

Opinnäytetyö (AMK)

Prosessi- ja materiaalitekniikka

Opinnäytetyön valmistumisvuosi 2020

Eetu Päivrinta

LÄMPÖMUOVATTAVIEN VETOLEVYJEN VALMISTUS HAMMASHOIDON SOVELLUKSIIN

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Prosessi- ja materiaalitekniikka

Kevät 2020 | 52 sivua, 4 liitesivua

Ohjaaja: Liisa Lehtinen, Turun ammattikorkeakoulu

Eetu Päivärinta

LÄMPÖMUOVATTAVIEN VETOLEVYJEN VALMISTUS

Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena oli valmistaa lämpömuovattavia vetolevyjä hammashoidon sovelluksiin. Työskentelyyn kuului seoksien valmistus erilaisista muovigranulaateista, joita vahvistettiin kuituaineilla. Seokset valmistettiin ruuviekstruderin avulla, jonka jälkeen seokset jatkojalostettiin levyiksi hydraulisen puristimen avulla.

Valmistetut levyt toimitettiin opinnäytetyön toimeksiantajalle Turun yliopiston hammaslääketieteen laitokselle, jonka toimesta levyistä valmistetaan erilaisia hammashoidon sovelluksia erinäisin menetelmin.

Levyjä valmistettiin kahtakymmentä erilaista laatua. Jokaiselle materiaalille ja seokselle etsittiin oikeat ajoparametrit ja valmistusmenetelmät parhaiden mahdollisten lopputuotteiden tuottamiseksi.

Vetolevyjen valmistuksessa onnistuttiin aikataulun mukaisesti. Valmistetut levyt olivat mitoiltaan sekä aistinvaraisten havaintojen perusteella valmiita jatkokäsittelyyn. Tarkempi analyysi levyjen soveltuvuudesta jäi toimeksiantajan tehtäväksi.

ASIASANAT:

ekstruuderit, hydraulinen puristin, parametrit, granulaatti, prosessi, PMMA, EVA

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Chemical and Materials Engineering

Spring 2020 | 52 pages, 4 pages in appendices

Supervisor: Liisa Lehtinen, Turku University of Applied Sciences

Eetu Päivärinta

MANUFACTURE OF THERMOPLASTIC SHEETS

The purpose of this thesis was to manufacture thermoplastic sheets for dental applications. The work involved the production of mixtures from various plastic pellets, which were reinforced with fibrous materials. The mixtures were processed with a screw extruder, after which the mixtures were further processed into plates with a hydraulic press.

The manufactured sheets were then delivered to the commissioner of the thesis, the Institute of Dentistry at the University of Turku, which uses the sheets for various dental applications by different methods.

In total, twenty different kinds of plates were produced. For each material and mixture, the correct parameters and manufacturing methods were sought to produce the best possible final products.

The thermoplastic sheets were manufactured according to schedule and they were ready for further processing. A more detailed analysis of the suitability of the sheets was left to the commissioner of the thesis.

KEYWORDS:

ekstruder, hydraulic press, parameters, pellets, process, PMMA, EVA

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 TYÖN TEORIA	9
2.1 Ekstruuderi	9
2.2 Hydraulinen puristin	12
3 TYÖSSÄ KÄYTETYT MATERIAALIT, LAITTEET JA PROSESSIKAAVIO	16
3.1 Työssä käytetyt laitteet	16
Opinnäytetyössä käytetyt laitteet ovat Turun ammattikorkeakoulun laitteistoa ja työsuoritettiin heidän tiloissa. Puristuksessa käytetyt muotit tilattiin mittatilaustyönä Turun ammattikorkeakoulun Koneteknologiakeskukselta.	16
3.2 Työssä käytetyt materiaalit	17
3.3 Tutkimusprosessi	19
4 EKSTRUUDERIN KALIBROINTI	20
5 SEOSTEN VALMISTUS	23
5.1 Seosten valmistus käsisyöttömenetelmällä	23
5.2 EVA + Kevlar AF 25 G -seosten valmistus	26
6 EKSTRUUDERIAJOT	28
6.1 Ekstruuderin ajoparametrit	29
7 HYDRAULISEN PURISTIMEN AJOT	31
7.1 Puristimen ajoparametrien säätäminen ja ajojen valmistelut	31
7.2 Hydraulisen puristimen ajoissa käytetyt ajoparametrit	36
7.3 Levyjen käsittely puristuksen jälkeen	38
8 TULOKSET JA POHDINTAA	44
8.1 Ekstruuderiajot	44
8.2 Hydraulisen puristimen ajot	46
9 YHTEENVETO	47
10 LÄHTEET	48

LIITTEET

- Liite 1. EVA granuloiden tiedot
Liite 2. Kevlar-kuitujen tiedot

KUVAT

Kuva 1. Opinnäytetyössä käytetty ekstruuderin LabTech Engineering Company LTD, Model LZ-120HP, Laite LZ-1603-124.	9
Kuva 2. Ekstruuderin toimintaperiaate. (Enqvist, 2017.)	10
Kuva 3. Ekstruuderin ohjauspaneeli (1 = Syöttösuppilon syöttönopeus, 2 = ruuvin rasiutus -%, 3 = Pääruuvin kierrosnopeus, 4 = Lämpöelementtien lämpötilat).	11
Kuva 4. Ekstruuderin suuttimen ulostuloaukot.	11
Kuva 5. Ekstruuderin vesijäähdytysallas.	12
Kuva 6. Ekstruuderin leikkuri LabTech Engineering Company LTD, Model LTE20-44, Laite LTE1603-119.	12
Kuva 7. Puristimen toimintaperiaate. (Venkatesh Vaidyanathan, 2019.)	13
Kuva 8. Opinnäytetyössä käytetty hydraulinen puristin. LabTech Engineering Company LTD, Model LP-S-2.	13
Kuva 9. Hydraulisen puristimen lämpöelementtien ohjauspaneeli.	14
Kuva 10. Hydraulisen puristimen ajoparametrien kosketusnäyttöohjauspaneeli (esilämmitys, puristusaika, jäähdytys ja kaasunpoistot).	15
Kuva 11. Hydraulisen puristimen puristusvoiman eli paineiden säätökahvat.	15
Kuva 12. EVA+lasikuituseoksissa käytetty puristusmuotti.	17
Kuva 13. PMMA ja EVA + Kevlar-seoksissa käytetty puristusmuotti.	17
Kuva 14. Työssä käytetty muotin irroitussuihke puristuksen helpottamiseksi	18
Kuva 15. Tutkimusprosessin kulku	19
Kuva 16. EVA FL00909, kalibrointikuvaaja.	20
Kuva 17. EVA UL0252, kalibrointikuvaaja.	21
Kuva 18. PMMA IG840, kalibrointikuvaaja.	22
Kuva 19. PMMA HI835 M, kalibrointikuvaaja.	22
Kuva 20. Kuitulujitteiden syöttö tapahtui käsin kuvan osoittamalla tavalla.	24
Kuva 21. EVA FL00909 + 10 % Kevlar AF 25 G -seoksen valmistelu.	26
Kuva 22. FL00909 + 5 % Kevlar AF 25 G ekstruuderin suuttimesta vesihauteeseen.	27
Kuva 23. Liian korkeat lämpötilat ja ajonopeudet aiheuttavat ongelmia, materiaali kasautuu suuttimen ulostuloaukolla.	28
Kuva 24. Kun filamentti oltiin aseteltu vesihauteen läpi kuvan osoittamalla tavalla, voitiin siirtyä ajonopeuksiin.	29
Kuva 25. PMMA IG840 puristettu liian matalilla lämpötiloilla.	31
Kuva 26. PMMA IG840 puristettu optimaalisilla lämpötiloilla.	32
Kuva 27. Syksyn projektissa puristimella ajettu EVA-levy liian korkeilla lämpötiloilla.	32
Kuva 28. Puhdasta EVA FL00909-granulaattia muotilla valmiiksi puristettavaksi.	34
Kuva 29. Muotti on aseteltu siten, että se on mahdollisimman keskellä puristinta.	35
Kuva 30. Kansilevyt aseteltuna muotin päälle puristuksen ajaksi.	35
Kuva 31. Neliön muotoiselle kappaleelle merkattiin lopullisen muotoisen kappaleen ääriviivat, jotta siitä voitiin leikata oikean mallinen ja kokoinen, ympyrän muotoinen levy.	39
Kuva 32. Levy leikattiin ääriviivoja pitkin lopulliseen muotoonsa.	39

Kuva 33. Levy leikkauksen jälkeen. Kuvassa UL02528CC+5 % lasikuitu, halkaisija 120 mm ja paksuus 2 mm.	40
Kuva 34. FL00909 + 10 % Kevlar AF/200 muotissa valmiina puristukseen.	40
Kuva 35. EVA+Kevlar-seos puristuksen jälkeen. Ylimääräiset reunat on nopeaa ja helppoa leikata pois.	41
Kuva 36. Esimerkki valmiista EVA+kevlar-seos levystä. EVA UL02528CC + 10 % Kevlar AF/200.	41
Kuva 37. Puristetuista PMMA-levyistä leikattiin varovasti peltisaksia käyttäen suurimmat ylijäämät pois. Saksien kanssa täytyi olla varovainen, koska liian raju käsittely saattoi johtaa koko levyn lohkeamiseen.	42
Kuva 38. Karheat reunat hiottiin sileäksi PMMA-levyistä.	43
Kuva 39. Valmis PMMA HI385 M+10 % lasikuitu -levy.	43

TAULUKOT

Taulukko 1. EVA FL00909, kalibrointi.	20
Taulukko 2. EVA UL0252, kalibrointi	21
Taulukko 3. PMMA IG840, kalibrointi.	21
Taulukko 4. PMMA HI385 M, kalibrointi.	22
Taulukko 5. Valmistetut seokset.	23
Taulukko 6. EVA FL00909, ekstruuderin ajoparametrit.	29
Taulukko 7. EVA UL02528CC, ekstruuderin ajoparametrit.	30
Taulukko 8. PMMA IG840, ekstruuderin ajoparametrit.	30
Taulukko 9. PMMA HI385 M, ekstruuderin ajoparametrit.	30
Taulukko 10. Puristimen ajoparametrit, PMMA IG840	36
Taulukko 11. Puristimen ajoparametrit, PMMA HI385 M.	36
Taulukko 12. Puristimen ajoparametrit, EVA FL00909+lasikuitu.	37
Taulukko 13. Puristimen ajoparametrit, EVA FL00909+kevlar.	37
Taulukko 14. Puristimen ajoparametrit, EVA UL02528CC+lasikuitu.	37
Taulukko 15. Puristimen ajoparametrit, EVA UL02528CC+kevlar.	38

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

EVA	Etyyli-vinyyli-asettaatti, muovilajike, jota tässä työssä työstiin. Tässä työssä esiintyy kahta erilaista EVA-laattaa, FL00909 ja UL02528CC.
Ekstruuderit	Työssä käytetty muovin prosessointilaitte. Ekstruuderilla viitataan tässä työssä käytettyyn kaksoisruuviekstruuderiin.
Granulaatti	Granulaatilla tarkoitetaan muovia, joka on raemaisessa muodossa. Tässä työssä pääraaka-aineina toimivat eri muovilajit ja laadut, jotka ovat granulaattien muodossa.
Hydraulinen puristin	Työssä käytetty puristin, jonka avulla granulaatit voidaan puristaa muotin avulla halutun muotoiseksi kappaleeksi.
Lämpöelementti	Lämpöelementit eli lämpöblokit. Näitä löytyy työssä käytetystä ekstruuderista sekä hydraulisesta puristimesta. Lämpöelementtien avulla tuodaan lämpöä työstettävään massaan.
Parametrit	Tällä viitataan jonkin laitteen, esimerkiksi; ekstruuderin tai hydraulisen puristimen ajoparametreihin. Parametreillä tarkoitetaan laitteen toiminnan asetuksia, jotka ovat oleellisia työskentelyn ja lopputuloksen kannalta.
PMMA	Polymetyylimetakrylaatti, muovilajike, jota tässä työssä työstiin. Tässä työssä esiintyy kahta erilaista PMMA-laattaa, IG840 ja HI385 M.
MFR	MFR eli sulamassavirta kuvaa muovin virtausta.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda toimiva valmistusprosessi lämpömuovattaville levyille, jotta toimeksiantajan oli mahdollista tuottaa valmistetuista levyistä eri hammashoidon sovelluksia erinäisillä valmistusmenetelmillä.

