

EKSTRUUSIOLINJAN KÄYTTÖÖNOTTO

LAB-AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri (AMK)
Materiaalitekniikka
Kevät 2020
Aku Asikainen
Mikko Koivula

Tiivistelmä

Tekijä(t) Asikainen, Aku Koivula, Mikko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 22	Valmistumisaika kevät 2020
Työn nimi Ekstruusiolinjan käyttöönotto		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja on LAB-ammattikorkeakoulu. Tehtävänä oli saada koulun ostama kaksoisruuviekstruuderin ja granulaattori käyttökuntoon ja ajaa sillä koe-erä.</p> <p>Ekstruusiolinjan käyttöönotto on monivaiheinen projekti, joka on erilainen joka kerta. Ekstruusiolinjoja on moniin eri käyttötarkoituksiin, jolloin pitää osata valita oikea ekstruuderin ja siihen oikea lisälaitte.</p> <p>Ekstruuderin toimintaperiaate ja sen mahdolliset käyttökohteet ovat tärkeää tietoa linjastoa käyttöönottaessa. Materiaalien ominaisuudet ja käyttäytyminen lämmitettäessä pitää hallita, jotta tietää, minkälaista materiaalia on kannattavaa ajaa tietyllä ekstruuderilla. Ekstruuderin on erittäin monikäyttöinen kone, jolla voidaan tehdä hyvin erilaisia tuotteita. Tässä työssä ekstruuderin lisälaitteena oli granulaattori. Granulaattorin avulla ekstruuderilla pystytään valmistamaan pellettejä, joita voidaan käyttää muissa käyttökohteissa.</p> <p>Ekstruuderin käyttöönotossa siihen valmistettiin uusi syöttölaite, käyttäen metallityöpa-jaa LAB-ammattikorkeakoulussa. Granulaattorille valmistettiin kiskot ja se puhdistettiin. Ekstruusiolinjalla ajettiin koe-erä, jossa sekoitettiin puujauhoa ja muovipellettejä. Ekstruusiolinja saatiin toimimaan hyvin, ja se toimii ilman ongelmia.</p>		
Asiasanat Ekstruusiolinja, Ekstruuderin, Granulaattori		

Abstract

Author(s) Asikainen, Aku Koivula, Mikko	Type of publication Bachelor's thesis Number of pages 22	Published Spring 2020
Title of publication Commissioning an extrusion line		
Name of Degree Bachelor of Engineering		
Abstract <p>The client for this thesis is LAB University of Applied Sciences The objective was to commission the extrusion line purchased by LAB and use it to make a test batch.</p> <p>The commissioning of an extrusion line is a multiphase project, which is different every time. There are extrusion lines for many different uses, and one must choose the correct extruder and the correct attachment for the extruder.</p> <p>The operational principle of extruders and the potential applications are important information, when implementing extruders. Material knowledge is also essential to understand what materials to use when choosing an extruder. An Extruder is a versatile machine and it is used to manufacture a large variety of products. In this project, a granulator was attached to the extruder. The Granulator creates pellets of the material that is going through the extruder. Those pellets can be use in different types of manufacturing.</p> <p>A new feeding mechanism was made for the extruder using the metal workshop in LAB University of Applied Sciences. A rail system was built for the granulator and it was cleaned since it was purchased used. A test batch was made using the extrusion line, where wood powder was mixed with plastic pellets. The extrusion line was made operational and it works without problems.</p>		
Keywords Extrusion line, Extruder, Granulator		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	EKSTRUUSIO	2
2.1	Ekstruusion kuvaus.....	2
2.2	Ekstruusion vaiheet	2
2.3	Ekstruuderin toimintaperiaate	3
2.4	Ekstruusioprosessit.....	3
2.5	Polymeerien kuivaus.....	6
2.6	Ekstruuderin voimansiirtojärjestelmä.....	7
2.7	Syöttöjärjestelmä	7
2.8	Ekstruuderin ruuvi.....	7
3	GRANULOINTI	11
3.1	Granuloinnin kuvaus	11
3.2	A.S.T granulaattori.....	11
4	EKSTRUUSIOLINJA.....	14
4.1	Toimeksianto	14
4.2	Ekstruuderin käyttöönotto	14
4.3	Suunnittelu	16
4.4	Toteutus	17
5	YHTEENVETO	21
	LÄHTEET	22

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on ekstruusion käyttöönnotto. Opinnäytetyö esittelee ekstruusion ja granuloinnin teoriatasolla sekä ekstruusion käyttöönnoton omien kokemustemme ja huomioittemme kautta. Työn toimeksiantajana on LAB-ammattikorkeakoulu ja tarkoituksena on asentaa ekstruusion käyttövalmiiksi.

Ekstruusionlinja on myös osa toista projektia, jossa selvitetään muovinkierrätystä, joten meidän on otettava huomioon, että tällä ekstruderilla on voitava ajaa monenlaisia sekoituksia. Nämä lähtökohdat tuottavat hieman lisää hommaa, mutta nekin tuli selvitettyä hyvän porukan avulla. Ekstruusionlinjan käyttöönotossa työskenteli meidän lisäksi yliopettaja Reijo Heikkinen, kehitysinsinööri Timo Roininen ja metallitöissä meitä avusti metallipuolen opettajat.

Teorian pohjana toimii kaksi ekstruusiosta kertovaa kirjaa Polymer Extrusion ja Extrusion: The definitive processing guide and handbook, sekä MuoviPlast-lehdestä löytyvän Hyvä tietää muovista -artikkelin osa Ekstruusio, ja raportti Teknisten muovien kierrätys ja uusiokäyttö. Teorian löytäminen äidinkielellä oli varsin haastavaa, joten päätimme nojata vahvasti englanninkielisiin teoriakirjoihin. Ekstruusio teorian lähteitä löytyi hyvin, mutta granuloinnin kohdalla luotettavien lähteiden löytäminen oli varsin haastavaa. Teoria käsittelee ekstruusion peruskäsitteiden kautta. Kaavoja ja laskenta esimerkkejä löytyy lähteinä käytetyistä kirjoista.

Ekstruusionlinja-osuus käsittelee asiat, jotka tulee ottaa huomioon ennen asentamisen aloittamista, ja esittelee ratkaisuita, kuten syöttöjärjestelmän uusimisen ja kiskojen rakentamisen granulaattorille, mitä asennuksessa saattaa tulla vastaan. Siinä myös käydään läpi työ suunnittelusta ja ideoinnista aina asennusvaiheeseen. Työssämme tuli esiin myös hyviä ideoita, kuten suljettu kierto ja lämpöeristyksen uusiminen.

