



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Uusitalo Pauli

# **MUOVIPROFIILIEKSTRUUSIO**

Suuttimen ja kalibroinnin mitoitus sekä siihen vaikuttavat tekijät

Tekniikka ja liikenne

2014

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Pauli Uusitalo
Opinnäytetyön nimi	Muoviprofiiliekstruusio: Suuttimen ja kalibroinnin mitoitus sekä siihen vaikuttavat tekijät
Vuosi	2014
Kieli	suomi
Sivumäärä	56 + 13 liitettä
Ohjaaja	Pertti Lindberg

---

Tämä opinnäytetyö on tehty Primo Finland Oy:n tuotekehitysosastolle. Aiheena on tutkia ekstruusiosuuttimen ja kalibroinnin mitoitusta sekä siihen liittyvien tekijöiden, lähinnä nopeuden ja työkalujen asemoinnin vaikutusta mittasuhteisiin. Taustalla ovat haasteet eteenkin suunniteltaessa työkaluja uusille materiaaleille joiden käytöstä ei ole ennestään kokemusta.

Työn tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa polymeeriekstruusiossa, eli muovin suulakepursotuksessa, suuttimen ja kalibroinnin mitoituksen tutkimisessa tarvittavia työkaluja, suorittaa riittävä määrä testejä, laatia testipöytäkirjat ja analysoida tuloksia. Tämä työ rajattiin testikonseptin suunnitteluun, tarvittavien työkalujen suunnitteluun ja valmistukseen, sekä testien suorittamiseen yhdellä materiaalilla joka valikoitui yleisimmäksi käytössä olevaksi PVC-seokseksi.

Lähtökohtana tälle tutkimukselle oli että joko suuttimen tai kalibroinnin kokoa oli pystyttävä muuttamaan, jopa kesken ajon. Ensin oli löydettävä toteuttamiskelpoinen profiilin muoto, joka kuitenkin olisi sellainen että tuloksista saadaan irti mahdollisimman paljon tietoa. Pitkän, jopa yli puolen vuoden asian hauduttelun tuloksena syntyi ensimmäinen 3D-malli kalibroinnista joka on sekä leveys että korkeus suunnassa säädettävissä yksinkertaiselle lattaprofiilille.

Tässä tutkimuksessa oli käytettävissä viisi erikorkuista lattasuutinta joista lisäksi yksi oli halkaistava. Kullakin suuttimella ajettiin profiilia viideltä eri suuttimen ja kalibroinnin etäisyydeltä ja kolmella eri nopeudella. Kustakin asemoinnista otettiin mallipala. Tämä kaikki toistettiin kahdella eri suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhteella, joka oli säädettävä kiinteästi ennen ajoa. Mallipaloja kertyi siis yhteensä 180 kpl, joiden jokaisen mitat ja ajoarvot dokumentoitiin.

Keskeisenä havaintona tässä tutkimuksessa olivat työkaluasemoinnin vaikutuksen vähäisyys, profiilin reunakutistumat, ja huomattavat mittasuhteiden muutokset ajonopeuden kasvaessa.

## ABSTRACT

Author	Pauli Uusitalo
Title	Polymer Extrusion: Dimensioning of Extrusion Tools
Year	2014
Language	Finnish
Pages	56 + 13 Appendices
Name of Supervisor	Pertti Lindberg

---

The thesis was made for Primo Finland Oy, R & D Department. The topic was to study the extrusion die and calibration, dimensioning, and related factors, mainly the impact of speed and positioning tools on the perspective. The background for the thesis are the challenges met in designing tools for new materials of which there is no experience.

The aim was to design and implement tools required when studying the dimensioning of the extrusion die and calibration, carry out a sufficient number of tests. This work was limited to testing the concept of the design, designing and manufacturing the tools as well as carrying out the tests on one material, which was selected as the most common PVC compound used in Primo Finland Oy.

The starting point for this study was that either the size of the die or the size of the calibration had to be able to change, even during processing. First, a feasible shape of the profile was to be found, which should be the type so that the results would yield as a much information as possible. After a long consideration, the first 3D model was created whose width and height are adjustable for a simple flat profile.

Five flat profile dies of different height were used in the thesis, one of which could be split. The profile was run with each die from five different distances of the die and calibration and at three different speeds. A model piece was taken from each positioning. All of this was repeated with two different dies and calibration ratio of the heights, which was to be fixed before the run. Model pieces were generated for the total of 180 pieces, from each of which dimensions, weight and running values were documented.

The central findings in this study were the small effect of tool positioning, profile shrinkage values on the edges, and the significant scale of the changes in running speed.

## SISÄLLYS

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Työn tavoitteet .....	9
1.2	Työn eteneminen.....	9
2	PRIMO .....	10
3	POLYMEERIT .....	11
3.1	Polymeerien ominaisuudet.....	13
3.2	Polymeereihin liittyvät oleelliset lämpötilat .....	15
3.3	Polymeerien mekaaniset ominaisuudet käyttölämpötilassa.....	17
4	REOLOGIAN MERKITYS POLYMEERIEKSTRUUSIOSSA .....	18
4.1	Mitä on reologia? .....	18
4.1.1	Leikkausviskositeetti.....	19
4.1.2	Viskoelastisuus.....	20
4.2	Leikkausnopeuden arviointi virtausgeometrioissa .....	22
4.3	Polymeerien virtauskäyttäytyminen.....	22
5	EXTRUUSIOPROSESSI .....	24
6	EKSTRUUSIOTYÖKALUT PROFIILINVALMISTUKSESSA.....	25
6.1	Suuttimet.....	25
6.1.1	Tasapääsuuttimet.....	25
6.1.2	Kartiosuuttimet.....	26
6.1.3	Suuttimen suunnittelu .....	27
6.2	Kalibroinnit.....	30
6.2.1	Liukukalibrointi .....	30
6.2.2	Ulkoinen kalibrointi sisäisellä ilmanpaineella .....	31
6.2.3	Alipainekalibrointi .....	31
6.2.4	Sisäpuolinen kalibrointi .....	33
6.2.5	Lyhyt alipainekalibrointi (Technoform Process) .....	34

7	EKSTRUUSIOTYÖKALUJEN VALMISTUS .....	35
7.1	Kipinätyöstömenetelmät (EDM, electrical discharge machining).....	35
7.1.1	Lankakipinätyöstö .....	35
7.1.2	Uppokipinätyöstö .....	36
7.2	Lastuavat työstömenetelmät.....	38
8	TESTIKONSEPTIN SUUNNITTELU .....	39
9	TESTITYÖKALUT JA NIIDEN VALMISTUS .....	42
9.1	Suuttimet.....	42
9.2	Kalibrointi .....	43
9.3	Kalibroinnin valmistus.....	45
9.4	Mittauspöytäkirjat .....	47
10	TESTIT .....	48
11	TESTITULOKSET JA HAVAINNOT .....	50
12	KEHITELTÄVÄÄ .....	54
13	YHTEENVETO .....	55
	LÄHTEET .....	56
	LIITTEET	

**KÄYTETYT TERMIT**

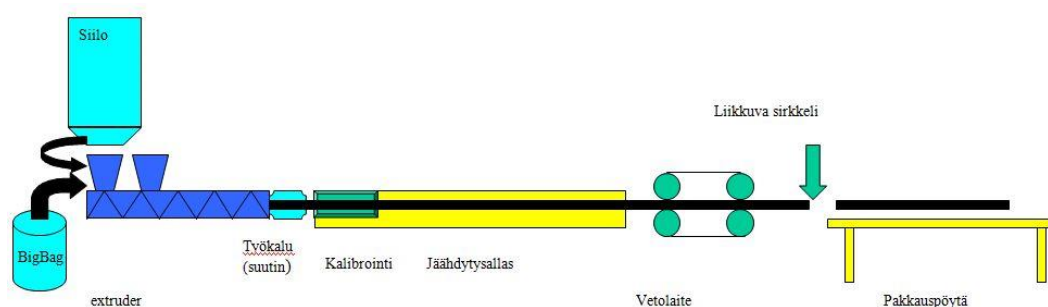
<b>Ekstruusio</b>	Muovin suulakepursotus
<b>Ekstruuderi</b>	Muovin suulakepursotuksessa käytettävä kone
<b>Kalibrointi</b>	Muovin jäähdytyksessä käytettävä laite (tässä kontekstissä)
<b>Palstatila</b>	Suuttimen pursottava seinämävahvuus
<b>Palstasuhde</b>	Pursottavan seinämävahvuuden suhde suuttimen suoran osuuden paksuuteen
<b>Reologia</b>	Oppi aineiden virtauksista ja muodonmuutoksista
<b>Stagnaatio</b>	Pysähtyneisyys (virtauksen)

## **LIITELUETTELO**

- 1 Kalibroinnin räjäytyskuva
- 2-7 Testipöytäkirjat suuttimen ja kalibroinnin suhteella 1:1,2
- 8-13 Testipöytäkirjat suuttimen ja kalibroinnin suhteella 1:1

## 1 JOHDANTO

Muoviprofiiliextruusio on jatkuvatoiminen, yksinkertainen prosessi joka on kuitenkin varsin vaikeasti hallittavissa siinä vallitsevien useiden muuttujien ollessa enemmän tai vähemmän kytköksissä toisiinsa (**Kuva 1.**) Tässä työssä keskitytään tutkimaan eräiden keskeisimpien muuttujien, suuttimen ja kalibroinnin, mitoitus-suhteen vaikutusta lopputuotteeseen. Työssä keskitytään profiilityökaluihin, ei niinkään koko extruusiosuuttimeen ja kaikkiin vaikuttaviin muuttujiin. Työ sisältää teoriaosuuden sekä käytännön osuuden, jossa esitellään tämän työn tutkimusongelma ja sen pohjalta tehdyt havainnot.



**Kuva 1.** Profiiliekstruusiolinja (kuva: Primo Finland Oy)

Idea tämän työn toteuttamisesta syntyi Primo Finland Oy:n tuotekehitysosastolla, jossa työkalusuunnittelija oli pitkään pohtinut muoviprofiilisuunnittelun yleistä ongelmaa, profiilisuuttimen ja kalibroinnin kokojen suhdetta. Nämä suhteet ovat perustuneet aina kokemusperäisiin ”nyrkkisääntöihin”, jotka ovat kuitenkin vaihdelleet radikaalisti eri tehtailta tulleiden näkemysten mukaan ja osittain myös materiaalireseptien nykyaikaistuttua lyijyttömiksi.



## 1.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli luoda testikonsepti muoviprofiilityökalujen, suuttimen ja kalibroinnin mitoituksen määrittämisen helpottamiseen sekä ajaa testit yhdellä raaka-aineella ja analysoida tuloksia. Testikonseptin tarkoituksena on helpottaa työkalusuunnittelua erityisesti uusien raaka-aineiden käyttöönoton osalta ja vanhojen raaka-aineiden osalta tuotantotehokkuuden parantamiseksi.

## 1.2 Työn eteneminen

Tämän työn eteneminen alkoi testikonseptin visioinnista ja toteuttamisen edellytysten kartoittamisesta. Alkuvaiheessa myös päätettiin tietyt ehdot työn toteutukselle. Tutkittavan profiilin muodoksi valittiin yksinkertainen lattaprofiili. Testeissä päätettiin käyttää Primo Finland Oy:ssä yleisesti käytössä olevaa tasapää (platehead) työkalurunkoa, siihen päätettiin tilata 5 kpl eri korkuista, mutta samanleveyistä suutinta, joiden paksuuden ja korkeuden suhde oli vakio, 1:18.5. Samalla päätettiin tehdä myös säädettävä kalibrointi. Säädettävän kalibroinnin kehittäminen oli yksi tämän työn käytännön toteutuksen haasteellisimmista vaiheista, koska minkäänlaista valmista mallia sellaiseen ei löytynyt. Kalibroinnin suunnittelu kävi läpi varsin tarkasti suunnitteluprosessin ongelmanratkaisun vaihemallin.

Työkalujen valmistuttua siirryttiin miettimään itse testikonseptin käytäntöä. Peruseriaatteena oli miettiä kuinka saataisiin mahdollisimman paljon informatiivista tietoa tehdyistä testeistä. Päädyttiin linjaukseen, jossa ennen testiä lyödään kiinteästi lukkoon suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde. Testit päätettiin ajaa kullakin suuttimella kolmella eri nopeudella ja viideltä eri etäisyydeltä. Näiden suunnitelmien pohjalta oli vielä laadittava kattava dokumentointi taulukko, johon kaikki saatavilla oleva data kirjattiin. Kun kaikki oli valmista, päästiin itse testeihin jotka ajettiin kahteen kertaan.

Testitulosten analysointi ja niiden käyttö työkalusuunnittelun apuna on oma lunksa, eikä tämä opinnäytetyö käsittele sitä perinpohjaisesti.

## 2 PRIMO

Primo Finland Oy on muoviteollisuuden alalla toimiva yritys. Sen juuret juontavat Vaasalaiseen Wiik & Höglund Oy:öön. Vuodesta 1985 se on ollut osa kansainvälistä Inter Primo -konsernia jonka pääkonttori sijaitsee Kööpenhaminassa. Primo on perustettu Tistrupissa Tanskassa 1959, josta se on yli 50 vuoden aikana laajentunut 14 eri toimipisteeseen ja kahdeksaan eri maahan. Inter Primo on keskittynyt alusta alkaen muovin suulakepursotukseen. Inter Primo Groupin liikevaihto on vuositasolla vajaat 120 miljoonaa euroa josta Primo Finlandin osuus vajaat 20 miljoonaa. Primo konserni työllistää noin 600 henkilöä, joista Suomessa noin kymmenesosa. /1/

Primo Finlandin Vaasan tehtaan tuotteet ovat ekstruusiomenetelmällä valmistettuja muoviprofiileja joita käyttävät monet teollisuudenalat. Primo Finland Oy:öön kuuluu myös muovisekoittamo Heinolassa, joka toimittaa erilaisia PVC-muoviseoksia muoviteollisuudelle.

Primo Finlandin markkinat ovat pääosin Suomessa ja vain noin 10 % tuotteista menee vientiin. Toiminta on teollisuuden alihankintaa. Pääasiallisia markkinasegmenttejä ovat ovi- ja ikkunateollisuus, rakentaminen, kylmälaiteteollisuus, sähkö ja valaistus, maatalous, venelistat ja huonekaluvalmistus. Muita markkina-alueita ovat terveydenhuollon ja raskasteollisuuden sovellukset.

Laajat markkina-alueet vaativat runsasta materiaaliteknistä osaamista, ja Primolla onkin kymmeniä erilaisia muovimateriaaleja käytettävissä asiakkaan toivomukset huomioitaessa. Materiaalit jakautuvat karkeasti koviin ja pehmeisiin muoveihin. Primo Finland myös suunnittelee ja valmistaa käytettävät työkalut pääosin itse, sekä toimittaa työkalut myös Primo Russian tehtaalle.

### 3 POLYMEERIT

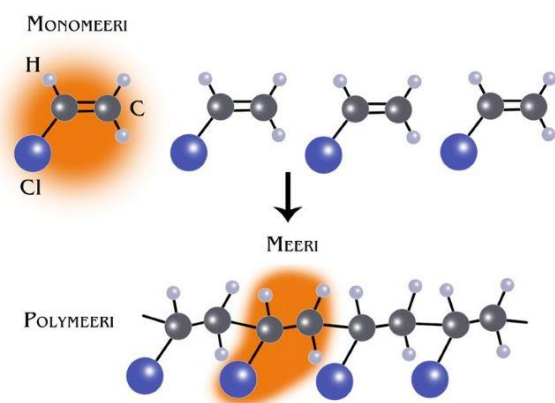
Polymeerimateriaalit voidaan jaotella useilla eri tavoilla. Jaottelun tarkoituksesta riippuen ne voidaan jakaa esimerkiksi kerta- ja kestopuoveihin, orgaanisiin ja epäorgaanisiin materiaaleihin, kierrätettäviin tai kertakäyttöisiin, biohajoaviin ja hajoamattomiin, prosessointimahdollisuuksien mukaan ruiskuvalettaviin, puhallusmuovattaviin, lämpömuovattaviin, jne. materiaaleihin tai lopputuotteen käyttötarkoituksen mukaan erilaisiin materiaalityyppeihin.

Muoviteollisuus Ry määrittelee polymeerimateriaalit kirjassaan Muovitermit näin: ”Polymeerimateriaali on yhden tai useamman polymeerin ja lisäaineiden seokseen perustuva materiaali, jossa polymeerit ovat yhtenäisenä ja materiaalin luonteen määrittämänä faasina. Polymeerimateriaalien tärkeimmät lajit ovat muovit ja elastit.” /2/

Tämä teksti käsittelee ruiskuvalamalla ja suulakepursotuksella muovattavaksi soveltuvia polymeerilatuja.

Polymeerimateriaaleja on neljää päätyyppiä:

- Termoplastiset polymeerit eli kestopuovut
- Termosettiset polymeerit eli kertamuovut
- Termoplastiset elastomeerit
- Kumit eli vulkanoidut (termosettiset) elastomeerit



**Kuva 2.** Vinyylimonomeereja jotka polymeroituvat PVC:ksi (kuva: TTY: Polymeerimateriaalien perusteet 1)

Polymeeri on tietyn kemiallisen koostumuksen ja rakenteen omaavista, toisiinsa liittyneistä molekyyleistä koostuva ketjumainen, haaroittunut, dendriittinen eli puumainen, rengasmainen tai verkottunut rakenne. Yksittäinen polymeerimolekyyli koostuu kovalenttisilla sidoksilla toisiinsa liittyneistä monomeereista joita kutsutaan myös lyhyemmin meereiksi (**Kuva 2.**) Jos polymeerissä on ainoastaan yhtä monomeerilaatua, siitä käytetään käsitettä homopolymeeri. Jos polymeerissa on kahta tai useampaa monomeerilaatua, siitä käytetään käsitettä kopolymeeri.

**Termoplastiset polymeerit** eli kestopuovut ovat uudelleen muovattavia. Ne voidaan saattaa toistuvasti juoksevaan muotoon lämmittämällä niitä tai altistamalla ne sopivalle kemikaalille. Kestomuoviraaka-aine hankitaan valmiiksi polymeroituna rakeena tai pellettinä, joka voidaan muuttaa juoksevaan muotoon ja valaa esimerkiksi ruiskuvalukoneella, puhallusmuovauskoneella tai lämpömuovaamalla. Kestomuoveja voidaan kierrättää suhteellisen helposti muovituotteita valmistavan yrityksen sisällä.

**Elastomeeri** on joustava ja venyvä polymeerirakenne. Se on jonkin verran verkottunut, eli siinä olevien polymeerimolekyylien välille on muodostunut polymeroitumisen aikana kovalenttisia sidoksia. Polymeerien välisten kovalenttisten sidosten muodostumista kutsutaan ristosilloittumiseksi. Termoplastiset elastomeerit ovat uudelleen sulatettavia ja muovattavia sulassa tilassa kuten termoplastiset polymeerit. Kumi -käsitettä pidetään usein synonyymina elastomeerille. Sitä tulisi kuitenkin käyttää ainoastaan silloin, kun viitataan vulkanoituun elastomeeriin. Kumi muodostetaan ristosilloittamalla eli verkottamalla elastomeerin molekyylit kemiallisesti ja/tai lämmön avulla. Yleisimmin käytetään rikkiä mutta myös peroksidiilla voidaan ristosilloittaa. Vulkanointi tarkoittaa kaiken tyyppisten polymeerien ristosilloitusta, ei yksinomaan kumin valmistukseen liittyvää.

**Termosettisen polymeerin** eli kertamuovin rakenne on myös verkottunut. Verkko on muodostettu ristosilloittamalla eli vulkanoimalla polymeerimolekyylit kemiallisesti ja/tai lämmön avulla. Ristosilloitettua rakennetta ei pysty sulattamaan uudelleen tai muovaamaan lämmön avulla. Se ei sula, vaan hajoaa tai tuhoutuu

muulla tavoin. Termosettinen polymeeri ja termosettinen elastomeeri (kumi) ovat hyvin samankaltaisia. Erona on, että termosetti on huoneenlämpötilassa kovaa ja joustamatonta ainetta siinä missä kumi on elastista. Kertamuovit muovataan menetelmillä, joissa polymeroitumisreaktio voi tapahtua muotin sisällä. Tällaisia menetelmiä ovat ahtopuristus, siirtopuristus ja esimerkiksi RIM, reaktioruiskuvalu.

Polymeerimateriaaleja voidaan paisuttaa ja vaahdottaa. Vaahdotettuja, muovattavissa olevia muovilaatuja ovat esimerkiksi PVC, polyuretaani, polypropeeni ja polystyreeni. EPS eli paisutettu polystyreeni tunnetaan myös nimellä styrox.

Polymeerimateriaalit voidaan toisaalta jakaa vielä neljään alaryhmään:

- Valtamuovit
- Käyttömuovit
- Tekniset muovit
- Erikoismuovit

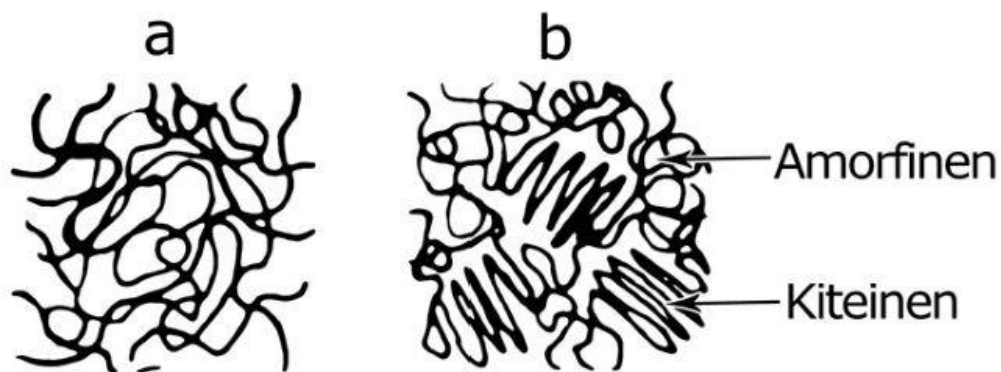
Ryhmien välillä on eroja hinnan ja ominaisuuksien suhteen. Valtamuovit ovat edullisia ja niitä käytetään yleisesti muissa kuin teknisissä sovelluksissa. Ne sopivat hyvin käyttökohteisiin, joissa ei ole erityisiä vaatimuksia mekaanisen tai kemiallisen kestävyuden, sähkönjohtavuuden tai lämmönkeston suhteen. Jos vaatimukset kasvavat, muovi valitaan käyttömuovien tai teknisten muovien joukosta.