Mahdollisuus tähän opinnäytetyöhön ilmaantui syksyn 2019 aikana. Tällöin toimin saman toimeksiantajan kanssa vastaavassa projektissa, jossa valmistimme toimeksiantajalle lämpömuovattavia levyjä. Opinnäytetyötä varten hankittiin lisää materiaaleja sekä kuitulujitteita, joista valmistettiin uusia levyjä toimeksiantajalle.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää toistettava ja tehokas valmistusprosessi levyjen tuottamiseen, sekä tutkia valmistusprosessin aikana materiaalien soveltuvuutta valmistuksen kannalta. Toimeksiantajan aiemmat valmistusmenetelmät perustuivat haihdutukseen. Ne olivat toimivia ratkaisuja, mutta todella hitaita heidän tarpeisiinsa nähden. Yhden levyn valmistukseen saattoi kulua useita tunteja. Tämän opinnäytetyön valmistusmenetelmät mahdollistivat useamman levyn valmistuksen suuremmissa erissä nopeammalla tahdilla.

Seokset ja levyt valmistettiin ruuvieksteruuderin ja hydraulisen puristimen avulla. Seokset valmistettiin ensin ruuviekstruuderilla, jonka ohessa seokset granuloidaan puristusta varten. Hydraulisen puristimen avulla seosgranulaateista saatiin puristettua halutun kokoisia levyjä jatkotoimenpiteitä varten.

Tätä opinnäytetyötä on myös mahdollista käyttää pohjamateriaalina Turun ammattikorkeakoulun tulevaisuuden projekteissa, joissa työskennellään ruuvieksteruuderin ja hydraulisen puristimen kanssa.

2 TYÖN TEORIA

Opinnäytetyössä käytettiin kaksoisruuviekstruuderia seosten valmistukseen sekä hydraulista puristinta levyjen tuottamiseen. Laitteet sijaitsevat Turun ammattikorkeakoulun Lemminkäisenkadun yksikössä, jonka laboratoriotiloissa tämä opinnäytetyö suoritettiin. Prosessin aikana seurattiin materiaalien soveltuvuutta valmistukseen.

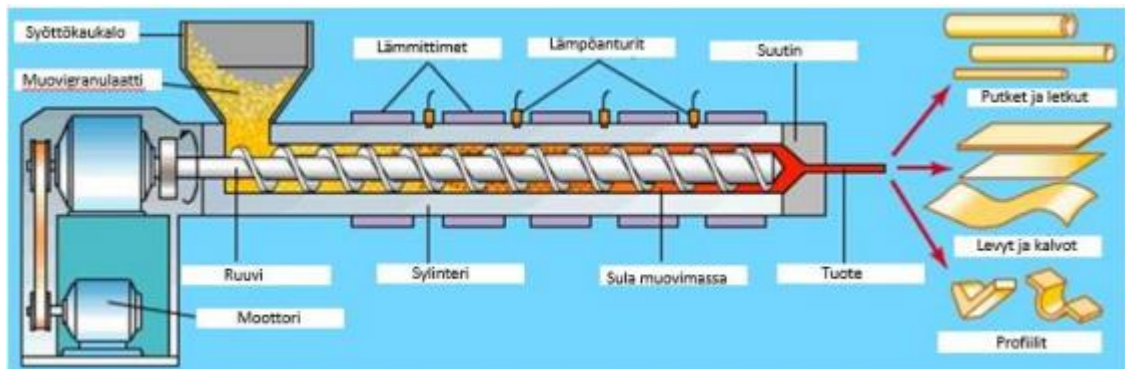
2.1 Ekstruuderit

Ekstruuderit on tärkeä osa tämän opinnäytetyön valmistusprosessia. Ekstruuderin avulla valmistetaan kaikki seokset. Tässä työssä käytetään Turun ammattikorkeakoulun kaksoisruuviekstruuderia (Kuva 1). Turun ammattikorkeakoulun ekstruuderin toiminta perustuu kahden ruuvin tuottamaan liikkeeseen ja kitkaan, sekä 11:een lämmityselementtiin, jotka lämmittävät materiaalin halutun lämpöiseksi, jotta materiaalia voidaan työstää. Kuumen materiaalin sulamassavirta (sulaindeksi) vaikuttaa siihen, kuinka helposti muovi virtaa tietyssä lämpötilassa. Ruuvi työntää sulan materiaalin ulos nauhamaisen filamentin muodossa ekstruuderin suuttimen ulostuloaukosta. (Tesproma Oy, 2020.)



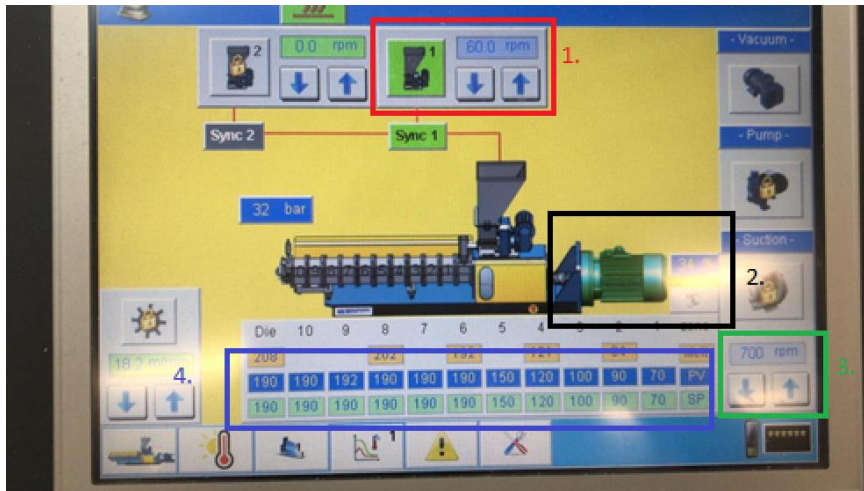
Kuva 1. Opinnäytetyössä käytetty ekstruuderit LabTech Engineering Company LTD, Model LZ-120HP, Laite LZ-1603-124.

Ekstruusio eli suulakepuristus (Kuva 2) on materiaalin työstömenetelmä, jossa kuumaa muovia työnnetään muotoillen suulakkeen läpi. Ekstruusio toteutetaan ekstruuderilla, jossa ruuvinkitkan ja lämmityselementtien avulla sulatetaan ja homogenisoidaan muovi-raaka-aine muovituotteen valmistamiseksi. Kyseisellä menetelmällä voidaan valmistaa esimerkiksi putkia, tiivisteitä sekä muovikalvoja ja -päälysteitä. (Business Media Inc.,2018.)



Kuva 2. Ekstruuderin toimintaperiaate. (Enqvist, 2017.)

Ekstruuderin syöttösuppilo (eng. feed hopper) täytetään pienillä muovipartikkeleilla, joita kutsutaan granulaateiksi tai pelleteiksi (Kuva 2). Syöttösuppilossa on erikseen määritettävä syöttönopeus (Kuva 3), jonka mukaan syöttösuppilo työntää syöttöruuvien avulla granulaatteja sylinterissä olevalle pääruuville, jonka ympärillä on myös lämpöelementit. Pääruuville on asetettavissa oma kierrosnopeus, joka taas vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti profiili eli filamentti pursuaa ulos suuttimen ulostuloaukosta (Kuva 4). Ekstruuderin tuottama filamentti laskeutuu vesijäähdytysaltaaseen (Kuva 5), jota pitkin se ohjataan ekstruuderin pellettileikkurille (Kuva 6), joka leikkaa filamentin uudelleen granulaateiksi mahdollista jatkoprosessointia varten. Tarpeen vaatiessa leikkurin terä voidaan purkaa, mikä mahdollistaa jatkuvan filamentin ajamisen esimerkiksi 3D-tulostamista varten.



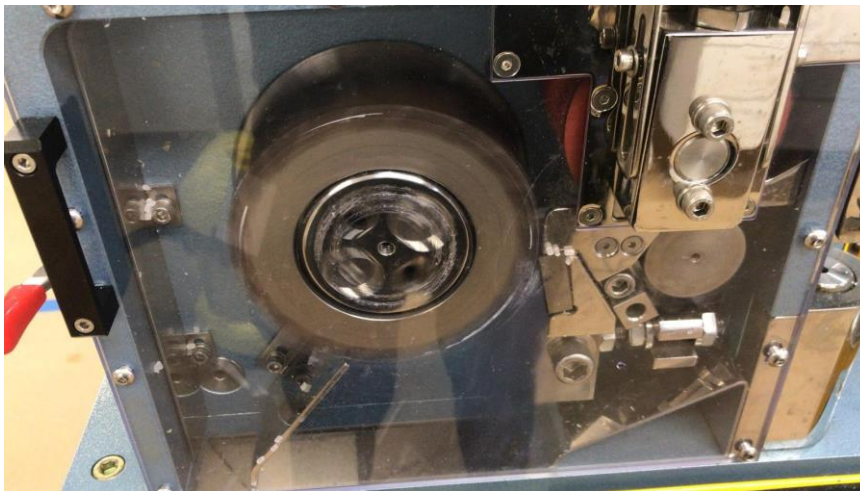
Kuva 3. Ekstruuderin ohjauspaneeli (1 = Syöttösuppilon syöttönopeus, 2 = ruuvin rasitus %, 3 = Pääruuvin kierrosnopeus, 4 = Lämpöelementtien lämpötilat).



Kuva 4. Ekstruuderin suuttimen ulostuloaukot.



Kuva 5. Ekstruuderin vesijäähdytysallas.

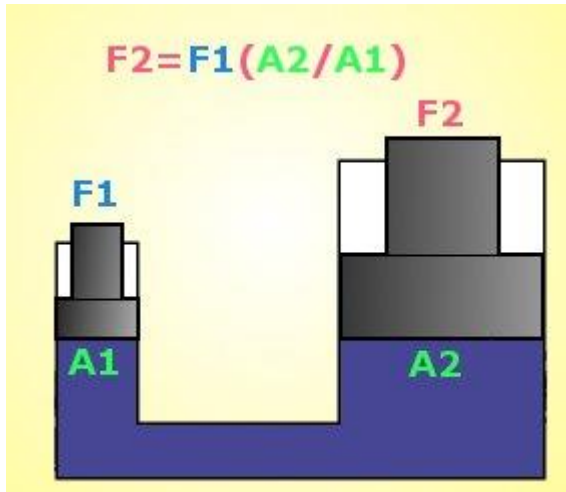


Kuva 6. Ekstruuderin leikkuri LabTech Engineering Company LTD, Model LTE20-44, Laite LTE1603-119.

2.2 Hydraulinen puristin

Hydraulinen puristin käyttää koneen hydraulista sylinteriä puristusvoiman tuottamiseen (Kuva 7). Puristusvoima muodostuu Pascalin lain mukaisesti, jossa fluidiin vaikuttava ulkoinen paine vaikuttaa tasaisesti jakautuen koko fluidimäärään. (XRF Scientific, 2019.)

Turun ammattikorkeakoulun puristimella (Kuva 8) on lisäksi kaksi lämmityselementtiä jäähdytyksineen, joilla puristettava materiaali voidaan tarpeen vaatiessa sulattaa tai pehmentää ennen puristusta.



Kuva 7. Puristimen toimintaperiaate. (Venkatesh Vaidyanathan, 2019.)