2 EKSTRUUSIO

2.1 Ekstruusion kuvaus

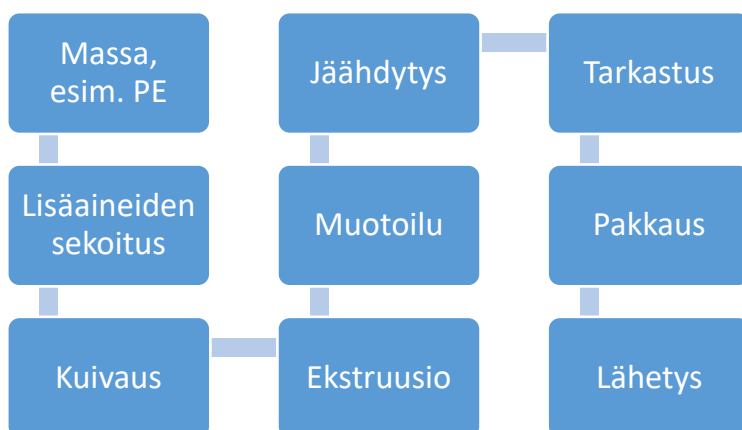
Ekstruusio eli suulakepuristus on tärkein muovintyöstömenetelmä, jossa paikallaan pysyvä ruuvi työntää muovia eteenpäin laminaarisen virtauksen luomalla paineen ruuvin päähän. Sylinteriä myös lämmitetään ulkoisilla lämpövastuksilla, mutta suurin osa sulatustlämmöstä saadaan ruuvin pyörimisestä. Ruuvin pyörimisestä aiheutuva sulatus johtuu muovin leikkautumisesta aiheutuva kitkan takia. (Lafleur & Vergnes 2014, xi.)

Valmiin tuotteen valmistus tapahtuu työntämällä muovimassa erimuotoisten suulakkeiden läpi, joka antaa muoville muodon. Yleensä koneeseen on yhdistetty vetäjä ja katkaisija. Ekstruuderin on yleensä osana isompaa kokonaisuutta. (Lafleur & Vergnes 2014, xi.)

2.2 Ekstruusion vaiheet

Ekstruusio voidaan esittää yhdeksän päävaiheen kautta (kuvio 1). Aluksi valitaan työstettävä massa, tässä esimerkissä se on polyeteeni, josta käytetään lyhennettä PE. Seuraavaksi PE-massaan sekoitetaan halutut lisäaineet, jotta muovista voidaan tehdä esimerkiksi metallinpaljastimille näkyviä. Massa ja lisäaineet kuivataan, jotta valmis tuote on mahdollisimman tasalaatuista. (Wagner, Mount & Giles 2005, 3.)

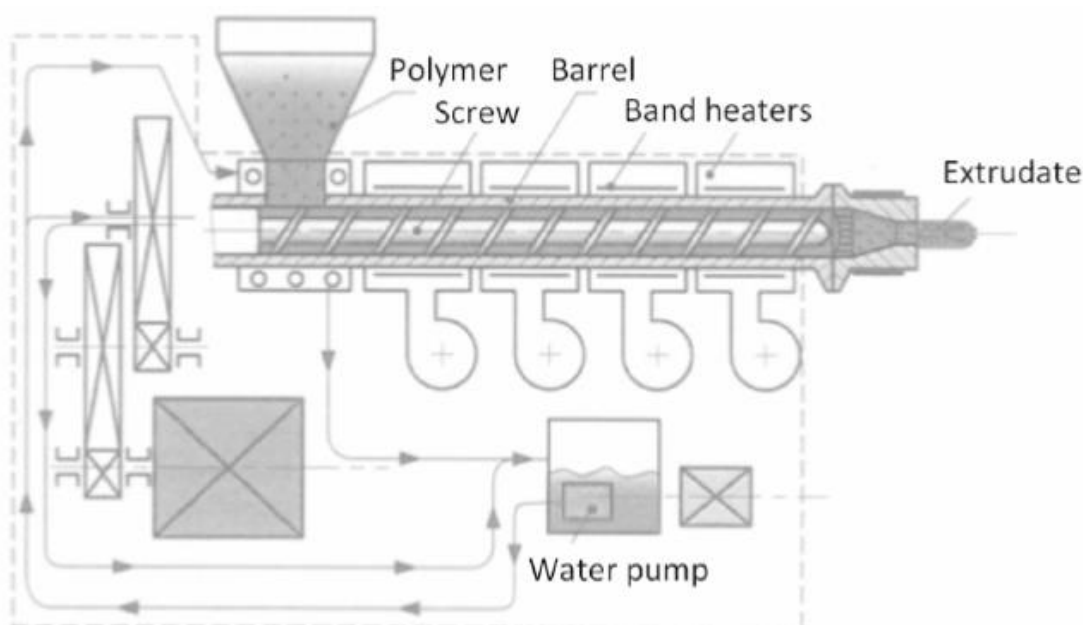
Ekstruusiolla massasta saadaan tasalaatuista ennen muotoon ajoa. Jäähdytyksen tarkoituksena on varmistaa, että muovi pitää sille halutut mitat ja muodot. Lopuksi tuote tarkastetaan mittojen ja laadun takaamiseksi ennen pakkausta ja lähettämistä. (Wagner ym. 2005, 3.)



Kuvio 1. Ekstruusion päävaiheet (mukailtu Wagner ym. 2005,3.)

2.3 Ekstruuderin toimintaperiaate

Ekstruuderin (kuva 1) toiminnan ymmärtämiseksi on aluksi hyvä käydä läpi sen osat. Moottorin ja vaihteiston eli voimansiirtojärjestelmän tarkoitus on ruuvin pyörittäminen. Vesipumppu pyörittää vettä jäähdytysjärjestelmässä, jotta lämpötilat eivät nouse liian korkeiksi. Syöttökaukalo ohjaa massan ruuville. Ruuvi sulattaa, sekoittaa ja kuljettaa massaa sylinterissä. Sylinteri on kanava, jota pitkin ruuvi kuljettaa massaa. Sylinteriin kiinnitetyt lämpövastukset pitävät massan oikean lämpöisenä. Massa puristetaan suulaketta vasten, joka antaa halutun muodon. (Lafleur & Vergnes 2014, 38.)



Kuva 1. Ekstruuderin (Lafleur & Vergnes 2014, 37.)

2.4 Ekstruusioprosessit

Ekstruusiota voidaan käyttää hyvin erilaisten tuotteiden valmistukseen. Ekstruuderit ovat keskenään hyvin samanlaisia, mutta erilaisten tuotteiden valmistus saadaan aikaan lisäämällä työkaluja ekstruuderin jälkeen. Työkalujen avulla ekstruuderista saadaan hyvin monikäyttöinen väline. (Lähteenmäki 2019b, 25 - 26.)

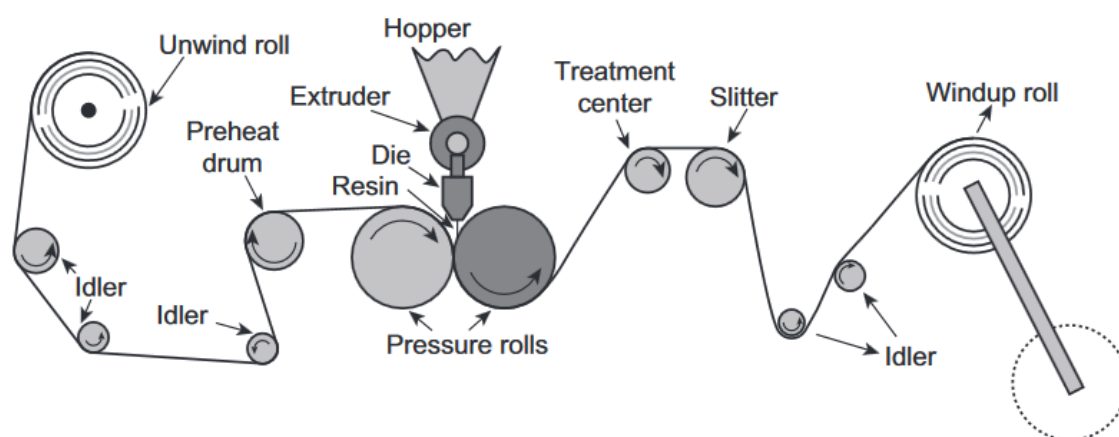
Suora ekstruusio

Suora ekstruusio on yleisin käytetty ekstruusioprosessi, jossa ekstruuderista tuleva profiili vedetään suoraan suuttimelta. Haluttu profiili jäähdytetään ja sen jälkeen kelataan rullalle tai leikataan pienimmiksi kappaleiksi. Suoraa ekstruusiota käytetään eniten putkien ja profiilien valmistukseen. Prosessi on yksinkertainen ja halpa investointi, mutta ei sovellu

kaikkiin käyttötarkoituksiin. Suoralla ekstruusiolla valmistetaan putkia, lankoja ja profiileja. (Lähteenmäki 2019b, 25.)