### 3.1 Polymeerien ominaisuudet

Polymeerit jaetaan myös amorfisiin ja osakiteisiin. Polymeerit voivat kiteytyä samoin kuin useat muutkin aineet. Yksikään polymeerilaatu ei kuitenkaan kiteydy täysin. Amorfiset laadut ovat kokonaan kiteytymättömiä tai ne kiteytyvät ainoastaan niin vähäisin määrin, että ne voidaan lukea amorfisiksi. Esimerkkinä PVC-muovit, joiden kiteisyys vaihtelee 5 – 25 % välillä. 5 – 10 % kiteytyvä PVC laskeaan amorfiseksi, mutta 20 – 25 % kiteytyvät laadut osakiteisiksi. Amorfinen rakenne koostuu toisiinsa sotkeutuneista polymeeriketjuista, joilla ei ole säännöllistä rakennetta (**Kuva 3.**) Mitä enemmän ketjut risteilevät toistensa lomitse, sitä lu-

jempää polymeerimateriaali on. Osakiteisessä polymeerissa on vuorotellen kiteytynyttä ja amorfista ainetta. Parhaiten kiteytyvät rakenteeltaan symmetriset ja suoraketjuiset polymeerimolekyylit. Polymeerien kiteytyminen ei tapahdu hetkessä. Siihen kuluu tietty, kunkin polymeerimateriaalin ominaisuuksista riippuva aika. Kiteytyminen vie pidemmän ajan kuin pienimolekyylisillä aineilla, esimerkiksi metalleilla. Jos materiaalia jäädytetään liian voimakkaasti prosessoinnin aikana, se ei ennätä muodostaa kiderakennetta ja jää pakkotilaan. Toisinaan tilanne on suotuisa, mutta ei läheskään aina. Pakkotilaan jäänyt rakenne voi hakeutua myöhemmin tasapainotilaan, jolloin kappaleessa tapahtuu mittamuutoksia ja vetelyä. Samasta polymeerista valmistetaan toisinaan tavanomaisten laatuja lisäksi nopeasti kiteytyviä laatuja, joilla voi nostaa valmistusprosessin kiertonopeutta.

Amorfisilla polymeereilla on tietty, usein kierteinen muoto johon polymeeriketju mielellään hakeutuu. Jos amorfisesta polymeerista valmistettu tuote jäädytetään liian nopeasti siten, että polymeeriketjut jäävät venyneiksi, se voi vääntyillä tasa-



**Kuva 3.** a) amorfinen b) osakiteinen polymeeri (kuva:TTY: polymeerimateriaalien perusteet 1)

painotilaan hakeutumisen aikana vastaavalla tavalla kuin kiteisestä polymeerista valmistettu kappale. Amorfiset polymeerit kutistuvat vähemmän kuin osakiteiset polymeerit. Amorfisten polymeerien muottikutistumat ovat luokkaa 0,5 – 1 %. Osakiteisten polymeerien kutistuma on luokkaa 1 - 2,5 % (jopa 1 - 5 %). Useat

polymeerit kutistuvat virtauksen suunnassa enemmän kuin virtaukseen nähden poikittaisessa suunnassa.

### 3.2 Polymeereihin liittyvät oleelliset lämpötilat

Polymeereillä voidaan erottaa neljä termodynaamisesti ja mekaanisesti tärkeää lämpötilaa: lasimuutoslämpötila (tai sen sijasta toisinaan käytettävä haurastumislämpötila), pehmenemislämpötila, sulamislämpötila ja hajoamislämpötilat (**Kuva 4.**)

Polymeeri	Maksimi käyttölämpötila C°	Lasimuutos lämpötila C°	Sulamislämpötila (Vicat) C°	Normaali prosessointilämpötila C°	Hajoamislämpötila C° (suluissa lämpötila jossa hajoaminen alkaa)
PVC (amorfinen)	60-90	70-100	(70-100)	175-195	300, (200-250)
ABS (amorfinen)	75-85	105-109	(105-109)	220-260	340-400

**Kuva 4.** Amorfisten polymeerien tärkeitä lämpötiloja

**Lasimuutoslämpötilalla** viitataan lämpötilaan, jonka alapuolella polymeerin amorfisessa rakenteessa olevat molekyyliketjut menettävät liikkuvuutensa. Lasimuutoslämpötilan yläpuolella ketjut pääsevät liikkumaan vapaasti, jolloin amorfinen rakenne muuttuu kumimaisen joustavaksi. Kun lämpötilaa nostetaan edelleen, amorfisen aineen viskositeetti pienenee asteittain siten, että jossain vaiheessa kumimainen aine muuttuu viskoosiksi nesteeksi. Lasimuutoslämpötilan sijasta käytetään toisinaan haurastumislämpötilaa. Haurastumislämpötila on lämpötila, jossa 50 % koekappaleista on rikkoontunut iskettäessä niitä  $200 \pm 20$  cm/s nopeudella liikkuvalla iskurilla. Testi on määritetty standardissa ISO 974.

**Pehmenemislämpötila** on lämpötila, jossa polymeeri pehmenee tietyllä erikseen määritellyllä tavalla. Pehmenemislämpötilaa käytetään amorfisilla materiaaleilla sulamispisteen asemasta ja/tai määrittämään valettavalle muovikappaleelle sopiva ulostyöntölämpötila. Yleisimmät mittausmenetelmät ovat HDT (Heat Deflection Temperature) ja VICAT. VICAT -lämpötila on lämpötila, jossa 1 mm<sup>2</sup> poikkipinta-alainen, ympyrämäinen tai neliön muotoinen tylppäkärkinen sauva tunkeutuu 1 mm syvyyteen materiaalin sisään, kun sitä painetaan 9,81 N (1 kp) tai 49,05 N (5 kp) voimalla. Pienempää voimaa käytetään VICAT A ja suurempaa VICAT B -testissä. Testit on määritelty standardissa ISO 306. HDT -lämpötila määritetään upottamalla 80 x 10 x 4 mm kokoinen koekappale lämmitettävään nesteeseen tukien päälle. Nestettä lämmitetään 2 celsiusasteen minuuttivauhdilla ja koekappaleta painetaan tukien väliin asetetulla kuormitetulla painimella, kunnes painin liikkuu standardissa ilmoitetulla tavalla lasketun standarditaipuman verran alaspäin. Lämpötila, jossa painin on liikkunut standarditaipuman verran, kirjataan HDT -lämpötilaksi. Tuet ja painimen pää on pyörästetty 3 mm säteellä. Painimen kuorma riippuu valitusta koeasetelmasta. Se valitaan siten, että taivutusjännitykseksi muodostuu 1,8 MPa (menetelmä A, suositeltava), 0,45 MPa (menetelmä B) tai 8,00 MPa (menetelmä C). HDT -testi on määritelty standardeissa ISO 75-1, -2 ja -3.

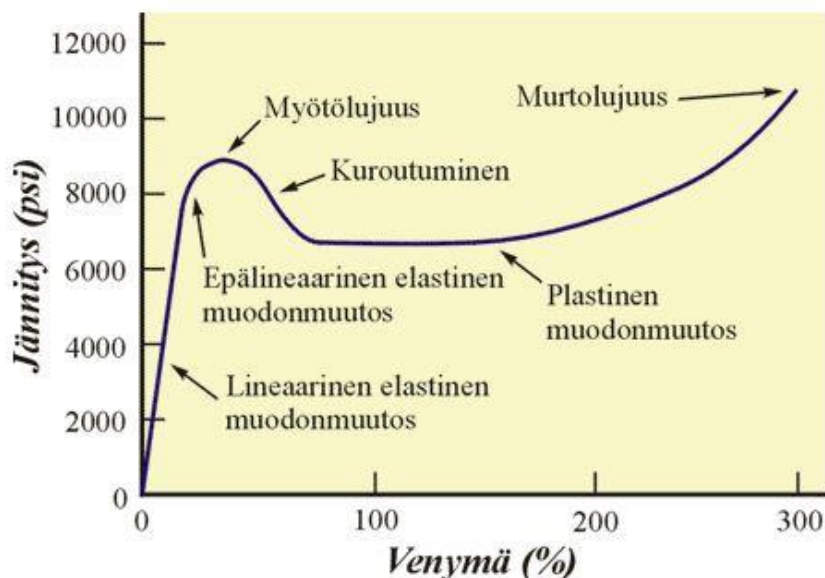
**Sulamislämpötilalla** viitataan lämpötilaan, jossa osakiteisen polymeerin kiderakenne hajoaa. Osakiteisten polymeerien prosessointilämpötila on 20 – 50 astetta sulamislämpötilan yläpuolella.

**Hajoamislämpötilalla** viitataan lämpötilaan, jossa polymeerin rakenne hajoaa. Hajoamista tapahtuu kuitenkin jo huomattavasti alhaisemmissa lämpötiloissa, jos altistus on riittävän pitkäkestoinen tai kemialliset olosuhteet suotuisat. Osa polymeereista reagoi prosessoinnin aikana muodostaen kaasuja ja erilaisia kemiallisia yhdisteitä. Yhdisteet voivat olla syövyttäviä. Esimerkiksi PVC muodostaa lämmön vaikutuksesta vetykloridia, joka reagoi kosteuden kanssa suolahapoksi. /3/



### 3.3 Polymeerien mekaaniset ominaisuudet käyttölämpötilassa

Polymeerien mekaanisista ominaisuuksista on huomattava jäykkyyden ja lujuuden välinen suhde. Polymeerien lujuus on noin kahdeskymmenesosa kimmomoduulista. Tämä on paljon enemmän kuin metalleilla ja suunniteltaessa lujuusmitoituksella tulee polymeerirakenteista paljon taipuisampia kuin metallirakenteista samalla lujuudella. Kuvassa on esitetty polyamidi 6,6:n jännitysvenymäkäyrä (**Kuva 5.**) Huomattavaa on suuri myötymä ja pitkä venymä ilman muokkauslujittumista. Koska amorfisilla polymeereillä on alhainen viskositeetti, viruminen on niiden perusominaisuuksia. Siitä johtuen joidenkin polymeerien huoneenlämpötilan lujuusmitoitusta tehdään virumislujisuuden perusteella. Viruminen on vakiokuormituksen tai -jännityksen vaikutuksesta tapahtuvaa ajasta ja lämpötilasta riippuvaa pysyvää eli plastista muodonmuutosta. Virumisen lisäksi jännitysrelaksaatio on yksi polymeerien ominaisuuksista. Siinä polymeeriketjut virtaavat pikkuhiljaa materiaaliin kohdistuvan vakiomuodonmuutoksen takia energeettisesti suotuisampaan tilaan. /4/

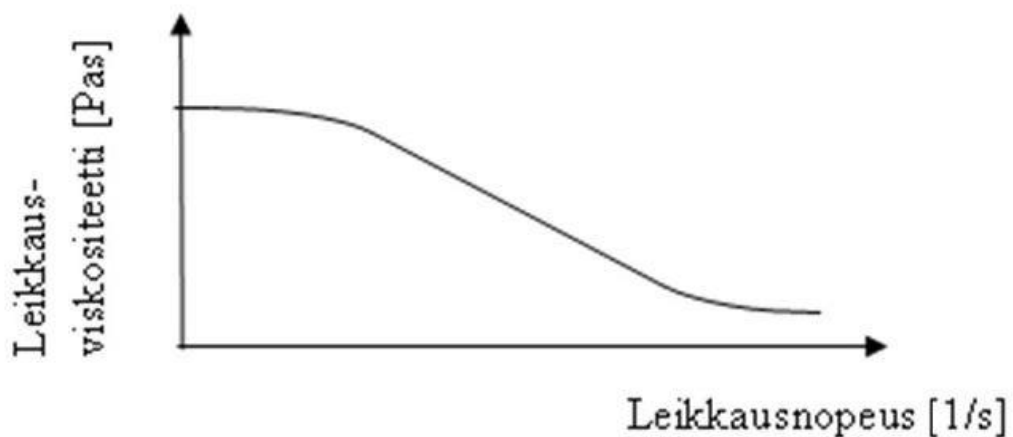


**Kuva 5.** Polyamidin jännitys-venymäkäyrä

## 4 REOLOGIAN MERKITYS POLYMEERIEKSTRUUSIOSSA

### 4.1 Mitä on reologia?

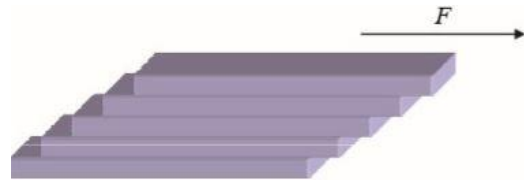
Reologia on oppi aineiden virtauksista ja muodonmuutoksista. Näiden ominaisuuksien tutkiminen on erityisen tärkeää polymeerimateriaalien sulatyöstön arvioimisen ja optimoinnin kannalta. Reologialla tarkoitetaan yleisesti ei-Newtonisten fluidien tutkimusta. Fluidit jaetaan Newtonisiin ja ei-Newtonisiin fluideihin sen mukaan, onko leikkausjännitys lineaarisesti muuttuva suhteessa nopeusgradienttiin. Yksinkertaistettuna ei-Newtonisen fluidin virtausvastus on epälineaarinen (**Kuva6.**) suhteessa virtausnopeuteen kun taas Newtonisella fluidilla se on lineaarinen. Polymeerisulat ovat ei-Newtonisia fluideja, kuten monet muutkin ”paksut” nesteet. Reologian tärkein suure on viskositeetti  $\eta$ , joka kuvaa nesteen kykyä vastustaa virtausta. /6/



**Kuva 6.** Ei-Newtoninen leikkausohenava viskositeetikäyrä nopeuden funktiona (kuva: TTY: Polymeerimateriaalien perusteet 2)

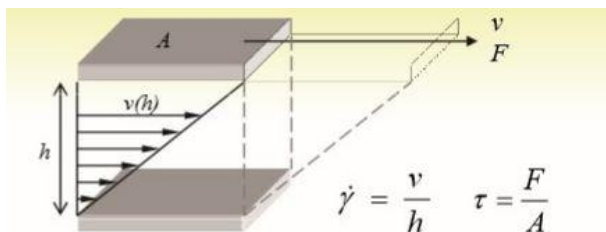
#### 4.1.1 Leikkausviskositeetti

Leikkaus on tavallisimmin esiintyvä kuormitusmuoto virtauksessa, ja sitä vastustava voima on leikkausviskositeetti  $\eta_s$ . Kaavat 1-3 ilmaisevat leikkausjännityksen ja -nopeuden yhteyden leikkausviskositeettiin. Leikkausta



**Kuva 7.** Leikkaus (shear)

voidaan kuvata pinolla levyjä jotka liukuvat toistensa ohi kuormituksen alaisina (**Kuva 7.**) Sulatyöstössä polymeerisulan viskoosinen käyttäytyminen on yleensä hallitsevampaa kuin elastinen ja tällöin leikkausviskositeetti on polymeerisulan tärkein reologinen parametri. Polymeerisulat ovat aina leikkausohenevia, eli niiden leikkausviskositeetti pienenee nopeuden noustessa. Alussa, pienillä leikkauksnopeuksilla polymeerisullalla on alue, jossa leikkausviskositeetti pysyy vakiona (**Kuva 6.**). Tätä vakioarvoa kutsutaan nollaviskositeetiksi. Leikkauksnopeuden kasvaessa leikkausviskositeetti alkaa pienentyä. Lopulta hyvin suurilla leikkauksnopeuden arvoilla polymeerisula saavuttaa toisen vakioviskositeettinsa. Tätä ei ole kuitenkaan pystytty todistamaan. /4/



$$\eta_s = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

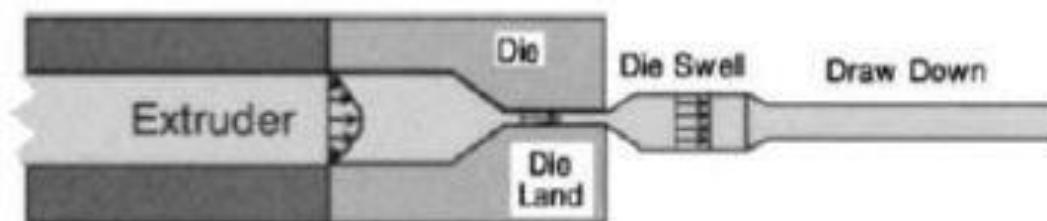
$v$  = virtausnopeus  
 $F$  = kuormitusvoima  
 $h$  = virtauskanavan korkeus  
 $A$  = virtauspoikkipinta-ala  
 $\dot{\gamma}$  = leikkauksnopeus  
 $\tau$  = leikkausjännitys  
 $\eta_s$  = leikkausviskositeetti

(1), (2), (3)

#### 4.1.2 Viskoelastisuus

Huomattava seikka on polymeerien viskoelastisuus. Kun lämpötila on alhainen tai kuormitusnopeus on suuri, on polymeeriketjujen vaikea liikkua toistensa suhteen ja polymeeri käyttäytyy ensin elastisesti ja sitten plastisesti (vrt. metallit). Kun lämpötila kasvaa tai kuormitusnopeus laskee (vedetään hitaammin) polymeeriketjut liukuvat helposti toistensa suhteen ja polymeeri käyttäytyy jähmeän nesteen tavoin. Puhutaan viskoosista muodonmuutoksesta, ja tällöin polymeerisula on muuttunut fluidiksi, eli aineeksi joka ei pysyvästi vastusta muodonmuutosta. Kaikki ei-Newtoniset nesteet ovat viskoelastisia, mutta kaikki viskoelastiset eivät ole ei-Newtonisia. Viskoelastisuuteen liittyviä ilmiöitä ekstruusiassa:

- Suutinpaisuma eli die swell-ilmiö: Polymeerimolekyylit ”muistavat” aikaisemman olotilansa ja pyrkivät palaamaan siihen kapeamman poikkileikkauksen läpi virratessaan (**Kuva 8.**) Jos poikkipinta ei ole pyörähdyssymmetrinen, myös dimensiot vääristyvät. Mitä korkeampi moolimassa, sitä suurempi suutinpaisuma.



**Kuva 8.** Suutinpaisuma ja suutinvenymä, Suom: Die: suutin, Die Land: ylivirtauspinta, Die Swell: Suutinpaisuma, Draw Down: Suutinvenymä (kuva: H. Giles 2005 s.48)

- Suutinvenymä eli draw down-ilmiö aiheutuu siitä että muovisulaa täytyy vetää suuttimesta ulos jotta se ei alkaisi valua. Suutinvenymä pienentää useimmiten profiilin kokoa vain muutamalla prosentilla.
- Sulamurtuma aiheutuu liian suuresta leikkausjännityksestä joka aiheuttaa epästabiilin virtauksen (**Kuva 9.**) Leikkausjännitys aiheuttaa rajat tuotannon maksiminopeudelle. Myös liian alhainen lämpötila nostaa leikkausjännitystä. Kriittinen leikkausjännitys noin 0,1 Mpa kaikilla polymeereillä.



**Kuva 9.** Sulamurtuman eri muodot: shark skin, oskilloiva virtaus, aaltoilu (Kuva: TTY:Polyko)

## 4.2 Leikkausnopeuden arviointi virtausgeometrioissa

Leikkausnopeus vaihtelee voimakkaasti ylivirtauspinnan geometriasta ja dimensioista riippuen. Laskenta esimerkiksi ekstruuderin suuttimessa ja ruuvikanavassa, tai ruiskuvalussa portissa, muottionkalossa tai jakokanavistossa voidaan tehdä suhteellisen yksinkertaisia laskukaavoja käyttäen. /4/

The image contains three diagrams, each with a corresponding shear rate approximation formula:

- Top diagram:** A circle representing a pipe with diameter  $2R$ . The shear rate approximation is  $\dot{\gamma} \approx \frac{4Q}{\pi R^3}$ .
- Middle diagram:** A horizontal rectangle representing a channel with width  $W$  and height  $H$ . The shear rate approximation is  $\dot{\gamma} \approx \frac{6Q}{WH^2}$ .
- Bottom diagram:** Two concentric circles representing an annular gap. The inner radius is  $R_i$  and the outer radius is  $R_o$ . The shear rate approximation is  $\dot{\gamma} \approx \frac{6Q}{\pi(R_o + R_i)(R_o - R_i)^2}$ .

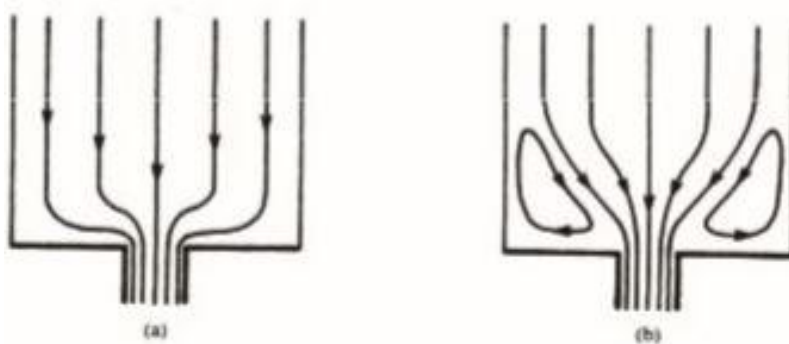
(4), (5), (6)

## 4.3 Polymeerien virtauskäyttäytyminen

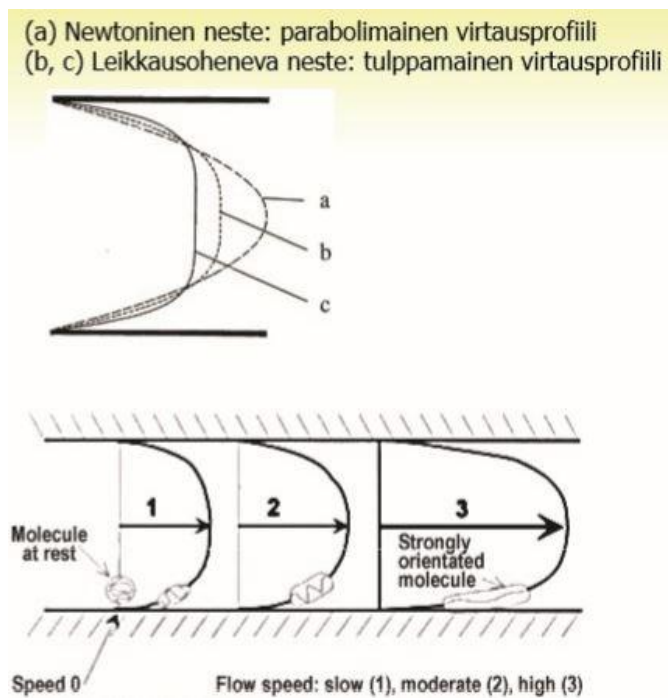
Muovisulien virtaus korkeasta viskositeetista johtuen lähes aina laminaarista. Varsinaista turbulenssia ei esiinny. Tämä mahdollistaa monikerrosvalun ja -ekstruusion aineiden sekoittumatta keskenään. On kuitenkin huomattava, että äkinäisesti muuttuvat ylivirtauspinnat aiheuttavat pyörteisiä sekundäärivirtauksia

useilla polymeereilla. Näihin stagnaatioalueisiin saattaa kertyä muovimassaa joka hajoaa ja palaa karstaksi (**Kuva 10.**)

Polymeerien virtausprofiili on niiden leikkausohenevasta luonteesta johtuen erilainen verrattuna Newtonisiin fluideihin. Leikkausohenevuus aiheuttaa massan ja seinämän väliin matalaviskositeettisen kalvon, jota usein vielä lisätään käyttämällä muoviseoksessa erillistä voiteluainetta (**Kuva 11.**) /8/



**Kuva 10.** Sekundäärivirtaus



**Kuva 11.** Leikkausohenevuuden vaikutus polymeereillä (Wall Slip phenomenon)

## 5 EXTRUUSIOPROSESSI

Ekstruusio eli suulakepuristus on menetelmä, jolla muoviraaka-aine plastisoidaan ja muotoillaan jatkuvana prosessina suulakkeen läpi halutun muotoiseksi tuotteeksi. Ekstruusiolla voidaan valmistaa mm. putkia, letkuja, kaapeleita, tankoja, kalvoja, levyjä, nauhoja, profiileita jne. Käytettyjä materiaaleja ovat kestumuovit esimerkiksi valtamuoveista PE-HD, PP, PVC, ja teknisistä muoveista ABS, PC ja POM.