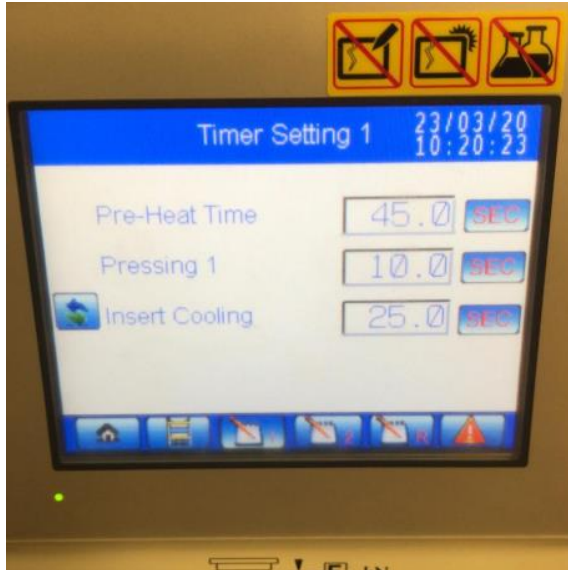


Kuva 8. Opinnäytetyössä käytetty hydraulinen puristin. LabTech Engineering Company LTD, Model LP-S-2.

Turun ammattikorkeakoulun hydraulisella puristimella on mahdollista säätää lämpöelementtien lämpötilat (Kuva 9), esilämmitysaika, puristuksen kesto, kaasunpoistojen määrä sekä aika per kaasunpoisto, muotin jäähtytysaika (Kuva 10) sekä paineet, joiden avulla voidaan säätää, kuinka kovalla voimalla puristus suoritetaan (Kuva 11).



Kuva 9. Hydraulisen puristimen lämpöelementtien ohjauspaneeli.



Kuva 10. Hydraulisen puristimen ajoparametrien kosketusnäyttöohjauspaneeli (esilämmitys, puristusaika, jäähdytys ja kaasunpoistot).



Kuva 11. Hydraulisen puristimen puristusvoiman eli paineiden säätökahvat.

3 TYÖSSÄ KÄYTETYT MATERIAALIT, LAITTEET JA PROSESSIKAAVIO

Opinnäytetyössä käytetyt materiaalit saatiin käyttöön toimeksiantajalta. EVA-granulaateista (Liite 1) ja -kevlarkuidusta (Liite 2) saatiin toimeksiantajalta tarkempia käyttötiedo- teohjeita. PMMA-granulaateista ei ollut saatavilla valmistajan tarkempia käyttötiedotus- ohjeita salassapitosyistä johtuen.

3.1 Työssä käytetyt laitteet

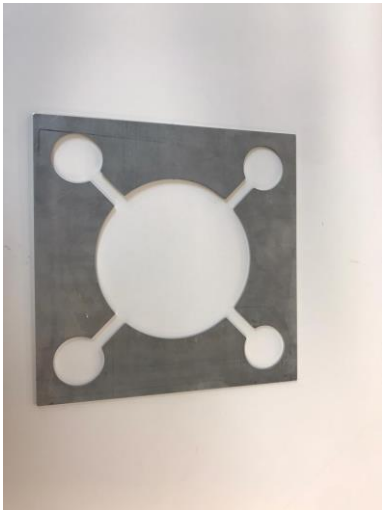
Opinnäytetyössä käytetyt laitteet ovat Turun ammattikorkeakoulun laitteistoa ja työ suoritettiin heidän tiloissaan. Puristuksessa käytetyt muotit tilattiin mittatilaustyönä Turun ammattikorkeakoulun Koneteknologiakeskukselta.

Työssä käytetyt laitteet olivat:

- Kaksoisruuviekstruuderit LabTech Engineering Company LTD, Model LZ-120HP, Laite LZ-1603-124
- Granulaatti/pelletti leikkuri LabTech Engineering Company LTD, Model LTE20-44, Laite LTE1603-119
- Hydraulinen puristin LabTech Engineering Company LTD, Model LP-S-20
- 2 kpl muotteja puristusta varten (Kuva 12 ja 13).



Kuva 12. EVA+lasikuituseoksissa käytetty puristusmuotti.



Kuva 13. PMMA ja EVA + Kevlar-seoksissa käytetty puristusmuotti.

3.2 Työssä käytetyt materiaalit

Työssä käytetyt muoviraaka-aineet sekä lujiteaineet, joista valmistettiin vahvistettua seoksia:

- Escorene Ultra EVA (Eteenivinyyliasettaatti) Copolymer Resin FL 00909, 83E353, 11AUG18, ExxonMobil Chemical
- Escorene Ultra EVA (Eteenivinyyliasettaatti) Copolymer Resin UL 02528CC, 92D298, 11JUL19, 1976, ExxonMobil Chemical
- Silanoitu lasikuitu, 16/2091 LOT 1903271, 2019/6/25, 926g, 2019/3/29, 6010213, EFDE90-01
- Kevlar AF 20/200 jauhettu aramidikuitu, poly-parafenyleenitereftalamidi, jauhe, Polyvel Netherlands
- Kevlar AF 25 G kierrätetty, jauhettu aramidikuitu, poly-parafenyleenitereftalamidi, lyhyet aramidi kuidut, Polyvel Netherlands
- LG PMMA IG840 (Polymetyylimetasylaattiakryyli)
- LG PMMA HI835M (Polymetyylimetasylaattiakryyli)
- Rocol muotin irroitussuihke (Teflonpohjainen) (Kuva 14).



Kuva 14. Työssä käytetty muotin irroitussuihke puristuksen helpottamiseksi

3.3 Tutkimusprosessi

Jokainen materiaali ja seos käsiteltiin alla olevan prosessikaavion mukaisesti (Kuva 15). Materiaalien valinnat perustuivat toimeksiantajan toiveisiin ja kalibroinnit ruuviekstruderille tehtiin erillisenä päivänä jokaiselle pääraaka-aineelle (raaka EVA ja PMMA) ennen varsinaisten ekstruuderiajojen ja seosten valmistuksen aloittamista.

Hydraulisella puristimella tehtiin koepuristukset jokaiselle pääraaka-aineelle ennen seosten puristusta. Seokset puristettiin vasta, kun jokainen seos oli valmistettu ruuviekstruderilla.



Kuva 15. Tutkimusprosessin kulku

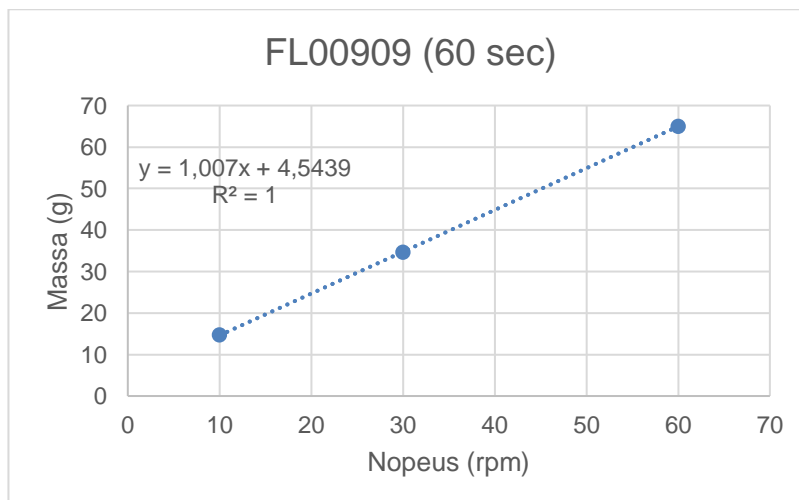
4 EKSTRUUDERIN KALIBROINTI

Ennen seosten valmistusta, tehtiin ekstruuderilla kalibrointi jokaiselle EVA-laadulle, sekä PMMA-laadulle. Kalibrointi tehtiin ilman kuitulujitetteita. Kalibroinnin tarkoituksena oli selvittää kuinka paljon syöttösuppilo syöttää materiaalia pääruuville minuuttia kohden tietyllä nopeudella (Kuva 16, 17, 18 ja 19).

Jokaiselle kalibroitavalle materiaalille suoritettiin minuutin kestävä testiajo kolmella eri syöttönopeudella. Jokaisella syöttönopeudella tehtiin kolme rinnakkaista mittausta, joista laskettiin keskiarvo (Taulukko 1, 2, 3 ja 4).

Taulukko 1. EVA FL00909, kalibrointi.

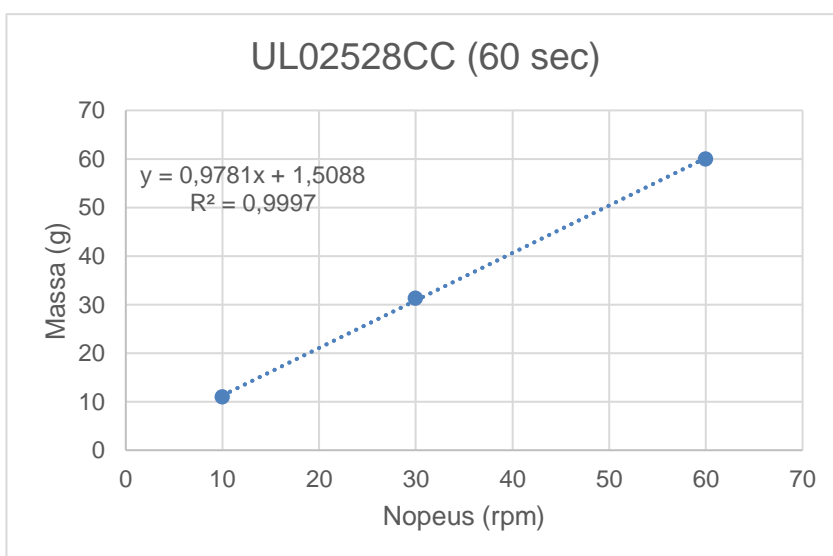
EVA FL00909				
RPM	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	KA (g)
10	15	15	14	15
30	35	34	35	35
60	64	65	66	65



Kuva 16. EVA FL00909, kalibrointikuvaaja.

Taulukko 2. EVA UL0252, kalibrointi

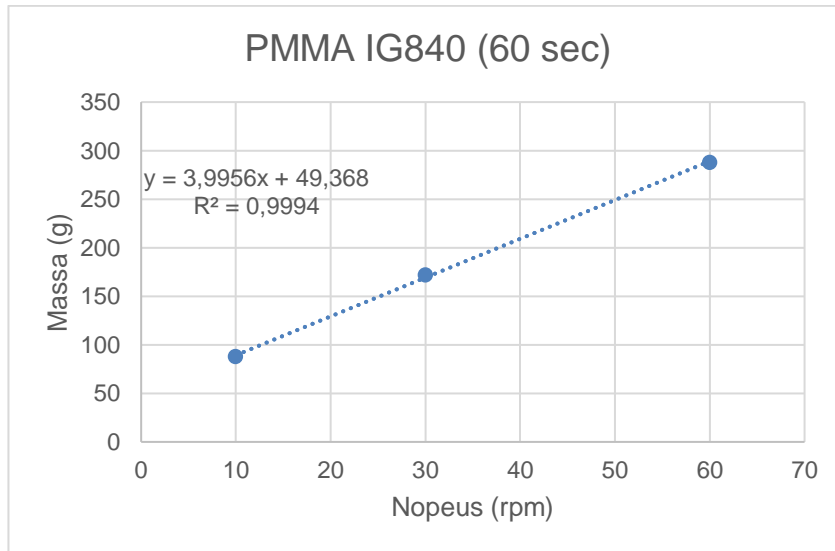
EVA UL02528CC				
RPM	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	KA (g)
10	11	11	11	11
30	31	32	31	31
60	60	61	59	60



Kuva 17. EVA UL0252, kalibrointikuvaaja.

Taulukko 3. PMMA IG840, kalibrointi.