Kulmaekstruusio

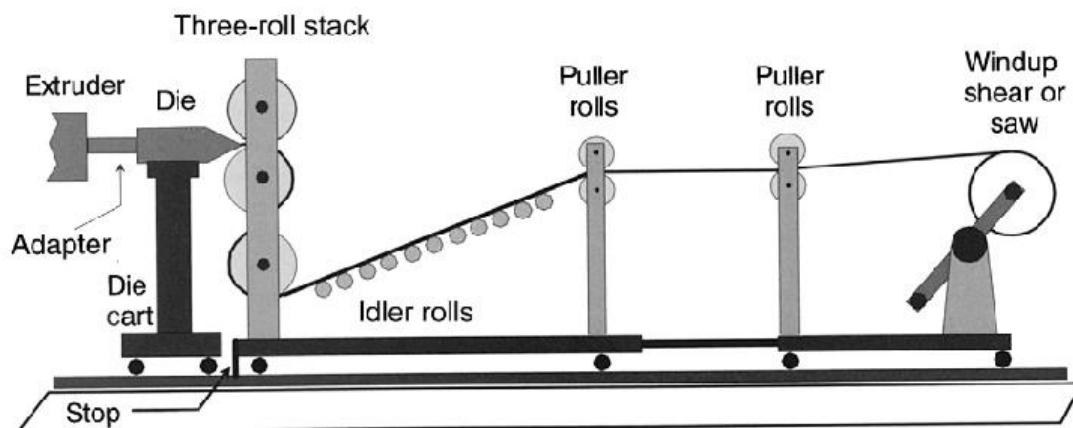
Kulmaekstruusiota (kuva 2) käytetään paperin, kankaan tai metallin päällystykseen. Prosessissa sula muovi tulee kulmatyökälistä ulos ja tarttuu päällystettävään materiaaliin, joka on esilämmitetty. Esilämmityksen avulla muovi tarttuu paremmin materiaalin pintaan. Kulmavalssin avulla muovi painautuu materiaalia vasten, minkä jälkeen annetaan muovin jäähtyä. Kulmaekstruusiossa ekstruuderin on keskellä linjastoa, jolloin se voi syöttää muovin halutun materiaalin päälle. (Lähteenmäki 2019b, 26.)



Kuva 2. Kulmaekstruusio (Wagner ym. 2005, 552.)

Tasoekstruusio

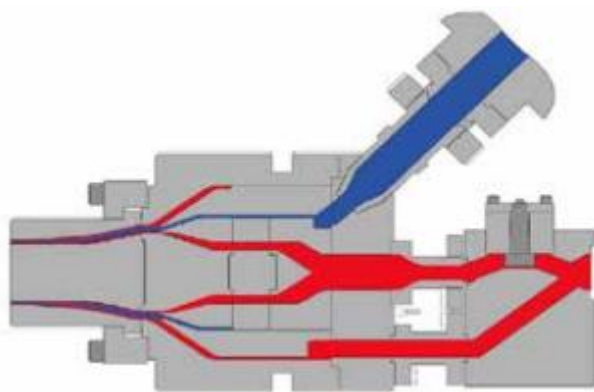
Tasoekstruusiota (kuva 3) käytetään tasaisen kalvon tai levyn valmistukseen. Työkalun suutin voi olla yli kaksi metriä leveä. Prosessi on hyvin samanlainen, kuin suorassa ekstruusiossa. Vetolaite on tärkeä osa kulmaekstruusiossa, sillä muovi jäähtyy ja pitää oikean muodon vetäjässä. Kalvoja kelataan rullille ja levy leikataan pienemmiksi vetolaitteen päässä. Tasoekstruusiossa on tärkeää pitää lämpötila tasaisena koko suuttimen leveydellä. (Lähteenmäki 2019b, 26.)



Kuva 3. Tasoekstruusio (Wagner ym. 2005, 518.)

Koekstruusio

Koekstruusiota käytetään, kun halutaan valmistaa eri raaka-aineista tai eri väreistä koostuvia tuotteita. Tässä prosessissa käytetään yleensä kahta tai kolmea ekstruuderia, jotka syöttävät samaan kanavaan (kuva 4). Kaikki raaka-aineet eivät ole yhteensopivia, jolloin ne eivät tartu kunnolla toisiinsa. Materiaalien yhteensopivuus pitää tarkistaa ennen käyttöä. Koekstruusiossa voidaan käyttää kierrätysmateriaalia tuotteen sisäkerroksessa ja uutta raaka-ainetta pinnalla, jotta pinnan laatu pysyy hyvänä. (Lähteenmäki 2019b, 26.)

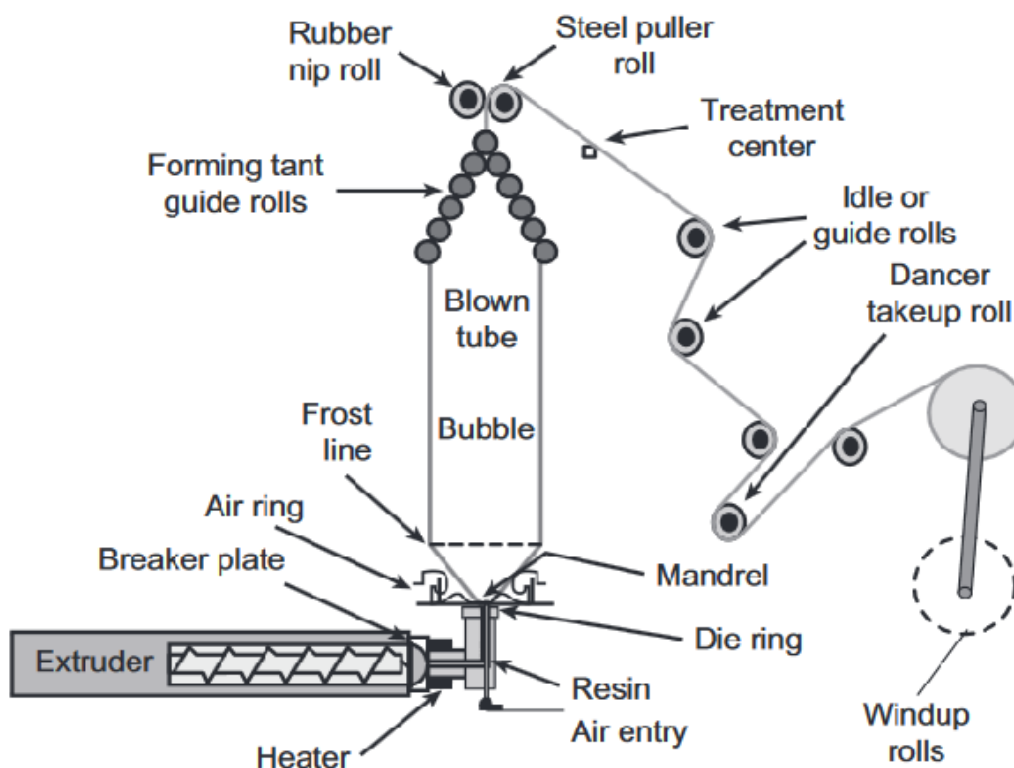


Kuva 4. Koekstruusio (Lähteenmäki 2019b, 26.)

