

Valtteri Arffman

Ruiskuvaluprosessin parametrien

vaikutus laaduntuottokykyyn

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

Kevät 2018



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tiivistelmä

Tekijä(t): Arffman Valteri

Työn nimi: Ruiskuvaluprosessin parametrien vaikutus laaduntuottokykyyn

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), tietotekniikka

Asiasanat: ruiskuvalu, seuranta, prosessiparametri, laadunvalvonta, temperointilaitte, lämpötila-anturi

Insinööri työ on osa suurempaa projektia, joka liittyy ruiskuvaluprosessin seurantaan. Ruiskuvalussa laadun takeena on monia erilaisia seurattavia parametreja, kuten erilaisia lämpötiloja, paineita, aikoja ja nopeuksia. Tähän työhön otettiin mukaan muotin jäähdytysveden määrän vaikutus tuotteen laatuun ja sulan muovimassan lämpötilan mittauksen toteuttaminen ja sen vaihtelun vaikutus lopputuotteeseen.

Työn toteutuksessa suoritettiin kaksi koeajoa ruiskuvalukoneella, joista ensimmäisessä määriteltiin tuotannon normaalitilanne. Toisessa koeajossa otettiin mukaan sulamassan lämpötilaa mittaava anturi ja muotin jäähdytysveden määrää lisättiin. Koeajot kestivät tietyn ajan, jonka aikana otettiin sopivin väliajoin tuotenäytteitä. Kummankin koeajon aikana käytetystä raaka-aineesta otettiin myös näyte viskositeettimittausta varten.

Näytteet tarkastettiin visuaalisesti ja mahdolliset havainnot kirjattiin ylös. Visuaalisen tarkastuksen jälkeen ajettiin tarkastussolun läpi, jossa konenäkö mittasi kappaleista tietyt mitat. Lopuksi mittaustuloksia vertailtiin ja analysoitiin, että oliko jäähdytysveden määrän lisäämisellä vaikutusta kappaleiden mittoihin tai visuaaliseen laatuun.

Tulokset olivat yksiselitteisiä, ja niiden perusteella jäähdytysveden määrällä ei tässä tapauksessa ollut vaikutusta tuotteiden visuaaliseen laatuun tai mittoihin. Sulamassan lämpötilaan ei saatu aiheuttaa suurempaa vaihtelua mittauksen aikana ilmenneiden ongelmien vuoksi, mutta saatiin arvokasta tietoa ja toteutettua toimiva mittausmenettely. Sulamassan lämpötilaa ei ollut yrityksessä aiemmin edes mitattu.

Abstract

Author(s): Arffman Valtteri

Title of the Publication: The Influence of the Injection Molding Parameters on the Quality of Production

Degree Title: Bachelor of Engineering, Information Engineering

Keywords: injection molding, process parameter, quality control, tempering, temperature sensor

This Bachelor's thesis is part of a bigger project which affiliates with surveillance on injection molding process. There are many different parameters to monitor during the injection molding process, for example temperatures, pressures, times and speeds. This thesis handles the influence of the amount of cooling water in the mold on the quality of the final product and the temperature measurement of molten plastic mass and its effects on the final product's quality and dimensions.

Two test runs were performed with the same injection molding machine and mold. The first test run was performed to find out the normal situation of production. The second test run included a melt-measuring sensor and the amount of cooling water was increased. Test runs lasted for a certain period of time and product samples were taken at appropriate intervals. Furthermore, material samples were taken for the viscosity measurement.

Product samples were inspected visually and all possible observations were recorded. After the visual inspection, samples were measured with machine vision which measures different kinds of dimensions of the product. Lastly, the results of both inspections were analyzed and compared for any possible effects on the product's visual quality or dimensions.

The results were unambiguous and in this case the amount of cooling water did not affect the visual quality or dimensions of the products. There was no variation in the melt mass temperature due to the problems encountered during the measurement, but valuable information was obtained about melt temperature and a valid measuring procedure was carried out. The melt mass temperature was not previously measured in the company and in future that measurement can also be applied to other injection molding machines.

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Ruiskuvalu yleisesti.....	2
3	Ruiskuvaluprosessin prosessiparametrit.....	3
	3.1 Nopeudet	3
	3.2 Lämpötilat.....	3
	3.3 Ajat	4
	3.4 Paineet.....	4
4	Ruiskuvalukone.....	6
	4.1 Sulkuyksikkö.....	7
	4.2 Ruiskutusyksikkö	8
	4.3 Ohjausyksikkö	12
	4.4 Hydrauliyksikkö	13
	4.5 Runko	14
5	Ruiskuvaluprosessi.....	15
	5.1 Työkierto ja vaiheet.....	15
	5.2 Muotin sulkeminen.....	15
	5.3 Ruiskutusyksikön liike eteen	16
	5.4 Ruiskutus eli muotin täyttö	16
	5.5 Jälkipaine eli pitopaine.....	17
	5.6 Jäähdytys.....	17
	5.7 Annostelu ja plastisointi	19
	5.8 Muotin aukaiseminen ja kappaleen poistaminen.....	20
6	Ruiskuvalumuotti.....	22
	6.1 Muotin rakenne ja toiminta	23
	6.2 Valukanavisto.....	24
	6.3 Muottipesä ja keernat.....	29
	6.4 Ulostyöntöjärjestelmä.....	32
	6.5 Muotin temperointi.....	32
7	Muotin temperoiminen.....	33
	7.1 Jäähdytyskanavisto ja lämmön siirtyminen	34
	7.2 Muotin lämpötasapaino.....	36
	7.3 Temperointikanavien suunnittelu ja mitoitus	38

8	Yleisimmät ongelmat ja laatuvirheet.....	42
	8.1 Painaumat (kutistumaonkalot).....	42
	8.2 Palojäljet.....	42
	8.3 Purse.....	43
	8.4 Hilseily.....	43
	8.5 Vajaat kappaleet.....	44
	8.6 Kosteusjuovat.....	44
	8.7 Kuplat.....	45
9	Käytetyt laaduntarkastusmenetelmät.....	46
	9.1 Visuaalinen tarkastus.....	46
	9.2 Tarkastussolu.....	46
	9.2.1 Konenäköjärjestelmä.....	47
	9.2.2 Käyttöliittymä.....	47
	9.2.3 Solun toiminta ja mittaukset.....	48
	9.3 Minitab-datan analysointiohjelma.....	48
10	Ensimmäinen koeajo ja mittaukset.....	49
	10.1 Koeajon suunnittelu ja toteutus.....	49
	10.2 Visuaalinen tarkastus.....	50
	10.3 Visuaalisen tarkastuksen tulokset ja analysointi.....	50
11	Toinen koeajo ja mittaukset.....	54
	11.1 Toisen koeajon suunnittelu ja toteutus.....	54
	11.2 Visuaalinen tarkastus.....	55
	11.3 Visuaalisen tarkastuksen tulokset ja analysointi.....	55
	11.4 Lämpötila-anturi ja mittalaitteisto.....	58
	11.4.1 Anturi.....	58
	11.5 Sulalämmön mittaus.....	59
12	Koeajojen tarkastussolutulokset ja painot.....	62
	12.1 Tarkastussolun tulokset ja analysointi.....	62
	12.2 Iskujen painot.....	66
13	Yhteenveto.....	67
	Lähteet.....	69
	Liitteet	

1 Johdanto

Tämän työn tilaajana toimii Kajaanissa sijaitseva muovialan yritys. Yrityksellä on Suomessa toimipaikka myös Helsingissä. Kajaanin toimipaikassa on muovituotannon lisäksi myös kokoonpanolinja. Kajaanissa toiminta alkoi vuonna 1990. Kajaanin muovituotanto valmistaa pääasiassa kertakäyttökärkiä eli ”tippejä” nesteannostelijoihin.