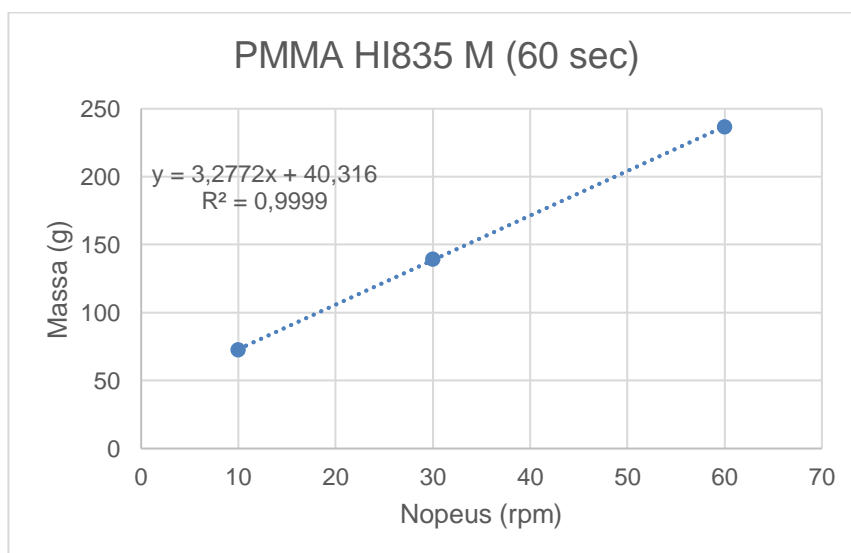
PMMA IG840 NP C18D 1004 8				
RPM	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	KA (g)
10	88	87	88	88
30	172	173	171	172
60	289	283	292	288



Kuva 18. PMMA IG840, kalibrointikuvaaja.

Taulukko 4. PMMA HI835 M, kalibrointi.

PMMA HI835 M				
RPM	m1 (g)	m2 (g)	m3 (g)	KA (g)
10	73	73	72	73
30	139	140	139	139
60	237	233	240	237



Kuva 19. PMMA HI835 M, kalibrointikuvaaja.

5 SEOSTEN VALMISTUS

Ekstruuderilla valmistettiin seoksia opinnäytetyön toimeksiantajalta saaduista muovigranulaateista (EVA ja PMMA) ja kuitulujitteista (kevlar ja silanoitu lasikuitu). Jokaisesta granulaattilajista ja lisäaineesta valmistettiin 5 %:n ja 10 %:n seoksia (esim 10 % lujiteainetta ja 90 % EVA FL00909). Jokaisesta muovigranulaattilaadusta ajettiin myös yksi puhdas erä ilman kuitulujitteita vertailukohteiksi, eli ajamalla pelkkää granulaattia ekstruuderin läpi. (Taulukko 5).

Taulukko 5. Valmistetut seokset.

Granulaattityyppi	Kuitulujite	Seos-suhde	
Eva	FL00909	Ei mikään	100 % FL00909
	FL00909	Silanoitu lasikuitu	5 % ja 10 %
	FL00909	Kevlar AF 20/200	5 % ja 10 %
	FL00909	Kevlar AF 25 G	5 % ja 10 %
Eva	UL0252	Ei mikään	100 % UL0252
	UL0252	Silanoitu lasikuitu	5 % ja 10 %
	UL0252	Kevlar AF 20/200	5 % ja 10 %
	UL0252	Kevlar AF 25 G	5 % ja 10 %
PMMA	IG840	Ei mikään	100 % IG840
	IG840	Silanoitu lasikuitu	5 % ja 10 %
PMMA	HI835 M	Ei mikään	100 % HI835 M
	HI835 M	Silanoitu lasikuitu	5 % ja 10 %

5.1 Seosten valmistus käsisyöttömenetelmällä

Koska Turun ammattikorkeakoulun ekstruuderissa ei ole erillistä sivusyöttöyksikköä, jouduttiin kuitulujitteet lisäämään käsin ajon aikana. Kuitulujitteina käytetyt silanoitu lasikuitu ja kevlar AF 20/200 olivat koostumukseltaan jauheita, minkä vuoksi niiden lisääminen suoraan syöttösuppiloon pääraaka-aineiden seassa ei ollut mahdollista. Jauhemaiset kuitulujitteet olisivat jääneet syöttösuppilon pohjalle pääraaka-aineen virratessa ekstruuderin

pääruuville. Kevlar AF 25 G:tä sisältävät seokset valmistettiin eri menetelmällä, kuitulujitteen villamaisesta koostumuksesta johtuen.

Kuitulujitteet syötettiin luukusta, joka johtaa suoraan ekstruuderin pääruuville (Kuva 20). Tämän takia oli välttämätöntä tehdä perusteellinen kalibrointi jokaiselle materiaalille. Käsisyöttömenetelmästä johtuen seokset valmistettiin mahdollisimman suurilla ajonopeuksilla. Liian hidas syöttö ja siitä johtuva pidempi ajoaika johtaisi todennäköisemmin epätasaisuuteen kuitulujitteiden syötössä, joka tehtiin käsin.



Kuva 20. Kuitulujitteiden syöttö tapahtui käsin kuvan osoittamalla tavalla.

Kalibrointikuvaajien avulla jokaista materiaalia pystyttiin valmistamaan oikeassa suhteessa. Jokaiseen seokseen lisättiin ajon aikana kuitulujitetta niin, että päämassan kulkiessa ekstruuderista lasketussa ajassa, ovat kaikki lujiteaineet lisättyinä ekstruuderin samassa aikajaksossa tasaisesti.

Esimerkki seoksen EVA FL00909 + 10 % silanoitulasikuitu, valmisteluista: Laskettiin kuinka paljon syöttösuppilo syöttää FL00909 -granulaattia käyttämällä apuna kalibrointikuvaajan suoran yhtälöä (Kuva 16). Valitaan syöttönopeudeksi eli x-arvoksi esimerkiksi hyväksi todettu 60 rpm.

y = syöttö minuutissa

x = syöttösuppilon syöttönopeus (rpm)

$$y = 1,007x + 4,5439 \text{ eli } y = 1,007 \cdot 60 + 4,5439 = 64,96 \approx 65 \text{ g minuutissa}$$

Yhtälön avulla laskettiin syöttösuppilon syöttävän 65 g EVA FL00909-granulaattia minuuttia kohden, kun syöttönopeudeksi asetettiin 60 rpm. Seuraavaksi päätettiin, kuinka paljon materiaalia on tarpeellista ajaa. Puristusta varten materiaalia on riittävästi, jos sitä ajetaan vähintään 500 g. Kaiken varalta päädyttiin 12 min kestävään ajoon, jolloin materiaalia saatiin tuotettua hieman ylimäärin, eli yhteensä:

$$65 \text{ g} \cdot 12 = 780 \text{ g}$$

Tässä vaiheessa oli selvitetty, että ajo kestää 12 min, joka tuotti yhteensä 780 g materiaalia. Laskettiin kuinka paljon on lisättävä lisäainetta eli kuitulujitetta, jotta saatiin tuotettua 10 %:n seossuhde:

$$\frac{780 \text{ g}}{10} = 78 \text{ g}$$

Eli 12 min aikana oli lisättävä 78 g lisäainetta, jotta saatiin 10 %:n seossuhde. Jaettiin 78 g minuutin annoksiin suunnitellun ajon kestolla (12 min):

$$\frac{78 \text{ g}}{12 \text{ min}} = 6,5 \text{ g minuutissa}$$

Punnattiin 6,5 g kuitulujitetta 12:een punnituslaivaan, jolloin tasainen syöttö on hallittavissa. Tällöin kuitulujitteen lisääminen oli helppoa, kun yksi punnituslaiva kaadettiin taiseisesti minuutin aikana ekstruuderin pääruuville, syöttösuppilon syöttäessä päämassaa automaattisesti pääruuville. Jokainen seossuhde valmistettiin esimerkin mukaisesti luukuunottamatta EVA-seoksia, jotka sisälsivät Kevlar AF 25 G-kuitulujitetta.

Ajot pyrittiin suorittamaan mahdollisimman nopeasti, kuitenkin siten, että ne tuottivat tarpeeksi materiaalia jatkotoimenpiteitä varten. Ajot kestivät keskimäärin 10-15 min materiaalista riippuen.

PMMA-seoksia tuotettiin isommissa, noin 1,5 kg:n erissä ja EVA-seoksia tuotettiin pienemmissä, noin 800 g:n erissä. PMMA-seoksia tuotettiin hieman enemmän, mikä mahdollisti suurempien koepuristuserien suorittamisen, koska kyseisestä materiaalista ei ollut aikaisempaa ajokokemusta hydraulisella puristimella.

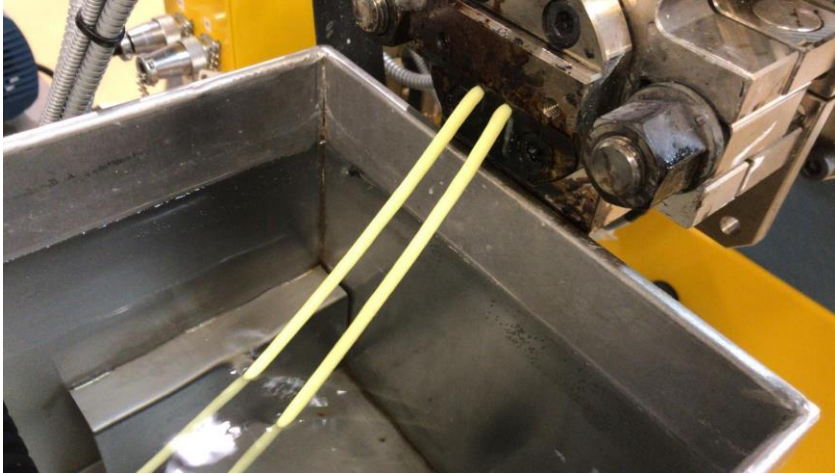
5.2 EVA + Kevlar AF 25 G -seosten valmistus

EVA + Kevlar AF 25 G -seokset päädyttiin valmistamaan eri menetelmällä kuin muut seokset. Näissä seoksissa käytetty kevlar oli koostumukseltaan pumpulimaista villaa, joten sen punnitseminen punnituslaivoihin oli mahdotonta ja sen lisääminen ekstruuderiin tasaisesti käsisyöttömenetelmällä olisi koitunut liian epävarmaksi menetelmäksi. Määrällisesti tätä kuitulujitetta tuli seoksiin huomattavasti suuremmat määrät sen huokoisuudesta johtuen (muut kuitulujitteet olivat koostumukseltaan tiheämpää pulverimaista jauhetta).

Kevlar AF 25 G kuitulujite kaadettiin granulaattien seassa ekstruuderin syöttösuppiloon siten, että kevlar sekoitettiin ensin erillisessä astiassa tasaisesti granulaattien sekaan (Kuva 21), jonka jälkeen seos kaadettiin syöttösuppiloon. Esimerkiksi 10 %:nen seos valmistettiin kaikessa yksinkertaisuudessaan siten, että punnittiin 900 g granulaattia, jonka sekaan lisättiin 100 g Kevlar AF 25 G:tä. Ekstruuderiajot suoritettiin siten, että syöttösuppilo syötti jo ennestään sekoitetun granulaatin ja kevlarin samanaikaisesti syöttösuppilon läpi ekstruuderin pääruuville. Näiden seosten kanssa kalibraatiokaavioiden käyttö ei ollut tarpeellista eriävän valmistusmenetelmän vuoksi, jossa syöttösuppilo vastasi päämassan eli granulaattien sekä lisäaineen syötöstä. Ajojen onnistumisen kannalta oli riittävää, kun ekstruuderin ajoparametrit olivat kohdillaan optimaalisten lämpötilojen ja ruuvien rasituksen kannalta.



Kuva 21. EVA FL00909 + 10 % Kevlar AF 25 G -seoksen valmistelu.



Kuva 22. FL00909 + 5 % Kevlar AF 25 G ekstruderin suuttimesta vesihauteeseen.

6 EKSTRUUDERIAJOT

Ennen seosten valmistusta tehtiin ekstruuderilla testiajot ennen varsinaisia ajoja. Testiajojen avulla pyrittiin löytämään optimaaliset ajoparametrit kaikille pääraaka-aineelle, eli jokaiselle muovigranulaattilajille ennen seosten valmistusten aloittamista.