Kalvopuhallus

Kalvopuhallus (kuva 5) perustuu ekstruuderin jälkeen laitettavaan työkaluun, jonka suuttimesta ekstrudoidaan ohut kalvo. Kalvo puhalletaan suureksi ilmalla ja sen jälkeen jäähdytetään. Kalvo painetaan yhteen valssien avulla ja kelataan rulliksi. Kalvopuhalluksessa käytetään yleensä yksiruuviekstruuderia sen yksinkertaisemman geometrian takia. Kalvopuhalluksessa on rajoitettu raaka-ainevalikoima. Yleisimmin käytettävät raaka-aineet ovat,

PE, PP, PA ja PET. Kalvoista valmistetaan erilaisia suojakalvoja, muovipusseja ja elintarvikke- ja lääkintäinstrumenttipakkauksia. (Lähteenmäki 2019c, 24.)



Kuva 5. Kalvopuhallus (Wagner ym. 2005, 540.)

2.5 Polymeerien kuivaus

Jotkin polymeerit vaativat kuivaamista ennen ekstruusiota. Näitä ovat esimerkiksi nylon, polyesteri, PET, polykarbonaatti. Nämä ovat todella hydroskooppisia polymeerejä, eli ne imevät kosteutta ilmasta nopeasti. Ekstruusion korkeissa lämpötiloissa kosteus saa aikaan pienemmän molekyyli­massan, josta johtuu heikkomat ominaisuudet. Kosteus polymeereissä muuttuu höyryksi ekstruuderissa ja riippuen sen määrästä, se voi aiheuttaa pinnanlaadun virheitä esimerkiksi roiskeita ja reikiä. Joissain tapauksissa kosteutta sisältäviä polymeerejä voidaan prosessoida alipaineistetulla ekstruuderilla. Tämä ei toimi kaikkien polymeerien kanssa, koska osa materiaalin heikkenemistä tapahtuu ennen kuin kosteus on saatu pois. Polymeerien ylikuivaamista pitää välttää, etteivät materiaalien ominaisuudet heikkene. (Wagner ym. 2005, 4.)

2.6 Ekstruuderin voimansiirtojärjestelmä

Voimansiirtojärjestelmän tehtävä on pyörittää ruuvia eri nopeuksilla ja riittävällä väännöllä. Ruuvin nopeus ohjaa suoraan tuotannon nopeutta. Ruuvin nopeutta valvotaan sen kierroksia minuutissa luvun avulla. Yleisin käytettävä voimansiirtojärjestelmä on iso vaihtovirtamoottori (DC). Moottori on kytketty nopeuden hidastajiin, jotka muuttavat moottorinopeuden ruuvinopeudeksi. Tuottaakseen maksimaalisen väännön DC-moottorin pitää pyöriä sen maksimaalisella nopeudella. Suoravirtamoottorin (AC) ei tarvitse pyöriä maksimaalisella nopeudella tuottaakseen maksimaalista vääntöä. AC-moottori tarvitsee kuitenkin muuntajan ja niitä käytetään yleensä pienemmissä ekstruudereissa. (Wagner ym. 2005, 14 - 15.)

Voimansiirrossa käytetään suoraa- ja epäsuoria järjestelmiä. Suorassa järjestelmässä moottori pyörittää suoraan ruuvia vaihdelaatikon avulla. Epäsuorassa moottori pyörittää vetäjää, joka pyörittää yhtä tai useampaa vetäjää hihnan välityksellä. (Wagner ym. 2005, 14 - 15.)

2.7 Syöttöjärjestelmä

Syöttöjärjestelmä koostuu suppilon muotoisesta syöttöastiasta ja syöttöaukosta. Muovipelletit menevät syöttöaukkoon painovoiman avulla. Syöttöaukko jäähdytetään vedellä, etteivät polymeerit sulaa ennen ruuvia. Tämä voi aiheuttaa tukoksen syöttöaukolle. Suppilon ja syöttöaukon geometria antaa materiaalin virrata vapaana ekstruuderiin. Ekstruuderiin menevää massan määrää yleensä ohjataan ruuvin pyörimisnopeudella. (Wagner ym. 2005, 16.)

Kaksiruuviekstruuderi tarvitsee annostelevan syöttöjärjestelmän. Annostelevassa syöttöjärjestelmässä on jokin säädettävää annostelija, esimerkiksi ruuvi. Ruuvin nopeutta säätämällä voi määrätä syötettävän materiaalin määrän. Kaksiruuviekstruuderin tuotantokapasiteettiä ohjataan materiaalin määrällä, eikä ruuvin pyörimisnopeudella. Pyörimisnopeus pitää tasapainottaa materiaalin syöttönopeuteen, jotta estetään ruuvin vaurioituminen. (Wagner ym. 2005, 136.)

2.8 Ekstruuderin ruuvi

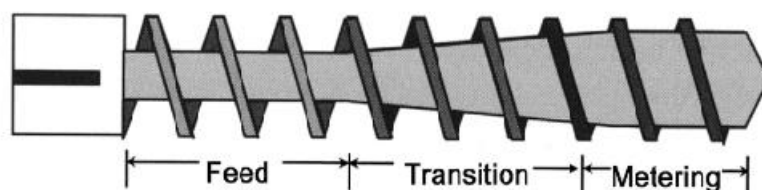
Ekstruuderin suorituskyky pohjautuu ruuviin, joka on ekstruuderin tärkein yksittäinen osa. Ruuvi kuljettaa massaa sylinterissä eteenpäin kohti ekstruuderin suulaketta. Ruuvin pyörittämä massa alkaa sulaa ruuvin ja sylinterin välisestä leikkuusta aiheutuvasta kitkasta.

Kitka yksinään ei riitä sulattamaan massaa, joten siihen tarvitaan lisäksi sylinteriin sijoitettuja lämpövastuksia. (Lafleur & Vergnes 2014, 37 - 38.)

Polyolefiinit, polykarbonaatti ja ABS ajetaan yleensä yksiruuviekstruuderilla helpomman ja yksinkertaisemman prosessin takia. Muut raaka-aineet eivät kulje hyvin läpi yksiruuviekstruuderista, jolloin ne pitää ajaa kaksoisruuviekstruudereilla. Kaksoisruuviekstruudereilla on parempi tuotantokapasiteetti kuin yksiruuviekstruudereilla. Toisin kuin kaksoisruuviekstruudereilla, niin yksiruuviekstruudereilla voidaan ajaa korkeilla kierrosmäärillä, jopa 1000 kierrosta/minuutissa ja siten saavuttaa korkea tuotantokapasiteetti. (Lähteenmäki 2019a, 16.)

