeraatio olla radikaalipolymeraatio, anioninen additiopolymeraatio, ionikoordinaatiopolymeraatio tai kationinen additiopolymeraatio. (Kolev M.)

5.2 Ominaisuudet

Kestomuoveihin kuuluvan polyeteenin ominaisuudet vaihtelevat sen valmistusmenetelmästä. Niihin vaikuttavat muun muassa polymeerin rakenne, tiheys ja kiteisyys. Esimerkiksi taivutuslujuus, kimmomoduuli ja termiset ominaisuudet ovat suoraan riippuvaisia tiheydestä. Polyeteenin moolimassa vaikuttaa polyeteenin teknisiin ominaisuuksiin. Polyeteenillä, jolla on matala moolimassa, on paremmat viskositeettiominaisuudet ja korkeampi sulaviskositeetti verrattuna korkeamman moolimassan omaaviin polyeteeneihin. (Kolev M.)

Koska polyeteenillä on korkea resistiivisyys, se voi sähköistyä. Tätä voidaan alentaa antistaattisilla aineilla. Polyeteeniä voidaan käyttää alhaisissa lämpötiloissa, se kestää hyvin kemikaaleja ja sillä on erinomainen kulutuskestävyys. Näiden lisäksi se on pehmeä ja joustava materiaali, jolla on hyvä työstettävyys. Sitä voidaankin lämmön avulla pehmittää uudestaan työstettäväksi. (Kolev M. & Muovityöstö 2011.)

5.3 Polyeteenien jako

Polyeteenit voidaan jakaa tiheyden perusteella pien-, keski- ja suurtiheyspolyeteeneihin. Tämän lisäksi polyeteenit voidaan jakaa lineaariseen pientiheyspolyeteeniin, hyvin pienen tiheydenpolyeteeniin, silloittuvaan polyeteeniin, suurtiheys silloittuvapolyeteeniin, korkean molekyylipainonpolyeteeniin ja erittäin korkeaan molekyylipainonpolyeteeniin. (Kolev M.)

5.3.1 Pientiheyspolyeteeni

Pientiheyspolyeteenin (LDPE) tiheys on $0,910\text{--}0,940\text{ g/cm}^3$. LDPE:tä valmistetaan vaaparadikaalipolymeraatiolla paineen ollessa $140\text{--}250\text{ MN/m}^2$ ja lämpötilan $180\text{--}270^\circ\text{C}$. Reaktiossa tapahtuu ketjujen haaroittumista, jonka vuoksi tämä voi aiheuttaa sulalle LDPE:lle ainutlaatuiset työstön kannalta toivottavat virtausominaisuudet. (Kolev M.)

5.3.2 Keskitiheyspolyeteeni

Keskitiheyspolyeteenin (MDPE) tiheys on $0,926\text{--}0,940\text{ g/cm}^3$. MDPE:tä valmistetaan suspensio- tai liuospolymeraatiolla, jossa katalyyttinä käytetään kromi/silikaa, Ziegler-Natta- tai metalloseeniä. MDPE:llä on parempi jännityssäröilynkesto kuin HDPE:llä ja lisäksi sillä on hyvät isku- ja pudotuskestävyysominaisuudet. (Kolev M.)

5.3.3 Suurtiheyspolyeteeni

Suurtiheyspolyeteenin (HDPE) tiheys on vähintään $0,941\text{ g/cm}^3$. HDPE:tä valmistetaan kromi/silika-katalyytillä, Ziegler-Natta-katalyytillä tai metalloseenikatalyytillä. Ketjujen haarautuminen on vähäistä, joten HDPE:llä on voimakkaat molekyylien väliset sidosvoimat ja korkea vetolujuus. (Kolev M.)