Ekstruuderin tehtävänä on sulattaa, kuljettaa ja homogenoida muovigranulaatti tai pulveri. Osatehtäviensä mukaan ruuvi jaetaan syöttö-, paineistus- ja homogenointivyöhykkeisiin. Eri muovien reologiaominaisuuksien eroista johtuen ovat sopivat vyöhykkeet eri muoveille erisuuruisia. Ruuvin sisähalkaisijaa muuttamalla voidaan ekstruuderiin järjestää myös kaasunpoistomahdollisuus ruuvin ja poistoventtiilin avulla.

Ekstruuderin ruuvi työntää sulan muovin suuttimen läpi. Syntynyt profiili kalibroidaan ja jäähdytetään oikeaan muotoonsa. /9/

Ekstruusiolinja voidaan jakaa seuraaviin osiin (**Kuva 1.**)

1. ekstruuderin
2. työkalu eli suulake
3. kalibrointi
4. jäähdytys
5. vetolaitteet
6. katkaisu ja leimaus
7. jälkikäsittely ja pakkaus



## 6 EKSTRUUSIOTYÖKALUT PROFILINVALMISTUKSESSA

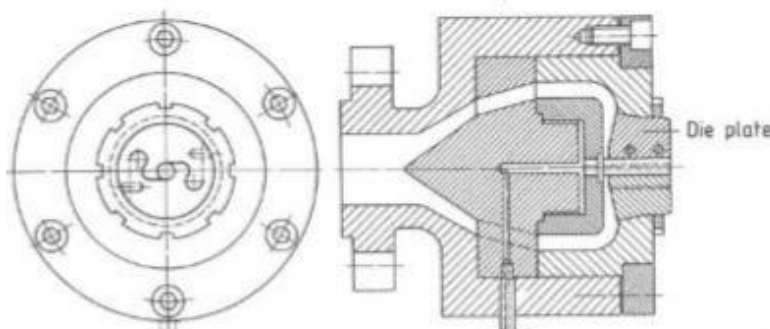
Ekstruusiotyökalut ovat prosessin keskeisimmät osat muoviprofiileita valmistettaessa. Työkalut ovat siis suutin ja kalibrointi. Suuttimen tehtävä on antaa profiilille haluttu seinämävahvuus ja muoto jotta se voidaan kalibroinnissa tukea ja jäähdyttää lopulliseen mittaansa. Sekä suuttimia että kalibrointeja on erityyppisiä, hieman eri käyttötarkoituksiin ja tilanteisiin sopivia tyyppisiä, joista seuraavassa kirjallisuuden tarjoamia tietoja.

### 6.1 Suuttimet

Profiilieksruusiossa suuttimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin. Tasapääsuuttimiin (Plate Die/Flatback Die) ja kartiosuuttimiin (Streamlined Die) (**Kuva 13.**) Näiden välimaastoon sijoittuu vaiheittainen suutin (Semi-streamlined/Stepped Die), joka kuitenkin luokitellaan kartiosuuttimeksi.

#### 6.1.1 Tasapääsuuttimet

Tasapääsuuttimen nimi tulee sen takaosasta, joka on yleensä täysin suora. Sen vuoksi tämän tyyppin suuttimen virtauskanavien geometrioissa on hyvin teräviä kulmia jotka saattaa aiheuttaa sekundäärisiä virtauksia ja muoviseoksen palamista. Tasapäätyökalun virtausominaisuuksia parantaa hyvin suunniteltu työkalurunko ja erityisesti torpedo, joka estää osaltaan sekundäärivirtausspottien muodostumista.

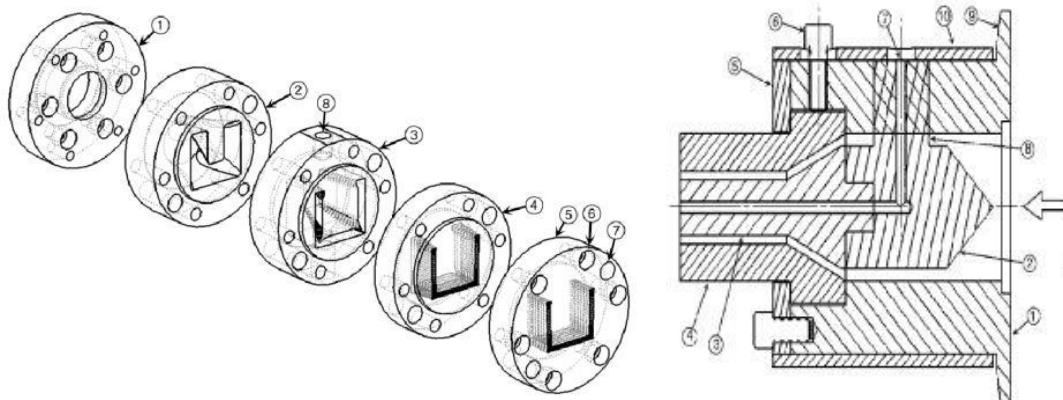


**Kuva 12.** Tasapääsuutin, työkalurunko ja torpedo (Kuva: W.Michaeli 1992, s187)

tumista työkalun takaosaan (**Kuva 12.**) Tasapäätyökaluja käytetään pääasiassa piensarjatuotannossa suhteellisen pienille profiileille. Tasapäätyökalun kiistattomia etuja ovat edullinen hinta, helppo muokattavuus ja helppo työkalun vaihto. Huonoja puolia ovat virtausnopeuksien rajallisuus ja virtauksien tarkkuus. /8/

### 6.1.2 Kartiosuuttimet

Kartiosuuttimet mainitaan kirjallisuudessa usein parhaiksi suuttimiksi. On kuitenkin selvää, että tämä suutin on monimutkaisempi, vaikeampi valmistaa ja vaikeampi muokata. Onnistunut virtaviivaisuus kanavissa on välttämätöntä jos käytettävä polymeerimateriaali on altis rappeutumaan. Hyvin virtaviivaistettu kartiosuutin sopii parhaiten suurien tuotantomäärien työkaluksi, jolloin työkalun valmistuskustannukset jakautuvat laajemmin tuotteen hintaan. Lisäksi pidemmissä tuotantoajoissa materiaalin rappeutuminen muodostuu suuremmaksi ongelmaksi. Kartiotyökalun määrittely on hieman hankalaa, koska täysin epävirtaviivaisen ja täydellisen kartiotyökalun välimuotoja on olemassa lukematon määrä (**Kuva 14.**) /11/



**Kuva 13.** Tyypillinen kartiosuutin koostuu useista levyistä (Kuva:Kostic & Reifschneider 2006, s641)

**Kuva 14.** Tyypillinen putkityökalu, leikkauskuvanto (Kuva:Kostic & Reifschneider 2006, s641)

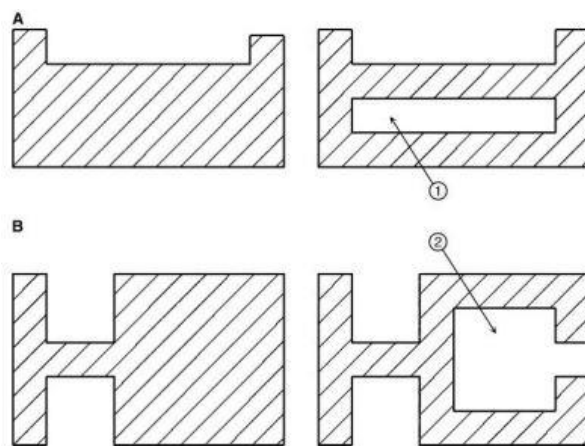
### 6.1.3 Suuttimen suunnittelu

Ekstruusiosuuttimen suunnittelussa päätavoitteena on saada materiaali tulemaan tasaisella nopeudella suuttimen läpi kautta koko profiilin muodon. Tähän vaikuttavat materiaalin virtausominaisuudet, virtauskanavan geometria, virtausnopeus ja suuttimen lämpötilaerot. Tietylle materiaaliseokselle ja nopeudelle optimoitu suutin on todennäköisesti eri nopeudella tai materiaalilla olla vähemmän optimaalinen. Ainostaan pyöreitä suuttimia on suhteellisen helppoa käyttää useilla eri materiaaleilla ja käyttöarvoilla. Muun muassa suutinpaisuman (die swell) ja suutinvenymän (draw down) ja vuoksi valmiin profiilin muoto ei ole aivan sama kuin suuttimen aukon (**Kuva 16.**) On myös hankalaa ennalta tietää materiaalin käyttäytyminen suuttimesta tulon jälkeen. Myös jäähtyminen ja ajan mittaan tapahtuva relaxoituminen eli sisäisten jännitysten vapautuminen aiheuttaa pieniä muodonmuutoksia. Tämän takia suuttimien suunnittelu perustuukin laajalti kokemukseen tarkkojen laskelmien sijasta. Ekstruusiosuuttimien suunnittelun sanotaankin jääneen eniten taiteen tasolle koko alalla olevista suunnittelusegmenteistä johtuen optimaalisten virtauskanavien määrittämisen vaikeudesta matemaattisesti. Seuraavassa yleisiä periaatteita jotka tulisi ottaa huomioon suuttimen suunnittelussa:

- Suuttimen tulisi koostua mahdollisimman pienestä määrästä yksittäisiä osia kuin mahdollista, jotta voidaan minimoida asentamiseen ja puhdistamiseen käytetty aika. Tässä yhteydessä on huolehdittava että osat pystytään keskittämään tarkasti toistensa suhteen.
- Suuttien koostuessa useammasta kuin yhdestä osasta johtaa siihen että joitakin jakopintoja on myös virtauskanavan alueella. Näissä kohdissa ei ole ainoastaan vuotovaara, vaan materiaali voi myös tarttua ja palaa näihin kohtiin. Jakopintojen määrä on pidettävä mahdollisimman pienenä ja ne on sijoitettava edullisiin risteyskohtiin.

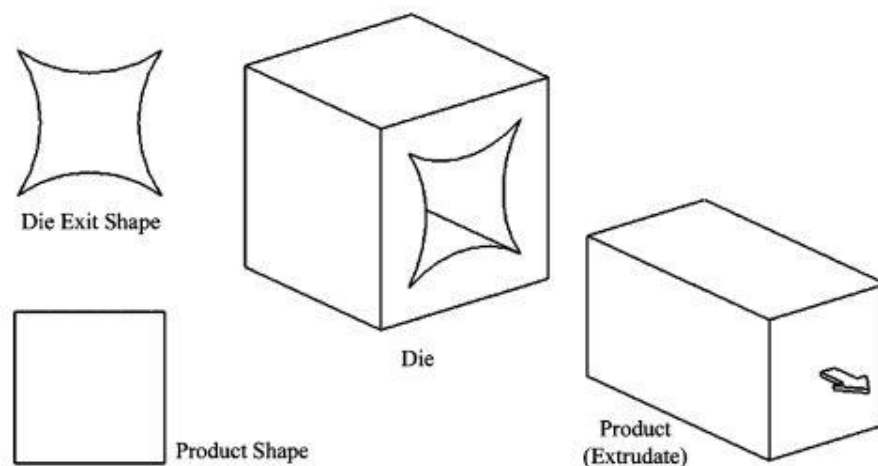
- Tiivistepintojen, mikäli niitä ei voida välttää, tulisi olla mahdollisimman tasaisia ja pieniä jotta varmistetaan tiivistävien voimien tasainen jakautuminen tiivistepinnalle. Tässä yhteydessä pintapaine tulisi tarkistaa.
- Suutin pitäisi saada pysymään kasassa vain muutamalla suurehkolle lämpöä sietävällä pultilla usean pienen pultin sijaan.
- Suutin tulisi saada kiinnitettyä helposti ja nopeasti saranoituun laippaan tai muuhun nopeasti kiinnitettävään tiivisteosaan.
- Kun mahdollista, sula pitäisi saada jaettua suuttimeen keskeisesti.
- Virtauskanavissa ei saa olla kuolleita pisteitä tai teräviä kulmia. Lisäksi virtauskanavassa olevien pyöritysten tulee olla säteeltään vähintään 3mm.
- Materiaaleilla jotka ovat herkkiä rappeutumaan lämmön vaikutuksesta, kuten kovalla PVC:llä, on virtauskanavien tilavuus pidettävä mahdollisimman pienenä jotta materiaalin siellä olo aika saadaan pidettyä mahdollisimman lyhyenä.
- Riippuen tuotteesta ja prosessoidusta materiaalista, virtauskanavan loppupäässä olevan ylivirtauspinnan lämpötila tulisi olla säädettävissä erikseen jotta voidaan korjata jonkin verran palautuvia muodonmuutoksia.
- Virtauskanavan pinta tulisi olla kiillotetu tai jopa hoonattu ja jos tarpeen, kromipinnoitettu. Pinnankarkeus tulee olla alle Ra 0,2µm.

Suuttimen suunnittelun perusasioihin kuuluu myös halutun profiilin valmistuskel-  
poisuuden arviointi ekstruusiomenetelmällä. On lähes mahdotonta vaatia että sa-  
massa profiilissa on valtavia, toisistaan poikkeavia seinämävahvuuksia tai muita  
virtauskeskittymiä (**Kuva 15.**) Suuret virtausnopeuksien erot eri osissa suutinta  
johtavat erilaisiin molekyyliorientaatioihin, joka saattaa aiheuttaa valmiin profiilin  
virumista ei-toivottuihin muotoihin. Myös profiilin jäähtyttäminen oikeaan muo-  
toonsa on hankalaa jos profiilissa on hitaasti jäähtyviä, paksuja osuuksia. Tämä  
voi johtaa vähintäänkin ajonopeuden dramaattiseen hidastumiseen. Suuret massa-



keskittymät on korvattava onte-  
loilla tai muokkaamalla koko  
profiilia erilaiseksi.

**Kuva 15.** Suuret virtauskeskit-  
tymät on korvattava esimerkiksi  
onteloilla (Kuva:Kostic &  
Reifschneider 2006)



**Kuva 16.** Periaatekuva profiilin paisumisesta suuttimen jälkeen. (Kuva:Kostic &  
Reifschneider 2006)

## 6.2 Kalibroinnit

Kalibrointiyksikköjen tehtävä on huolehtia kovien profiilien muodon ja mittojen vakauttamisesta. Kalibrointi pitää sisällään valmistetun profiilin muodon ja on usein vaiheittain ennakoitu ottamaan huomioon profiilin kutistumisen jäähdytettäessä. Kalibrointityyppejä ja konstruktioita on monenlaisia johtuen käytetystä polymeerimateriaalista ja valmistetusta profiilista. Laajimmin käytetty kalibrointimetodi on nykyään alipainekalibrointi, joka juontaa juurensa vuonna 1958 patentoituun prosessiin. /12/ Kalibrointityyppejä on viisi erilaista. /8/

### 6.2.1 Liukukalibrointi

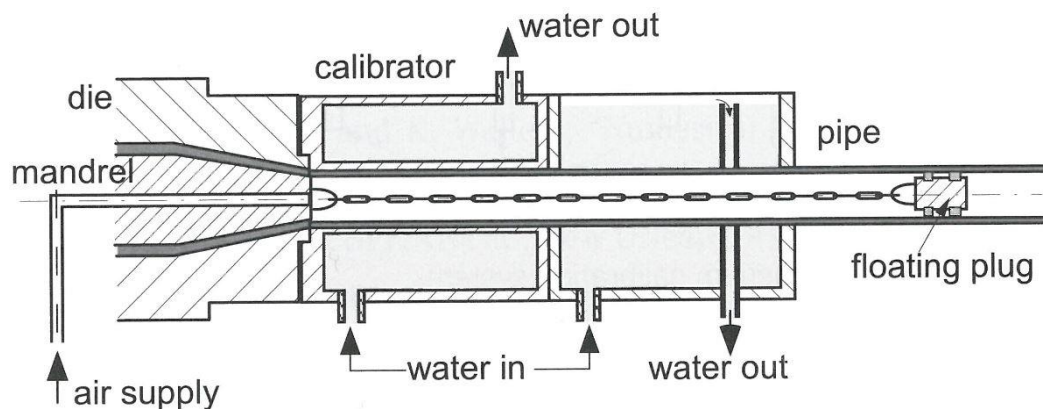
Yksinkertainen kertaiset avoimet profiilit voidaan kalibroida vetämällä ne läpi jäähdytetyistä levyistä, joiden päällä profiili enemmän tai vähemmän lepää. Tässä kalibrointimetodissa käytetään erilaisia rullia ja jousia pitämään profiilia halutussa muodossa kriittisimmän jäähdytysvaiheen ajan (**Kuva 17.**) Levyt on usein päällystetty teflonilla kitkan vähentämiseksi, ja tätä kalibrointityyppiä kutsutaankin myös kitkakalibroinniksi.



**Kuva 17.** Liukukalibrointi (kuva Jussi Kari 2013)

### 6.2.2 Ulkoinen kalibrointi sisäisellä ilmanpaineella

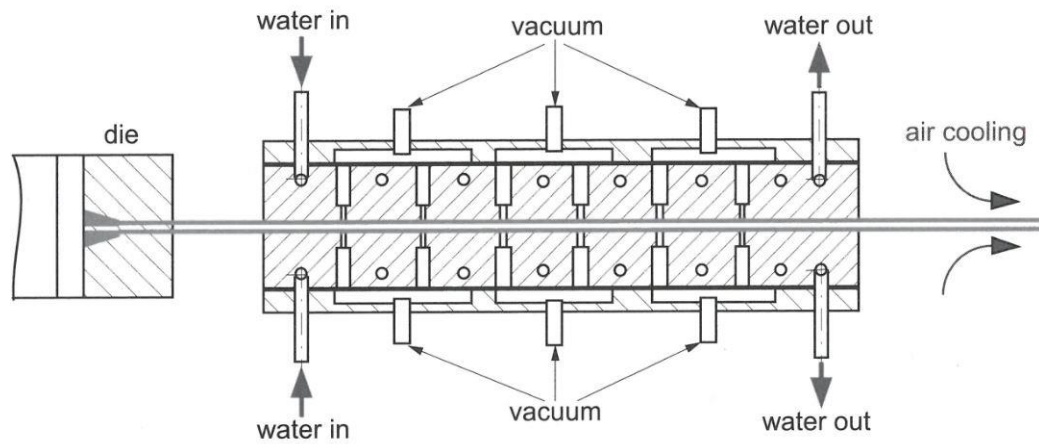
Erityisesti putkenvalmistuksessa käytetään menetelmää jossa ulkoiset mitat kalibroidaan ulkopuolisella kalibrointiyksiköllä ja sisäpuolelle johdetaan suuttimen kautta paine, joka pidetään sisällä ontelossa ”kelluvan” tulpan avulla joka on kiinnitetty vaijerilla tms. suuttimen ontelotappiin. Paine on 0,2-1 barin luokkaa. Tätä menetelmää käytetään yli 350mm halkaisijaltaan olevien PVC-putkien valmistuksessa ja PE-materiaaleilla alkaen noin 100mm halkaisijoista. Menetelmä tunnetaan myös nimellä painekalibrointi (**Kuva 18.**) /8/



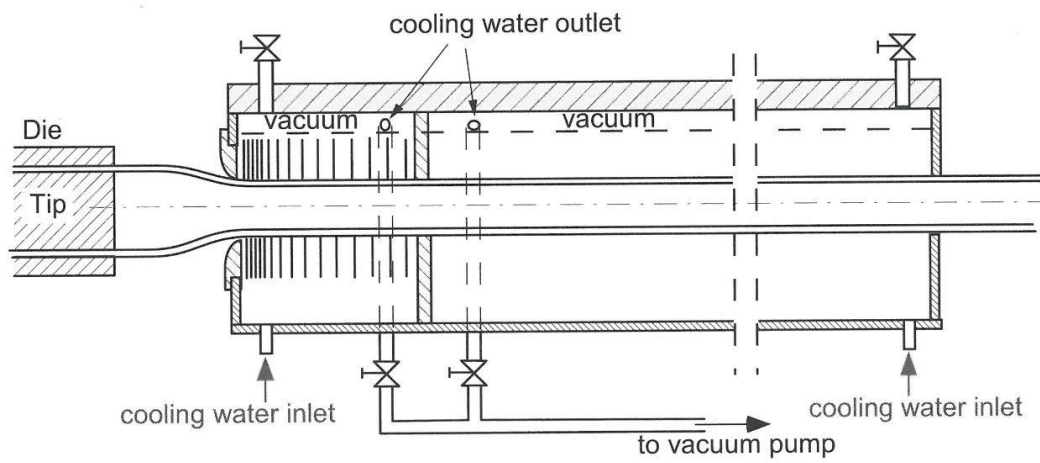
**Kuva 18.** Painekalibrointi (C. Rauwendaal 2013)

### 6.2.3 Alipainekalibrointi

Ulkoinen alipainekalibrointi on yleisin profiilivalmistuksessa käytetty kalibrointimenetelmä. Siinä profiili imetään jäähdytettyä kalibrointia vasten, joka ympäröi koko profiilin, jolloin saadaan mahdollisimman tarkasti haluttu muoto. Profiilin ja kalibroinnin väliin voidaan johtaa myös vettä, joka sekä vähentää kitkaa että jäähdyttää (**Kuva 19.**) Jos profiilissa on onteloita, on niihin johdettava normaali ilmanpaine suuttimen kautta. Alipainekalibroinnin eräs muoto on levykalibrointi, jossa profiilin muodon viimeistelevät levyt ovat alipaineistetussa vesialtaassa (**Kuva 20.**)