Insinööriyössä tutkittiin ruiskuvaluprosessin laatuun vaikuttavia parametreja. Työn ollessa osa suurempaa projektia valittiin siihen kaksi täysin uutta mittauskohdetta, jotka ovat sulan muovin lämpötila ruiskutushetkellä ja muotin temperointijärjestelmän jäähdytysveden määrä. Kummankaan vaihtelun vaikutusta tuotteen mittoihin ja visuaaliseen laatuun ei ollut yrityksessä aiemmin tutkittu. Sulamassan lämpötilan mittaamisessa ei ollut vielä olemassa mittausmetodia, joten ensiksi toteutettiin mittausmenetelmä ja tutkittiin, paljonko sulalämpö yleensä vaihtelee prosessin aikana.

Tutkimuksessa suoritettiin kaksi koeajoa ruiskuvalukoneella ja kerättiin näytekappaleita sopivin väliajoin. Toisessa koeajossa mukana oli sulamassan lämpötilaa mittaava anturi ja jäähdytysveden määrää lisättiin. Näytekappaleet tarkastettiin visuaalisesti ja mittaamalla konenäön avulla, joiden tuloksia tarkastusten jälkeen analysoitiin ja verrattiin koeajojen välillä.

Tuloksien myötä oli tarkoitus päätellä parametrien vaikutus laatuun ja sen myötä harkita kyseisten parametrien seuraamista tulevaisuudessa prosessin aikana. Teoriaosassa on lähinnä käsitelty asioita yrityksen käyttämien tekniikoiden kannalta, mutta siinä myös sivutaan muita tärkeitä seikkoja. Joitakin yrityksen käyttämien tekniikoiden ja mittausmenetelmien nimiä on muutettu tai sensuroitu toimeksiantajan pyynnöstä. Samasta syystä liitteisiin ei myöskään liitetty visuaalisen tarkastuksen tuloksia, tarkastussolun mittaustuloksia ja analysointikuvissa ei näy mittauskohteiden nimiä. Myöskään pesänumeroita ei toimeksiantajan pyynnöstä mainita.

Ruiskuvaluprosessi on todella monimutkainen prosessi, joten alussa käydään läpi prosessin kulkua ja lopputulokseen vaikuttavia asioita. Prosessiin perehtyminen ja tulosten ymmärtäminen edellyttivät monipuolista lähteistöä ja paneutumista niihin syvällisesti.

2 Ruiskuvalu yleisesti

Lyhyesti määriteltynä ruiskuvalu on valmistusmenetelmä, jossa valmistetaan kestumuovikappaleita tietokoneohjatuilla koneilla ja niihin liitetyillä erilaisilla oheislaitteilla. Prosessissa muoviraaka-aine eli granulaatti homogenisoidaan sulatussylinterissä lämmön avulla tasalaatuiseksi massaksi. Tätä kutsutaan plastisoinniksi. Sula polymeerimassa ruiskutetaan kovalla paineella sopivaksi temperoituun, yleensä teräksestä valmistettuun muottiin. Suljetussa muotissa muovi saa halutun muodon ja jäähtyy. Muotin avauduttua kappale poistetaan muotista.

Ruiskuvalu on monipuolinen ja nopea tapa valmistaa muovituotteita, varsinkin tuotantomäärien ollessa suuria. Hyvänä esimerkkinä on nykyaikainen auto, jossa ruiskuvaluttujen muoviosien, kuten puskurit, kojelaudat ja valoumpiot, määrä on ratkaiseva tuotannon tehokkuuden kannalta. Auton osien valmistusmenetelmänä ruiskuvalamalla valmistetut osat ottavat huomioon nykyaikaiset ympäristövaatimukset, kuten ruostumattomuuden, iskusitkeyden ja keveyden. [1.]

Ensisijaisesti ruiskuvalu on polymeerimateriaalien prosessointia varten. Polymeerilla tarkoitetaan lujasidoksista makromolekyyliä, joka on muodostunut kemiallisen reaktion kautta lähtöaineiden monomeereista. Polymeeri on keinotekoisesti eli synteettisesti valmistettu tai luonnossa esiintyvä suuri molekyylinen yhdiste. Muovin ominaisuudet voivat vaihdella hyvinkin paljon riippuen siitä, kuinka polymeerimolekyyli on muodostunut monomeereista. [2.]

Parhaimmillaan valmistetut kappaleet ovat suoraan käyttövalmiita, kun kappale tulee muotista ulos. Valuprosessilla voidaan valmistaa monia erimuotoisia ja ohutseinäisiä muovikappaleita. Yleensä ruiskuvalu valitaan valmistusmenetelmäksi, kun tuotantomäärät ovat suuria ja kappaleen valmistus ei onnistu muilla menetelmillä, joita ovat esimerkiksi rotaatiovalu, ekstruusio, puhallusmuovaus ja lämpömuovaus. [2.]

3 Ruiskuvaluprosessin prosessiparametrit

Ruiskuvaluprosessissa onnistuneen valukappaleen aikaansaaminen on monen muuttujan summa. Ruiskuvalukoneen säädöt ovatkin ratkaisevassa osassa valukappaleen ominaisuuksien kannalta. Prosessin aikana seurataan erilaisia paineita, aikoja, lämpötiloja ja nopeuksia, riippuen tietenkin mitkä parametrit on havaittu kriittisimmiksi prosessin kannalta. Ennen kuin mennään itse ruiskuvaluprosessiin, on hyvä käydä hieman läpi yleisimpiä parametreja.

3.1 Nopeudet

Ensimmäisenä on ruiskutusnopeus, joka säätelee ruiskutusvaihetta. Muotti tulisi saada täyttymään pienimmällä mahdollisella ruiskutuspainella. Muovi tulisi kuitenkin ruiskuttaa niin nopeasti kuin mahdollista, jotta muovin jähmettyminen ei ehtisi alkaa ennen kuin muotti on täynnä. Ruiskutusnopeudella on merkitystä kappaleen pinnanlaadun ja sisäisten jännitysten osalta. [2.]