Toinen hyvä tapa lisätä tuotantokapasiteettia on käyttää Barrieriruuvia, jonka erilainen geometria ja kaksoiskierre tehostaa muovin sulamista ja sitä kautta nostaa tuotanto kapasiteettia. Normaalisti yksiruuviekstruuderin työstökulut (kW per kg) ovat korkeammat kuin kaksoisruuviekstruudereilla mutta Barrieriruuvilla päästään työstökuluissa kaksoisruuviekstruudereiden tasolle. Barrieriruuvin uritettu syöttöaukko helpottaa sulamista ja parantaa työstökapasiteettia. (Lähteenmäki 2019a, 16.)

Ekstruusioruuveilla ei ole vakio geometriaa, niiden sisähalkaisija tai harjan korkeus voivat vaihdella käyttökohteen mukaan. Yleisesti sisähalkaisija kasvaa ja harjan korkeus nousee massan edetessä ruuvia pitkin. Ruuvi on jaettu kolmeen toiminta vyöhykkeeseen (kuva 6). Ensimmäisessä vyöhykkeessä muovin sulaminen alkaa ja tätä aluetta kutsutaan syöttövyöhykkeeksi. Toisessa vyöhykkeessä sisähalkaisija kasvaa ja tätä aluetta kutsutaan kompressiovyöhykkeeksi. Viimeisessä vyöhykkeessä massa homogenisoituu ja tätä aluetta kutsutaan kuljetusvyöhykkeeksi. (Lähteenmäki 2019a, 16.)



Kuva 6. Ekstruuderin ruuvi (Wagner ym. 2005, 75.)

Ruuvin mittana käytetään pituus/halkaisija -suhdetta (L/D-suhde). Vakioruuville, jota käytetään useammalle materiaalille L/D-suhde on yleensä 25/1. L/D-suhteen vaihteluväli löytyy yleensä väliltä 16/1 ja 40/1. (Lähteenmäki 2019a, 16.)

Kaksoisruuviekstruuder

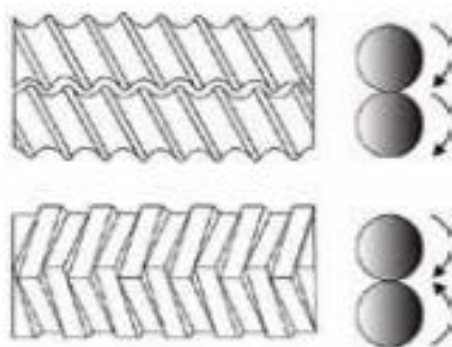
Kaksoisruuvit (kuva 7) voivat olla joko suorita tai kartiomaisia. Kartiomaiset kaksoisruuvit tuottavat massaa samalla kapasiteetilla mutta ovat noin puolet lyhyempiä kuin suorat

kaksoisruuvit. Kartiomaiset kaksoisruuvit antavat paremman työstön, ja ne työstävät tehokkaasti sekä pulvereita että granulaatteja. Niissä on pinta-alaltaan paljon pienempi ulostulo- kuin sisäänmenopää, esimerkiksi kun ulostulopää on halkaisijaltaan 45 mm niin sisäänmenopää on halkaisijaltaan 75 mm. Suuren pinta-ala muutoksen seurauksena saadaan korkeampi puristussuhde, joka tosin vaatii oman suljetun ruuvien jäähdytysjärjestelmän. Jäähdytysjärjestelmää tarvitaan, koska korkeamman puristussuhteen myötä kartiomaisissa kaksoisruuveissa on korkeampi kitkalämpö. (Lähteenmäki 2019a, 16 – 17.)



Kuva 7. Kaksoisruuvit (Lähteenmäki 2019a, 16.)

Ruuveja voidaan pyörittää joko samaan tai vastakkaisiin suuntiin (kuva 8). Samaan suuntaan pyöriessä ruuvien harjat liikkuvat limittäin toistensa välissä ja ovat erittäin hellävaraisia raaka-aineille. Samaan suuntaan pyörivillä ruuveilla voidaan työstää esimerkiksi puukuituja tai muita varovaisempaa työstöä vaativia raaka-aineita. Vastakkaisiin suuntiin pyöritettäessä harjat liikkuvat niin ikään toistensa välissä, tämä on yleisin tapa kaksoisruuviekstrudereissa. (Lähteenmäki 2019a, 17.)



Kuva 8. Ruuvien pyörimissuunnat (Lähteenmäki 2019a, 17.)

Kompaundointi

Kompaundointi on termi, jota käytetään valmistusmenetelmästä, jossa lisäaineita kuten väripigmenttejä, irrotusaineita, UV-lisäaineita, lämpöstabilaattoreita ja muita lisäaineita sekoitetaan peruspolymeereihin. Lisäaineet ovat yleensä pulveri muodossa. Lisäaineet ja

peruspolymeerit sekoitetaan ja ajetaan suuttimen läpi, jossa on monta reikää ja leikataan granulaateiksi. Samaa valmistusmenetelmää käytetään monofilamenttien valmistuksessa, jossa valmistetaan kuituja tai lankaa. (Lähteenmäki 2019c, 25 - 26.)

3 GRANULOINTI

3.1 Granuloinnin kuvaus

Granulointi on muovin muokkaamista pelletti eli pellettimäiseen muotoon. Granulointi parantaa muovin homogenisointia ja muovi saadaan vakiokokoon ja muotoon, mikä parantaa sen käytettävyyttä ja lisää sen arvoa. Granulaatti on yleinen muoto muoville raaka-aineena, myös kierrätysmuovi ajetaan yleensä granulaateiksi, koska siten se sopii suoraan samoihin tuotantoprosesseihin uusien muovigranulaattien kanssa. (Wagner ym. 2005, 425.)

Granulaatteja käytetään automaatiossa usein, koska niiden vakiokoko ja muoto helpottavat automaation suunnittelua ja toteutusta. Granulointi on sulatyöstöprosessi, joka on tehokkainta tuottaa ekstruuderin yhteydessä. Sulatyöstöprosessissa muovia muokataan niimensä mukaisesti sulana, joten se vaatii joka tapauksessa muovin lämmittämistä, mikä vaatii paljon energiaa ja on yleensä kallista. (Järvelä & Järvelä 2015, 21.)

Granulointi voidaan suorittaa, joko melt-cut-periaatteella, jossa kone vetää massan nauhaksi/nauhoiksi ja leikkaa granulaateiksi. Tämän jälkeen granulaatit kulkevat vesijäähdytyksen kautta kuivausrumpuun, jossa niistä poistetaan ylimääräinen kosteus. Toinen käytetty valmistustapa on strain-cut, jossa massa vedetään ensin pyöreinä lankoina vesikylpyyn jäähtymään ja ne leikataan vasta jäähtyneinä. (Lähteenmäki 2019c, 26.)

3.2 A.S.T granulaattori

Ekstruusiolinjassa on A.S.T. -merkinen granulaattori 80-luvulta (kuva 9). Granulaattori toimii melt-cut-periaatteella.