**Kuva 19.** Periaatekuva alipainekalibroinnista (kuva: C. Rauwendaal 2013)

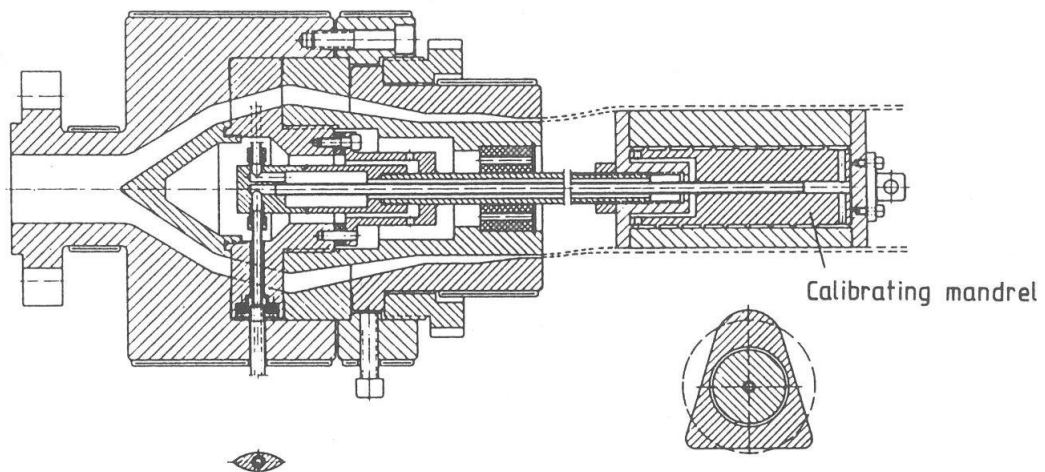


**Kuva 20.** Levykalibrointi alipainealtaassa (Kuva: C. Rauwendaal 2013)



#### 6.2.4 Sisäpuolinen kalibrointi

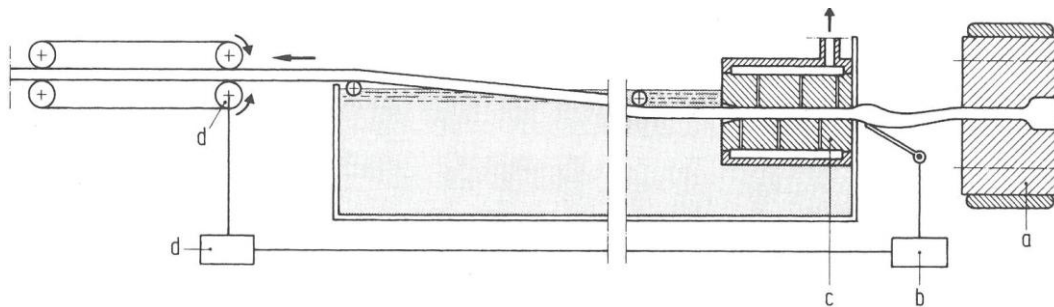
Sisäpuolista kalibrointia käytetään putkenvalmistuksessa kun putkelta vaaditaan erittäin tarkkoja sisäpuolisia toleransseja, esimerkkinä paineilmaputket. Tässä menetelmässä sisäpuolinen kalibrointi on kiinteässä yhteydessä suuttimen ontelotappiin (**Kuva 21.**) Sisäpuolinen kalibrointi voi olla myös jäädytetty suuttimen kautta, mutta tämä tekee rakenteesta monimutkaisen ja kalliin. Kokonaan jäädyttämättömiä ratkaisuja joissa sekä suuttimen tappi ja sen jatkeena oleva sisäpuolinen kalibrointi on valmistettu teflonista on myös käytössä.



**Kuva 21.** Sisäpuolinen kalibrointi (Kuva: W.Michaeli 1992)

### 6.2.5 Lyhyt alipainekalibrointi (Technoform Process)

Tässä kalibrointimenetelmässä profiili vedetään lyhyen, tehokkaasti jäähdytetyn kalibroinnin läpi vesialtaaseen. Suuttimen ja kalibroinnin välissä on anturi, joka tarkkailee jatkuvasti profiilin kireyttä ja järjestelmä pyrkii pitämään sen aina samana säätämällä vetokoneen nopeutta (**Kuva 22.**) Tällä menetelmällä päästään suuriin tarkkuuksiin ja nopeuksiin. Menetelmän on kehittänyt saksalainen Reifenhäuser KG. /11/



**Kuva 22.** Technoform –prosessi (Kuva: F. Hensen 1997)

## 7 EKSTRUUSIOTYÖKALUJEN VALMISTUS

Työkalunvalmistus on oma konepajateollisuuden muotonsa johon ovat erikoistuneet tietyt konepajat. Ne ovat yleensä keskittyneet omaan segmenttiinsä, kuten muovimuotinvalmistukseen tai ekstruusiotyökalujen valmistukseen.

Ekstruusiotyökalujen valmistus on kokenut joitakin murroksia valmistusmenetelmien kehittyessä, ja samoin ovat kehittyneet työkaluissa käytettävät teräslaadut. Merkittävin edistysaskel on ollut lankasahauksen yleistyminen 1980-luvun alussa. Vaikka lankasahaus onkin suhteellisen hidas työstömenetelmä, se on mahdollistanut lähes täydellisen virtaviivaisten suuttimien valmistuksen, ja mitä mielikuvituksellisimmat muodot (**Kuva 24.**) Ennen lankasahauksen yleistymistä suuttimet olivat monimutkaisesti valmistettavia, jyrsimällä tehtyjä ”palapelejä”, joissa oli runsaasti vuotavia tiivistepintoja ja muodotkin olivat varsin rajoittuneita.

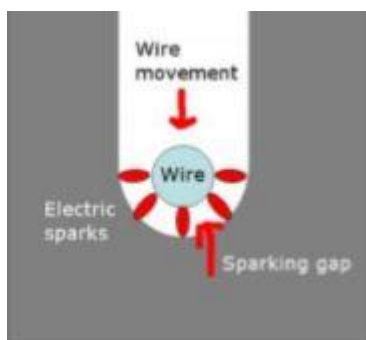
### 7.1 Kipinätyöstömenetelmät (EDM, electrical discharge machining)

Kipinätyöstömenetelmiä on kaksi, uppokipinätyöstä ja lankakipinätyöstä. Molemmat perustuvat samaan periaatteeseen, jossa hyödynnetään sähköisen kipinöinnin aiheuttamaa termistä eroosiota työstettävän kappaleen pinnalla. Tasavirtaa hyödyntävässä tekniikassa elektrodin ja kappaleen väliin jää kipinärako, jossa virtaa dielektrinen eristävä neste. Liikuttamalla elektrodia kappaleen suhteen voidaan kappale muovata halutun muotoiseksi. Menetelmän etuna on se, että sillä pystytään muokkaamaan myös kovia ja karkaistuja materiaaleja.

#### 7.1.1 Lankakipinätyöstö

Lankakipinätyöstöä kutsutaan lankasahaukseksi, vaikka sillä ei ole sahauksen kanssa muuta yhteistä kuin että ”sahattava” muoto on oltava ulotettavissa kappaleen läpi. Lankasaha tekee periaatteessa kahta asiaa: Tuottaa sähköimpulsseja ja ohjaa elektrodilankaa. Työkappale ja elektrodi liitetään sähköpiiriin vastakkaisiksi

navoiksi. Lankasaha alkaa tuottaa sähköimpulsseja. Kun elektrodilanka on riittävän lähellä työkappaletta, kipinätyöstöneste muuttuu eristeestä johteeksi ja tapahtuu suurienerginen läpilyönti (**Kuva 23.**) Sähköpurkaus lämmittää työkappaleen pintaa pieneltä alueelta. Osa työkappaleen pinnassa olevaa ainetta sulaa ja kappaleeseen muodostuu kuoppa. Kuopan koko riippuu sähkövirran ja jännitteen voimakkuudesta. Kun läpilyöntejä tapahtuu riittävä määrä, elektrodilanka liikkuu työkappaleen läpi ja työstää lankasahalle ohjelmoidut muodot. Käytetty elektrodilanka vaihtuu jatkuvasti, joten langan kuluminen ei ole ongelma. Elektrodilangat ovat yleensä joko pinnoitettua tai pinnoittamatonta messinkiseosta. Lankasahauksella voidaan työstää koviakin materiaaleja, kuten kovametalleja. Ainut rajoite on, että työstettävän materiaalin tulee olla sähköjohtava. /3/



**Kuva 23.** Lankasahauksen periaate (kuva: <http://www.valuatlas.fi>)

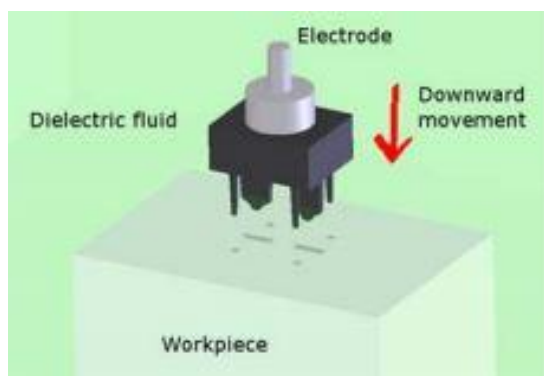


**Kuva 24.** Lankasahauksella voidaan valmistaa hyvin monimutkaisia muotoja (kuva: työkalunvalmistus Nisula Oy)

### 7.1.2 Uppokipinätyöstö

Nykyään hieman harvinaisenkin työstömenetelmä on uppokipinätyöstö (**Kuva 26.**) Sen periaate on täysin sama kuin lankasahauksessakin, mutta tässä elektrodina voidaan käyttää lähes mielivaltaisen muotoista kappaletta, joka upotetaan työstettävään materiaaliin (**Kuva 25.**) Sen suurimpana etuna on sen soveltuminen ko-

vienkin materiaalien työstämiseen, ja se on ainut realistinen työstötapa työstettäessä syviä muotoja koviin materiaaleihin. Kovien materiaalien jyrsiminen on yleistynyt terälaatuojen kehityksen myötä, mutta syviä muotoja varten täytyy valita pitkävärtinen työkalu joka on herkkä värähtelemään ja näin ollen jyrsintä saattaa osoittautua mahdottomaksi. Uppokipinätyöstö ei aiheuta tällaisia rajoituksia koska työkaluun, eli uppokipinätyöstöelektrodiin ei kohdistu juuri lainkaan mekaanista rasitusta. Elektrodimateriaalina käytetään yleensä grafiittia, mutta myös erilaisia kupari- ja volframiseoksia käytetään. Kipinätyöstö on eräänlaista sulattamalla työstämistä, ja näin ollen elektrodin kulumiseen vaikuttaa suuresti työstettävän materiaalin sulamispiste suhteessa elektrodin sulamispisteeseen. Grafiitin sulamispiste on noin 3000°C, ja lisäksi se on suhteellisen edullinen ja helposti työstettävä materiaali, mikä tekee siitä yleisimmän elektrodimateriaalin. Ekstruusiotyökalujen valmistuksessa uppokipinätyöstömenetelmää käytetään ainakin kalibrointien imu-urien valmistuksessa ja joissakin erikoisissa suutinratkaisuisissa yhdessä lankasahauksen kanssa. /3/



**Kuva 25.** Yksinkertainen uppokipinätyöstötilanne (kuva: [www.valuatlas.fi](http://www.valuatlas.fi))



**Kuva 26.** Nykyaikainen, 3-akselinen uppokipinätyöstökone (kuva: Charmilles)

## 7.2 Lastuavat työstömenetelmät

Konepajojen perusvalmistusmenetelmät, lastuavat työstömenetelmät ovat myös olennainen osa työkalunvalmistusta. Sorvaus, poraus, jyrsintä ja tasohionta ovat työkalunvalmistuksessa eniten käytetyt menetelmät. Ekstuuriotyökalujen valmistuksessa niiden merkitys on hieman vähäisempi kuin muotinvalmistuksessa, mutta metallin perustyöstömenetelminä ne ovat korvaamattomia.

Erityisesti putkityökalujen valmistuksessa sorvaus on yleisin menetelmä koska putkityökalut ovat tavallisesti sekä ulko- että sisägeometrioiltaan pyörähdyssymmetrisiä. Sorvaamalla valmistetaan myös pyöreiden suuttimien aihiot.

Porausta tarvitaan ekstruusiotyökalujen valmistuksessa moneen paikkaan. Suuttimien kiinnityspulttien reiät, kalibrointien imureiät ja vaikkapa ontelo- ja putkityökalujen paineentasauskanavat valmistetaan poraamalla.

Jyrsimällä voidaan valmistaa yksinkertaisemmat kalibroinnit ja esimerkiksi osa kartiotyökalujen osista menetelmän asettamat rajoitukset, kuten jyrsinnän syvyys ja säteet huomioiden. Ekstruusiossa tarvittavien oheistarvikkeiden valmistuksessa jyrsintä on merkittävä menetelmä. Jäähdytysaltaiden päädyt ja vaikkapa erilaiset tulkit on hyvä valmistaa jyrsimällä.

Tasohionta poikkeaa hieman varsinaisella terällä tapahtuvasta lastuavasta työstöstä. Siinä materiaalia irrottavat hiomalaikassa olevat rakeet, jotka ovat tavallisesti alumiinioksidia. Tasohionnalla päästään suuriin tarkkuuksiin, tasomaisuuksiin ja pinnanlaatuun, joten se on oivallinen menetelmä esimerkiksi viimeisteltäessä suuttimien jakopintoja.

## 8 TESTIKONSEPTIN SUUNNITTELU

Tämän testikonseptin luonnostelu alkoi Primo Finland Oy:llä vuosikymmeniä toimineen työkalusuunnittelijan ajatuksista saada työkalusuunnittelun tueksi raa-ka-ainekohtaista faktatietoa erityisesti uusien materiaalien käyttöönottoa varten. Näitä tarpeita ovat esimerkiksi lopullisen pituusvenymän ja seinämävahvuuksien muutokset, joiden selvittämiseen tässä työssä kehitetty konsepti antaa vastauksia. Tällaisen testikonseptin luominen on perusteltua jo siinä mielessä, että jos yhdellä testirupeamalla pystytään vähentämään työkalun uusimisista aiheutuvia kustannuksia, se maksaa itsensä nopeasti takaisin ja nopeuttaa osaltaan uusien työkalujen käyttöönottoa.

Alkuun on hyvä käydä suunnitteluprosessin tyypillisiä teoreettisia vaiheita, joita tämänkin testikonseptin suunnitteluprosessi hyvin pitkälti sisälsi. Suunnitteluprosessissa ratkaisu hahmottuu vaihe vaiheelta, useiden tarkentavien vaiheiden kautta täsmälliseksi ja hyvin määritellyksi tuotteeksi, tai tässä tapauksessa testikonseptiksi. Suunnitteluprosessimallit ovat varsin yleisluonteisia kuvauksia suunnittelusta, mutta niiden merkitys on erityisen tärkeää systemaattisten suunnitteluprosessin hallinnan kannalta (**Kuva 27.**) Suunnitteluprosessia on verrattu myös ongelmanratkaisuprosessiin. Eräs ensimmäisistä suunnitteluprosessin malleista on Wallasin (1926) ongelmanratkaisun vaihemalli, jossa on paljon yhteistä luovan prosessin malliin. Tämä malli nähtiin koostuvan seuraavista tekijöistä:

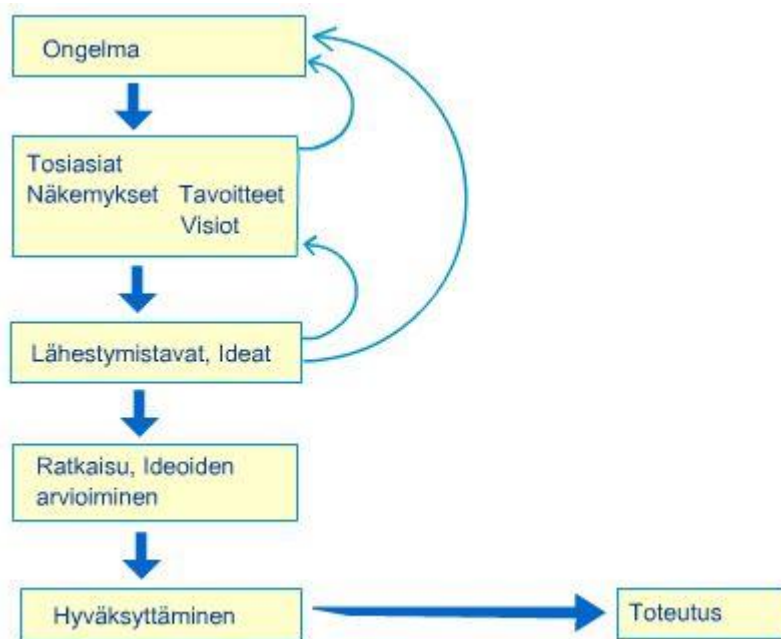
- valmistautuminen (preparation)
- alkumielikuvan syntyminen, tietoinen pyrkimys ratkaisuun
- hautominen (inkubation), lepovaihe
- kuvittelu (illumination)
- tietoisuus ratkaisusta
- oivallus (heureka), ratkaisu selkiytyy

- todentaminen (verification), ratkaisu testataan

Ensimmäiset suunnittelun mallit olivat hyvin rationaalisia. Suunnittelu ei kuitenkaan voi lähes koskaan edetä täysin rationaalisesti, vaan suunnittelijan on usein palattava lähes täysin valmiin mallin kanssa takaisin esimerkiksi tiedon hankkimiseen. Seuraavassa tyypillisiä suunnitteluprosessin osavaiheita: /14/

- Tehtävän määrittäminen ja hahmottaminen (myös ongelman strukturointi) (engl. Clarification of the task)
- Käsitteellinen suunnittelu (engl. Conceptual design tai Preliminary design), joka tarkoittaa erilaisten periaatteellisten ratkaisujen tekemistä (ns. perustoimintojen määrittelyä ja toimintasuunnitelman laatimista). Vaiheelle on tyypillistä nopea, alustava ratkaisumahdollisuuksien etsiminen ja ratkaisun peruseriaatteiden löytyminen.
- Alustava suunnitelma ja suunnitteluelementtien määrittely. (engl. Embodiment design tai Refinement) Eri tutkijat erottelevat tässä yhteydessä useita vaiheita (Preliminary design, Refinement, Specification.) Yksimielisiä ollaan kuitenkin siitä että vaiheet ovat dynaamisia ja iteratiivisia, useaan kertaan toistuvia vaiheita. Suunnittelija ikäänkuin "hyppiä" eri suunnitteluelementtien välillä, uudelleen määrittelee niitä ja vie ratkaisuja eri tasolla yksityiskohtaisempaan suuntaan. Jos ratkaisu ei tyydytä, suunnittelija palaa uudelleen strukturoimaan ongelmaa.
- Varsinainen suunnittelu (ns. tarkennettu mielikuva rakenteineen ja muotoineen), Edetään yksityiskohtien suunnitteluun (engl. Detail design).
- Dokumentointi esim. luonnosten saattaminen luettavaan muotoon (vrt. suunnittelija - tekijä työnjako).





**Kuva 27.** Suunnitteluprosessi

Konseptin suunnittelun lähtökohtana oli kysymys ”miten olisi mahdollista mitata suuttimen ja kalibroinnin kokojen suhdetta eri ajonopeuksilla?” Vastauksia tähän puntaroitiin erilaisten vaihtoehtojen väliltä mm. pyöreään, L-mallisen ja lattaprofiilin väliltä. Jo alkuvaiheessa kävi selväksi että joko suuttimen tai kalibroinnin tulisi olla säädettävissä eri kokoisille profiileille jotta mittauksia ylipäänsä voitaisiin tehdä. Tavoitteena oli kuitenkin pitää työkalukonsepti yksinkertaisena, jotta koko projekti ei kaadu liian hankalana.

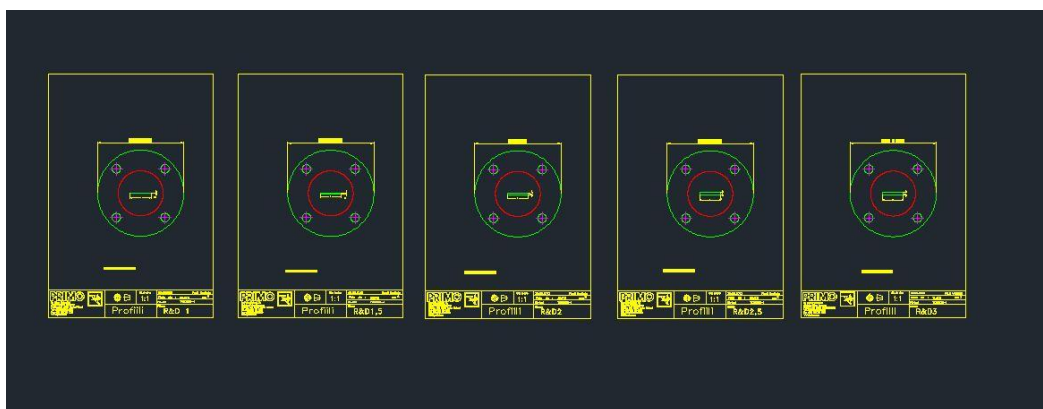
Lopulta päädyttiin testiprofiilin muodossa yksinkertaiseen lattaprofiiliin, koska siihen näytti olevan mahdollista valmistaa säädettävä kalibrointi kohtuullisella vaivalla ja ajankäytöllä. Säädettävän suuttimen suunnittelu unohdettiin tässä vaiheessa kokonaan ja päätettiin hankkia sarja edullisia tasapääsuuttimia testejä varten. Profiilin muodossa päädyttiin pysymään suhteellisen kapeassa lattaprofiilin koossa, suuttimien leveyden ollessa 24mm. Tämä oletettiin riittäväksi leveydeksi tuloksien saamiseen suutinvenymän (draw down) vaikutuksesta profiilin leveyteen.

## 9 TESTITYÖKALUT JA NIIDEN VALMISTUS

### 9.1 Suuttimet

Testeissä käytetyt suuttimet tilattiin Työkalunvalmistus Nisula Oy:stä joka on toiminut pitkään Primon yhteistyökumppanina. Suuttimien suunnittelu oli hyvin yksinkertainen projekti, koska päätettiin hankkia viisi samanlevyistä tasapäätyyppistä lattu-suutinta joissa korkeus vaihtuu puolen millin välein yhdestä kolmeen millimetriin (**Kuva 28.**) Materiaaliksi valittiin yleisesti suuttimissa käytetty Uddeholm Stavax, ruostumaton työkaluteräs.