Toisena on annostelunopeus, jota pystytään säätelemään ruiskutusyksikön sylinterissä olevan ruuvin pyörimisnopeudella eli annostelunopeudella. Nostamalla annostelunopeutta voidaan lyhentää annostelu-aikaa. Annostelunopeuskaan ei saa olla liian suuri, sillä se voi johtaa sulamattomiin muovigranulaatteihin ja näin ollen massan hajoamiseen. [2.]

3.2 Lämpötilat

Lämpötiloista tärkeimmät ovat sylinterin lämpötilat eri vyöhykkeillä ja muotin lämpötila. Tässä työssä tutkittiin sulamassan lämpötilaa ja sen tärkeyttä prosessin kannalta.

Sylinterin lämpötilan asettaminen on riippuvainen annoskoosta, kappaleen seinämävahvuudesta ja käytetystä materiaalista. Heikosti virtaavat materiaalit tarvitsevat suuremmat lämpötilat. [2.]

Muotin lämpötila vaikuttaa sykli aikaan ja tuotteen ominaisuuksiin. Esimerkiksi jos muotin lämpötilaa nostetaan yhdellä asteella, niin se pidentää työkierron kokonaisaika n. 2 %. Tämä pätee termoplastien tapauksessa. Termoplastiset muovit ovat uudelleen käytettäviä muoveja ja ne pehmenevät kuumennettaessa ja kovettuvat jäähdyttäessä. [2.]

Tuotteen ominaisuuksien kannalta muotin lämpötila vaikuttaa kutistumaan, sisäisiin jännityksiin eli vääntyilyyn, pintavirheisiin ja kiteisyysasteeseen ja kiteiden kokoon. [2.]

3.3 Ajat

Seurattavista ajoista tärkeimmät ovat jäähdytys- ja jälkipaineaika. Jäähdytysjakso alkaa välittömästi siitä hetkestä, kun massasula virtaa muottiin. Jäähdytysaika on niin pitkä, että kappale on riittävästi jäähtynyt ja saanut halutun muodon. Liian lyhyen jäähdytysajan jälkeen kappaleen poistaminen muotista saattaa aiheuttaa kappaleeseen muodonmuutoksia. Kun kappale poistetaan muotista, se joutuu poikkeavaan ympäristöön lämpötilaolosuhteiden muuttuessa ja jäähdytysjakson ollessa liian lyhyt jälkipaineen aiheuttamat jännitykset pääsevät purkautumaan vääntyilyn muodossa. Pitkä jäähdytysaika taas pienentää kappaleen kutistumaa. [2.]

Jälkipaineaika on siinä mielessä tärkeä, että jos jälkipaine ei vaikuta riittävän pitkään, kappaleen pintaan voi ilmestyä kuplia, epätasaisuuksia ja kappaleen kieroutumista. Jälkipaineajan suuruuteen vaikuttaa kappaleen muodot, varsinkin seinämäpaksuus, ja portin koko pesässä. [2.]

3.4 Paineet

Paineista yleisimmät ovat vastapaine, ruiskutusaine ja jälkipaine eli paineenvaihto ruiskutusaineelta jälkipaineelle. Ruuvien liikkeessä taaksepäin vastapaine vastustaa sitä auttaen samalla massan homogointia eli sekoittamista tasaiseksi sulamassaksi. Se myös edesauttaa sulattamista lisäämällä massan sisäistä kitkaa. Vastapaineen ollessa liian pieni sulamassa ei sekoitu ja sula tarpeeksi, jolloin massan seassa voi olla sulamattomia muovigranulaatteja. Vastaavasti liian suuri vastapaine voi nostaa muovisulan lämpötilaa liikaa ja näin ollen johtaa massan termiseen hajoamiseen. [2.]

Ruiskutuksen aikainen paine ei ole vakio. Asetettu ruiskutuspaineen arvo saavutetaan yleensä vasta, kun muotin täyttymisvaihe on loppuillaan. Ruiskutuspaineen on oltava riittävän suuri, jotta massaa saadaan virtaamaan riittävästi muotin täyttöä varten varsinkin ohutseinämaisillä kappaleilla, jotka vaativat pitkän virtausmatkan. [3.] [2.]

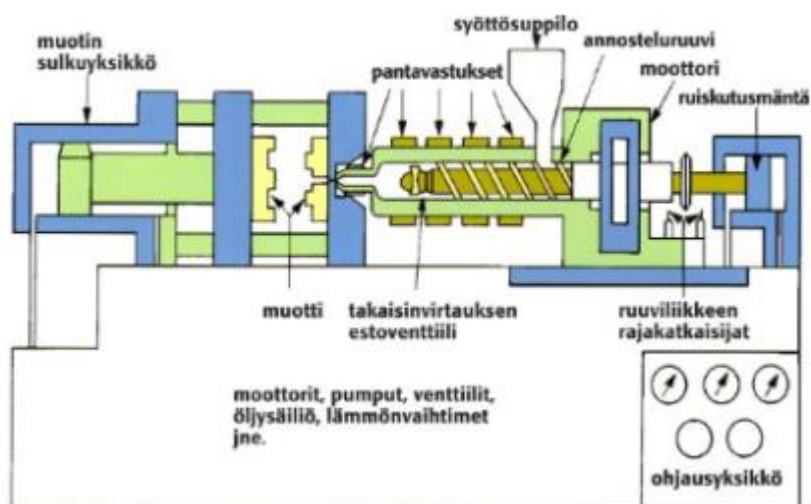
Jälkipaine on pesässä tapahtuvan massan termisen kutistumisen kompensointia varten jähmettymisen aikana. Ruiskutuspainelta jälkipaineelle vaihdon ajankohta on tärkeää, jos vääräaikainen vaihto saattaa johtaa kappaleen mittatarkkuusongelmiin, sisäisiin jännityksiin ja jännityssäröilyyn. Myöhästynyt paineenvaihto aiheuttaa painepiikin, joka saattaa vahingoittaa muottia ja aiheuttaa pursetta. Jos jälkipaineelle vaihto tapahtuu liian aikaisin, saattaa se aiheuttaa vajaan kappaleen ja erittäin hidas lopputäyttö voi johtaa kappaleen pinnan kosmeettisiin ongelmiin ja heikkoihin yhtymäsaumoihin. [3] [2.]

Jälkipaineelle vaihdon kohta määräytyy joko ruuvin matkasta, ruiskutusajasta, hydraulipaineesta tai muottipaineesta. Yleensä se on 40-80 % ruiskutuspainesta. [2.]

4 Ruiskuvalukone

Erlaisia ruiskuvalukonemalleja ja merkkejä on paljon. Pääosin ne erotellaan toisistaan niiden ohjaustekniikoiden perusteella, kuten nykyisin esimerkiksi täyssähköisiin ja sähköhydraulisiin koneisiin. [4.]