5.3.4 Lineaarinen pientiheyspolyeteeni

Lineaarisen pientiheyspolyeteenin (LLDPE) tiheys on 0,915–0,925 g/cm³. LLDPE:tä valmistetaan yleensä eteenin kopolymeroitumisella. LLDPE:llä on parempi veto-, isku- ja lävistyslujuus verrattuna LDPE:hen. (Kolev M.)

5.3.5 Hyvin pienen tiheyden polyeteeni

Hyvin pientiheyspolyeteenin (VLDPE) tiheys on 0,880-0,915 g/cm³. VLDPE on lineaarinen polymeeri ja sitä valmistetaan eteenin kopolymerisaatiolla lyhytketjuisten α -olefiinien kanssa. (Kolev M.)

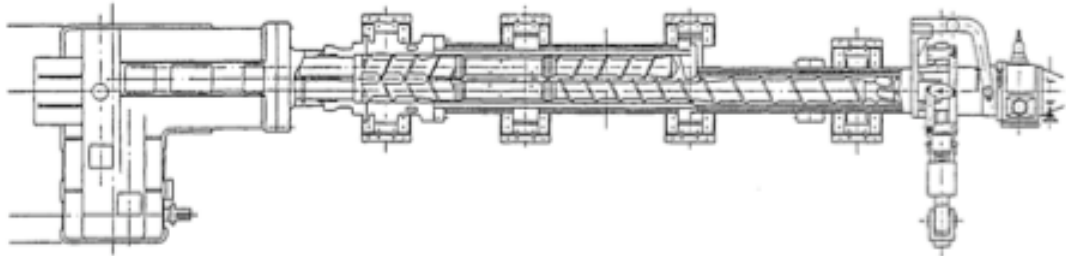
5.3.6 Silloittuva polyeteeni

Silloittuva polyeteeni (PEX) on keski- tai suurtiheyksistä polyeteeniä. Sen rakenteessa on ristisilloittuneita sidoksia, jonka vuoksi rakenteesta tulee elastomeerinen. PEX:llä on tämän vuoksi paremmat korotetun lämpötilan ominaisuudet, heikentynyt virtaavuus ja parantuneet kemialliset ominaisuudet. (Kolev M.)

6 EKSTRUUSIO

6.1 Perinteinen ekstruusio

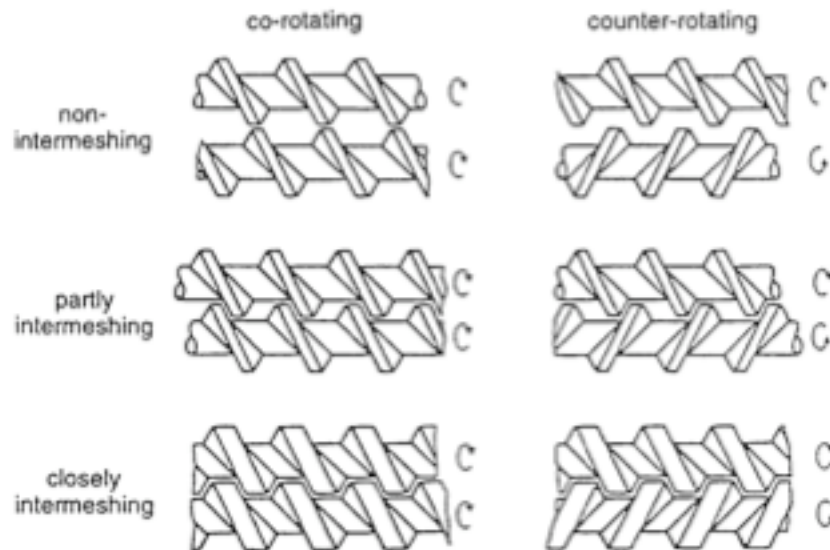
Ekstruusio eli suulakepuristus tarkoittaa menetelmää, jossa raaka-aineet sekoitetaan keskenään ekstruuderissa. Prosessissa raaka-aineet syötetään hopperin kautta ruuville, joka sulattaa materiaalin pyörimisen aiheuttaman kitkan ja sylinterin lämmityksen avulla. Samalla materiaali siirtyy ruuvissa eteenpäin ja puristuu lopulta suuttimen läpi. (Johansson, L. 2011, 3)



KUVIO 1. Tyypillinen sivuava kaksiruuviekstruuderit ((Baker, Scott & Hu, 2001, 182.)