Palstasuhte (Land Length ratio), eli seinämävahvuuden suhde suuttimen paksuuteen pidettiin myös samana kaikissa suuttimissa jotta välttyttäisiin muuttujien tarkoituksettomalta lisääntymiseltä. Lisäksi 3 mm suutin tilattiin halkaistavana, jotta voidaan testata palstasuhteen muutoksen vaikutusta. Palstasuhteeksi valittiin 1:18,5, eli millin seinämävahvuudella suuttimen paksuus 18,5 mm. Tämä palstasuhte on itseasiassa kymmenen erilaisen polymeeriraaka-aineen palstasuhtesuosituksen keskiarvo, joten on syytä olettaa että näitä suuttimia voidaan tulevaisuudessa käyttää laajemmin eri materiaalien testaamisessa. Lisäksi suuttimista tehtiin täysin suorakaidemaisia, jotta valmiiden profiilien reunakutistumista voitaisiin päätellä ennakoinnin tarve kullakin profiilin paksuudella.



**Kuva 28.** Kuvat suuttimista AutoCADin työpöydällä

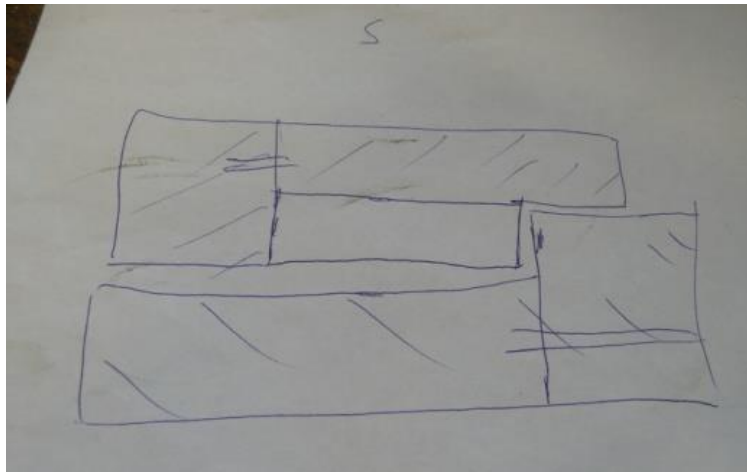
## 9.2 Kalibrointi

Kalibroinnin suunnittelu oli koko tämän työn toteuttamisen kannalta oleellinen tehtävä. Oli välttämätöntä suunnitella sekä korkeus- että leveys suunnassa säädettävä kalibrointi, jotta saataisiin mitattua kalibroinnin leveys kullakin kalibroinnin ja suuttimen asemoinnilla ja ajonopeudella. Itsestään selvänä pidettiin myös sitä, että kalibroinnin tyyppi olisi alipainekalibrointi. Kehittely on helppo jakaa tuotesuunnittelun eri vaiheisiin. Ideointi, luonnostelu, mallinnus ja toteutus seurasivat toisiaan kronologisena jatkumona.

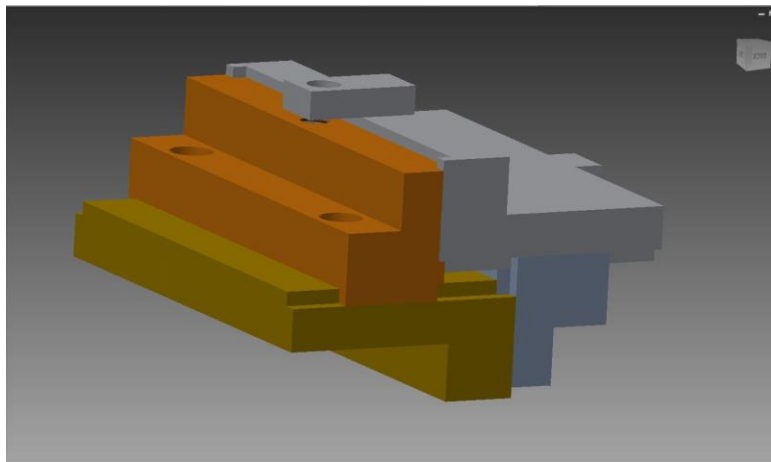
Kalibroinnin suunnittelu kesti huomattavan pitkään, ja Wallasin ongelmanratkaisumallissa näkyy huomattavia yhtymäkohtia tähän prosessiin. Valmistautuminen ja alkumielikuvan syntyminen sisälsivät tiedonhakuja, jonkinlaisten esimerkkimallien etsimistä ja ensimmäiset luonnokset. Kun säädettävyyden perusidea oli selvillä, siitä tehtiin heti karkea luonnos jota hauduteltiin pitkään ennen kuin se mallinnettiin Autodesk Inventor ohjelmalla, joka on Primolla käytössä 3D-suunnittelussa. 3D-malli oli välttämätön vaihe kalibroinnin suunnittelussa, koska siinä pystyttiin vielä vaikuttamaan säädettävyyteen tarkistamalla säätövarojen riittävyys. Huomattavaa on että ensimmäisen luonnoksen ja valmiin 3D-mallin välinen aika oli useita kuukausia, joten Wallasin ongelmanratkaisumallin mukaiset vaiheet kuten lepovaihe, kuvittelu ja tietoisuus ratkaisusta työstyivät tänä aikana. **(Kuva 29. -32.)**



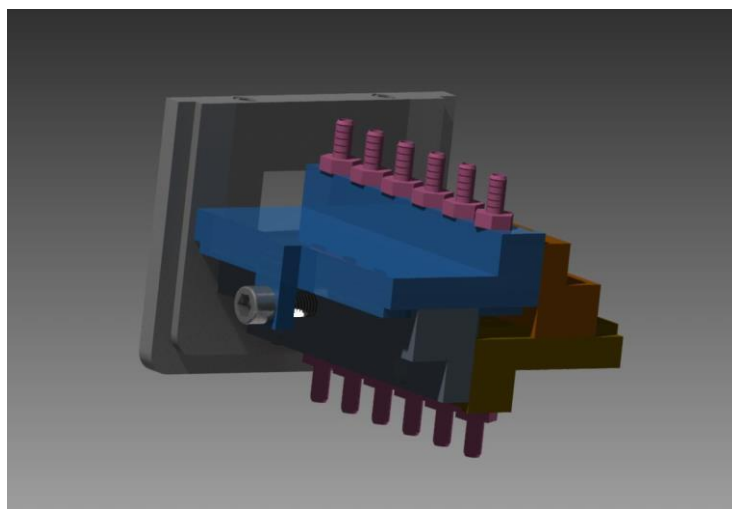
**Kuva 29.** Eräs ajatuksia herättänyt kalibrointimalli



**Kuva 30.** Ensimmäinen luonnos säädettävästä kalibroinnista.



**Kuva 31.** Ensimmäinen 3D-luonnos kalibroinnista



**Kuva 32.** Lähes täydellinen 3D-mallinnus säädettävästä kalibroinnista

### 9.3 Kalibroinnin valmistus

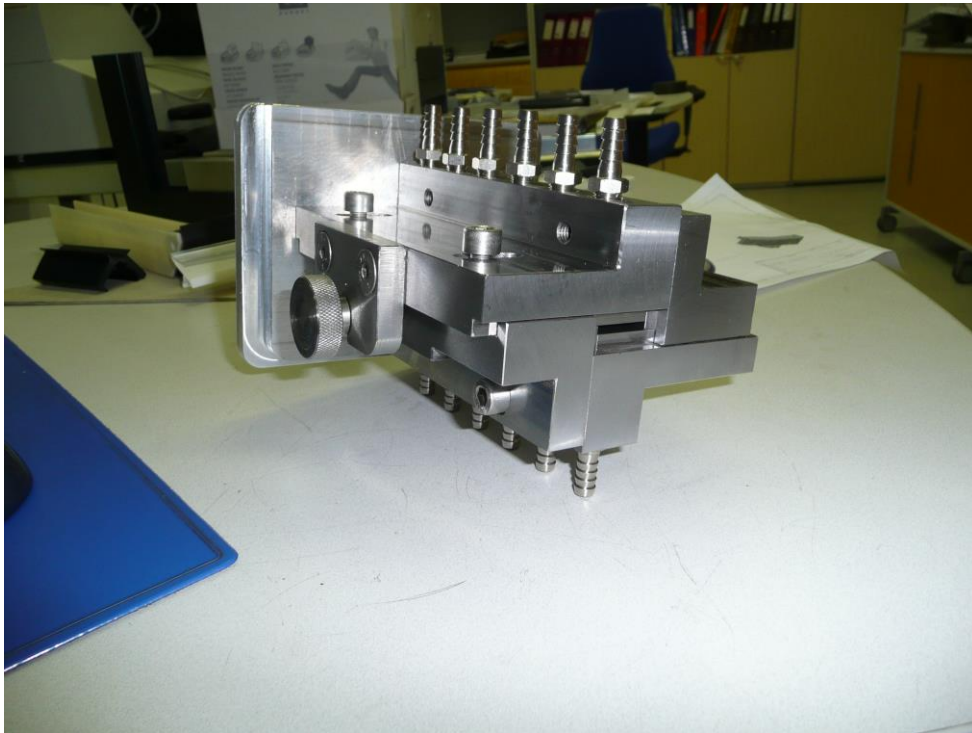
Kalibroinnin mallinnuksen jälkeen siitä tehtiin täydelliset valmistuspiirustukset (Liite 1) ja se valmistettiin Primo Finland Oy:n tuotekehitysosastolla lastuavia työstömenetelmiä käyttäen. Käytäntö toi vielä pieniä muutoksia kalibroinnin joihinkin mittoihin, mutta toimiva perusidea ei muuttunut miksikään. Kalibroinnin valmistuksessa tarvittiin sekä vaaka- ja pystykaraisista jysintää, cnc- ja manuaalikonella, kiekkojysintää imu-urien osalta, tasohiontaa ja myöskin hieman sorvasta. Materiaalina käytettiin Uddeholmin Stavax-työkaluterästä. Valmistuksessa oli erityisesti huomioitava tärkeät kohtisuoruudet (**Kuva 33.-34.**)

**Kuva 33.** Kalibroinnin aihoiden jysintää vaakakaraiseksi käännetyllä Abene – työkalujysimellä.



**Kuva 34.** Valmistuksessa käytetty Yang cnc-jysin.





**Kuva 35.** Valmis säädettävä kalibrointi kiinnityskauluksineen. Joitakin pieniä muutoksia jouduttiin tekemään vielä valmistuksen aikana mallinnukseen nähden.

## 9.4 Mittauspöytäkirjat

Varsin merkittävä osuus tämän työn valmisteluissa oli toimivan mittauspöytäkirjan aikaansaaminen. Siihen oli tarkoitus kirjata kaikki ekstruuderista saatavissa olevat arvot, sekä kalibroinnin leveys kullakin työkaluasemoinnilla ja ajonopeudella. Ajatuksena oli alunperin täyttää testiajon aikana kannettavalla tietokoneella olevaa excel-taulukkoa, mutta jo ensimmäisen testikokeilun aikana tämä osoittautui liian vaivalloiseksi, joten tarvittavat muuttujat otettiin paperille (**Kuva 36.**), ja vasta myöhemmin siirrettiin varsinaiseen excel-taulukkoon johon kirjattiin myös mallikappaleiden mitat ja joka tulosti mallikappaleiden muutokset käyrästöihin. Ensimmäisen kokeilun tuloksena muuttui myös kalibroinnin ja suuttimen asemoinnin suunta, eli osoittautui helpommaksi säätää ekstruuderin oikealle kierrosluvulle kalibroinnin ollessa mahdollisimman etäällä suuttimesta.

Suutin 2x37
-------------

etäisyys	3 m/min	mm (x)	tod. 26,3mm -(x-3.6)
190	1		
150	2		
110	3		
70	4		
30	5		

Rasitus	%
Kierrokset	rpm
Paineet	bar
lämpötila	°C

etäisyys	6 m/min	mm (x)	tod. 26,3mm -(x-3.6)
190	6		
150	7		
110	8		
70	9		
30	10		

Rasitus	%
Kierrokset	rpm
Paineet	bar
lämpötila	°C

etäisyys	10 m/min	mm (x)	tod. 26,3mm -(x-3.6)
190	11		
150	12		
110	13		
70	14		
30	15		

Rasitus	%
Kierrokset	rpm
Paineet	bar
lämpötila	°C

**Kuva 36.** yksinkertainen taulukko johon kirjattiin ajoarvot ja kalibroinnin leveys kullakin suuttimen ja kalibroinnin etäisyydellä testien aikana.



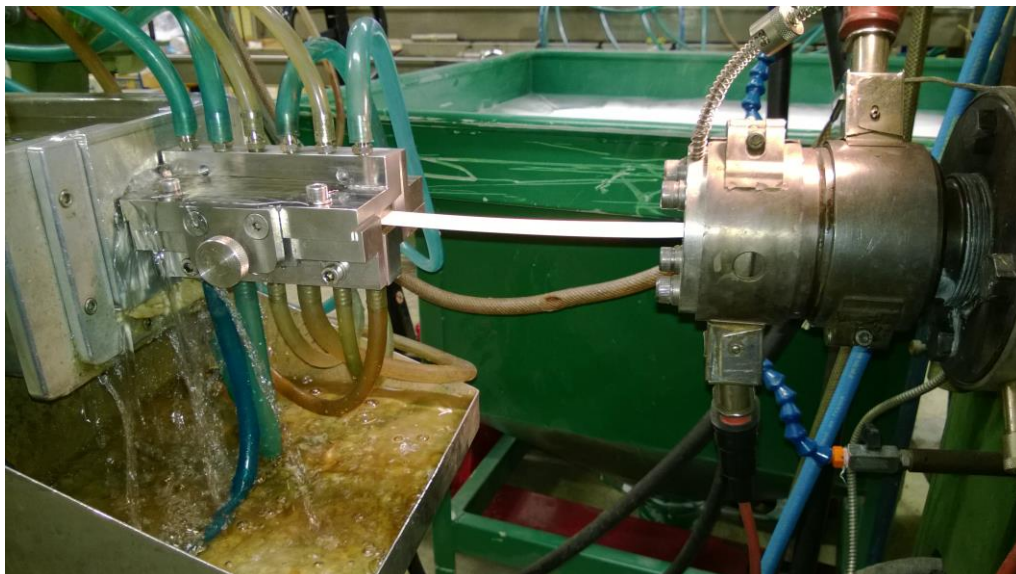
## 10 TESTIT

Itse testit ajettiin Primo Finland Oy:n koeajolinjalla käyttäen Weber CE5 kaksiruuviekstuuderia ja tavallista kovaa PVC-massaa (**Kuva 37.**) Kalibroinnissa käytettiin imuja ja vesiä normaalien ohjesääntöjen mukaisesti asettamalla lähimmäksi suutinta imu, vesi, imu, vesi, imu ja imu. Jäähdytyksenä kalibroinnin jälkeen käytettiin suoraa vesiallasjäähdytystä. Testit ajettiin kahteen kertaan kahdella suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhteella. Ensimmäisessä testissä kalibroinnin korkeus suhteessa suuttimiin oli tasan 1:1 ja toisella kerralla kalibrointi 1,2 ja suutin 1. Tällä pyrittiin siihen että profiiliin tulisi mahdollisimman vähän venymää ja sitä kautta sisäiset jännitykset jäisivät mahdollisimman pieniksi. Kalibroinnin korkeus säädettiin testiajojen välissä mittapalojen avulla oikealle korkeudelle ja lukittiin.



**Kuva 37.** Testeissä käytetty Weber CE5 kaksiruuviekstuuderia





**Kuva 38.** Testiajo

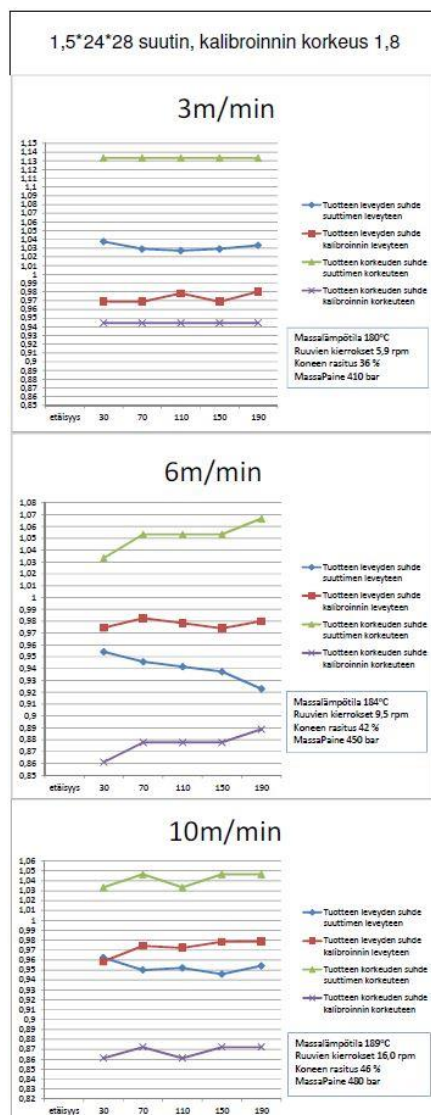
Mallit ajettiin 3, 6, ja 10 m/min vetonopeuksilla, ja käytäntö oli se että 190mm suuttimen ja kalibroinnin etäisyydellä säädettiin virtaus niin että kalibrointi oli mahdollisimman täynnä korkeuden puolesta (**Kuva 38.**), jonka jälkeen säädettiin kalibroinnin leveys tiiviiksi, kirjattiin kalibroinnin leveys muistiin ja merkittiin profiiliin mallipalan numero (**Kuva 39.**) Ekstruuderia ei säädetty kuin kerran aina kullakin ajonopeudella, mutta työkalujen asemointi toistettiin 40mm välein 190mm:tä alaspäin, ja kullakin etäisyydeltä mitattiin kalibroinnin leveys ja otettiin mallipala.



**Kuva 39.** Mallipaloja saatiin 15kpl kullakin suuttimella per testi

## 11 TESTITULOKSET JA HAVAINNOT

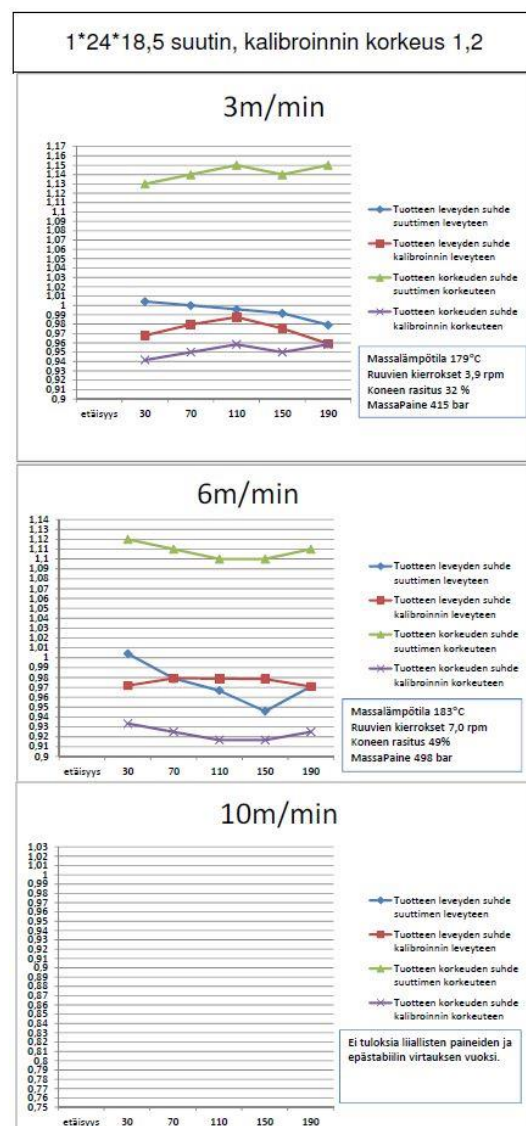
Testituloksina saatiin lähes 180kpl erilaista mallipalaa erilaisilla ajoarvoilla. Kaikki ajon aikaiset muuttujat kirjattiin excel-pohjaiseen mittapöytäkirjaan, johon mitattiin lisäksi vielä kunkin mallipalan tarkka leveys, paksuus keskeltä, paksuus reunoista sekä metripaino (Liitteet 2-13) Excelillä tulostettiin käyrästäjä (**Kuva 40.**), joista voidaan havainnoida mm. leveyden muutoksia eri ajonopeuksilla. Käyristä saadaan suoraan apuja profiilinsuunnitteluun mm. leveyden ennakointiin eri palstavahvuuksilla. Suunnittelijan murheeksi kuitenkin jää näiden tietojen soveltaminen erimuotoisiin profileihin ja vaihteleviin palstavahvuuksiin.



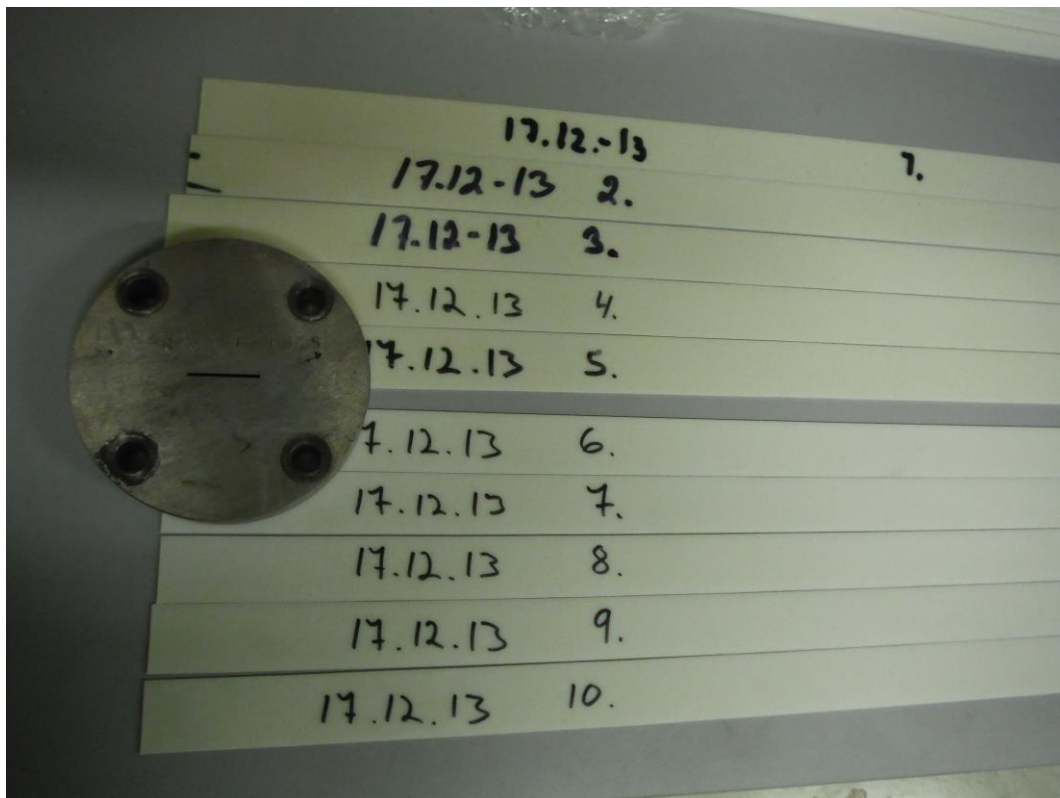
**Kuva 40.** Esimerkki testituloksista johdetusta käyrästästä. Y-akselin suunnassa kukin käyrä ilmaisee valmiin profiilin kokoa verrattuna suuttimen korkeuteen ja leveyteen sekä kalibroinnin korkeuteen ja leveyteen. X-akselin suunnassa työkaluasemoinnin vaikutus.