Yleensä ruiskuvalukoneet luokitellaan ruiskutuspaineen, sulkuvoiman, ruiskutusyksikön sylinterin koon, ruuvin koon ja annoskoon mukaan. Koneen rakenne jaetaan yleisesti viiteen eri osakokonaisuuteen (kuva 1), jotka ovat: sulkuyksikkö, ruiskutusyksikkö, ohjausyksikkö, hydrauliyksikkö ja runko. Hydrauliyksikköä ei luonnollisesti täyssähköisissä koneissa ole. [4.]



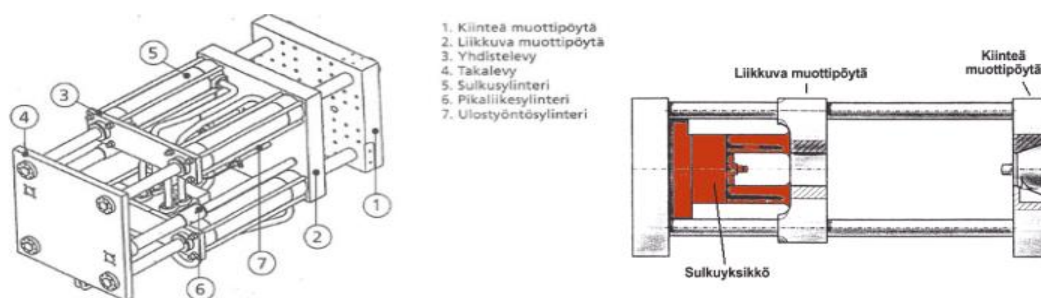
Kuva 1. Ruiskuvalukoneen osat. [5.]

Ruiskuvalukoneen kokoa ja suorituskykyä mitataan yleensä sulkuvoiman perusteella. Ruiskutuspainetta aiheuttaa muotin sisällä olevaan muovisulaan paine, joka pyrkii erottamaan toisiaan vasten painautuneet muottipuoliskot. Sulkuvoima on vastavoima tälle paineelle, ja se pitää muotin suljettuna ruiskutus- ja jälkipainevaiheen aikana. Sulkuvoimien suuruus vaihtelee muutamasta tonnista aina 10 000 tonniin asti.

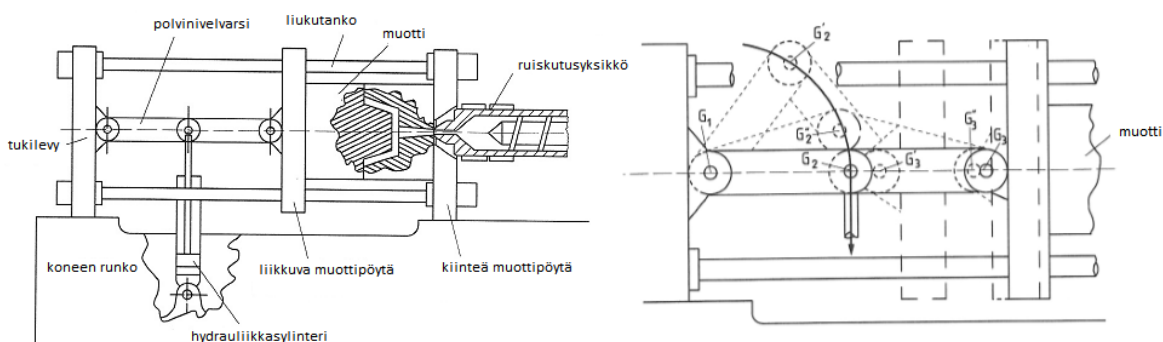
4.1 Sulkuyksikkö

Yleensä sulkuyksikkö on ruiskuvalukoneen kookkain osa. Sen päätehtäviin kuuluu mm. muotin sulkeminen ja sen pitäminen suljettuna eli sulkuvoiman muodostaminen ruiskutus- ja jälkipainevaiheen ajan. Vastaavasti sulkuyksikkö hoitaa myös muotin avaamisen ja kappaleen poistamisen ulostyöntäjien avulla työkierron lopussa. Lisäksi vaatimuksena on, että sulkuyksikön muottipöytien (kuva 2) väliin pitäisi saada nopeasti ja sulavasti vaihdettua muotti muotinvaihdon yhteydessä. Sulkuyksiköitä on olemassa erimallisia ja ne jaotellaan niiden toimintaperiaatteen mukaan:

- hydraulinen suorasulkujärjestelmä (kuvassa 2)
- polvinivelsulkujärjestelmä (kuvassa 3)
- mekaanis-hydraulinen järjestelmä



Kuva 2. Vasemmalla suorasulkujärjestelmän osat ja oikealla sulkuyksikön rungon kaaviokuva. [4.] [2.]



Kuva 3. Polvinivelsulkujärjestelmä. [6.]

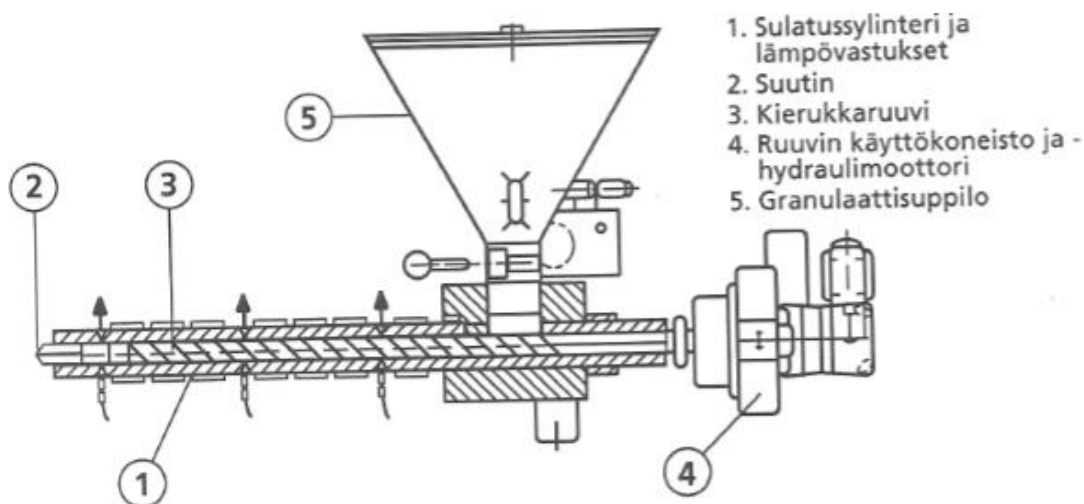
Kuten rakennekuvista tulee ilmi, sulkuyksikkö koostuu pääasiassa kolmesta levystä. Etulevy on kiinteästi kiinni ruiskuvalukoneen rungossa ja tähän levyyn kiinnitetään muotin kiinteä puolisko. Takalevy toimii sulkuyksikön toisena ankkurilevynä ja yleensä etu- ja takalevy on yhdistetty toisiinsa samansuuntaisesti olevalla liukujohteella. Näiden välille on kiinnitetty kolmas levy eli muottipöytä, johon kiinnitetään muotin liikkuva puolisko. Muottipöytä pystyy liikkumaan vapaasti poikittaissuuntaisesti etu- ja takalevyn välissä. Takalevyyn on kiinnitetty ulostyöntösylinteri, jolla ohjataan liikkuvan muottipöydän ulostyöntömekanismeja. Useimmissa ruiskuvalukoneissa on liikkuvaa muottipöytää tukeva polvinivelistö, joka myös tuottaa osaksi sulkuvoiman sulkusylinterin kanssa. [2.] [6.]