Ekstruuderit voidaan jakaa rakenteensa ja ominaisuuksien perusteella useilla eri tavoilla. Syötettävän materiaalin lämpötilan perusteella ekstruuderit jaetaan kylmä- tai kuumasyöttökoneisiin. Jako voidaan tehdä myös mäntä-, hammaspyörä- tai ruuviekstruudereihin. Ruuvitoimiset ekstruuderit voidaan jakaa ruuvien lukumäärän perusteella yksitai useampiruuviekstruudereihin. Lisäksi useampiruuviset ekstruuderit voidaan jakaa ruuvien keskinäisen asemoinnin perusteella erillis-, sivuava- ja puretuvaruuvisiin ekstruudereihin. (Lahti, T.2003, 18–19.)

Kuviossa 1 on esitetty tyypillinen sivuava kaksiruuviekstruuderit ja kuviossa 2 on kuvattuna kaksiruuviekstruudereiden luokittelu pyörimissuunnan ja asemoinnin mukaan.



KUVIO 2. Kaksiruuviekstruudereiden luokittelu pyörimissuunan ja asemoinnin mukaan (Baker ym. 2001, 181.)

Materiaalin sekoittumiseen ja siirtymiseen ekstruuderissa voidaan vaikuttaa erilaisilla ruuviprofiileilla. Kuviossa 3 on esitettyä erilaisia ekstruuderin kuljetus- ja sekoituselementtejä.



KUVIO 3. Erilaisia kuljetus- ja sekoituselementtejä (Baker ym. 2001, 185.)

6.2 Reaktiivinen ekstruusio

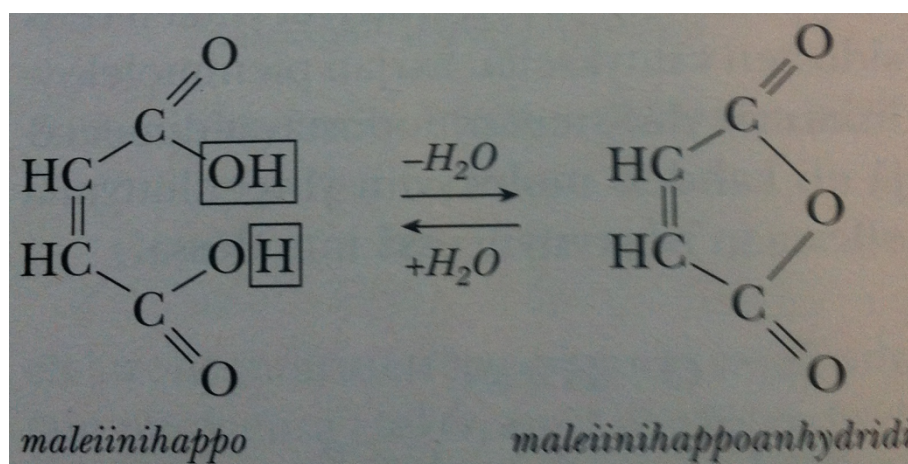
Tuotantolinja SL-200:n yhteydessä puhutaan reaktiivisesta ekstruusiosta eli työstömenetelmästä, jossa ekstruuderia käytetään reaktorina, kun suoritetaan kemiallisia reaktioita polymeereille tai polymeroitaville monomeereille. Tällöin ekstruusiosta yhdistyy polymeerikemia ja ekstruusio. Polymeerikemia käsittää muun muassa itse polymeroinnin ja ekstruusio sekoituksen. (Mäkinen. 2012, 2.)