Testien aikana tehtiin havaintoja tehtiin ainakin ekstruuderin paineiden osalta, jotka nousivat toisessa testissä kohtuuttomiksi pienimmällä, 1mm suuttimella, yritettäessä ajaa 1,2mm korkea profiilia 10m/minuutissa nopeutta. Tällöin koko 10 metrin nopeus jätettiin väliin tällä suuttimella (**Kuva 41.**) On suunnittelijan harkinnan varassa onko edes järkevää pyrkiä näin paljon suutinta paksumpaan profiiliin pelkästään tavoiteltaessa mahdollisimman jännityksetöntä profiilia. Hitaalla nopeudella tämä on toki mahdollista.

**Kuva 41.** Suurin nopeus jätettiin ajamatta 1mm suuttimella ja 1,2mm kalibroinnin korkeudella koska paineet olivat jo 6 metrin nopeudella 498 baria, joka on lähellä ääriarvoja. Lisäksi virtaus muuttui epävakaaksi leikkausnopeuden kasvaessa liian suureksi suuttimen kulmista alkaen.

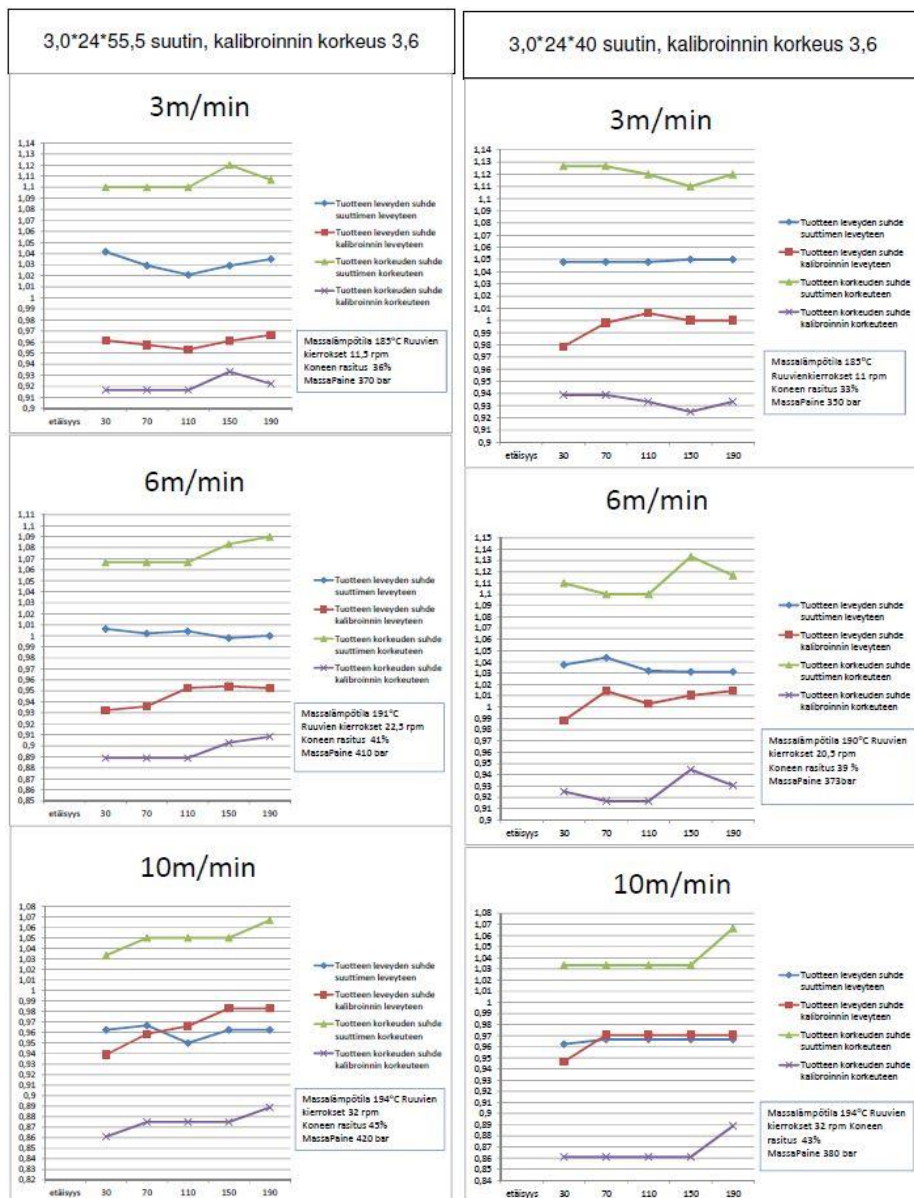


Toinen havainto 1mm suuttimeen liittyen oli 3 ja 6 metrin nopeudella ajettujen mallipalojen huomattava väriero (**Kuva 42.**) Tämä johtuu massan viipymisestä pidempään virtauskanavassa hiljaisemmalla nopeudella, suuremman ollessa oletettavasti optimaalisempi tässä suhteessa värin ollessa kirkkaampi. Värieroja ilmeni muillakin suuttimen paksuuksilla, mutta ne pienenevät huomattavasti siirryttäessä paksumpiin profiileihin, ollen 2,5mm suuttimella jo täysin havaintokyvyn ulkopuolella. Pinnanlaadussa oli pieniä eroja jokaisen suuttimen eri ajonopeuksilla.



**Kuva 42.** 3 ja 6 metrin nopeuksilla ajettujen mallien väriero 1mm suuttimella.

Toisessa ääripäässä, 3mm suuttimella, tulivat vastaan testeissä käytetyn Weber CE5 ekstruuderin kierrosluku ja tuotto. 3mm suuttimella ajettut profiilit jouduttiin ajamaan täysillä kierroksilla, ja tulokset tulivat sen mukaan, vaikka hieman lisää kierroksia olisi tarvittu. On myös mahdollista että koneessa olleiden ruuvien geometria ei ollut ihan optimaalinen tälle massalle, ja pumppausta ja takaisinvirtausta saattoi esiintyä maksimikierroksilla. 3mm suutin oli halkaistava, ja eroavaisuuksia on havaittavissa lopputuloksissa eri suuttimen paksuuksilla erityisesti 3 ja 6 metrin nopeuksilla erityisesti massapaineen putoamisessa ja mallipaloissa mm. metri-painon nousulla kapeammalla suuttimella ajettaessa (**Kuva 43.**)



**Kuva 43.**

## 12 KEHITELTÄVÄÄ

Testituloksia saatiin suhteellisen runsaasti ja niiden pohjalta voidaan jatkaa testien analysointia mm. malliprofiilien reunojen kutistumien osalta. Kahden eri suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhteella ajatun, tilastoidun materiaalin perusteella on mahdollista interpoloida regressiokäyriä koskemaan laajempaa skaalaa korkeuksien suhteita. Tämä saattaa tosin vaatia vielä yhden testin, jossa kalibroinnin korkeus on pienempi kuin suuttimen. Testikonsepti vaikutti onnistuneelta, mutta siitä olisi tullut hieman antoisampi jos myös kalibroinnin korkeutta olisi voinut säätää kesken ajon tarkasti. Tällöin oltaisi voitu unohtaa työkalun asemoinnin huomioiminen mallipaloja otettaessa, jolloin malleja olisi tullut vähemmän, mutta toisaalta silloin suuttimen ja kalibroinnin etäisyydeksi olisi pitänyt valita kompromissi. Kalibroinnin tarkka korkeussäätö ajon aikana vaatisi myös kalibroinnin jatkokehittelyä, ja mahdollisesti kokonaan uuden kalibroinnin joten varmuutta sen toteuttamisesta ei ole.

Profiilin reunakutistumien ja profiilin kapenemisen osalta tullaan mittaustulosten perusteella kehittämään excel-pohjainen laskuri joka ehdottaa leveyden ennakointia eri paksuisille profiileille sekä ehdottaa profiilin kärkien ennakointia kullakin paksuudella. Nämä ovat tämän työn jatkokehittämiä joista tulee olemaan hyötyä työkalujen suunnittelussa.

Testikonseptia tullaan käyttämään soveltuvin osin uusien materiaalien käyttöön-otossa, jolloin testi voidaan ajaa vain kulloinkin tarvittavalla suuttimen paksuudella, joka määräytyy suunniteltavan profiilin mukaan.



### **13 YHTEENVETO**

Tämä työ oli erittäin haastava sen tutkimuksenomaisesta luonteesta johtuen, ja lisäksi koko testikonsepti oli täysin omanlaisensa, valmista konseptia ei ollut tiedossa ja se kehittyikin runsaasti tämän työn aikana. Tuloksia saatiin ja kehittämällä tätä konseptia edelleen voidaan saada huomattavia hyötyjä aikaiseksi työkalun suunnitteluun.

Työ sisälsi luonnostelua, suunnittelua, koneistusta, koeajoja ja koeajotulosten analysointia, mikä teki siitä erittäin monipuolisen ja opettavaisen ainakin allekirjoittaneen muovialan tuntemuksen osalta. Teoreettisen viitekehyksen kokoaminen alan kirjallisuudesta ja oppimateriaalista oli mielenkiintoista ja hieman haastavaakin. Tärkeitä teorialähteitä olivat suomenkieliset TTY:n luentomonisteet jotka avasivat monia asioita muovialaan liittyen mm. virtausopin osalta. Työkalujen suunnittelun ja erilaisten työkalutyyppeiden osalta materiaali löytyi englanninkielisestä alan kirjallisuudesta.

Kiitän tämän työn valmistumisesta Primo Finland Oy:n henkilökuntaa.

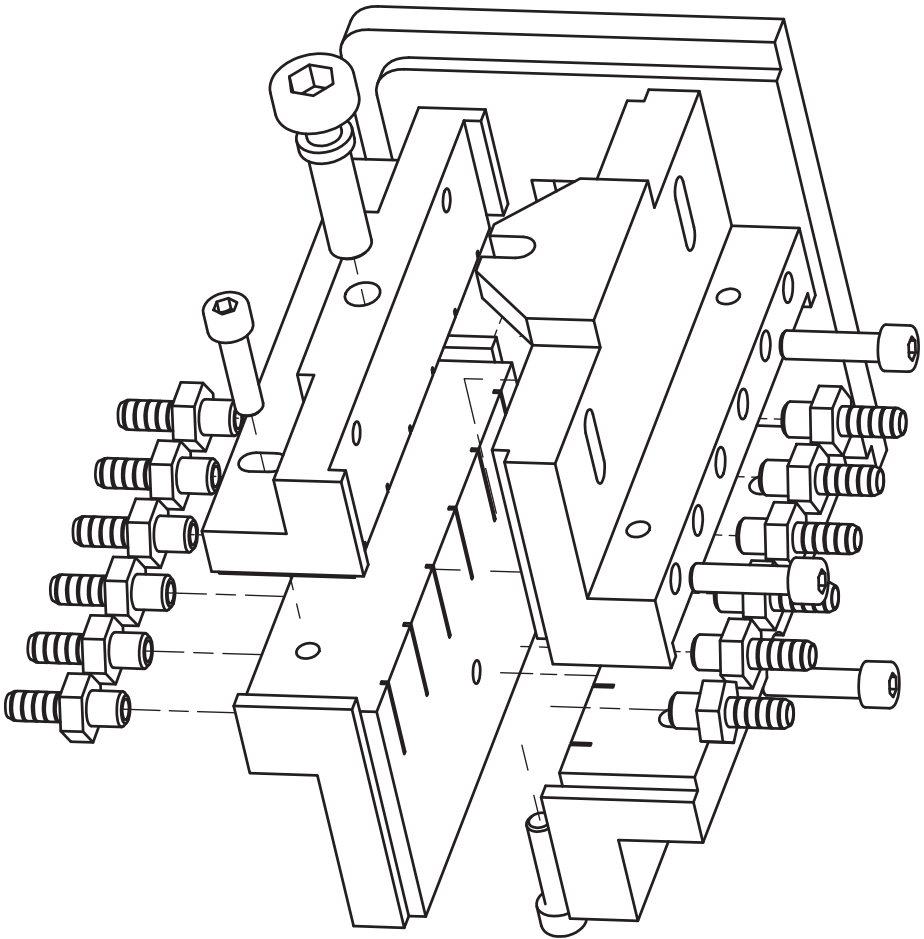
## LÄHTEET

- /1/ [www.primo.com](http://www.primo.com) Viitattu 14.4.2014
- /2/ [www.muoviteollisuus.fi](http://www.muoviteollisuus.fi) Viitattu 18.4.2014
- /3/ <http://www.valuatlas.fi> Viitattu 22.4.2014
- /4/ TTY: POLYKO
- /5/ TTY: polymeerimateriaalien perusteet 1
- /6/ TTY: polymeerimateriaalien perusteet 2
- /7/ H. Giles: Extrusion: the definitive processing guide and handbook, 2005, ISBN 0-8155-1473-5
- /8/ W. Michaeli: Extrusion Dies for plastics and rubber, 2th edition, 1992, ISBN 0-19-520910-9
- /9/ <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/50/83/> Viitattu 22.4.2014
- /10/ Kostic & Reifschneider: Design of Extrusion Dies, 2006
- /11/ C. Rauwendaal: Polymer Extrusion, 5th edition, 2013, ISBN 978-1-56990-516-6
- /12/ F. Hensen: Plastics Extrusion Technology, 2th edition, 1997, ISBN 1-56990-225-9
- /13/ Opinnäytetyö: Kaapelikourun kannen valmistaminen ekstruusiolla, Jussi Kari 2013, Tampereen AMK
- /14/ [http://www.mlab.uiah.fi/polut/Design/teoria\\_suunnitteluprosessit.html](http://www.mlab.uiah.fi/polut/Design/teoria_suunnitteluprosessit.html)  
Viitattu 14.4.2014



LIITE

1



FILE NAME	FSCM NO	SHEET	SCALE
SIZE			1:1
DRAWN 16.1.2013	Pauli Uusitalo	Kalibroinnin räjäytys	
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV 1		DWG NO	R&D c2
CONTRACT NO			



testipöytäkirja

Testin koodi	TT201307507-2	Päivämäärä	17.12.2013						
Materiaali	PVC PM507010	Testin aloitus aika	8:00						
Koneen tyyppi	Weber CE5 kaksiruuvikone								
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?								
Massalla	3,5								
Suutin	1*24*37								
Suuttimen korkeus	1	Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde	0,83						
Kalibroinnin korkeus	1,2								
Reikälevy	on								
Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9
	155	155	160	165	175	178	180	180	180

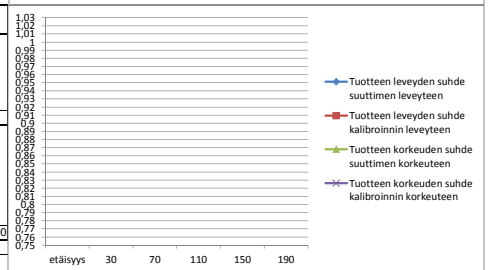
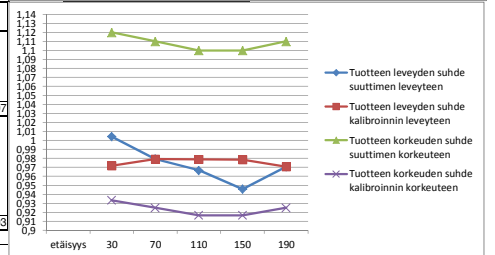
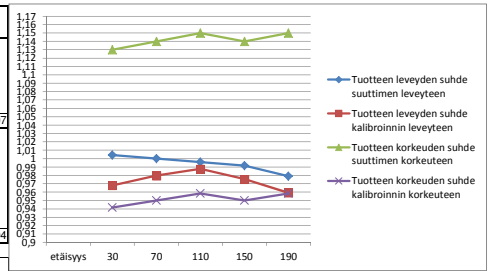
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
<b>1</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		<b>2</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		<b>3</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		<b>4</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	
Vetonopeus m/min	3	0,98	0,96	3	0,99	0,98		3	1,00	0,99		3	1,00	0,98	
Massalämpötila	179														
Ruuvien kierrokset	3,9	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	
Koneen rästus %	32														
MassaPaine	415														
Kalibroinnin leveys	24,5	suuttimen korkeuteen			24,4	suuttimen korkeuteen			24,2	suuttimen korkeuteen			24,5	suuttimen korkeuteen	
Lopputuotteen leveys	23,50				23,80				23,90				24,00		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	1,15				1,14				1,15				1,14		
Lopputuotteen paksuus reunosta	0,91	1,15	0,96		0,95	1,14	0,95		0,92	1,15	0,96		0,92	1,14	0,95
Metripaino (g)	36				37				38				38		

Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			40		
<b>6</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		<b>7</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		<b>8</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		<b>9</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	
Vetonopeus m/min	6	0,97	0,97	6	0,95	0,98		6	0,97	0,98		6	0,98	0,98	
Massalämpötila	183														
Ruuvien kierrokset	7,0	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	
Koneen rästus %	49														
MassaPaine	498														
Kalibroinnin leveys	24,00	suuttimen korkeuteen			23,20	suuttimen korkeuteen			23,70	suuttimen korkeuteen			24,00	suuttimen korkeuteen	
Lopputuotteen leveys	23,30				22,70				23,20				24,10		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	1,11				1,10				1,10				1,12		
Lopputuotteen paksuus reunosta	0,90	1,11	0,93		0,90	1,10	0,92		0,90	1,10	0,92		0,95	1,11	0,93
Metripaino (g)	35				34				35				36		

Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
<b>11</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	#JAKO!0!	<b>12</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	#JAKO!0!	<b>13</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	#JAKO!0!	<b>14</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	#JAKO!0!
Vetonopeus m/min	10	0,00		10	0,00			10	0,00			10	0,00		
Massalämpötila															
Ruuvien kierrokset		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	
Koneen rästus %															
MassaPaine															
Kalibroinnin leveys															
Lopputuotteen leveys															
Lopputuotteen paksuus keskeltä															
Lopputuotteen paksuus reunosta		0,00	0,00		0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00	
Metripaino (g)															

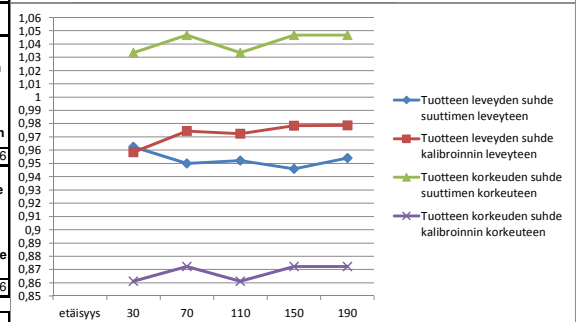
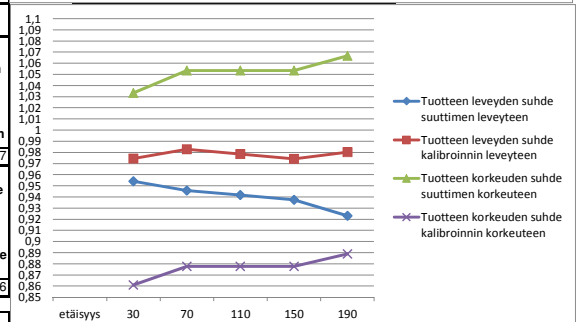
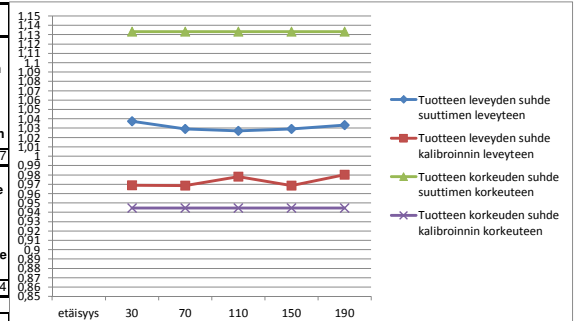




testipöytäkirja

Testin koodi	TT201307507-1	
Materiaali	PVC PM507010	Päivämäärä 17.12.2013
Koneen tyyppi	Weber CE5 kaksiruuvikone	Testin aloitusaika 10:00
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?	
Massatila	3,5	
Suutin	1,5*24*37	
Suuttimen korkeus	1,5	Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde 0,83
Kalibroinnin korkeus	1,8	
Reikälevy	kyllä	

Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9		
	155	155	160	165	175	178	180	180	180		
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110		70	30	
	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		<b>4</b>	<b>5</b>	
Vetonopeus m/min	3	1,03	0,98	3	1,03	0,97	3	1,03	0,98	3	1,04
Massalämpötila	180										
Ruuvien kierrokset	5,9										
Koneen rasitus %	36										
MassaPaine	410										
Kalibroinnin leveys	25,3			25,5			25,2			25,7	
Lopputuotteen leveys	24,80			24,70			24,65			24,90	
Lopputuotteen paksuus keskeltä	1,70			1,70			1,70			1,70	
Lopputuotteen paksuus reunosta	1,50	1,13	0,94	1,50	1,13	0,94	1,50	1,13	0,94	1,50	1,13
Metripaino (g)	58			58			58			58	
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110		70	30	
	<b>6</b>			<b>7</b>			<b>8</b>		<b>9</b>	<b>10</b>	
Vetonopeus m/min	6	0,92	0,98	6	0,94	0,97	6	0,94	0,98	6	0,95
Massalämpötila	184						183				
Ruuvien kierrokset	9,5										
Koneen rasitus %	42										
MassaPaine	450										
Kalibroinnin leveys	22,6			23,1			23,1			23,5	
Lopputuotteen leveys	22,15			22,50			22,60			22,90	
Lopputuotteen paksuus keskeltä	1,60			1,58			1,58			1,55	
Lopputuotteen paksuus reunosta	1,40	1,07	0,89	1,40	1,05	0,88	1,40	1,05	0,88	1,40	1,03
Metripaino (g)	49			48			48			48	
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110		70	30	
	<b>11</b>			<b>12</b>			<b>13</b>		<b>14</b>	<b>15</b>	
Vetonopeus m/min	10	0,95	0,98	10	0,95	0,98	10	0,95	0,97	10	0,96
Massalämpötila	189										
Ruuvien kierrokset	16,0										
Koneen rasitus %	46										
MassaPaine	480										
Kalibroinnin leveys	23,4			23,2			23,5			24,1	
Lopputuotteen leveys	22,90			22,70			22,85			23,10	
Lopputuotteen paksuus keskeltä	1,57			1,57			1,55			1,55	
Lopputuotteen paksuus reunosta	1,35	1,05	0,87	1,32	1,05	0,87	1,32	1,03	0,86	1,32	1,03
Metripaino (g)	49			48			48			48	