4.2 Ruiskutusyksikkö

Ruiskutusyksikön päätehtävät ovat muoviraaka-aineen vastaanottaminen kuivaimesta sylinteriin esim. raaka-aineimurin avulla, muoviraaka-aineen plastisointi halutun lämpöiseksi ja sen sekoittaminen homogeeniseksi massaksi, sekä sulan muovin ruiskutus muottipesiin halutulla nopeudella. Lisäksi ruiskutusyksikkö muodostaa jälkipaineen ja voiman ruiskutusyksikön suuttimen pitämiseksi tiiviisti muotin suutinta vasten. [4.]

Ruiskutusyksikön tärkeimmät osat ovat (kuva 4):

- syöttösuppilo tai siihen liitetty raaka-aineimuri
- sylinteri
- ruuvi
- sulkurengas
- suutin
- lämpövastukset

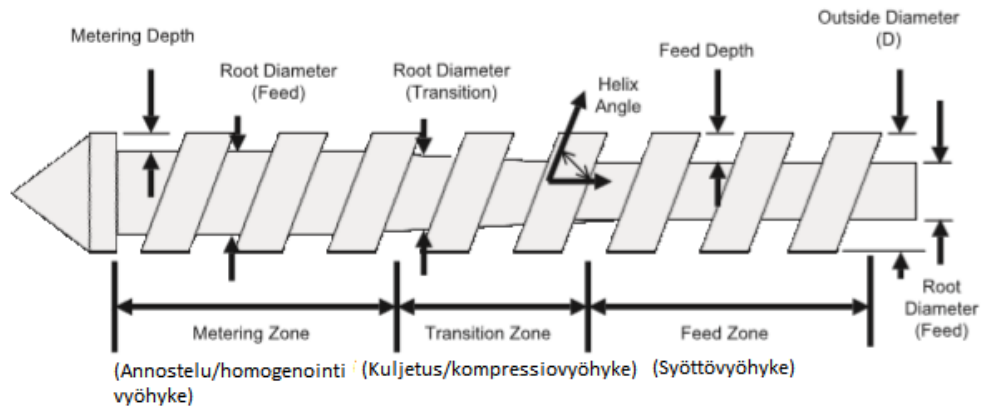


Kuva 4. Ruiskutusyksikön pääosat. [4.]

Sulatussylinteri ja kierukkaruuvi osineen ovat kaikki kuluvia osia. Eri muovilaadut kuluttavat osia enemmän kuin toiset, ja osien, esimerkiksi sulkurenkaan ja painerenkaan, kunto on hyvä tarkastaa tietyin väliajoin esimerkiksi huollon yhteydessä, kun kierukkaruuvi irrotetaan puhdistusta varten. Samaa muovilaatua käyttävien koneiden osien käyttöikä on kuitenkin arveltavissa käyttökokemuksen perusteella. [4.]

Syöttöyksikkö vastaa muovigranulaatin annostelusta sylinteriin. Syöttöyksikössä on yleensä supilon tilalla liitetty raaka-ainemuri, joka alipainepumppujen avulla imee raaka-ainetta putkistoa pitkin isommasta siilosta. Granulaatin siirtotapa riippuu pitkälti siitä, minkälainen raaka-aineen kuivausmenetelmä on käytössä. Keskuskuivausjärjestelmää käytettäessä juuri putkistoa pitkin tapahtuva raaka-aineen syöttö suoraan kuivaimesta tai siilosta on yleisin tapa. Syöttöyksikön yhteyteen voidaan myös liittää väriaineen syöttäjä, mikäli valukappaleelle halutaan tietty väri ja ei käytetä jo valmiiksi läpivärjättyä granulaattia. [4.]

Sulatussylinterin pääasialliset tehtävät yhdessä ruuvin kanssa ovat plastisoida muovi sulaksi ja sekoittaa se tasalaatuisiksi massaksi. Sylinterin sisällä olevalla ruuvilla on kuitenkin tärkein osa raaka-aineen plastisoinnissa ja sekoittamisessa. Ruuvi tuottaa pyöriessään suurimman osan raaka-aineen sulattamiseen tarvittavasta lämpöenergiasta, joka muodostuu granulaatin hankautumisesta aiheutuvan kitkan ansiosta. Ruuvin avulla voidaan myös määrittää muottiin ruiskutettava raaka-ainemäärä. Muovin sulattamisen lisäksi, ruuvi toimii myös mäntänä ruiskutettaessa muovisulaa muottipesiin. Ruuvimalleja on useita erilaisia, riippuen eri materiaaleista ja niiden tarpeista. [2.] [4.] Yleensä ruuvit on jaettu kolmeen vyöhykkeeseen, jotka on esitelty kuvassa 5.

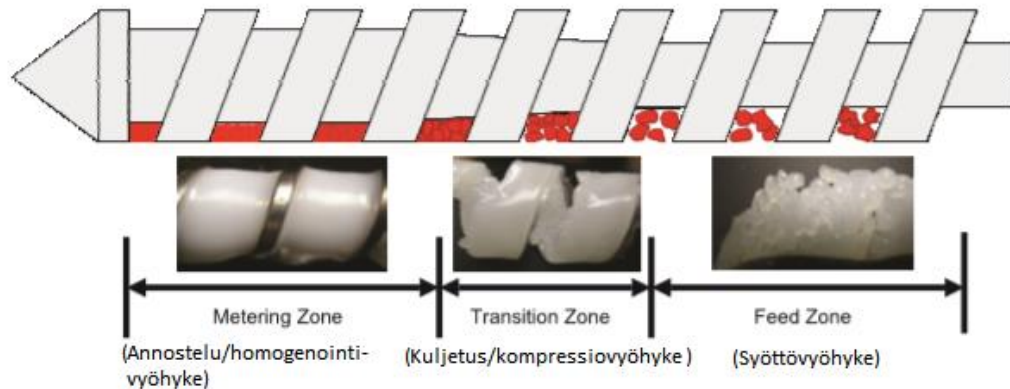


Kuva 5. Kierukkaruuvien vyöhykkeet. Metering Depth = annostelusyvyys. [7.]

Syöttövyöhyke ottaa vastaan muovigranulaatin syöttöyksiköltä ja alkaa pehmentää raaka-ainetta samalla kuljettaen sitä eteenpäin. Raaka-aine ei saa mennä täysin sulaksi syöttövyöhykkeellä, koska se estäisi ruuvia vastaanottamasta lisää raaka-ainetta ja liikkumasta taaksepäin seuraavan ruiskutusannoksen valmistelun yhteydessä. [7.]