Kun optimaaliset ajoparametrit saavutettiin jokaiselle granulaattilajille, ei kuitulujitteiden käyttö seoksia valmistaessa vaatinut ajoparametrien säätöä, koska kuitulujitteita lisättiin sekaan pieni määrä suhteessa pääraaka-aineeseen. Kuitulujitteet eivät myöskään olleet granulaattimaisessa muodossa, mikä helpotti niiden kulkua samoilla parametreillä ekstruuderin ruuvissa päämassan mukana.

Tärkein parametri ekstruuderiajon onnistumisen kannalta oli oikeiden lämpötilojen löytäminen. Liian matalat lämpötilat johtavat ruuvin rasituksen nousuun ja lopulta sen toiminnan lakkautumiseen. Liian korkeat lämpötilat johtavat siihen, että ajettava materiaali on liian sulaa. Tällöin materiaali saattaa tulla ylös ekstruuderin vakuumiaukosta aiheuttaen sen tukkeutumisen. Ideaalit lämpötilat ovat yleensä asetettu lämpöelementeissä siten, että ruuvin alkupää on hieman matalampi lämpötiloiltaan. Tällöin pääruuvin alkupäässä oleva materiaali auttaa työntämään edessä olevaa sulaa materiaalia eteenpäin kohti ekstruuderin suuttimen ulostuloaukkoa.

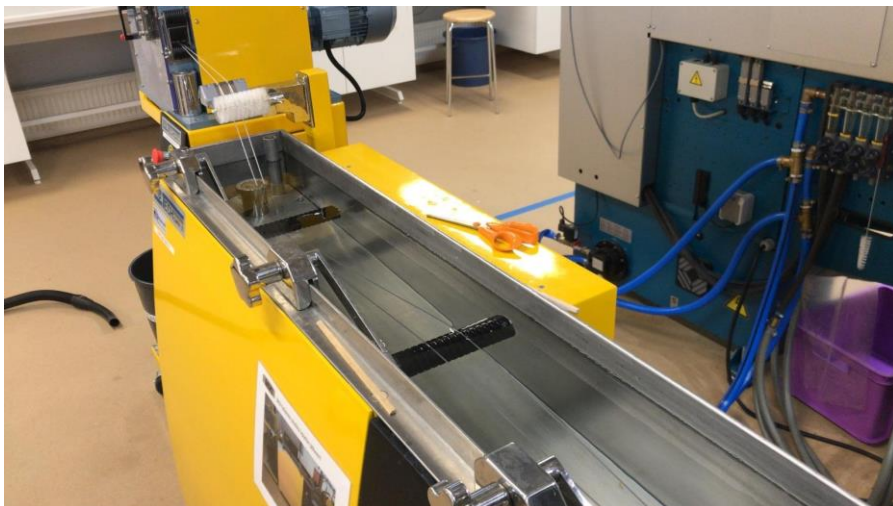
Pääruuvin kierrosnopeus on otettava huomioon lämpötiloja säätäessä. Vaikka ruuvin nopeudella pääasiassa säädetään nopeutta, jolla ruuvi työntää materiaalia eteenpäin, vaikuttaa sen luoma kitka myös lämpötiloihin. Etenkin suurilla nopeuksilla ja pitkissä ajoissa ruuvin luoma kitka on otettava huomioon lämpötilojen kannalta (Kuva 23).



Kuva 23. Liian korkeat lämpötilat ja ajonopeudet aiheuttavat ongelmia, materiaali kasautuu suuttimen ulostuloaukolle.

6.1 Ekstruuderin ajoparametrit

Ekstruuderilla jokaiselle muovigranulaattilaadulle oli omat ajoparametrit (Taulukko 6, 7, 8 ja 9). Ajoparametrejä ei muutettu eri kuitulujitteita lisättäessä. Leikkurin nopeutta säädettiin ajon aikana parilla yksiköllä optimaalisen granulaattikoon saavuttamiseksi. Ruuvin ja leikkurin nopeutta pidettiin ajojen alussa alhaisina, jotta ekstruuderin suuttimesta pursuavaa filamenttia oli helpompi käsitellä, kun se aseteltiin vesihauteen läpi kohti leikkuria. Kun filamentti oltiin aseteltu leikkuriin vesihauteen läpi ja prosessi stabiloitu (Kuva 24), siirryttiin synkronoidusti varsinaisiin ajonopeuksiin ja aloitettiin seosten valmistus.



Kuva 24. Kun filamentti oltiin aseteltu vesihauteen läpi kuvan osoittamalla tavalla, voitiin siirtyä ajonopeuksiin.

Taulukko 6. EVA FL00909, ekstruuderin ajoparametrit.

Lämpötilaprofiili FL00909												rpm	
Lämpöelementti	Suutin (11)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Syöttösuppilo	60
Lämpötila (°C)	190	190	190	190	190	190	150	120	100	90	70	Pääruuvi	700
												Leikkuri	9,3

Taulukko 7. EVA UL02528CC, ekstruuderin ajoparametrit.

Lämpötilaprofiili UL02528CC													rpm
Lämpöelementti	Suutin (11)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Syöttösuppilo	60
Lämpötila (°C)	140	140	140	140	150	150	150	150	140	120	100	Pääruuvi	700
												Leikkuri	10,3

Taulukko 8. PMMA IG840, ekstruuderin ajoparametrit.

LÄMPÖTILAPROFIILI PMMA IG840 NP C18D													rpm
Lämpöelementti	Suutin (11)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Syöttösuppilo	20
Lämpötila (°C)	235	235	235	235	240	250	240	235	235	235	235	Pääruuvi	300
												Leikkuri	18,4

Taulukko 9. PMMA HI385 M, ekstruuderin ajoparametrit.

Lämpötilaprofiili PMMA HI385 M													rpm
Lämpöelementti	Suutin (11)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Syöttösuppilo	20
Lämpötila (°C)	230	230	230	230	220	220	220	220	220	220	220	Pääruuvi	200
												Leikkuri	13,3

7 HYDRAULISEN PURISTIMEN AJOT

Jokaisesta valmistetusta seoksesta (Taulukko 5) valmistettiin 5 kpl levyjä toimeksiantajan toiveesta. Myös puhtaista granulaattilajeista valmistettiin 5 kpl vetolevyjä per muovilaatu. Yhteensä levyjä valmistettiin 100 kpl. Puristukset suoritettiin Turun ammattikorkeakoulun hydraulisella puristimella. Puristetut levyt lähetettiin jatkojalostukseen projektin omistajalle ja niistä valmistettiin mm. hammassuojia erilaisin muottimenetelmin.

7.1 Puristimen ajoparametrien säätäminen ja ajojen valmistelut

Optimaalisesten ajoparametrien löytämiseksi suoritettiin hydraulisella puristimella muutamia testiajoja puristettavalla materiaalilla. Mitä tuntemattomampi materiaali oli kyseessä, sitä useamman testiajon se vaati puristimella. Optimaalisten ajoparametrien avulla taattiin mahdollisimman laadukkaat kappaleet.

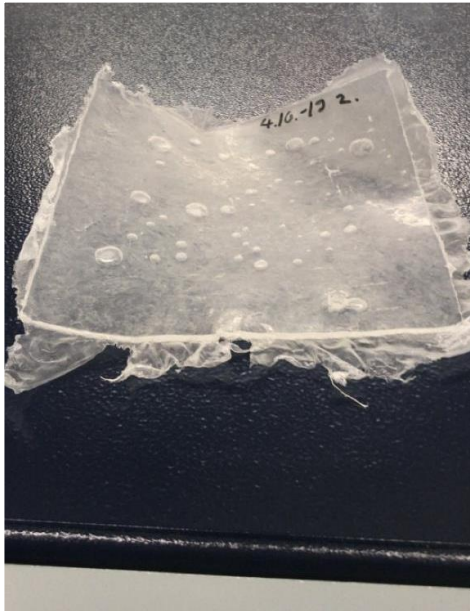
Testiajoissa säädettiin puristimen lämpötila, eli kahden lämpöelementin lämpötila, työstettävän materiaalin sulamislämpötilan tienoille. Hyvänä lähtökohtana puristuksen lämpötiloille on suunnilleen samat maksimilämpötilat kuin ekstruuderiajojen aikana. Esimerkiksi, jos PMMA-seoksia on ajettu ekstruuderilla huipussaan n. 230 °C lämpötiloissa, aloitettiin puristimen testiajot samoista lämmöistä ja säädettiin tarpeen mukaan. Liian matalat lämpötilat saattavat johtaa siihen, että muotissa olevat granulaatit eivät sulaudu toisiinsa tarpeeksi ja kappale todennäköisesti murenee käsiin (Kuva 25). Kun puristettu kappale näytti ehjältä ja kokonaiselta, todettiin lämpötilojen olevan säädettynä sopiviksi (Kuva 26). Liian korkeat lämpötilat johtivat yleensä ilmakupliin ja muihin epämuodostumiin kappaleessa (Kuva 27).



Kuva 25. PMMA IG840 puristettu liian matalilla lämpötiloilla.



Kuva 26. PMMA IG840 puristettu optimaalisilla lämpötiloilla.



Kuva 27. Syksyn projektissa puristimella ajettu EVA-levy liian korkeilla lämpötiloilla.

Lämpötilojen lisäksi puristimella on muita parametrejä, joiden säätö saattaa olla oleellista. Nämä ovat:

- Preheat eli esilämmitys.

- Pressing time eli puristus aika.
- Degassing eli kaasunpoistot.
- Insert cooling eli jäähdytys.

Näistä edellä mainituista parametreista kaasunpoistoja ei tässä työssä käytetty lainkaan. Kaasunpoistot vaikuttivat tuottavan ylimääräisiä epämuodostumia valmistettavaan kappaleeseen.

Esilämmitys kulkee käsikädessä puristimen lämpöelementtien säätöjen kanssa. Matalia lämpötiloja voidaan kompensoida pidemmän esilämmitysajan kautta. On kuitenkin suositeltavaa pyrkiä löytämään tarpeeksi suuret lämpötilat lämmityselementeille, jotta säästyään turhalta ajan hukkaamiselta ja voidaan maksimoida prosessin tuotanto.

Puristuksen kestolla tarkoitetaan sitä aikaa, kuinka kauan hydraulinen puristin puristaa muottia. Yleensä tämän kestoa pidentämällä päästiin eroon mahdollisista ilmakuplista ja muista epämuodostumista. On kuitenkin otettava huomioon, että liian pitkä puristus aika tuottaa myös ongelmia. Tällöin kappale saattaa lämmitä liikaa sen ollessa kosketuksessa lämpöelementtien kanssa.

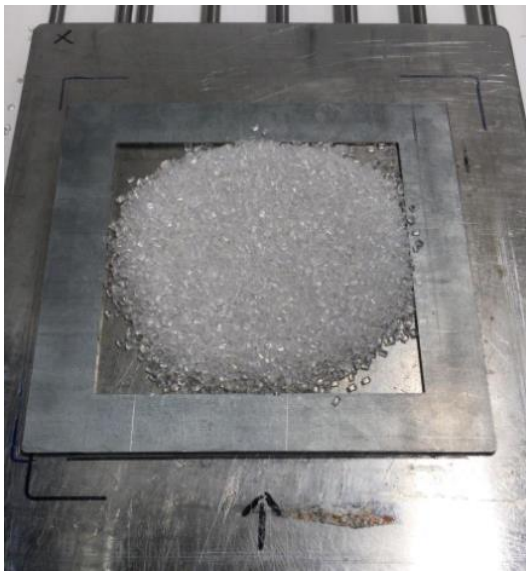
Jäähdytys ja sen säätö ei juurikaan vaikuttanut levyjen lopputulokseen. Jäähdyksellä vaikutetaan lähinnä siihen, kuinka miellyttävää muottia on käsitellä puristuksen jälkeen.