Reaktiivisessa ekstruusiossa polyeteeniin voidaan oksastaa maleiinianhydridiä (MAH) vapaaradikaali-initiaattorien (peroksidi) avulla, jolloin MAH kiinnittyy polymeerirunkoon joko meripihka-anhydridinä tai oligomeerinä. Reaktiivisessa ekstruusiossa polymeerillä on kuitenkin taipumusta ristisilloittua vapaiden radikaalien vaikutuksesta, jonka vuoksi on tärkeää käyttää sopivia lisäaineita (esim. antioksidantit) ja reaktioolosuhteita. (Mäkinen 2010, 15.)

6.2.1 Maleiinianhydridi

Maleiinihaposta muodostuva maleiinianhydridi on orgaaninen yhdiste, jolla on lukuisia käyttökohteita, esimerkiksi pinnoitteet ja kopolymeerit. Maleiinianhydridi on reaktioissa reaktiivisempi kuin vastaava karboksyylihappo. (Mortimer 2000, 328.) Maleiinianhydridi esiintyy huoneenlämpötilassa kiteisenä, sen sulamispiste on noin 52 °C ja kiehumispiste 202 °C (Mäkinen 2010, 11).

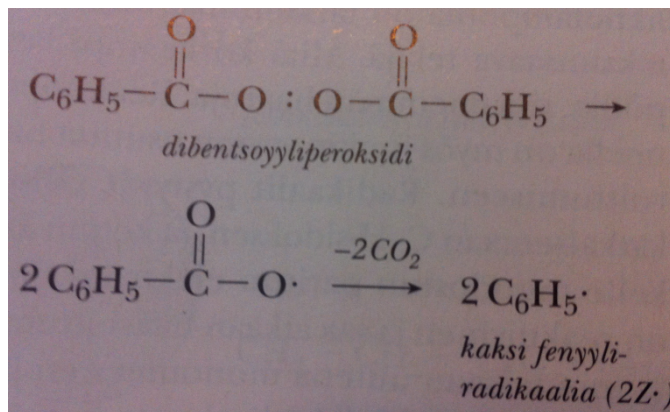
Maleiinianhydridiä saadaan lohkaisemalla vettä maleiinihaposta, joka muodostaa veden kanssa reagoidessaan jälleen alkuperäisen maleiinihapon (kuvio 4). Rengasmaisia anhydridejä muodostuu dikarboksyylihapoista joilla on kaksi tai kolme hiiliatomia kahden karboksyyli ryhmän välissä. (Mortimer 2000, 328.)



KUVIO 4. Maleiinihappoanhydridin muodostuminen (Mortimer 2000, 328)

6.2.2 Peroksidi

Peroksidia käytetään radikaalipolymeroinnissa, sillä se toimii initiaattorina eli käynnistää reaktion ja hajoaa helposti radikaaleiksi. Dibentsoyyliperoksidi on yksi tavallisesti käytetty peroksidi, jonka O-O -sidos hajoaa helposti ja jolloin muodostuu initiaattorina toimiva fenyyliradikaali (kuvio 5). (Mortimer 2000, 343.) Lisäksi peroksiedeja käytetään muovien kovettamiseen ja ristisilloittamiseen (Euroopan unioni 2005).



KUVIO 5. Fenyyliradikaalin syntyminen (Mortimer 2000, 343)

Ristisilloituksessa polymeeriketjujen välille muodostuu kovalenttisia sidoksia, jonka ansiosta polymeerista tulee kemiallisesti reagoimaton, jolloin ristisilloitettu polymeeri ei liukene liuottimiin eikä sula tai muuta muotoaan. Mikäli silloittumisaste jää liian pieneksi, polymeeri on joustavaa ja pehmeää. Liian suuri silloittumisaste aiheuttaa puolestaan sen, että polymeerista tulee liian jäykkää ja haurasta. (Visuri 2010, 14.)