Kompressiovyöhykkeellä ruuvien keskiosan säde kasvaa asteittain lähestyttäessä seuraavaa vyöhykettä. Näin ollen myös ruuvien urasyvyys pienenee pakottaen raaka-ainetta tiiviimpään tilaan. Ruuvien pyöriessä pehmentyneet raaka-ainepelletit puristuvat tiiviimmiksi ja samalla ilma poistuu. Hankautumisesta aiheutuvan kitkan ja sylinterin ulkoisten lämmitysvastusten avulla raaka-aine alkaa sulamaan tasalaatuisiksi massaksi lähestyttäessä viimeistä vyöhykettä. [7.]

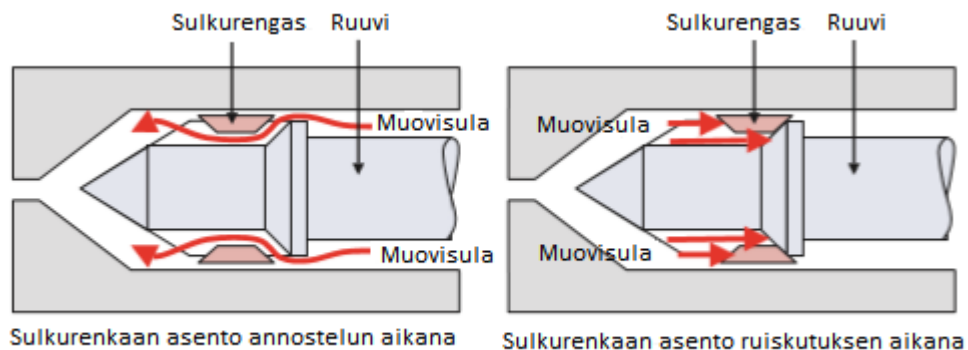
Annosteluvyöhyke on viimeinen vyöhyke ja lähinnä ruiskutussylinterin kärkeä. Keskiosan säde ja urasyvyys pysyvät vakiona. Urasyvyys (annostelusyvyys) on paljon pienempi verrattuna kahteen muuhun vyöhykkeeseen. Ruuvien liikkumista taaksepäin valmisteltaessa ruiskutettavaa raaka-aineannosta on tärkeää, että annostelusyvyys on ruuvissa mahdollisimman pieni. Näin vältetään ruiskutettavan muovisulan määrän vaihtelulta iskujen välillä. Annostelusyvyyden ollessa isompi ruuvien edessä oleva raaka-ainemäärä voi vaihdella ja näin ollen aiheuttaa ongelmia. Kuitenkin pienet urasyvyydet kasvattavat raaka-aineeseen kohdistuvia leikkausvoimia, joten kitkalämpö kasvaa ja raaka-aine voi vahingoittua. [7.] Kuvassa 6 on esitelty granulaatin olomuodot jokaisella vyöhykkeellä.



Kuva 6. Muovin olomuodot eri vyöhykkeillä. [7.]

Sylinterissä sijaitsevat lämmitysvastukset auttavat raaka-aineen sulattamisessa ruuvin ohella. Sylinterin lämmitys voi olla myös nestekierrolla toimiva, mutta nykyään sähköinen lämmitys on yleisempää sen helpon vaihdettavuuden, edullisuuden ja säädettävyyden vuoksi.

Ruuvin kärjessä sijaitsevalla sulkurenkaalla on tärkeä merkitys mm. annosmäärien vaihtelun suhteen. Annosteluvaiheessa sulkurengas siirtyy syrjään päästämällä sulaa massaa ruuvin eteen ja ruiskutusvaiheessa massan paine painaa renkaan kiinni ja näin estää massan takaisinvirtauksen samalla mahdollistaen ruuvin toimimisen mäntänä. [7.] Kuvassa 7 on havainnollistettu sulkurenkaan toiminta eri vaiheissa.



Kuva 7. Sulkurenkaan toiminta. [7.]

Sulkurenkaat kuluvat ajan myötä, ja sen seurauksena muovisulaa voi vuotaa sen läpi aiheuttaen ongelmia iskujen annosmäärissä, kuten esimerkiksi vajaita lopputuotteita.

Renkaat on hyvä tarkistaa tietyin määräajoin ja vaihdettava, jos tulee ilmi pientäkin vuotomahdollisuutta. [7.]

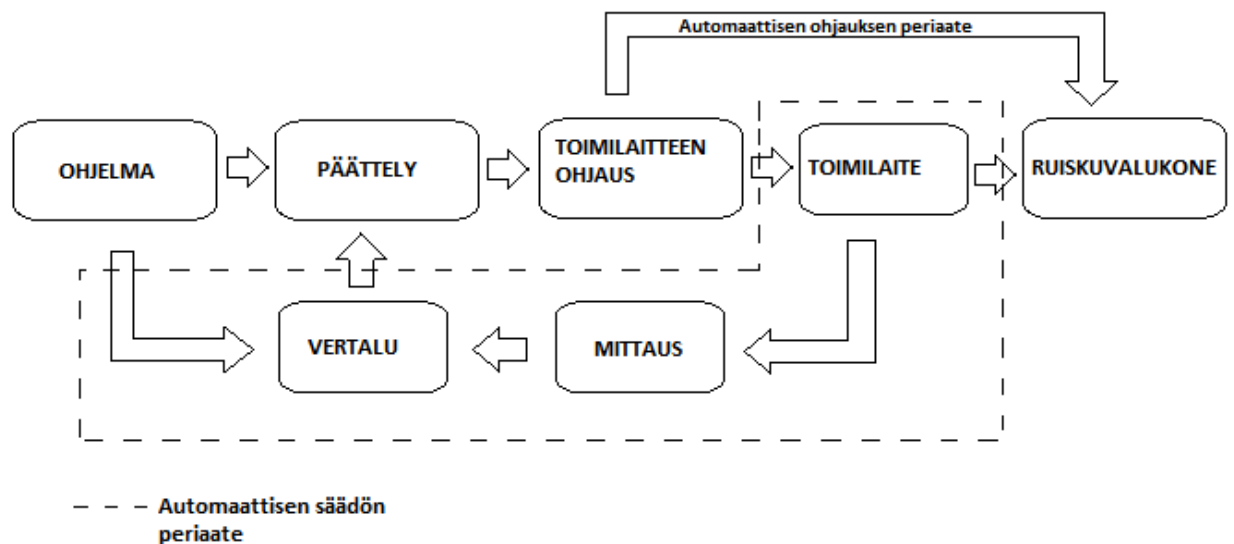
4.3 Ohjausyksikkö

Nykyään ruiskuvalukoneet ovat tällä hetkellä tietokoneohjattuja ja ohjaus tapahtuu ohjausyksikön avulla (kuva 8). Ohjausyksiköllä voidaan säätää, ohjata ja valvoa mm. muotin liikkeitä, asetettua sulkuvoimaa, ulostyönnön ohjausta ja mahdollisten keernatoimintojen oikea-aikaisuutta. Ruiskutusyksikön puolelta ohjausyksikön valvontaja säätötoimintoihin kuuluvat mm. annostelu, ruiskutus, vasta- ja jälkipaine, sylinterin lämpötila ja ruuvin liikkeet. Lisäksi ohjausyksikön tehtäviin kuuluu ruiskuvaluprosessin jaksoajan valvominen, vianetsintä, parametrien toleranssialueilla pysymisen valvonta ja mahdollisten lisälaitteiden ohjaus, kuten muotin temperointilaitteiden ja robottien ohjaus. Ohjausyksiköllä voidaan toteuttaa graafisia esityksiä tietyistä parametreista prosessin aikana ja muodostaa raportteja prosessin kulusta. Edelleen ohjausyksiköllä toteutetaan myös eri prosesseille olevien ohjelmien tallennus, raportoinnit ja tilastollinen laadunvalvonta (SPC, Statistical process control). [4.]