Puristettavan materiaalin määrällä on myös vaikutus ajoparemetrien säätöön. Testiajojen alussa onkin tärkeää muottia täyttäessä löytää sopiva määrä puristettavalle materiaalille. Tärkeintä muotin täytössä on, että materiaalia on tarpeeksi, jotta koko muotti täyttyy kokonaan puristuksen aikana. Materiaalia voi laittaa jopa hieman ylimäärin, siten että sitä pursuaa hieman yli muotin rajojen puristuksen aikana. Tässä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, ettei materiaalia tule hukattua turhaan liiallisen täytön takia. Liian suuri täyttö voi myös vaikuttaa muihin parametreihin, jos muotin välissä on liikaa materiaalia. Esimerkiksi kaikki materiaali muotin sisällä ei välttämättä sulaudu ja kappaleesta tulee raakeenteeltaan epätasainen. Se miten tasaisesti materiaali on muotille levitetty, ei vaikuta millään tavalla lopputulokseen, vain määrällä on merkitystä (Kuva 28).

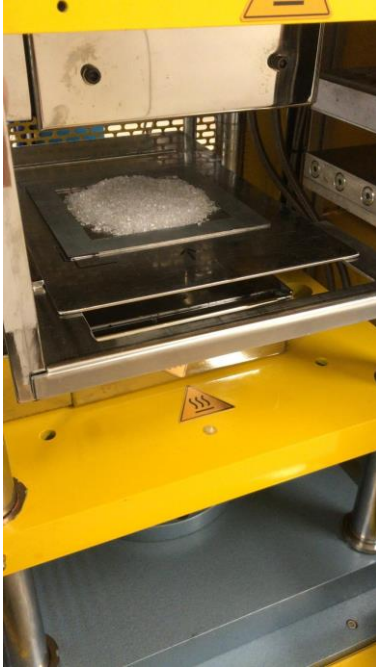
Muotti on myös suotavaa asettaa puristimeen siten, että se on mahdollisimman keskellä, jotta puristus tapahtuu tasaisesti koko muotin alueella (Kuva 29 ja 30). Muotteihin ja puristuslevyihin suihkutettiin satunnaisin väliajoin teflonpohjaista muotin irroitussuihketta (Kuva 14) valmistetun kappaleen muotista irrottamisen helpottamiseksi.

Muotit oli tilattu jo syksyn projektin aikana ja niitä voitiin hyvin käyttää tässä opinnäytetyössä. Muotit tilattiin mittatilaustyönä Turun ammattikorkeakoulun Koneteknologiakeskuksesta. Tilatut muotit täyttivät vaatimukset, joiden avulla vaadittavien levyjen puristaminen oli mahdollista. Muottien avulla saatiin tehtyä vaaditun mittaisia ympyrän muotoisia levyjä, halkaisijaltaan 120 mm ja paksuudeltaan 2 mm.

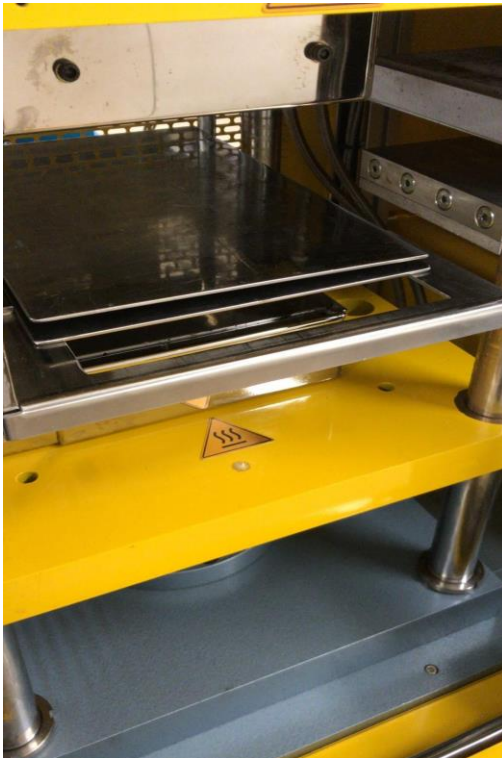
Työtä varten tilattiin kahdenlaisia muotteja, joista päädyttiin käyttämään molempia materiaalin käyttäytymisen mukaan.



Kuva 28. Puhdasta EVA FL00909-granulaattia muotilla valmiiksi puristettavaksi.



Kuva 29. Muotti on aseteltu siten, että se on mahdollisimman keskellä puristinta.



Kuva 30. Kansilevyt aseteltuna muotin päälle puristuksen ajaksi.

7.2 Hydraulisen puristimen ajoissa käytetyt ajoparametrit

Lopulliset ajoparametrit löytyivät melko nopeasti. PMMA:lle suoritettiin muutamia testiajoja enemmän, koska kyseisestä materiaalista ei ollut aikaisempaa kokemusta hydraulisen puristimen kanssa. EVA-seoksia päästiin puristamaan aikaisemman kokemuksen perusteella jo muutaman testiajon jälkeen.

PMMA-ajot suoritettiin samoilla parametreillä materiaalista ja seoksesta riippumatta (Taulukot 10 ja 11). EVA-puristuksissa oli pieniä eroja parametreissä materiaalista ja seoksesta riippuen (Taulukot 12,13,14 ja 15).

Taulukko 10. Puristimen ajoparametrit, PMMA IG840

Puristimen ajoparametrit PMMA IG840 lasikuituseokset	
Muotin täyttö	45 g
Elementtien lämpötila	265 °C
Esilämmitys	30 s
Puristusaika	10 s
Jäähdytys	25 s
Kaasunpoisto	Kaasunpoistoja ei käytetty

Taulukko 11. Puristimen ajoparametrit, PMMA HI385 M.

Puristimen ajoparametrit PMMA HI835 M lasikuituseokset	
Muotin täyttö	45 g
Elementtien lämpötila	265 °C
Esilämmitys	30 s
Puristusaika	10 s
Jäähdytys	25 s
Kaasunpoisto	Kaasunpoistoja ei käytetty

Taulukko 12. Puristimen ajoparametrit, EVA FL00909+lasikuitu.

Puristimen ajoparametrit EVA FL00909 lasikuituseokset	
Muotin täyttö	60 g
Elementtien lämpötila	142 °C
Esilämmitys	60 s
Puristusaika	10 s
Jäähdytys	45 s
Kaasunpoisto	Kaasunpoistoja ei käytetty

Taulukko 13. Puristimen ajoparametrit, EVA FL00909+kevlar.

Puristimen ajoparametrit EVA FL00909 kevlarseokset	
Muotin täyttö	40 g
Elementtien lämpötila	142 °C
Esilämmitys	45 s
Puristusaika	10 s
Jäähdytys	15 s
Kaasunpoisto	Kaasunpoistoja ei käytetty

Taulukko 14. Puristimen ajoparametrit, EVA UL02528CC+lasikuitu.

Puristimen ajoparametrit EVA UL02528CC lasikuituseokset ja 0 %	
Muotin täyttö	55 g
Elementtien lämpötila	142 °C
Esilämmitys	60 s
Puristusaika	10 s
Jäähdytys	15 s
Kaasunpoisto	Kaasunpoistoja ei käytetty

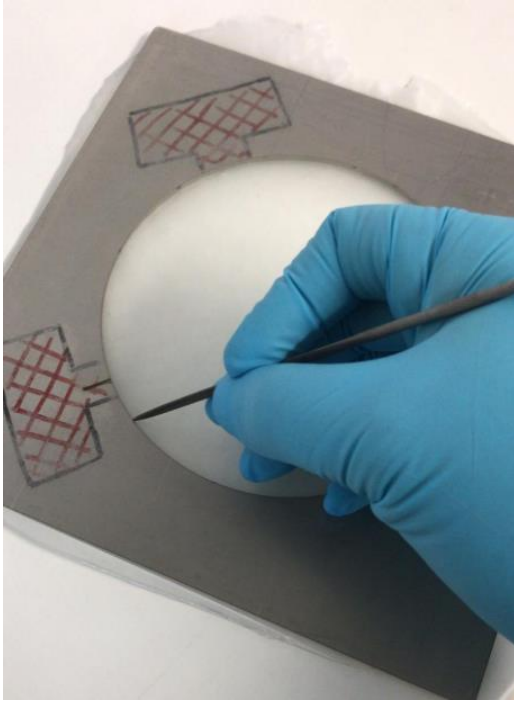
Taulukko 15. Puristimen ajoparametrit, EVA UL02528CC+kevlar.

Puristimen ajoparametrit EVA UL02528CC kevlarseokset	
Muotin täyttö	40 g
Elementtien lämpötila	142 °C
Esilämmitys	30 s
Puristusaika	10 s
Jäähdytys	15 s
Kaasunpoisto	Kaasunpoistoja ei käytetty

7.3 Levyjen käsittely puristuksen jälkeen

Puristettuja levyjä käsiteltiin vielä puristuksen jälkeen, jotta ne olivat käyttökelpoisia toimeksiantajan jatkotoimenpiteitä ajatellen. Toimeksiantajalta saatiin tarkat mitat kappaleille, joiden mukaan muotitkin oli valmistettu. Valmiin kappaleen on oltava vaadituissa mitoissa, jotta sitä voidaan käsitellä myöhemmin lopullisen tuotteen valmistuksessa.

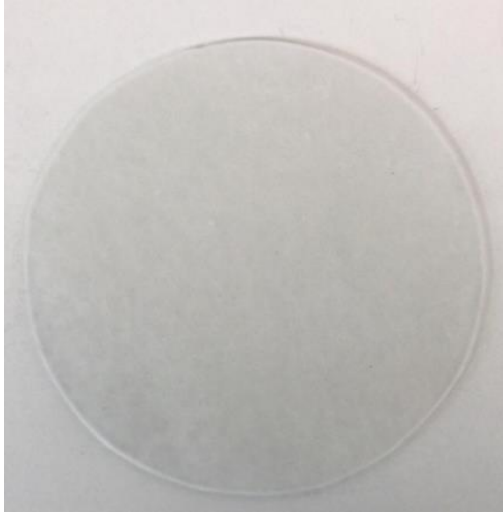
Kaikki EVA-lasikuitu-seokset ja puhtaasta EVA granulaatista puristetut levyt valmistettiin käyttämällä neliön muotoista muottia (Kuva 12), josta leikattiin erikseen lopullinen ympyrän muotoinen levy (Kuvat 31, 32 ja 33). Tällä materiaalilla ja seoksilla käytettiin neliön muotoista muottia, koska mahdolliset ilmakuplat muodostuivat muotin reunoille, jolloin ne eivät tulleet lopulliseen kappaleeseen.



Kuva 31. Neliön muotoiselle kappaleelle merkattiin lopullisen muotoisen kappaleen ääriiviivat, jotta siitä voitiin leikata oikean mallinen ja kokoinen, ympyrän muotoinen levy.

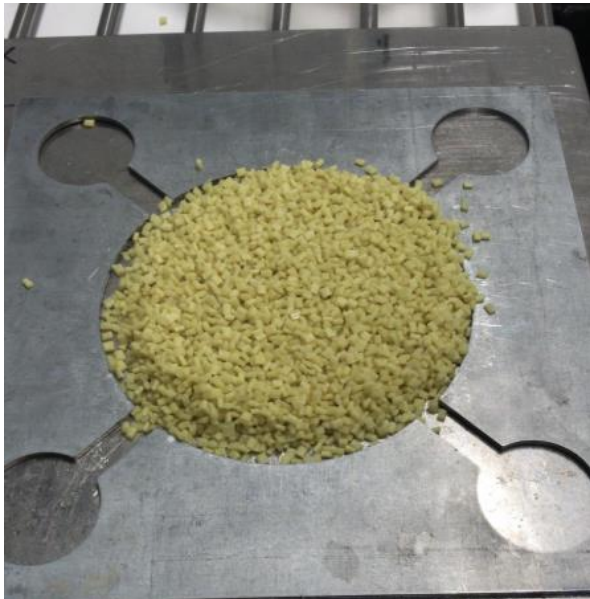


Kuva 32. Levy leikattiin ääriviivoja pitkin lopulliseen muotoonsa.