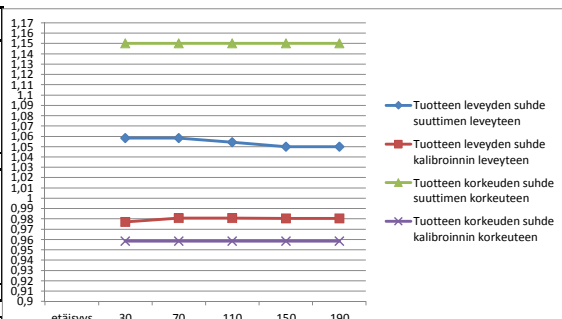


## testipöytäkirja

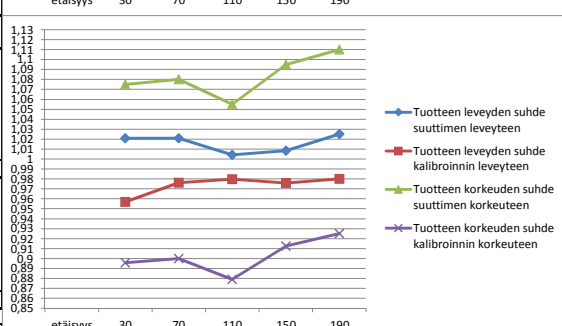
Testin koodi	TT201307507-1		Päivämäärä	18.12.2013		
Materiaali	PVC PM507010		Testin aloitusaika	9:00		
Koneen tyyppi	Weber CE5 kaksiruuvikone					
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?					
Massatila	3,5					
Suutin	2"24'37"					
Suuttimen korkeus	2		Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde	0,83		
Kalibroinnin korkeus	2,4					
Reikälevy	kyllä					

Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9
	155	155	160	165	175	178	180	180	

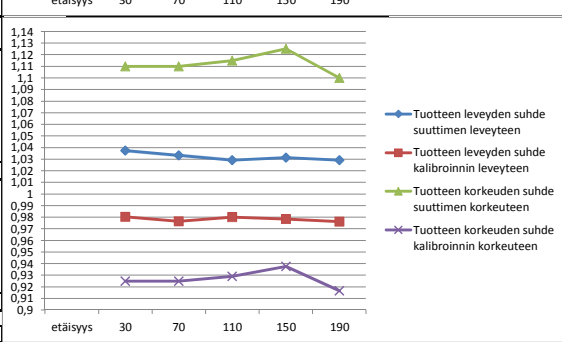
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>1</b>		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>2</b>		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	<b>3</b>		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>4</b>		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	<b>5</b>		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	3	1,05	0,98	3	1,05	0,98	3	1,05	0,98	3	1,06	0,98	3	1,06	0,98
Massalämpötila	183														
Ruuvien kierrokset	8,0	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin leveyteen													
Koneen rasitus %	34														
MassaPaine	380														
Kalibroinnin leveys	25,7														
Lopputuotteen leveys	25,20														
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,30														
Lopputuotteen paksuus reunoista	1,95	1,15	0,96												
Metripaino (g)	79			78						80					



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>6</b>		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	<b>7</b>		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	<b>8</b>		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>9</b>		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>10</b>		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	6	1,03	0,98	6	1,01	0,98	6	1,00	0,98	6	1,02	0,98	6	1,02	0,96
Massalämpötila	188														
Ruuvien kierrokset	14,2	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin leveyteen													
Koneen rasitus %	41														
MassaPaine	420														
Kalibroinnin leveys	25,1														
Lopputuotteen leveys	24,60														
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,22														
Lopputuotteen paksuus reunoista	1,91	1,11	0,93												
Metripaino (g)	73			72						72					



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>11</b>		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	<b>12</b>		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	<b>13</b>		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>14</b>		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>15</b>		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	10	1,03	0,98	10	1,03	0,98	10	1,03	0,98	10	1,03	0,98	10	1,04	0,98
Massalämpötila	192														
Ruuvien kierrokset	25,0	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin leveyteen													
Koneen rasitus %	45														
MassaPaine	440														
Kalibroinnin leveys	25,3														
Lopputuotteen leveys	24,70														
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,20														
Lopputuotteen paksuus reunoista	1,75	1,10	0,92												
Metripaino (g)	73			74						74					





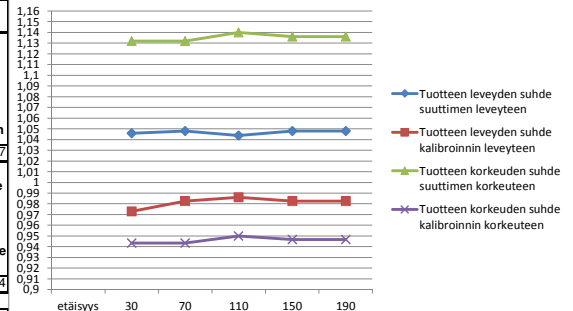
testipöytäkirja

Testin koodi	TT201307507-1	Päivämäärä	18.12.2013
Materiaali	PVC PM507010	Testin aloitus aika	11:30
Koneen tyyppi	Weber CE5 kaksiruuvikone		
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?		

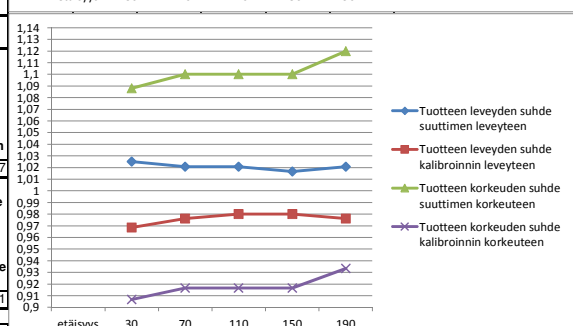
Massatila	3,5		
Suutin	2,5*24*37		
Suuttimen korkeus	2,5	Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde	0,83
Kalibroinnin korkeus	3		
Reikälevy	kyllä		

Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9
	155	155	160	165	175	178	180	180	

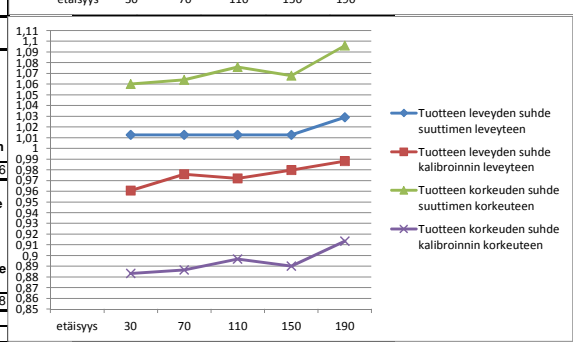
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>			<b>4</b>			<b>5</b>		
Vetonopeus m/min	3	1,05	0,98	3	1,05	0,98	3	1,04	0,99	3	1,05	0,98	3	1,05	0,97
Massalämpötila	184														
Ruuvien kierrokset	9,5														
Koneen rasitus %	36														
MassaPaine	385														
Kalibroinnin leveys	25,6														
Lopputuotteen leveys	25,15														
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,84														
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,40	1,14	0,95	2,40	1,14	0,95	2,35	1,13	0,94	2,35	1,13	0,94	2,35	1,13	0,94
Metripaino (g)	96			97			96			96			96		



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>6</b>			<b>7</b>			<b>8</b>			<b>9</b>			<b>10</b>		
Vetonopeus m/min	6	1,02	0,98	6	1,02	0,98	6	1,02	0,98	6	1,02	0,98	6	1,03	0,97
Massalämpötila	189														
Ruuvien kierrokset	18,0														
Koneen rasitus %	42														
MassaPaine	420														
Kalibroinnin leveys	25,1														
Lopputuotteen leveys	24,50														
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,80														
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,30	1,12	0,93	2,20	1,10	0,92	2,20	1,10	0,92	2,20	1,10	0,92	2,20	1,09	0,91
Metripaino (g)	92			90			90			90			90		



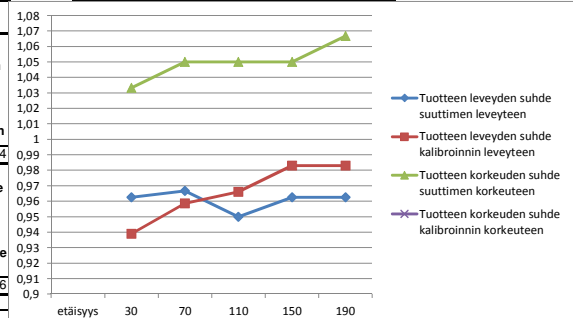
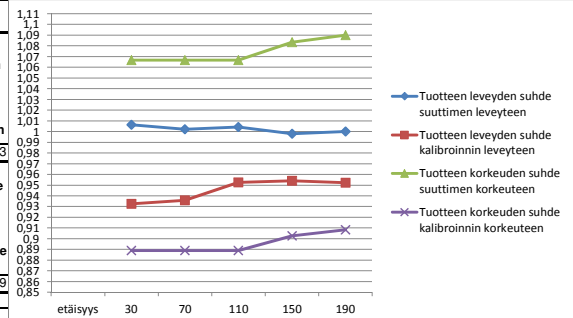
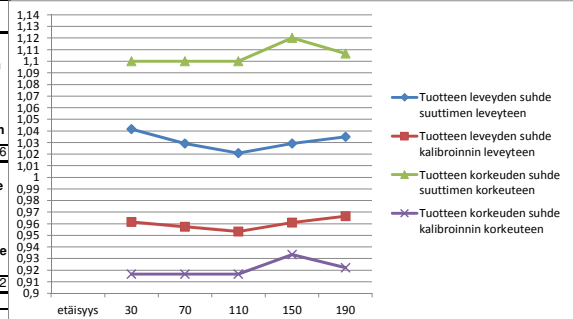
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>11</b>			<b>12</b>			<b>13</b>			<b>14</b>			<b>15</b>		
Vetonopeus m/min	10	1,03	0,99	10	1,01	0,98	10	1,01	0,97	10	1,01	0,98	10	1,01	0,96
Massalämpötila	194														
Ruuvien kierrokset	29,0														
Koneen rasitus %	45														
MassaPaine	430														
Kalibroinnin leveys	25,0														
Lopputuotteen leveys	24,70														
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,74														
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,15	1,10	0,91	2,12	1,07	0,89	2,14	1,08	0,90	2,14	1,06	0,89	2,15	1,06	0,88
Metripaino (g)	89			86			86			86			86		





testipöytäkirja

Testin koodi	TT201307507-1														
Materiaali	PVC PM507010														
Koneen tyyppi	Weber CES kaksiruuvikone														
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?														
Massatila	3,5														
Suutin	3*24*55,5														
Suuttimen korkeus	3														
Kalibroinnin korkeus	3,6														
Reikälevy	kyllä														
Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9						
	155	155	160	165	175	178	180	180							
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>			<b>4</b>			<b>5</b>		
Vetonopeus m/min	3	1,04	0,97	3	1,03	0,96	3	1,02	0,95	3	1,03	0,96	3	1,04	0,96
Massalämpötila	185														
Ruuvien kierrokset	11,5	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen												
Koneen rasitus %	36			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen						Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen					
MassaPaine	370														
Kalibroinnin leveys	25,7			25,7			25,7			25,8			26,0		
Lopputuotteen leveys	24,84			24,70			24,50			24,70			25,00		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	3,32			3,36			3,30			3,30			3,30		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,90	1,11	0,92	2,92		1,12	2,82	1,10	0,92	2,85	1,10	0,92	2,95	1,10	0,92
Metripaino (g)	112			113			111			112			112		
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>6</b>			<b>7</b>			<b>8</b>			<b>9</b>			<b>10</b>		
Vetonopeus m/min	6	1,00	0,95	6	1,00	0,95	6	1,00	0,95	6	1,00	0,94	6	1,01	0,93
Massalämpötila	191						183								
Ruuvien kierrokset	22,5	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen												
Koneen rasitus %	41			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen						Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen					
MassaPaine	410						25,3			25,7			25,9		
Kalibroinnin leveys	25,2			25,1			25,3			25,7			25,9		
Lopputuotteen leveys	24,00			23,95			24,10			24,05			24,15		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	3,27			3,25			3,20			3,20			3,20		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,70	1,09	0,91	2,67		1,08	2,70	1,07	0,89	2,75	1,07	0,89	2,75	1,07	0,89
Metripaino (g)	104			104			104			104			104		
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>11</b>			<b>12</b>			<b>13</b>			<b>14</b>			<b>15</b>		
Vetonopeus m/min	10	0,96	0,98	10	0,96	0,98	10	0,95	0,97	10	0,97	0,96	10	0,96	0,94
Massalämpötila	194														
Ruuvien kierrokset	32,0	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen												
Koneen rasitus %	45			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen						Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen					
MassaPaine	420						23,5			24,2			24,6		
Kalibroinnin leveys	23,5			23,10			23,6			23,20			23,10		
Lopputuotteen leveys	23,10			23,10			22,80			23,20			23,10		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	3,20			3,15			3,15			3,15			3,10		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,50	1,07	0,89	2,50		1,05	2,50	1,05	0,88	2,50	1,05	0,88	2,60	1,03	0,86
Metripaino (g)	93			93			93			93			93		





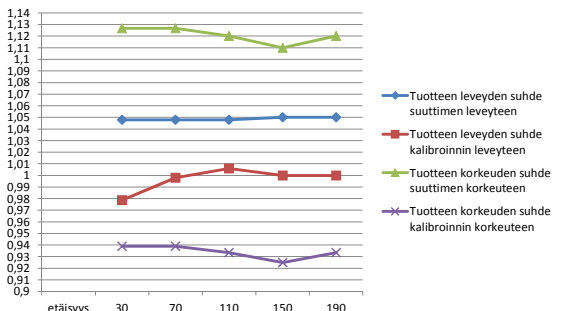
testipöytäkirja

Testin koodi	TT201307507-1		
Materiaali	PVC PM507010	Päivämäärä	18.12.2013
Koneen tyyppi	Weber CES kaksiruuvikone	Testin aloitusaika	13:30

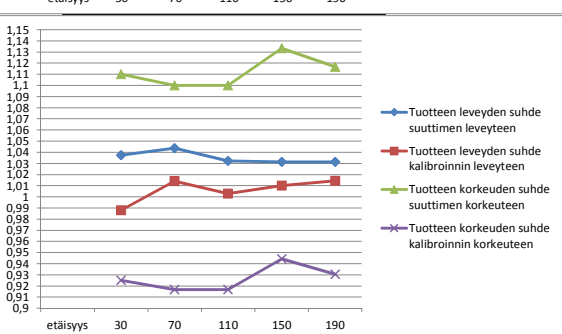
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?		
Massatila	3,5		
Suutin	3*24*40		
Suuttimen korkeus	3	Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde	0,83
Kalibroinnin korkeus	3,6		
Reikälevy	ei		

Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9
	155	155	160	165	175	178	180	180	

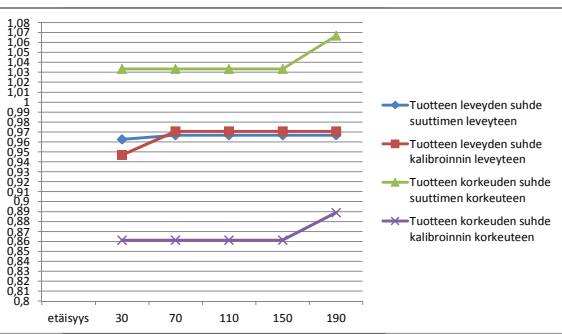
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	1	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	2	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	3	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	4	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	5	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	3	1,05	1,00	3	1,05	1,00	3	1,05	1,01	3	1,05	1,00	3	1,05	0,98
Massalämpötila	185														
Ruuvien kierrokset	11,0	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen												
Koneen rasitus %	33			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen						Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen					
MassaPaine	350														
Kalibroinnin leveys	25,2			25,2			25,0			25,2			25,7		
Lopputuotteen leveys	25,20			25,20			25,15			25,15			25,15		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	3,36			3,33			3,36			3,38			3,38		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,90	1,12	0,93	2,90	1,11	0,93	2,90	1,12	0,93	2,90	1,13	0,94	2,95	1,13	0,94
Metripaino (g)	115			115			115			115			115		



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	6	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	7	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	8	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	9	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	10	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	6	1,03	1,01	6	1,03	1,01	6	1,03	1,00	6	1,04	1,01	6	1,04	0,99
Massalämpötila	190														
Ruuvien kierrokset	20,5	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen												
Koneen rasitus %	39			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen						Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen					
MassaPaine	373														
Kalibroinnin leveys	24,4			24,5			24,7			24,7			25,2		
Lopputuotteen leveys	24,75			24,75			24,77			25,05			24,90		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	3,35			3,40			3,30			3,30			3,33		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,70	1,12	0,93	2,75	1,13	0,94	2,68	1,10	0,92	2,75	1,10	0,92	2,75	1,11	0,93
Metripaino (g)	110			111			111			110			111		



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	11	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	12	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	13	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	14	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	15	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	10	0,97	0,97	10	0,97	0,97	10	0,97	0,97	10	0,97	0,97	10	0,96	0,95
Massalämpötila	194														
Ruuvien kierrokset	32,0	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen												
Koneen rasitus %	43			Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen						Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen					
MassaPaine	380														
Kalibroinnin leveys	23,9			23,9			23,9			23,9			24,4		
Lopputuotteen leveys	23,20			23,20			23,20			23,20			23,10		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	3,20			3,10			3,10			3,10			3,10		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,50	1,07	0,89	2,45	1,03	0,86	2,50	1,03	0,86	2,50	1,03	0,86	2,50	1,03	0,86
Metripaino (g)	93			94			94			94			93		





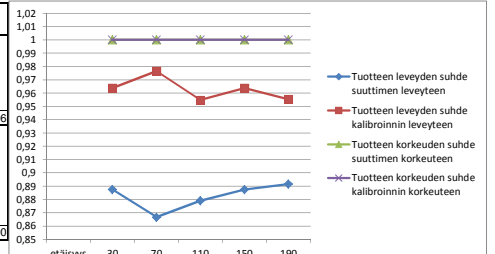
testipöytäkirja

Testin koodi	TT201307507-1								
Materiaali	PVC PM507010								
Koneen tyyppi	Weber CE5 kaksiruuvikone								
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?								
Massatila	3,5								
Suutin	1*24*37								
Suuttimen korkeus	1								
Kalibroinnin korkeus	1								
Reikälevy	on								
Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9
	155	155	160	165	175	178	180	180	

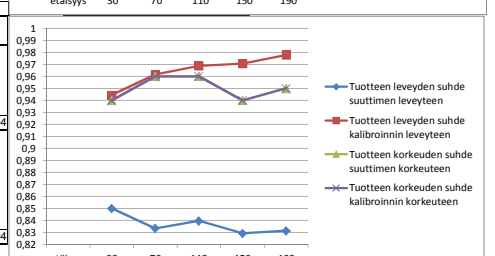
Päivämäärä	9.7.2013
Testin aloitus aika	8.00

Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde 1.00

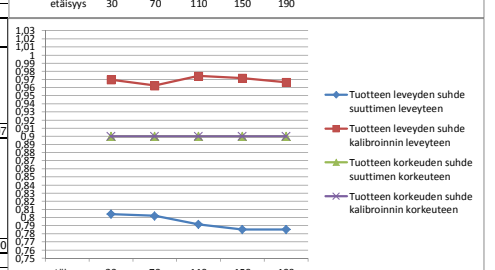
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>1</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>2</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>3</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>4</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>5</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	3	0.89	0.96	3	0.89	0.96	3	0.88	0.95	3	0.87	0.98	3	0.89	0.96
Massalämpötila	176														
Ruuvien kierrokset	3,0														
Koneen rasitus %	25	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen
Massapaine	330														
Kalibroinnin leveys	22,4			22,4			22,4			21,3			22,3		
Lopputuotteen leveys	21,40			21,36			21,10			20,80			21,30		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	1,00			1,00			1,00			1,00			1,00		
Lopputuotteen paksuus reunosta	0,80	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00
Metripaino (g)	29			29			28			28			29		



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>6</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>7</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>8</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>9</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>10</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	6	0.83	0.98	6	0.83	0.97	6	0.84	0.97	6	0.83	0.96	6	0.85	0.94
Massalämpötila	182						183								
Ruuvien kierrokset	5,5														
Koneen rasitus %	40	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen
Massapaine	385														
Kalibroinnin leveys	20,40			20,50			20,80			20,80			21,60		
Lopputuotteen leveys	19,95			19,90			20,15			20,00			20,40		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	0,95			0,94			0,96			0,96			0,94		
Lopputuotteen paksuus reunosta	0,75	0,95	0,95	0,75	0,94	0,94	0,76	0,96	0,96	0,75	0,96	0,96	0,75	0,94	0,94
Metripaino (g)	26			26			26			26			26		



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>11</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>12</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>13</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>14</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>15</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	10	0.79	0.97	10	0.79	0.97	10	0.79	0.97	10	0.80	0.96	10	0.80	0.97
Massalämpötila	183														
Ruuvien kierrokset	8,0														
Koneen rasitus %	50	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen		Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen
Massapaine	415														
Kalibroinnin leveys	19,50			19,40			19,50			20,00			19,90		
Lopputuotteen leveys	18,85			18,85			19,00			19,25			19,30		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	0,90			0,90			0,90			0,90			0,90		
Lopputuotteen paksuus reunosta	0,70	0,90	0,90	0,70	0,90	0,90	0,70	0,90	0,90	0,70	0,90	0,90	0,70	0,90	0,90
Metripaino (g)	23			23			23			23			23		