Kuva 8. Arburgin valmistaman ruiskuvalukoneen ohjausyksikön pääte. [8.]

Ruiskuvaluprosessia valvotaan yleensä toleranssivalvonnalla. Toleranssivalvonnassa prosessin kannalta kriittisille mitattaville ja seurattaville parametreille asetetaan rajat, jotka ylittämällä tai alittamalla kone ilmoittaa häiriöstä ohjausjärjestelmän näytöllä ja häiriövalolla. Joissakin tapauksissa kone myös pysähtyy, jos sallitulle toleranssialueelle ei palata. Ruiskuvalukoneet eroavat toisistaan myös ohjausteknisesti eli onko kone ohjaava vai säätävä (kuvassa 9). [4.]



Kuva 9. Automaattisen ohjauksen ja automaattisen säädön periaatteet.

Automaattisessa ohjauksessa ohjelma tekee päättyt koneen toiminnoista ja antaa toimintakäskyt sen mukaan, esimerkiksi hydraulisynterin ohjausjärjestelmälle. Ohjauksella ei ole havaintoja itse kappaleista. [4.]

Automaattisessa säädössä ohjelma periaate on sama kuin automaattisessa ohjauksessa, mutta toimilaitteelta otetaan nyt takaisinkytkennällä mittausta esimerkiksi jälkipaineesta ja verrataan sitä asetettuun arvoon. Vertailutuloksen perusteella päätellään, tarvitseeko esimerkiksi jälkipaine säätää ja säätää toimilaitetta tarpeen mukaan. [4.]

4.4 Hydrauliyksikkö

Kuten aiemmin todettiin, täyssähköisissä ruiskuvalukoneissa ei ole hydrauliyksikköä. Sähköhydraulisissa koneissa hydrauliyksikön päätehtävä on liikkeen aikaansaaminen hydraulisten toimilaitteiden, kuten hydraulisynterin tai hydraulimoottorin avulla.

Hydraulisia toimilaitteita ohjataan ohjausyksikön avulla, joka esimerkiksi antaa käskyn ohjausventtiilille, joka ohjaa sulkusylinteriä. [4.]

Hydrauliyksikkö sisältää mm. sähkömoottorin, kytkimen, säätö- ja ohjausventtiilit, hydraulimoottorit, hydraulipumpun, sylinterit, tarvittavat suodattimet ja hydrauliikkaöljysäiliön. Ruiskuvalukoneiden hydrauliikkajärjestelmän paine on yleensä välillä 14–20 MPa eli noin 140–200 bar. [4.]

4.5 Runko

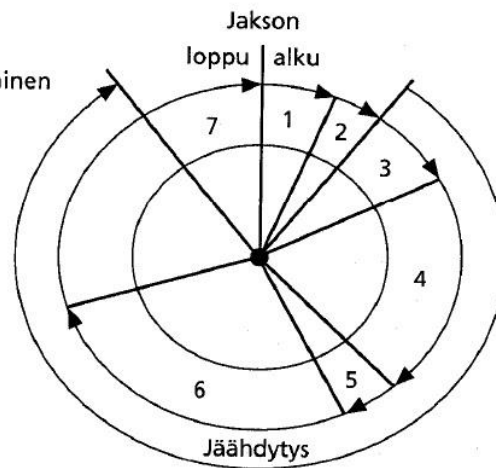
Ruiskuvalukoneen rungon on oltava jyrä ja raskarakenteinen, jotta se kestää liikkeiden ja voimien, mm. sulkuvoiman, aiheuttamat rasitukset. Suuremmilla koneilla sulku- ja ruiskutusyksikön rungot ovat erillisiä osia, jotka on kiinnitetty tukevasti toisiinsa. Rungon alla on konekengät, joita säätämällä ruiskuvalukone tasapainotetaan alustalleen asennettaessa. Tasapainotus myös tarkastetaan tietyin väliajoin. [4.]

5 Ruiskuvaluprosessi

5.1 Työkierto ja vaiheet

Ruiskuvaluprosessi koostuu eri vaiheista, jotka tapahtuvat osittain tai kokonaan rinnakkain. Yksi työkierto tarkoittaa sitä, kun kaikki vaiheet on käyty läpi ja valmis kappale tai kappaleet, riippuen muotin pesien määrästä, tulee muotista ulos. Kuvassa 10 on kuvattu prosessin yksi työkierto. Prosessin jaksonaika on yhden työkierron toteutukseen kuluva aika.

1. Muotin sulkeminen
2. Ruiskutusyksikön liike eteen
3. Ruiskutus ja jäähdytyksen alkaminen
4. Jälkipaine
5. Ruiskutusyksikön liike taakse (yleensä automaattijolla ei käytössä)
6. Annostus ja plastisointi
7. Muotin aukaisu ja kappaleen ulostyöntö



Kuva 10. Ruiskuvaluprosessin työkierto. [4.]

5.2 Muotin sulkeminen

Muotin sulkemisliike on alussa nopea, mutta se hidastuu lopussa muotin jakopintojen ollessa lähempänä toisiaan. Sulkeutumisen tuleekin tapahtua jouhevasti ja nopeasti, kuitenkin muottipuoliskojen kolahtamatta toisiinsa. Sulkuvoimalla tarkoitetaan voimaa, jolla muottipuoliskojen jakopinnat puristuvat toisiaan vasten. Ruiskuvalukoneet myös luokitellaan sulkuvoiman perusteella. [4.]