Kuva 33. Levy leikkauksen jälkeen. Kuvassa UL02528CC+5 % lasikuitu, halkaisija 120 mm ja paksuus 2 mm.

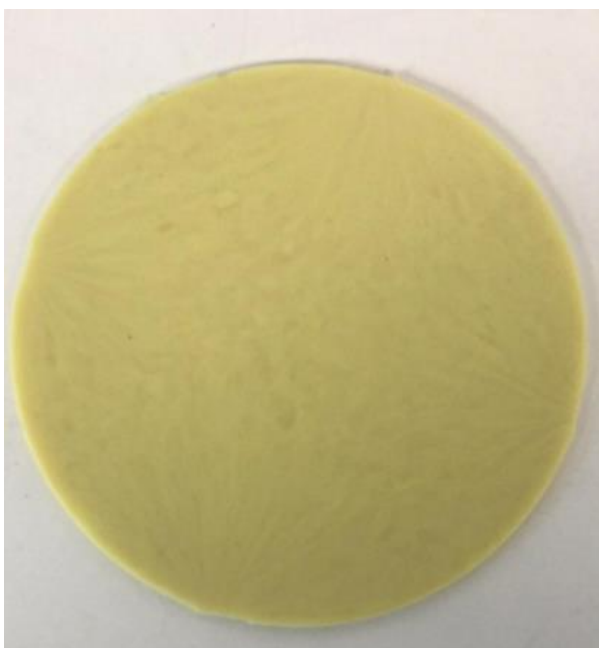
EVA + kevlar-seoksilla (Kuva 34) ei havaittu ilmakuplien muodostumista, joten EVA+kevlar-seosten kanssa päädyttiin käyttämään ympyrän muotoista muottia (Kuva 13), jonka jälkikäsitellyssä kului vähemmän aikaa ja työtä (Kuva 35 ja 36).



Kuva 34. FL00909 + 10 % Kevlar AF/200 muotissa valmiina puristukseen.



Kuva 35. EVA+Kevlar-seos puristuksen jälkeen. Ylimääräiset reunat on nopeaa ja helppoa leikata pois.



Kuva 36. Esimerkki valmiista EVA+kevlar-seos levystä. EVA UL02528CC + 10 % Kevlar AF/200.

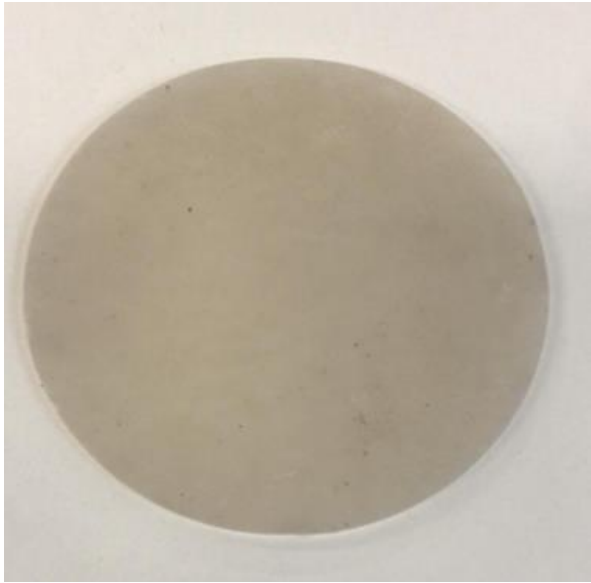
PMMA-seoksista valmistetut levyt vaativat enemmän aikaa jälkikäsittelyn osalta. Puristettu PMMA oli rakenteeltaan todella kovaa, lähes lasimaista, mutta silti todella haurasta. Tästä syystä sitä ei voitu leikata suoraan muotista täydellisen ympyrän muotoon (Kuva 37). PMMA-seoksilla päädyttiin käyttämään ympyrän muotoista muottia, jonka jälkeen reunat hiottiin hiekkapaperilla tasaiseksi (Kuva 38), jotta karheat reunat saatiin sileäksi sekä levyn halkaisija oikean mittaiseksi (Kuva 39). Mikäli halkaisija ylittäisi sallitun rajan (120 mm), estäisi se levyn jatkotyöstämisen toimeksiantajan laitteella. Toiseen suuntaan halkaisijan pituus saa heittää muutamankin millinmetrin verran.



Kuva 37. Puristetuista PMMA-levyistä leikattiin varovasti peltisaksia käyttäen suurimmat ylijäämät pois. Saksien kanssa täytyi olla varovainen, koska liian raju käsittely saattoi johtaa koko levyn lohkeamiseen.



Kuva 38. Karheat reunat hiottiin sileäksi PMMA-levyistä.



Kuva 39. Valmis PMMA HI385 M+10 % lasikuitu -levy.

8 TULOKSET JA POHDINTAA

Tässä kappaleessa käsitellään työskentelyn kulkua ja sen aikana tehtyjä havaintoa. Työssä valmistetut vetolevyt menivät toimeksiantajalle, jonka laboratoriossa tehtiin levyille perusteellisempia testejä mm. kestävyiden ja lujuuden suhteen. Nämä pohdinnat perustuvat valmistusprosessin aikana tapahtuneisiin havaintoihin. Valmistettujen kappa- leiden laatua arvioitiin käsin kokeilemalla materiaalin vetolujuutta, kestävyyttä ja raken- netta sekä silmämääräisin havainnoinsein.

8.1 Ekstruuderiajot

Ekstruuderilla työskennellessä oleellista olisi tutkia taustatietoa työstettävästä materiaa- lista, mikäli vain mahdollista. Tärkeintä olisi tietää suurinpiirtein työstettävän materiaalin käyttäytyminen eri lämpötiloissa, esimerkiksi materiaalin sulamispiste on oleellinen ja hyödyllinen tieto. Sulamispisteen pohjalta on hyvä aloittaa työskentely ja parametrien säätö, kunnes löydetään optimaaliset ajo-olosuhteet. Vaikka työstettävästä materiaalista olisikin hyvät tiedot saatavilla, on kuitenkin otettava huomioon, että jokainen laite toimii omalla tavallaan ja plastisoi materiaalia eri tavalla, siksi testiajoja uusilla materiaaleilla on tehtävä aina ja optimaaliset ajoparametrit etsittävä itse.

Seosten esivalmistelujen aikana laskuissa huomattiin pieni virhe. Esimerkiksi; laskujen mukaan 780 g seokseen lisättiin 78 g lisäainetta, jotta saatiin 10 %:n seos. Tällöin seos ei ole enää 10 % vaan 9,09 %. Tällä ei kuitenkaan ollut työn kannalta merkitystä, koska menetelmä suoritettiin käsisyöttömenetelmällä, joka johtaa jo itsessään pieniin heittoihin. Tämän lisäksi syöttösuppilon pohjalle jäi jokaisen ajon jälkeen satunnainen määrä gra- nulaatteja, joita syöttöruuvi ei saanut enää työnnettyä pääruuville. Näin ollen jälkikäteen huomattu laskuvirhe saattoi olla jopa eduksi, koska kaikki granulaatit eivät joka tapauk- sessa kulkeutuneet ekstruuderin läpi lopulliseen seokseen.

Tässä opinnäytetyössä käytetyt materiaalit poikkesivat toisistaan sulakäyttämisen osalta. EVA FL 00909 oli ekstruuderiajojen kannalta helpoin materiaali ajaa. Kyseinen materiaali ei tuottanut juurikaan rasiitetta ruuville ja materiaali pysyi hyvin kasassa jopa nopeammilla ajovauhdeilla, jolloin sitä oli helppo käsitellä vesihauteeseen ja leikkuriin asettaessa.

EVA UL 02528CC tuotti hieman enemmän haasteita lähinnä materiaalin ulostulon kanssa. Materiaalin käyttäytymisestä ja EVA-materiaaleille saaduista infotiedoista on huomattavissa, että tällä materiaalilla on muista EVA-laaduista poikkeava melt index eli sulaindeksi. Sulamassavirta (MFR), josta puhutaan usein myös sulaindeksinä, kuvaa sitä, kuinka helposti muovi virtaa tietyssä lämpötilossa. (Tesproma Oy, 2020.)

EVA UL 02528CC:a työstäessä oli selvästi havaittavissa sen tullessa ulos ekstruuderin suuttimesta, kuinka materiaali kietoitui suuttimelle (Kuva 23), eikä valunut tasaisesti kohti vesihaudetta, kuten FL 00909:a työstäessä. Materiaali oli sulana huomattavasti juoksempaa. Tämä voitiin korjata sillä, että materiaalia ajettiin aluksi hieman hitaammilla syöttönopeuksilla ja annettiin virtauksen stabiloitua. Kun tilanne saatiin rauhoitettua ja filamentti saatiin asetettua vesihautteen läpi leikkuriin, jatkettiin työskentelyä normaalisti ja siirryttiin ajonopeuksiin ilman ongelmia.

Edellä mainittu ilmiö ilmeni myös PMMA-muoveja käsiteltäessä. Tästä selvittiin samaa lähestymistapaa käyttäen. PMMA-muovien kanssa oli myös ongelmia ajoparametrejä säätäessä. PMMA tuotti huomattavasti odotettua enemmän rasitetta ekstruuderin pääruuville materiaalin kovuudesta johtuen. Tämä johti testiajoja suorittaessa monesti ruuvin liialliseen rasitukseen ja sen toiminnan pysähtymiseen. Työssä päästiin kuitenkin eteenpäin, kun alkupään lämpöelementtien lämpötiloja säädettiin huomattavasti korkeammalle (Taulukko 8 ja 9). Tällöin materiaali sulii hieman nopeammin ja vähentäen pääruuvin kuormitusta.

Kevlar-ajot tuottivat ajoittain ongelmia kuitulujitteesta ja valmistusmetodista riippuen. Kelvar AF 25 G:ta sisältäneet EVA-seokset eivät tuottaneet ajojen aikana minkäänlaisia ongelmia ja kaikki sujui suunnitelmien mukaisesti. Vaihtoehtoisella menetelmällä valmistetut kevlar AF 200/20+EVA-seokset tuottivat odotettua enemmän poikkeustilanteita ajon aikana. Materiaali käyttäytyi ruuvin rasituksen kannalta optimaalisesti, mutta syöttö ulostulosta oli epätasaista. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että materiaalin ja lisäaineen syöttö syöttösuppilosta ei tapahtunut niin tasaisesti kuin oli toivottu. Seoksia kuitenkin saatiin tuotettua siten, että suuttimesta tuleva filamentti vedettiin ulos käsin rauhalliseen tahtiin. Kun seosta oltiin tuotettu tarpeeksi, granuloitiin filamentin palaset erikseen pellettileikkurilla. Epätasainen syöttö suuttimesta esti leikkurin käytön, koska filamentin syöttö saattoi ajoittain keskeytä kokonaan muutaman sekunnin ajaksi, mikä olisi katkaissut koko linjaston toiminnan. Kevlar AF 20/200:a sisältäviä granulaattiseoksia saatiin kuitenkin tuotettua tarpeeksi levyjen puristusta varten.

8.2 Hydraulisen puristimen ajot

Hydraulisella puristimella suoritettavat ajot sujuivat ilman suurempia ongelmia. Aikaisemmasta syksyn 2019 -projektista kartoitettu oppi EVA-granulaattien puristuksesta osoittautui hyödylliseksi opinnäytetyötä tehdessä. Varsinaisia ajoja päästiin tekemään jo muutaman koeajon jälkeen materiaalista riippumatta. Vieraampi materiaali PMMA vaati luonnostaan muutaman koeajon enemmän, jotta optimaaliset parametrit löydettiin. PMMA:sta tuotettavat levyt olivat kirkkaita ja läpikuultavia, rakenteeltaan lasimaista, joten niistä oli helposti huomattavissa prosessin aikana seoksiin tarttuneet epäpuhtaudet. Etenkin ekstruuderin piti sisällään epämiellyttävän paljon epäpuhtauksia, koska laite on aktiivisessa käytössä koulun muiden oppilaiden toimesta. Ruuvi kuitenkin pyrittiin aina putsaamaan mahdollisimman perusteellisesti ennen seosten valmistusta.