6.2.3 Antioksidantti

Antioksidantit estävät hapettumista ja niitä käytetään muovin hajoamisen estämiseksi (Niemi 2010, 19). Lisäksi niitä käytetään myös estämään polyeteenin ristisilloittumista peroksidin vaikutuksesta.

7 DESIGN-EXPERT®

Puhuttaessa monimuuttuja-analyyseistä viitataan menetelmiin, joilla voidaan tutkia samanaikaisesti vähintään kahta vastemuuttujaa (Sarna 2011, 4). Menetelmän tarkoituksena on saada karsittua koko aineistoon liittyvästä vaihtelusta puhtaasti satunnainen osuus tiivistämällä tietoa ja näin ollen saada paljastetuksi tutkittavan ilmiön taustalla olevat rakenteet (Mustonen 1995, iii).

DOE on varsin yleinen ohjelma, jota käytetään koeajosuunnitelmia tehtäessä. Siinä tutkitaan eri muuttujien riippuvuuksia vasteisiin. Kun nähdään kaikkien muuttujien riippuvuudet tutkittavaan vasteeseen, pyritään sulkemaan pois sellaiset muuttujat, joilla ei ole merkittävää vaikutusta ko. vasteeseen. Näin ollen saadaan selvitettyä mitkä muuttujat vaikuttavat merkittävästi tutkittavaan vasteeseen ja miten.

DOE:n antamat mallit perustuvat keskihajontaan (Anderson & Whitcomb 2007, 9). Keskihajonta kuvaa havaintoarvojen ryhmittymistä keskiarvonsa ympärille (yhtälö 2). Mitä pienempi keskihajonta on sitä lähemmäs keskiarvoa havaintoarvot on ryhmittyneet. Vastaavasti mitä suurempi keskihajonta on, sitä kauempana havaintoarvot ovat keskiarvosta. (Opetushallitus.)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (2)$$

, jossa

- s= keskihajonta
- n = mittausarvojen lukumäärä
- Y= mittausarvo
- \bar{Y} = mittausarvojen keskiarvo

8 JOHTOPÄÄTELMÄT

Koska koeajot tehtiin tuotannossa, se asetti haasteita koeajojen tekemiseen ja myös tulosten analysointiin. Vaikka koeajoja tehtiin useita, ajanpuutteen vuoksi ei ollut mahdollista toistaa tehtyjä koeajoja. Näin ollen tiedon luotettavuus jäi alhaisemmaksi verrattuna lukuisista koeajosarjoista saatuun tietoon. Tästä huolimatta tuotantonopeuskoeajoista saatiin hyödyllistä tietoa prosessiparametrien muutoksien vaikutuksista polyeteenituotteiden ominaisuuksiin. Työn lopputuloksena saatiin laadittua säätötaulukko tuotteelle ME0420-05, josta käy ilmi eri prosessiparametrien muutoksien vaikutukset tuoteominaisuuksiin.

Koeajot onnistuivat erinomaisesti lukuun ottamatta koeajojen yhteydessä ilmenneitä ongelmia. Tämän vuoksi opinnäytetyö jäi hieman kesken, sillä ajanpuutteen vuoksi ei ollut mahdollista puuttua näihin asioihin. Koska pidempiaikaisen tuotantonopeuskoeajon aikana ilmeni odottamattomia ongelmia, tulevaisuudessa voitaisiin kokeilla ko. tuotantonopeutta samoilla prosessiparametreilla. Tällöin täytyisi varmistua, etteivät samat asiat aiheuttaisi enää ongelmia ja näin ollen saataisiin vertailukelpoista ja luotettavaa tietoa ruuvien täyttöasteen vaikutuksesta tuoteominaisuuksiin.

LÄHTEET

Anderson, M. & Whitcomb, P. 2007. DOE Simplified. Practical Tools for Effective Experimentation.

Baker, W.; Scott, C.; Hu, G-H. Reactive Blending. 2001.