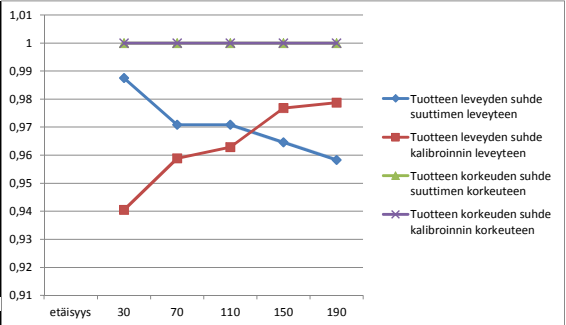
## testipöytäkirja

Testin koodi	TT201307507-1		
Materiaali	PVC PM507010		
Koneen tyyppi	Weber CE5 kaksiruuvikone		
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?		
Massatila	3,5		
Suutin	1,5*24*37		
Suuttimen korkeus	1,5		Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde
Kalibroinnin korkeus	1,5		1,00
Reikälevy	ei		

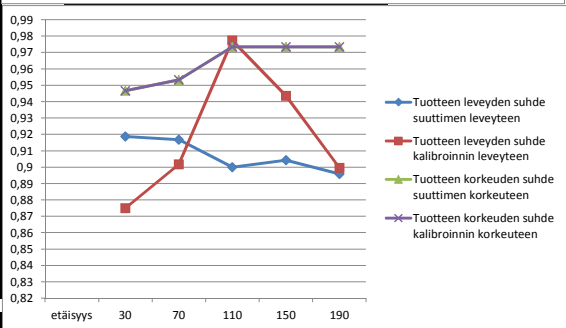
Päivämäärä	9.7.2013		
Testin aloitusaika	12.00		

Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9
	155	155	160	165	175	178	180	180	

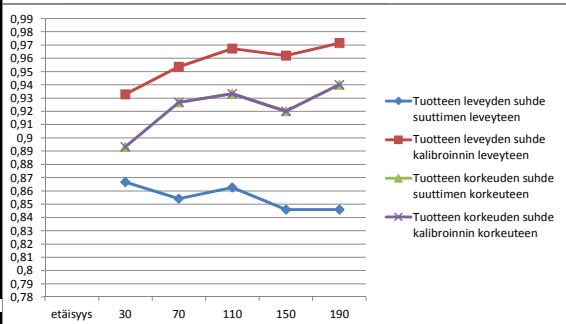
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>			<b>4</b>			<b>5</b>		
Vetonopeus m/min	3	0,96	0,98	3	0,96	0,98	3	0,97	0,96	3	0,97	0,96	3	0,99	0,94
Massalämpötila	180														
Ruuvien kierrokset	4,3														
Koneen rasitus %	25														
MassaPaine	312														
Kalibroinnin leveys	23,5			23,7			24,2			24,3			25,2		
Lopputuotteen leveys	23,00			23,15			23,30			23,30			23,70		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	1,50			1,50			1,50			1,50			1,50		
Lopputuotteen paksuus reunoista	1,30	1,00	1,00	1,30	1,00	1,00	1,30	1,00	1,00	1,30	1,00	1,00	1,30	1,00	1,00
Metripaino (g)	47			48			48			48			48		



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>6</b>			<b>7</b>			<b>8</b>			<b>9</b>			<b>10</b>		
Vetonopeus m/min	6	0,90	0,90	6	0,90	0,94	6	0,90	0,98	6	0,92	0,90	6	0,92	0,88
Massalämpötila	182						183								
Ruuvien kierrokset	8,5														
Koneen rasitus %	35														
MassaPaine	370														
Kalibroinnin leveys	23,9			23,0			22,1			24,4			25,2		
Lopputuotteen leveys	21,50			21,70			21,60			22,00			22,05		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	1,46			1,46			1,46			1,42			1,42		
Lopputuotteen paksuus reunoista	1,25	0,97	0,97	1,25	0,97	0,97	1,25	0,97	0,97	1,23	0,95	0,95	1,22	0,95	0,95
Metripaino (g)	43			43			43			43			43		



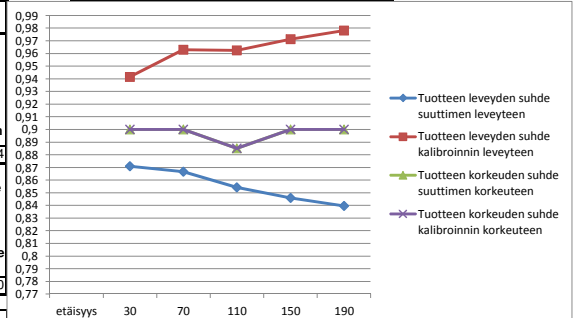
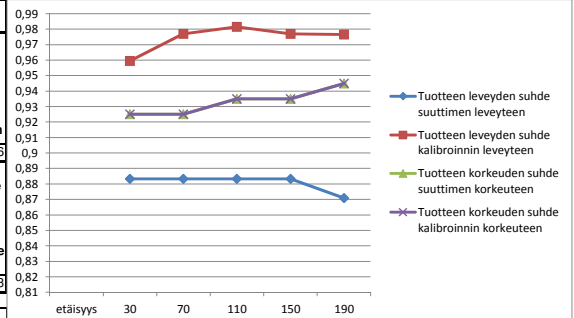
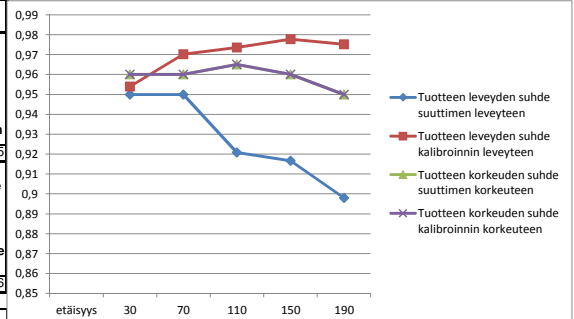
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>11</b>			<b>12</b>			<b>13</b>			<b>14</b>			<b>15</b>		
Vetonopeus m/min	10	0,85	0,97	10	0,85	0,96	10	0,86	0,97	10	0,85	0,95	10	0,87	0,93
Massalämpötila	186														
Ruuvien kierrokset	12,0														
Koneen rasitus %	40														
MassaPaine	390														
Kalibroinnin leveys	20,9			21,1			21,4			21,5			22,3		
Lopputuotteen leveys	20,30			20,30			20,70			20,50			20,80		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	1,41			1,38			1,40			1,39			1,34		
Lopputuotteen paksuus reunoista	1,11	0,94	0,94	1,14	0,92	0,92	1,17	0,93	0,93	1,11	0,93	0,93	1,10	0,89	0,89
Metripaino (g)	38			38			38			38			38		





## testipöytäkirja

Testin koodi	TT201307507-1															
Materiaali	PVC PM507010				Päivämäärä				10.7.2013							
Koneen tyyppi	Weber CE5 kaksiruuvikone				Testin aloitusaika				12:00							
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	7															
Massatila	3,5															
Suutin	2*24*37															
Suuttimen korkeus	2				Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde				1,00							
Kalibroinnin korkeus	2															
Reikälevy	ei															
Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9							
	155	155	160	165	175	178	180	180								
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30			
1	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	
Vetonopeus m/min	3	0,90	0,98	3	0,92	0,98	3	0,92	0,97	3	0,95	0,97	3	0,95	0,95	
Massalämpötila	181		181		181		181		181		181		181		181	
Ruuvien kierrokset	6,0		6,0		6,0		6,0		6,0		6,0		6,0		6,0	
Koneen rasitus %	29		29		29		29		29		29		29		29	
MassaPaine	27,5		27,5		27,5		27,5		27,5		27,5		27,5		27,5	
Kalibroinnin leveys	22,55		22,55		22,55		22,55		22,55		22,55		22,55		22,55	
Lopputuotteen leveys	21,55		21,55		21,55		21,55		21,55		21,55		21,55		21,55	
Lopputuotteen paksuus keskellä	1,90		1,92		1,92		1,93		1,92		1,92		1,92		1,92	
Lopputuotteen paksuus reunosta	1,70		0,95		0,95		1,65		0,96		0,96		1,70		0,96	
Metripaino (g)	57		58		58		58		60		60		60		60	
6	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	
Vetonopeus m/min	6	0,87	0,98	6	0,88	0,98	6	0,88	0,98	6	0,88	0,98	6	0,88	0,98	
Massalämpötila	184		184		184		183		183		183		183		183	
Ruuvien kierrokset	10,5		10,5		10,5		10,5		10,5		10,5		10,5		10,5	
Koneen rasitus %	35		35		35		35		35		35		35		35	
MassaPaine	325		325		325		325		325		325		325		325	
Kalibroinnin leveys	21,4		21,4		21,7		21,6		21,7		21,7		22,1		22,1	
Lopputuotteen leveys	20,90		20,90		21,20		21,20		21,20		21,20		21,20		21,20	
Lopputuotteen paksuus keskellä	1,89		1,87		1,87		1,85		1,85		1,85		1,85		1,85	
Lopputuotteen paksuus reunosta	1,60		0,95		0,95		1,60		0,94		0,94		1,60		0,93	
Metripaino (g)	53		54		54		53		53		53		53		53	
11	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen		Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	
Vetonopeus m/min	10	0,84	0,98	10	0,85	0,97	10	0,85	0,96	10	0,87	0,96	10	0,87	0,94	
Massalämpötila	187		187		187		187		187		187		187		187	
Ruuvien kierrokset	17,0		17,0		17,0		17,0		17,0		17,0		17,0		17,0	
Koneen rasitus %	35		35		35		35		35		35		35		35	
MassaPaine	366		366		366		366		366		366		366		366	
Kalibroinnin leveys	20,6		20,6		20,9		21,3		21,6		21,6		22,2		22,2	
Lopputuotteen leveys	20,15		20,15		20,30		20,50		20,80		20,80		20,90		20,90	
Lopputuotteen paksuus keskellä	1,80		1,80		1,80		1,77		1,80		1,80		1,80		1,80	
Lopputuotteen paksuus reunosta	1,50		0,90		0,90		1,46		0,89		0,89		1,55		0,90	
Metripaino (g)	49		49		49		49		50		50		50		50	



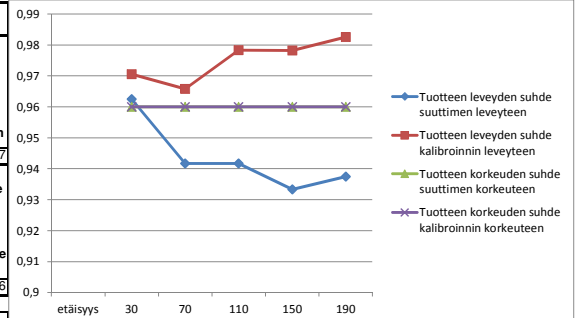


testipöytäkirja

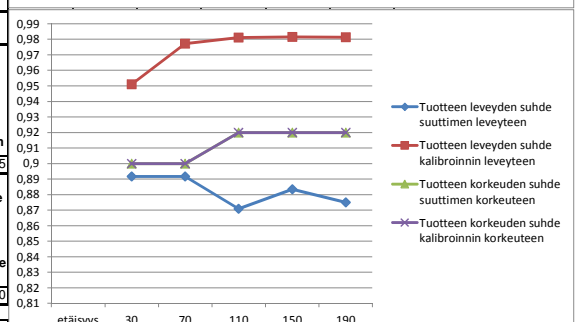
Testin koodi	TT201307507-1		Päivämäärä	10.7.2013		
Materiaali	PVC PM507010		Testin aloitus aika	12:00		
Koneen tyyppi	Weber CE5 kaksiruuvikone					
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?					
Massatila	3,5					
Suutin	2,5*24*37					
Suuttimen korkeus	2,5		Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde		1,00	
Kalibroinnin korkeus	2,5					
Reikälevy	ei					

Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9
	155	155	160	165	175	178	180	180	

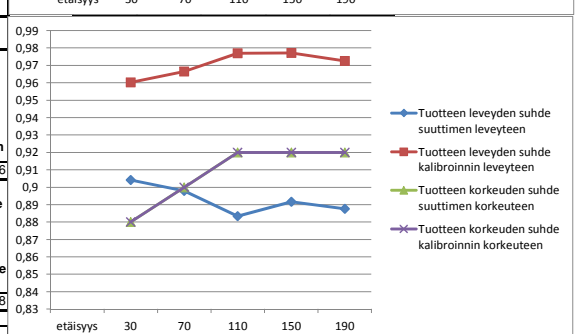
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	1		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	2		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	3		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	4		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	5		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	3	0,94	0,98	3	0,93	0,98	3	0,94	0,98	3	0,94	0,97	3	0,96	0,97
Massalämpötila	181														
Ruuvien kierrokset	7,8														
Koneen rasitus %	30														
MassaPaine	275														
Kalibroinnin leveys	22,9			22,9			23,1			23,4			23,8		
Lopputuotteen leveys	22,9			22,9			22,60			22,60			23,16		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,40			2,40			2,40			2,40			2,40		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,05	0,96	0,96	2,10	0,96	0,96	2,00	0,96	0,96	2,10	0,96	0,96	2,25	0,96	0,96
Metripaino (g)	74			73			74			74			77		



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	6		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	7		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	8		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	9		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	10		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	6	0,88	0,98	6	0,88	0,98	6	0,87	0,98	6	0,89	0,98	6	0,89	0,95
Massalämpötila	185														
Ruuvien kierrokset	13,0														
Koneen rasitus %	38														
MassaPaine	320														
Kalibroinnin leveys	21,4			21,6			21,3			21,9			22,5		
Lopputuotteen leveys	21,00			21,20			20,90			21,40			21,40		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,30			2,30			2,30			2,25			2,25		
Lopputuotteen paksuus reunoista	1,90	0,92	0,92	1,90	0,92	0,92	2,00	0,92	0,92	1,95	0,90	0,90	2,00	0,90	0,90
Metripaino (g)	65			66			65			65			65		



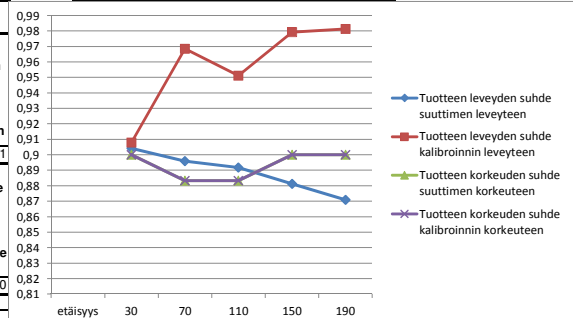
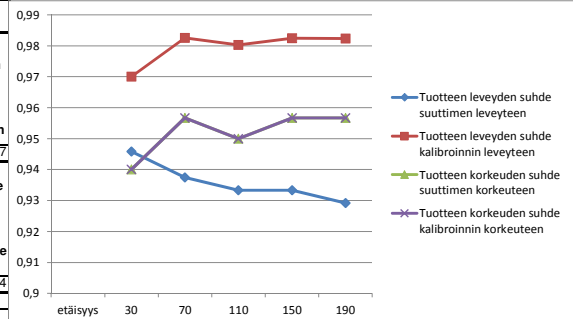
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	11		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	12		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	13		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	14		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	15		Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	10	0,89	0,97	10	0,89	0,98	10	0,88	0,98	10	0,90	0,97	10	0,90	0,96
Massalämpötila	189														
Ruuvien kierrokset	22,1														
Koneen rasitus %	40														
MassaPaine	360														
Kalibroinnin leveys	21,9			21,9			21,7			22,3			22,6		
Lopputuotteen leveys	21,30			21,40			21,20			21,55			21,70		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,30			2,30			2,30			2,25			2,20		
Lopputuotteen paksuus reunoista	1,95	0,92	0,92	1,90	0,92	0,92	1,95	0,92	0,92	1,93	0,90	0,90	1,85	0,88	0,88
Metripaino (g)	66			65			65			65			65		





testipöytäkirja

Testin koodi	TT201307507-1														
Materiaali	PVC PM507010														
Koneen tyyppi	Weber CES kaksiruuvikone														
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?														
Massatila	3,5														
Suutin	3°24'55,5														
Suuttimen korkeus	3														
Kalibroinnin korkeus	3														
Reikälevy	ei														
Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9						
	155	155	160	165	175	178	180	180							
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>			<b>4</b>			<b>5</b>		
Vetonopeus m/min	3	0,93	0,98	3	0,93	0,98	3	0,93	0,98	3	0,94	0,98	3	0,95	0,97
Massalämpötila	183														
Ruuvien kierrokset	9,0														
Koneen rasitus %	31														
MassaPaine	270														
Kalibroinnin leveys	22,7														
Lopputuotteen leveys	22,30														
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,87														
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,60	0,96	0,96	2,60	0,96	0,96	2,60	0,95	0,95	2,60	0,96	0,96	2,60	0,94	0,94
Metripaino (g)	87			88			88			88			88		
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>6</b>			<b>7</b>			<b>8</b>			<b>9</b>			<b>10</b>		
Vetonopeus m/min	6	0,88	0,98	6	0,87	0,98	6	0,88	0,98	6	0,90	0,98	6	0,90	0,96
Massalämpötila	186						183								
Ruuvien kierrokset	16,1														
Koneen rasitus %	36														
MassaPaine	310														
Kalibroinnin leveys	21,5														
Lopputuotteen leveys	21,10														
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,75														
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,47	0,92	0,92	2,60	0,93	0,93	2,60	0,93	0,93	2,50	0,92	0,92	2,50	0,90	0,90
Metripaino (g)	80			81			81			80			79		
Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>11</b>			<b>12</b>			<b>13</b>			<b>14</b>			<b>15</b>		
Vetonopeus m/min	10	0,87	0,98	10	0,88	0,98	10	0,89	0,95	10	0,90	0,97	10	0,90	0,91
Massalämpötila	190														
Ruuvien kierrokset	27,5														
Koneen rasitus %	40														
MassaPaine	340														
Kalibroinnin leveys	21,3														
Lopputuotteen leveys	20,90														
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,70														
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,50	0,90	0,90	2,50	0,90	0,90	2,50	0,88	0,88	2,50	0,88	0,88	2,60	0,90	0,90
Metripaino (g)	78			79			78			79			80		



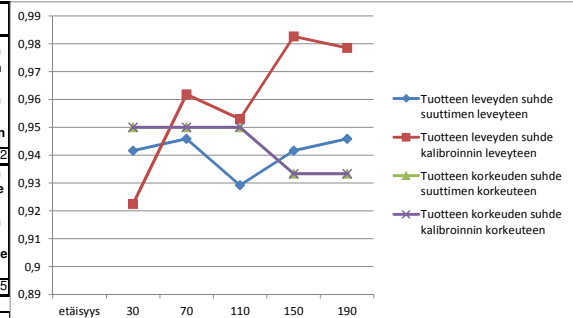


testipöytäkirja

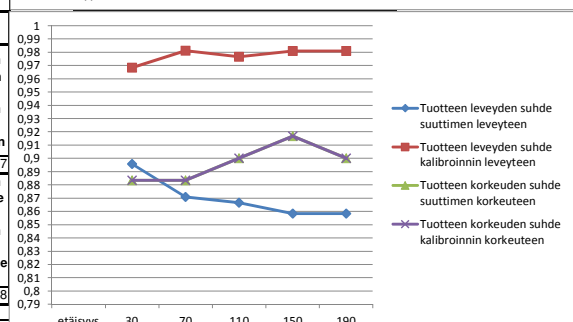
Testin koodi	TT201307507-1		
Materiaali	PVC PM507010	Päivämäärä	10.7.2013
Koneen tyyppi	Weber CES kaksiruuvikone	Testin aloitusaika	8:00
MFR (melt flow rate) sulaindeksi	?		
Massatila	3,5		
Suutin	3*24*40	Suuttimen ja kalibroinnin korkeuksien suhde	1,00
Suuttimen korkeus	3		
Kalibroinnin korkeus	3		
Reikälevy	ei		

Koneen lämmöt	Vyöhyke1	Vyöhyke2	Vyöhyke3	Vyöhyke4	Vyöhyke5	Vyöhyke6	Vyöhyke7	Vyöhyke8	Vyöhyke9
	155	155	160	165	175	178	180	180	

Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>1</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>2</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>3</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>4</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>5</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	3	0,95	0,98	3	0,94	0,98	3	0,93	0,95	3	0,95	0,96	3	0,94	0,92
Massalämpötila	182														
Ruuvien kierrokset	9,0	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen												
Koneen rasitus %	27														
Massapaine	250														
Kalibroinnin leveys	23,2			23,0			23,4			23,6			24,5		
Lopputuotteen leveys	22,70			22,60			22,30			22,70			22,60		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,80			2,80			2,85			2,85			2,85		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,70	0,93	0,93	2,75	0,93	0,93	2,80	0,95	0,95	2,75	0,95	0,95	2,76	0,95	0,95
Metripaino (g)	90			89			90			90			90		



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>6</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>7</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>8</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>9</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>10</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	6	0,86	0,98	6	0,86	0,98	6	0,87	0,98	6	0,87	0,98	6	0,90	0,97
Massalämpötila	185						183								
Ruuvien kierrokset	16,0	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen												
Koneen rasitus %	30														
Massapaine	280														
Kalibroinnin leveys	21,0			21,0			21,3			21,3			22,2		
Lopputuotteen leveys	20,60			20,60			20,80			20,90			21,50		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,70			2,75			2,70			2,65			2,65		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,60	0,90	0,90	2,65	0,92	0,92	2,60	0,90	0,90	2,60	0,88	0,88	2,65	0,88	0,88
Metripaino (g)	78			79			79			80			80		



Suuttimen ja kalibroinnin välinen etäisyys (mm)	190			150			110			70			30		
	<b>11</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>12</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>13</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>14</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen	<b>15</b>	Tuotteen leveyden suhde suuttimen leveyteen	Tuotteen leveyden suhde kalibroinnin leveyteen
Vetonopeus m/min	10	0,86	0,98	10	0,88	0,97	10	0,88	0,95	10	0,87	0,97	10	0,88	0,95
Massalämpötila	188														
Ruuvien kierrokset	27,0	Tuotteen korkeuden suhde suuttimen korkeuteen	Tuotteen korkeuden suhde kalibroinnin korkeuteen												
Koneen rasitus %	35														
Massapaine	265														
Kalibroinnin leveys	21,1			21,7			22,1			21,4			22,2		
Lopputuotteen leveys	20,60			21,10			21,00			20,80			21,00		
Lopputuotteen paksuus keskeltä	2,60			2,60			2,60			2,65			2,60		
Lopputuotteen paksuus reunoista	2,55	0,87	0,87	2,60	0,87	0,87	2,57	0,87	0,87	2,60	0,88	0,88	2,60	0,87	0,87
Metripaino (g)	76			78			77			79			78		