Kuva 9. Granulaattori

Granulaattoriin tuleva muovimassa pidetään sulana kahden sähkövastuksen avulla, jotta sen työstäminen on mahdollista. Sula muovimassa työnnetään nauhoiksi reikälevyn läpi ja reikien alla oleva leikkuuterä leikkaa nauhat pelletiksi (kuva 10). Leikkuuterän nopeutta voidaan säätää, jolla hallitaan pellettien kokoa. Myös ekstruuderin ajamisnopeudella voidaan vaikuttaa pellettien kokoon.



Kuva 10. Granulaattorin leikkuuterät

Pelletit tippuvat veteen jäähtymään, ja ne kuljetetaan veden avulla kaukalolla kohti kuivuria. Jäähdyttämällä pelletit saadaan pysymään vakiookoossa ja vakio muodossa. Kaukalossa poistetaan vesi ja mahdolliset leikkuu virheet siivilän avulla. Pumppu kierrättää vesiverkosta vettä, jottei vesi lämpene altaassa liian kuumaksi.

Kuivuriin tulevat pelletit kulkevat kuivurin läpi, jonka jälkeen pelletit voidaan pakata. Kuivuri käyttää keskipakoisvoimaa kuivaukseen, joka saadaan aikaan moottorin pyörittäessä rumpua. Pelletit kulkevat ylöspäin rummussa (kuva 11), jossa vesi poistuu pienistä rei'istä tynnyrin seinässä. Toinen moottori kierrättää kostean ilman pois kuivurista.



Kuva 11. Granulaattorin kuivausrumpu

4 EKSTRUUSIOLINJA

4.1 Toimeksianto

Opinnäytetyömme aiheena on Ekstruusiolinjan käyttöönotto, jonka toimeksiantajana toimii LAB-ammattikorkeakoulu. Saimme mieleisen opinnäytetyö aiheen, kun koululle saapui Italiasta ekstruuderin (kuva 12). Ekstruuderin on kaksoisruuviekstruuderin kattavilla säädöillä. Ekstruuderin mukana ei tullut siihen sopivaa syöttölaitteita.



Kuva 12. Italiasta saapunut ekstruuderin

4.2 Ekstruuderin käyttöönotto

Ekstruuderin käyttöönottoon kuuluu koneen ja mahdollisten lisälaitteiden tarkastus, asennus ja säätöjen hakeminen. Ekstruuderinlinjastoon kuuluu aina jokin lisälaitte esimerkiksi granulaattori tai vetäjä. Käyttöönotto on hieman erilainen riippuen, ovatko laitteet uusia vai käytettyjä. Käyttöönotossa voi ilmentyä ongelmia etenkin käytettyjen laitteiden kanssa.

Tarkastus vaiheessa käydään läpi ensin lähetysluettelo ja varmistetaan, että oikea kone on saapunut. Tässä vaiheessa on helppo toimia, jos lähetyksessä ei ole kaikki kunnossa. Tällöin pitää ottaa yhteyttä koneen toimittajaan ja selvittää asia. Kun todetaan, että laite on se mikä on tilattu, on hyvä tutkia laite tarkasti. Tutkiessa katsotaan ovatko kaikki osat oikeita ja tarkistetaan mahdolliset vialliset osat. Käytettyjen koneiden kanssa pitää tutkia käytön jälkiä ja arvioida vaikuttavatko ne valmistettavan tuotteen laatuun tai haittaavatko

ne koneen käynnistymistä. Jos havaitsee mahdollisia huonoja osia, kannattaa ne vaihtaa jo tässä vaiheessa.

Tila, johon kone on tulossa, tarvitaan riittävän suuret sähköliitännät. Myös veden tulo- ja viemäri-liitännät varten täytyy olla varaus. Tilassa pitää olla myös hyvä ilmanvaihto, jotta koneen ajamisesta tulevat hajut ja lämmöt saadaan tilasta pois. Tilassa on myös oltava kaivo mahdollisen vesivahingon estämiseksi, sekä sammutusvälineet mahdollisen tulipalon sammuttamiseen. Kone kannattaa asentaa tilaan niin, että sitä on mahdollista korjata, käyttää helposti ja liikkua sen ympärillä.

Asennusvaiheessa ekstruuderin kaikki osat pitää asentaa oikein. Sähköliitännät ovat pakko teettää sähköalan ammattilaisella. Koneelle on oltava turvakytin ja hätäseis-painike ja varmistaa, että ne ovat toimintakuntoisia. Johdotus on tehtävä siten, että johtoja ei saa olla lattialla ilman suojusta. Vesiliitännät pitää myös teettää alan ammattilaisilta, jotta säästyy mahdollisilta vesivahingoilta ja mikäli vesivahinko sattuu, niin vakuutusyhtiö osallistuu korvauksiin.

Ekstruuderilinjaston laitteet kannattaa asentaa helposti siirrettävälle alustalle, jolloin ekstruuderia ja lisälaitetta on mahdollisimman helppo huoltaa ja putsata. Hyvä vaihtoehto on kiskojärjestelmä, milloin lisälaitteiden liikuttelu on helppoa ja ne saa helposti ja tarkasti takaisin paikalleen.

Ekstruuderia ei saa laittaa päälle ennen kuin sitä on lämmitetty vastusten avulla. Etenkin käytettyjen koneiden kanssa pitää lämmittää ruuvi ennen kuin sitä pyörittää, koska ekstruuderin sisällä on muovia. Jos koneen käynnistää kylmiltään, vähintään ruuvi vaurioituu ja pahimmassa tapauksessa voimansiirtojärjestelmä vaurioituu. Käytettyjen laitteiden kaikki osat pitää putsata ennen käyttöä, koska niihin on jäänyt materiaali jäämiä edelliseltä käyttäjältä. Ekstruuderin läpi kannattaa ajaa helposti etenevää materiaalia kuten polyeteeniä, että kone puhdistuu vanhoista jäämistä. Puhdistus kannattaa tehdä valkoisella tai värjäämättömällä polymeerillä.

Ekstruuderia ensimmäistä kertaa ajaessa kannattaa ajaa koe-erä helposti etenevää polymeeriä esimerkiksi polyeteeniä. Tällöin tiedetään, toimiiko kone kuin sen pitäisi. Jos kone ei toimi tällöin pitää tarkistaa, että lämmöt ovat kohdallaan, ruuvi pyörii hyvin ja syöttöjärjestelmän toimii oikein. Konetta kannattaa ajaa ilman lisävälineitä, jotta voi keskittyä ekstruuderin toimintaan. Ekstruuderia kannattaa ajaa eri nopeuksilla ja katsoa, että se toimii hyvin pienillä ja suurilla nopeuksilla. Suurilla nopeuksilla syöttölaite voi jäädä jälkeen, jolloin syöttölaitetta pitää muokata paremmaksi. Annostelemissä syöttölaiteissa kannattaa testata myös eri nopeuksilla ja eri materiaaleilla.

4.3 Suunnittelu

Aloitimme syyskuun alkupuolella opinnäytetyömme ekstruuderiin tutustumisesta. Melko nopeasti kävi ilmi, että tarvitsisimme vettä ja virtaa yli huoneen nykyisen kapasiteetin, joten meillä tulisi olemaan paljon aikaa keskittyä teoriaan. Alussa laskimme putkien ja johtojen pituuksia, jotta ekstruuderi saataisiin sähkö- ja vesijohtoverkkoon kiinni. Alun suunniteluissa tuli myös idea suljetusta kierrosta, josta myöhemmin lisää.