BA-pitoisuuden määrittäminen. Borena. Test method. BTM14549.

Borealis. Annual report. 2011.

Borealis. Data sheets for Borcoat ME0420. Luettu 3.5.2012.

<http://www.borealisgroup.com/datasheets/10018965>

Borealis History. Luettu 15.4.2012.

<http://www.borealisgroup.com/about/about-borealis/history/>

Borealis Polymers Oy. Luettu 15.4.2012.

<http://www.kilpilahti.fi/yritykset-kilpilahdessa/borealis-polymers-oy/>

Boremix-esitysmateriaali. 2011. Luettu 5.4.2012.

Borena. Porvoo Compounding Presentation material. Luettu 5.4.2012.

Euroopan unioni. Asia COMP/E-2/37.857. Orgaaniset peroksidit. 2005. Luettu 11.5.2012.

[http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:110:0044:0047:FI:PDF)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:110:0044:0047:FI:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:110:0044:0047:FI:PDF)

Johansson, L. 2011. Polymeeriraaka-aineen kehitys ekstruusiolla valmistettavaan sovellukseen. Materiaalitekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Kemian aineisto. Liimojen rakenne. 2004. Luettu 3.5.2012.

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/liimat/rakenne.htm>

Kemian aineisto. Liimojen toiminta. 2004. Luettu 3.5.2012.

<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/liimat/toiminta.htm>

Kokonaishappopitoisuuden määrittäminen adheesiomuoveista. Borena. Test method. BTM14534.

Kolev, M. Polyeteeni. Suom. Nykänen, S. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 3.5.2012.

http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PE_FI.pdf

Lahti, T. 2003. Soft sensor-anturointiin perustuva kumin sekoitusprosessin viskositeettitason hallinta. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Linkokuivurin käyttöohjeet. 2004.

MAH-pitoisuus adheesiopolymeereistä. Borena. Test method. BTM14564.

MFR:n määrittäminen. Borena. Test method. BTM14703.

Mortimer, C. Kemia. 2000. Suom. Hakkarainen, M. Jyväskylä: Opetushallitus.

Muoviteollisuus. Muovit. 2008. Luettu 3.5.2012.

<http://www.luemuovia.net/fin/muovit/>

Muovityöstö. Polyeteeni. 2011. Luettu 5.5.2012.

http://www.muovityosto.fi/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage_images.tpl&product_id=18&category_id=6&option=com_virtuemart&Itemid=54

Mustonen, S. 1995. Tilastolliset monimuuttujamenetelmät. Luettu 15.4.2012.

<http://www.survo.fi/mustonen/monim.pdf>

Mäkinen, M. 2010. Maleiinianhydridi-olefiini-kopolymeerien valmistus reaktiivisella ekstruusiolla. Kemian ja materiaalitieteiden tiedekunta. Kemiantelekniiikan tutkinto-ohjelma. Aalto yliopisto. Kandinaatin työ.

Niemi, O. 2010. Muovikalvon valmistusmenetelmät. Kemiantelekniiikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Opetushallitus. Tilastollisia menetelmiä. Keskihajonta. Luettu 15.4.2012.

http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/tilastomatikka/haj_5.html

Sarna, S. 2011. Yleistä monimuuttujamenetelmistä. Luettu 15.4.2012.

<http://www.kttl.helsinki.fi/sarna/osa2.pdf>

Teräspuutkipinnoitteen kiinnipysyvyyden mittaaminen. Borena. Test method. BTM14936.

Työterveyslaitos. OVA-ohjeet. Butyyliakrylaatti. Päivitetty 17.12.2009. Luettu 7.5.2012.

<http://www.ttl.fi/ova/tbutakry.html>

Visuri, T. 2010. Elastomeerimassojen valmistaminen ja reseptin vaikutus niiden ominaisuuksiin. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Biotekniikan suuntautumisvaihtoehto. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.