Hydraulisella puristimella ajettaessa huomattiin myös omituista käytöstä lämpöelementtien lämpötilojen osalta. Lämpötilat saattoivat ajojen välissä vaihdella pahimmillaan jopa kymmenenkin astetta suuntaan tai toiseen. Tämä luonnollisesti hankaloitti toistettavien tulosten saamista. Ongelmaan löytyi nopeasti ratkaisu. Kyseinen ilmiö oli peräisin liian pitkästä jäähdytysajasta. Jäähdytyksen säädöissä on siis huomioitava, ettei se kestä liian pitkään. Liian pitkä jäähdytysaika suhteessa koko puristuksen keston suurentaa lämpötilaheittoja, mikäli itse puristus tapahtuu verrattaen nopeasti. Esimerkiksi, jos puristus kesti esilämmityksineen noin 1 min ajan, sopiva jäädytyksen kesto oli max 20 s, eikä esimerkiksi 45 s. Tämän jälkeen ongelmia ei ilmennyt, vaikka puristuksen jälkeen kappale olikin tavanomaista kuumempi sitä käsiteltäessä.

PMMA -seoksista ja silanoitua lasikuitua sisältävistä EVA -seoksista valmistetuista levyistä oli välillä huomattavissa satunnaisia pieniä ilmakuplia. Näistä ilmakuplista ei päästy eroon hydraulisen puristimen ajoparametrejä säätämällä. On myös hyvin epätodennäköistä, että pienet ilmakuplat johtuisivat parametrien säädöistä, koska niitä esiintyi kuitenkin satunnaisesti ilman, että parametrejä oltaisiin ajojen välissä säädetty. Satunnaisien ilmakuplien alkuperä johtuu todennäköisesti granulaateissa olevasta kosteudesta. Etenkin polyamidi 6 ja polyamidi 66 ovat kosteudelle herkkiä polymeerejä. (Tesproma Oy, 2020.) Puristuksessa on suotava ottaa huomioon esivalmistelut ja materiaalien kosteus, sekä suorittaa mahdolliset toimenpiteet ennen ajoa, jotta pieniltäkin ilmakupliilta vältytään.

9 YHTEENVETO

Työn suoritus sujui kokonaisuudessaan suunnitelmien mukaisesti. Käytännön osuus päästiin aloittamaan hyvissä ajoin ja aikataulussa pysyttiin. Käytännön osuus saatiin suoritettua loppuun erikoisluvalla, pandemiasta huolimatta. Muuten työskentelyn aikana ei tullut vastaan merkittäviä haittatekijöitä tai hidasteita ja ajot onnistuvat ilman suurempia ongelmia, niin ekstruuderilla kuin hydraulisella puristimella, mikä yllätti positiivisesti.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan toisen kevlar-kuitulujitteen tilalla piti olla kokonaan toista materiaalia granulaattien muodossa, josta oltaisiin tehty omat seokset. Kyseisen materiaalin vähäisen määrän vuoksi ja pandemiasta johtuvan poikkeustilan vuoksi kyseistä materiaalia ei ehditty kunnolla testaamaan ja työstämään. Työtunteja tuli kuitenkin alkuperäisen suunnitelman mukainen määrä toisen kevlar-kuitulujitteen ja siitä valmistettujen seosten myötä.

Työssä käytetty valmistusprosessi levyjen tuottamiseen on toimiva, mutta muutoksia ja parannuksia tähänkin voisi tehdä. Suurin parannus olisi jonkinlainen sivusyöttöyksikkö ekstruuderille, jolloin seosten valmistus saataisiin täysin automatisoitua. Automatisoitu seosten valmistus säästäisi runsaasti aikaa etenkin esivalmistelujen osalta ja seosten laatukin olisi varmasti tasalaatuisempaa. Hydrauliselle puristimelle voisi mahdollisesti miettiä uudenlaista muottia, jolla pystyisi tuottamaan yhdellä puristuksella vaikka kaksi, miksei kolmekin levyä, mikäli vain tilan puolesta mahdollista. Mikäli joku tulee jatkamaan työskentelyä samoilla materiaaleilla tulevaisuuden projektien yhteydessä, voisi EVA-granulaattien kuivaaminen ennen prosessointia olla vartenotettava työvaihe, jonka merkitystä lopputuotteen kannalta voitaisiin tutkia.

Jatkoa ajatellen tämä opinnäytetyö voi toimia oppaana tulevaisuuden projekteille, mikäli yhteistyö Turun ammattikorkeakoulun ja tämän työn toimeksiantajan välillä jatkuu.

10 LÄHTEET

Business Media Inc. 2018. The Extrusion Process. Plastics Technology. 2018. <https://www.ptonline.com/knowledgecenter/profile-extrusion/profile-extrusion-fundamentals/history-and-fundamentals-of-extrusion>. Viitattu 28.3.2020

Enqvist, Aleks. 2017. Levyekstruusiolinjan laaduntuottokyvyn kehittäminen ja laminointiyksikön integointi. Turku: Turun ammattikorkeakoulu, 2017. Viitattu 17.11.2020

Tesproma Oy. 2020. ZwickRoell. 2020. <https://www.zwickroell.com/fi-fi/muovit/muovi-putket/sulaindeksi,-sulavirta,-iso-4440>. Viitattu 15.4.2020

Venkatesh Vaidyanathan. 2019. Science ABC. 2019. <https://www.scienceabc.com/innovation/what-is-a-hydraulic-press-and-how-does-it-work.html>. Viitattu 2.4.2020

XRF Scientific. 2019. What is a hydraulic press. XRF Scientific Home. <https://www.xrfscientific.com/what-is-a-hydraulic-press/>. Viitattu 28.3.2020

EVA granuloiden tiedot

Product Datasheet

Escorene™ Ultra UL 02528CC Ethylene Vinyl Acetate Copolymer Resin

Product Description

UL 02528CC is a copolymer of ethylene and vinyl acetate.

General

Availability ¹	• Africa & Middle East	• Asia Pacific	• Europe
Additive	• Antiblock: No	• Slip: No	• Thermal Stabilizer: Yes
Applications	• Hot Melt Adhesives	• Wire and Cable Compounds	
Form(s)	• Pellets		
Revision Date	• 01/01/2017		

Resin Properties	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Density	0.951 g/cm ³	0.951 g/cm ³	ASTM D1505
Melt Index ² (190°C/2.16 kg)	25 g/10 min	25 g/10 min	ASTM D1238
Vinyl Acetate Content	27.5 wt%	27.5 wt%	ExxonMobil Method
Peak Melting Temperature	159 °F	71 °C	ExxonMobil Method
Thermal			
	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Vicat Softening Temperature	104 °F	40 °C	ASTM D1525
Molded Properties			
	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Tensile Modulus (0.20 in/min (5.0 mm/min))	2100 psi	15 MPa	ASTM D638
Tensile Strength at Break 20 in/min (500 mm/min)	1100 psi	7.8 MPa	ASTM D638
Elongation at Break (20 in/min (500 mm/min))	840 %	840 %	ASTM D638
Durometer Hardness			ASTM D2240
Shore A, 15 sec	78	78	
Shore D, 15 sec	23	23	

Legal Statement

Contact your ExxonMobil Chemical Customer Service Representative for potential food contact application compliance (e.g. FDA, EU, HPFB).

This product is not intended for use in medical applications and should not be used in any such applications.

Processing Statement

Molded properties were measured on 2 mm (78.7 mil) thick compression molded plaques prepared based on ASTM D 4703 Procedure C (Tensile ASTM D 638 : Type IV dumbbell, Hardness ASTM D 2240 : 3 plied up disks).

Notes

Typical properties: these are not to be construed as specifications.

¹ Product may not be available in one or more countries in the identified Availability regions. Please contact your Sales Representative for complete Country Availability.

² Value reported is an estimate based on ExxonMobil's correlation from melt flow rate data measured at other standard conditions, based on ASTM D 1238.

Effective Date: 01/01/2017

ExxonMobil

Page: 1 of 2

Escorene™ Ultra FL 00909

Ethylene Vinyl Acetate Copolymer Resin

Product Description

FL 00909 is used in extrusion coating, cast film and co-extrusion. FL 00909 is a good sealing material with good optical properties. Processing Conditions Excellent results are obtained in extrusion coating at 250°C (482°F) temperature range. Processing temperatures above 270°C (518°F) may cause resin degradation. FL00909 should be fed into the extruder after LDPE of a similar or higher melt index. Machines should always be purged with LDPE or a suitable cleaning compound before shutdown.

General

Availability ¹	• Africa & Middle East	• Asia Pacific	• Europe
Additive	• Antiblock: No	• Slip: No	• Thermal Stabilizer: No
Applications	• Adhesion Promoter • Barrier Food Packaging • Coextrusion Coating	• Extrusion Coating • Extrusion Lamination • Flexible Packaging	• Injection Molding
Revision Date	• 01/01/2018		

Resin Properties	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Density	0.929 g/cm ³	0.929 g/cm ³	ASTM D1505
Melt Index (190°C/2.16 kg)	9.0 g/10 min	9.0 g/10 min	ASTM D1238
Vinyl Acetate Content	9.4 wt%	9.4 wt%	ExxonMobil Method
Peak Melting Temperature	202 °F	94 °C	ExxonMobil Method

Thermal	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Vicat Softening Temperature	157 °F	70 °C	ASTM D1525

Molded Properties	Typical Value (English)	Typical Value (SI)	Test Based On
Tensile Modulus (0.20 in/min (5.0 mm/min))	13000 psi	93 MPa	ASTM D638
Tensile Strength at Break 20 in/min (500 mm/min)	1700 psi	12 MPa	ASTM D638
Elongation at Break (20 in/min (500 mm/min))	810 %	810 %	ASTM D638
Durometer Hardness			ASTM D2240
Shore A, 15 sec	95	95	
Shore D, 15 sec	39	39	

Legal Statement

Contact your ExxonMobil Chemical Customer Service Representative for potential food contact application compliance (e.g. FDA, EU, HPFB).

This product is not intended for use in medical applications and should not be used in any such applications.

Processing Statement

Molded properties were measured on 2 mm (78.7 mil) thick compression molded plaques prepared based on ASTM D4703 Procedure C (Tensile ASTM D638 : Type IV dumbbell, Hardness ASTM D2240 : 3 plied up disks) and 4 mm (157 mil) for VICAT.

Notes

Typical properties: these are not to be construed as specifications.

¹ Product may not be available in one or more countries in the identified Availability regions. Please contact your Sales Representative for complete Country Availability.

Kevlarkuitujen tiedot



Polyvel^{bv}

Product Specification

Prümelaan 21 | 6824 HP Arnhem | the Netherlands | +31 26 363 9796 | info@polyvel.nl | www.polyvel.eu

AF 20/200

milled aramid fibres

material	poly-paraphenylen-terephthalamid
structure:	powder
colour:	yellow
composition:	para-aramid > 98% ± 2% humidity 2-5%
distribution of fibre length:	0,1 – 0,4 mm
average fibre length:	0,2 ± 0,1 mm
packing:	10 kgs – 30 polyethylene bags per pallet

The data contained herein are nominal and are not intended to be a guaranteed specification.
The user must be satisfied that the product is entirely suitable for the purpose. Last revision: 22-01-2019



Product Specification

Prümeleen 21 | 6824 HP Arnhem | the Netherlands | +31 26 363 9796 | info@polyvel.nl | www.polyvel.eu

AF 25 G

Recycled milled aramid fibres

material	poly-paraphenylen-terephtalamid
structure:	aramid short fibres
colour:	yellow
composition:	para-aramid > ± 98% ash residue < ± 2% humidity 2 – 5%
distribution of fibre length:	0,1 - 3,0 mm
average fibre length:	1,2 ± 0,2 mm
packing:	15 kgs – 21 polyethylene bags per pallet

The data contained herein are nominal and are not intended to be a guaranteed specification.
The user must be satisfied that the product is entirely suitable for the purpose. Last revision: 24-09-2019