Alussa kävi varsin nopeasti selväksi, ettemme tulisi tarvitsemaan uusia työvälineitä tätä projektia varten, koska koulun tarjoaman Onedriven avulla pystymme tallentamaan kaikki tarvitsemamme dokumentit, sekä molemmat muokkaamaan niitä tarpeen mukaan. Yhteydenpito onnistuu meiltä luonnostaan, apuna toki käytimme yleisiä sovelluksia kuten Whatsapp ja Steam.

Teorian kirjoittamisen aloitimme granulaattorista, jonka historian selvittäminen osoittautui lähes mahdottomaksi tehtäväksi, joten kirjoitimme siitä lähinnä yleistä tietoa granulaattoreista. Jatkoimme saman linjan toteuttamista myös seuraavassa vaiheessa, kun oli aika kirjoittaa ekstruuderin teoria. Ekstruuderit ovat paljon monipuolisempia laitteita ja niistä löytyy helpommin tietoa, joten saimme kasattua paljon laajemman teoriaosuuden.

Teoriaa etsiessä vastaan tuli Muoviyhdistys ry, jonka jäseniä me molemmat olemme. Heidän tuottaman Muovi-lehden artikkelissa Hyvä tietää muovista oli alkanut ekstruuderin läpikäyminen, josta saa hyvän yleiskuvan ekstruudereista ja niiden toiminnasta.

Teimme laskelmia (taulukko 1) ja suunnittelimme suljettua kiertoa ekstruuderille sen suuren veden kulutuksen vähentämiseksi. Suljetun kierron ideana on kierrättää samaa vettä säiliön ja ekstruuderin välillä, kunnes vesi lämpenee liikaa eikä enää toimi jäähdytyksessä, jolloin se täytyy vaihtaa. Suljetun kierron suurin hyöty on, että ekstruuderin vaatimat jäähdytysvedet eivät virtaa koko ajan vesijohtoverkosta ja näin saadaan vähennettyä käytännössä puhtaan veden laskemista viemäriin. Suunnitelmasta luovuttiin, koska kiinteistön omistajan palkkaama urakoitsija ei nähnyt suljetulle kierrolle merkittävää etua.

Taulukko 1. Suljettu kierto

Max ajo PE	Hyötysuhde	Vesitynnyri	Veden lämpö	Ominaislämpökapasiteetti PE	Ajo lämpötila	PE Sulatus energia
200kg/h	0,5	200l	20 °C - 50 °C	2,1 kJ/(kg*K)	200 °C	290 kJ/kg
Lämpömäärä veden lämmitessä 20->50 °C			PE Lämpömäärä ajossa		PE lämpömäärä sulatus	
Q3 = cmΔT			Q1 = cmΔT		Q2 = m * 290 kJ/kg	
4,19 kJ/kg°C * 200 kg * 30 °C			2,1 kJ/kg°C * 200 kg/h * 180 °C		200 kg/h * 290 kJ/kg	
25140 kJ			75600 kJ/h		58000 kJ/h	
			Hyötysuhteella 0,5		Hyötysuhteella 0,5	
Veden vaihto tarve 200l			151200 kJ/h		116000 kJ/h	
0,09 h						
6 min						
Veden vaihto tarve 1000l						
0,47 h						
28 min						

4.4 Toteutus

Ekstruuderi vaati erillisen syöttöjärjestelmän, koska ekstruuderi on kaksoisruuviekstruuderi. Kaksoisruuviekstruuderit pitää ali syöttää, eli materiaalia syötetään huomattavasti vähemmän verrattain ruuvien pyörimisnopeuteen. Kaksoisruuviekstruudereita ei voi syöttää pelkän painovoiman avulla, koska ruuvien geometria ei kestä sitä. Tällöin momentti kasvaisi liian suureksi, joka rikkoo ruuvit tai ekstruuderi ei pyöri ollenkaan.

Tarvitsimme kolme syöttöjärjestelmää (kuva 13), kaksi eri materiaaleja varten ja yhden lisääineille, kuten liukaste aineelle. Suunnittelimme ensin syöttökaukalot ja niille telineen. Kaukalot tehtiin pellistä taittamalla ja hitsaamalla. Kaikki osat maalasimme jauhemaalauksella, jotta ne näyttäisivät hyvältä. Syöttökaukaloihin hitsattiin kiinni ruuveilla toimivat syöttölaitteet. Ruuvien nopeuksia pystyy säätämään, jolloin materiaalivirtoja on helppo muokata ja saadaan kulloinkin mieluinen seossuhde. Testasimme kaikki kolme syöttölaitetta ja etsittiin niille oikeat syöttönopeudet.



Kuva 13. Ekstruuderin syöttöjärjestelmä (Heikkinen 2020)

Granulaattori tarvitsi kiskojärjestelmän, että sitä olisi helppo siirtää ekstruuderin perään ja pois siitä. Kiskot kiinnitettiin lattiaan tarkasti, että granulaattori on suorassa ekstruuderin nähden. Granulaattori nostettiin kiskojen päälle ja säädettiin korkeus oikeaksi. Sääto tapahtui granulaattorissa olevien renkaiden korkeuden avulla.

Granulaattori piti puhdistaa, koska siinä oli kalkkikertymiä. Puhdistuksessa piti käyttää sitruunahappoa, koska tavallinen pesuaine vaahdotuu ja pursuaa vesikaukalon yli. Granulaattori myös savutti, kun sitä lämmitettiin ensimmäistä kertaa. Huomattiin, että yksi kolmesta lämmityspaneelista ei toiminut kunnolla. Kytkenät irrotettiin paneelista. Lämmityspanojen lämpöeristykset olivat huonossa kunnossa ja ne aiheuttivat savuamisen (kuva 14). Eristykset vaihdettiin uusiin, jonka jälkeen savuaminen loppui.



Kuva 14. Granulaattorin lämmitysspannat ja lämpöeristykset

Ekstruuderilla tehtiin ensin koeajo, kun syöttöjärjestelmät saatiin toiminta kuntoon. Ensimmäisessä ajossa saatiin polymeerit hyvin läpi ekstruuderista, mutta granulaattorista se ei tullut hyvin läpi, koska se oli liian sitkeää ja näin ollen granulaateista tuli hyvin epätasalaatuista. Polymeeri tarvitsi liukasteainetta prosentin verran, jolloin siitä tuli huomattavasti liukkaampaa ja se eteni huomattavasti paremmin ekstruuderin ja granulaattorin läpi.

Koeajoon sekoitimme muovia ja puujauhetta suhteella 80 massaprosenttia muovia ja 20 massaprosenttia puujauhoa. Puujauhe ei aluksi tullut hyvin syöttölaitteen läpi, koska se oli niin kevyttä, jolloin painovoima ei yksistään tuo tarpeeksi tavaraa ruuville. Ajoimme noin 20 kilon näyte-erän. Granulaatista tuli hyvälaatuista ja koneet toimivat mainiosti, kun säädöt oli saatu kohdilleen.

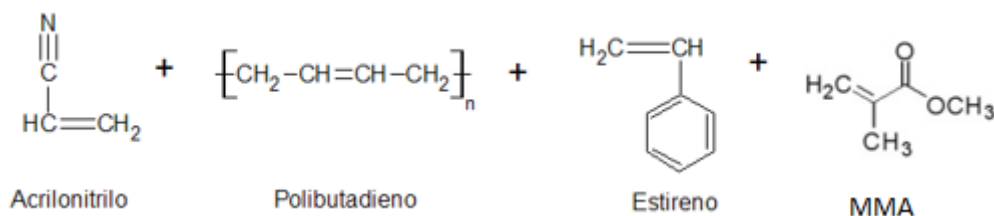
Haimme ekstruuderin sopivan syöttönopeuden seuraamalla ekstruuderista löytyvää momenttimittaria. Pidimme ekstruuderin momentin 10 - 20% välillä, ettei kone rasitu liikaa ensiajossa. Asetetun syöttönopeuden mukaan säädimme granulaattorin leikkuunopeuden niin, että granulaatit olisivat mahdollisimman lähellä yleiskokoa.

Aluksi ajoimme pienen koe-erän akrylistyreeni kopolymeeriä 200 asteen lämmöllä, mutta se ei tullut hyvin läpi koneesta. Testasimme eri lämpötiloja materiaalille ja päädyimme noin 220 asteeseen. Lämpötilaa nostamalla polymeeri liikkuu paremmin ekstruuderin läpi, mutta liian korkea lämpötila taas polttaa polymeeriä, jolloin siitä tulee tummaa ja huonolaatuista. Puumuovi sekoitusta ajettiin aluksi 220 asteen lämmöllä, jotta se liikkuisi hyvin ekstruuderissa. Sekoitus liikkui hyvin, mutta pelleleistä tuli liian tummia, jolloin

puujauhe paloi hieman. Lämpötila laskettiin 200 asteeseen, jolloin pelleteistä tuli vaaleampia ja puujauhe ei palanut. Tässä vaiheessa sekoitukseen oli lisätty liukasteainetta, joka mahdollisti akryylistyreeni kopolymerin ajamisen 200 asteessa.

Akryylistyreeni kopolymeri

Metyylimetakrylaatti akrylinitriili butadieeni styreeni on amorfinen kestävä muovi. Akryylistyreeni kopolymeri on ABS-muovin muunnos, josta käytetään myös nimeä läpinäkyvä ABS. Akryylistyreeni kopolymerin parhaat ominaisuudet ovat edellä mainitun läpinäkyvyyden lisäksi, sen hyvä kemikaalien kestävyys ja korkea iskulujuus. Akryylistyreeni kopolymeri on muovi, jossa metakrylaatti-styreeni-akrylinitriiliosa tuo hyvän lujuuden, mitapysyvyyden ja virumisenkestävyyden, kun taas Butadieeniosa tuo hyvän joustavuuden ja korkean iskunkestävyyden. kyseessä on varsin harvinaiset ominaisuudet kestäville muoville, jotka tarjoavat varsin laajat käyttömahdollisuudet. (Mexpolimeros 2020.)



Kuva 15. Akryylistyreeni kopolymerin kemiallinen kaava (Mexpolimeros 2020.)

5 YHTEENVETO

Ekstruusiolinjan käyttöönotossa oli tarkoitus saada ekstruuderin ja granulaattorin käyttöön, eli saada molemmat koneet toimimaan. LAB-ammattikorkeakoulu oli hankkinut Italiasta ekstruuderin ja granulaattorin. Käyttöönotto onnistui hyvin ja ekstruusiolinja on käytävissä.

Käyttöönottoa varten täytyi rakentaa ekstruuderille uusi syöttöjärjestelmä. Uusi syöttöjärjestelmä vaati paljon metallitöitä, jotka suoritettiin koulun metallipuolella ja opettajien avustuksella. Uuden syöttöjärjestelmän tarkoituksena on materiaalivirtojen säätely ekstruuderia syöttäessä, koska kaksoisruuviekstruuderia täytyy ali syöttää, ettei ruuvien momentti pääse kasvamaan liian suureksi ja riko ekstruuderia. Tämä huomioiden syöttöjärjestelmään rakennettiin jokaiselle kaukalolle omat syöttöruuvit ja ruuveille omat moottorit, joista syöttönopeutta voidaan helposti säätää.

Koeajossa polyeteeni kulki hyvin ekstruuderin läpi, mutta kun otettiin akryylistryreeni kopolymeeri käyttöön niin jouduttiin nostamaan lämpötiloja, jotta se tuli granulaattorin reikälevyn läpi ja saatiin leikattua tasaisia granulaatteja. Lopullisessa kokeessa eli muovi/puuseoksen ajossa jouduttiin hakemaan oikeita lämpötiloja hieman enemmän, jotta muovi saatiin pidettyä riittävän notkeana, mutta puu ei kuitenkaan pääse palamaan.

Ekstruusiolinjaa varten suunniteltiin mahdollisuutta tehdä suljettu kierto. Suljetun kierron tarkoitus on säästää veden kulutusta ja niin vähentää koneen käyttökustannuksia. Suljettu kierto olisi kuitenkin vaatinut vähintään kuution vesisäilöitä, muutoin vesi lämpenisi liian nopeasti eikä suljetusta kierrosta olisi mitään hyötyä. Ekstruusiolinja kuului muovin kierrätysprojektiin, jossa muovinkierrätys yksikkö sijoitettaisiin siirrettävään konttiin. Tulosten perusteella samanlainen ekstruusiolinja olisi mahdollista asentaa siirrettävään konttiin. Ongelmina tulevat olemaan tarvittavan sähkön saaminen, koska ekstruuderin vaatii paljon sähkövirtaa ja korkean jännitteen, sekä tarvittavan vesimäärän saaminen konttiin.

LÄHTEET

Heikkinen, R. 2020. Ekstruuderin syöttöjärjestelmä. Kuva.

Järvelä, P. & Järvelä, P. 2015. Teknisten muovien kierrätys ja uusiokäyttö. Raportti [viitattu 3.4.2020]. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7BC3B5E587-A8C5-47FA-80EB-A034FBEC99%7D/119332>

Lafleur, P. & Vergnes, B. 2014. Polymer extrusion. John Wiley & Sons, Incorporated. E-kirja [viitattu 18.9.2019]. Saatavissa: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.saimia.fi/lib/lab-ebooks/detail.action?docID=1688020>

Lähteenmäki, E. 2019a. Ekstruusio osa 2/4. Muovi plast 4/2019, 16 - 18.

Lähteenmäki, E. 2019b. Ekstruusio osa 3/5. Muovi plast 5/2019, 24 - 26.

Lähteenmäki, E. 2019c. Ekstruusio osa 4/5. Muovi plast 6/2019, 25 - 26.

Mexpolimeros 2020. Mabs. Www-sivu [viitattu 23.4.2020]. Saatavissa: <https://www.mexpolimeros.com/eng/mabs.html>

Wagner, J., Mount, E. & Giles, H. 2005. Extrusion: The definitive processing guide and handbook. Elsevier Science & Technology Books. E-kirja [viitattu 25.9.2019]. Saatavissa: <http://web.b.ebscohost.com.ezproxy.saimia.fi/ehost/detail/detail?vid=0&sid=dfe88c23-9893-46f1-8278-6f3770014291%40pdc-v-sess-mgr05&bdata=JnNpdGU9ZWZWhvc3QtbGl2ZQ%3d%3d#db=e000xww&AN=593397>