5.3 Ruiskutusyksikön liike eteen

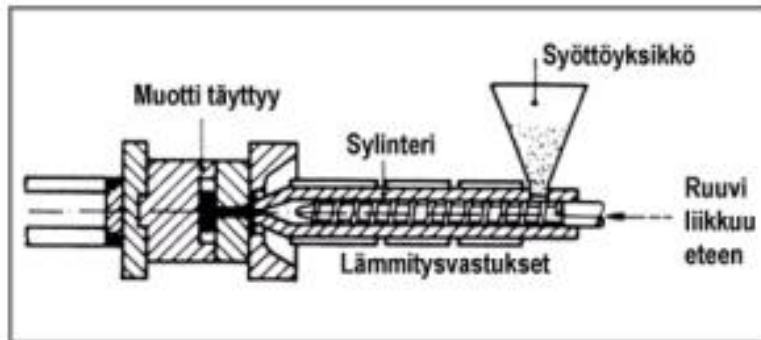
Ruiskutusyksikön sulatussylinterin suutin ajetaan muotin suutinta vasten, jolloin sula polymeerimassa pääsee virtaamaan ruiskutuksen aikana muotin virtauskanavien kautta muottipesiin. Suuttimen asettaminen muotin suutinta vasten toteutetaan yleensä vain ensimmäisellä työkierrolla, eikä automaattiajolla sylinteriä irroteta muotista muuten kuin vikatilanteissa. Näin myös vältetään muotin ja ruiskutusyksikön suuttimien ylimääräistä kulumista. [4.]

5.4 Ruiskutus eli muotin täyttö

Täyttövaihe on ruiskuvaluprosessin tärkein vaihe. Sulan massan tulisi jäähtyä mahdollisimman tasaisesti, ja tämän vuoksi täyttymisen tulisi tapahtua käytännössä niin nopeasti kuin mahdollista. Sulan massan lämpötilassa tapahtuu nopeita muutoksia, kun se koskettaa muotin seinämiä, varsinkin ohuen seinämävahvuuden omaavissa kappaleissa. [4.]

Neljä keskeisintä parametriä ruiskutusvaiheessa ovat ruiskutuspainne ja -nopeus ja jälkipaineelle vaihdon ajoitus ja jälkipaineen suuruus. Ruiskutuspainneelta jälkipaineelle vaihdon kohtaa kutsutaan vaihtopaineeksi.

Ruiskutusvaiheessa ruiskutusyksikön sylinterin kierukkaruuvi toimii mäntänä, joka liikkuessaan eteenpäin työntää muovimassaa kovalla paineella ja nopeudella muottipesiin, joka on havainnollistettu kuvassa 11. Massan tulisi jäähtyä muotissa yhtä pitkän ajan ja tasaisesti, jotta saataisiin laadultaan hyviä ja mittatarkkoja kappaleita. Kuten edellä mainittiin, tästä syystä muovisula ruiskutetaan muottiin mahdollisimman nopeasti ja käytännössä ruiskutusnopeus on määräävä tekijä eikä ruiskutuspainne. Ruiskutuspainne on oltava kuitenkin tarpeeksi suuri, jotta haluttu täyttymisaika saavutetaan. Vaikka ruiskutusnopeuden hallinta on tärkeää, on se usein hankalaapienten kappaleiden lyhyiden ruiskutusaikojen vuoksi. Pienimmillä kappaleilla ruiskutusajat voivat olla jopa alle 0,1 s. Ruiskutusaikojen ollessa sekuntien luokkaa voidaan käyttää paineen profilointia ajan suhteen. Kierukkaruuvien kärjessä on sulkurengas, joka toimii takaisinvirtausventtiilinä estäen muovisulan virtaamisen taaksepäin sylinterissä ruiskutuksen aikana. [2.] [4.]



Kuva 11. Ruiskutusvaihe. [4.]

5.5 Jälkipaine eli pitopaine

Jälkipainetta tarvitaan ruiskutusvaiheen jälkeen ja sen on tarkoitus työntää jähmettymisestä aiheutuvan kutistuman verran lisää muovisulaa muottiin. Ruiskutuksen aikana muotin pesän tilavuudesta täytetään n. 95 % ja jälkipaineen avulla myös kutistuman kompensoinnin lisäksi täytetään loput pesän tilavuudesta.

Kierukkaruuvi aiheuttaa jälkipaineen työntymällä pyörimättä hyvin hitaasti eteenpäin. Jälkipaineella on todella suuri vaikutus tuotteen laatuun ja mittatarkkuuteen. Jos jälkipainetta ei käytetä tai se on epätasainen eri työkiertoilla, kappaleeseen voi tulla imuja, onteloita ja pieniä reikiä. Myös kappaleen paino ja mitat voivat muuttua niin paljon, että lopullinen kappale olisi käyttökelvoton. Toisaalta liian suuri jälkipaine aiheuttaa kappaleeseen pursetta, kieroutumista, kappaleen haurautta ja sisäisiä jännityksiä, joiden seurauksena kappale voi vääntyillä vielä pidemmänkin ajan kuluttua valmistamisesta. [2.] [4.]

5.6 Jäähdytys

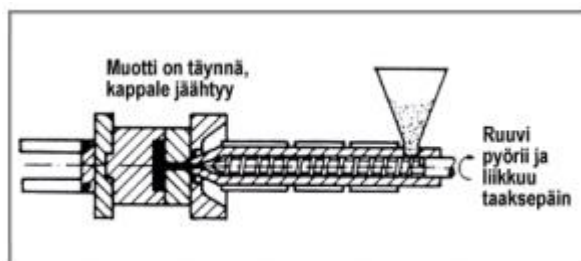
Työkierron pisin vaihe ajallisesti on jäähdytys. Jähmettyminen alkaa heti kun ruiskutusvaiheessa kuuma muovisula koskettaa muottipesän pintaa eli jäähdytys tapahtuu osin yhtä aikaa ruiskutusvaiheen kanssa. Muotin seinämien kautta lämpö siirtyy

muovisulasta pois ja kappale alkaa saada pysyvän muotonsa. Suuntaa antava jäähdytysaika voidaan laskea kaavasta $t = s^2 \cdot 2$, jossa t on jäähdytysaika sekunneissa ja s on kappaleen seinämän paksuus millimetreinä. [4.] Taulukossa 1 on esitetty neljän eri muovin minimijäähdytysaikoja. Yleensä raaka-aineen toimittajilla on tuotteissansa merkitty tietyille muoveille jäähdytysajat.

Taulukko 1. Neljän eri muovin minimijäähdytysaikoja. Työssä käytettiin polypropeenaa (PP).

Kappaleen max. Seinämä (mm)	ABS	PE-LD	PP	PS
1,0	2,9	3,5	4,5	2,9
1,5	5,7	6,6	8	5,7
2,0	9,3	10,6	12,5	9,3
2,5	13,7	15,2	17,5	13,7

Kappaleen tulisi jäähtyä mahdollisimman tasaisesti, jotta voitaisiin välttää kappaleeseen syntyviä imuja, jännityksiä ja huokosia. Jäähdytysaikaa asetettaessa on otettava huomioon kappaleen seinämäpaksuus, sallittu ulostyöntölämpötila, muotin lämpötila ja lämmönjohtavuus, raaka-ainetyyppi ja sen lämmönjohtavuus sekä muovin lämpösisältö. [2.] Kuvassa 12 on havainnollistettu jälkipaine- ja jäähdytysvaihe. Samalla alkaa seuraava vaihe.

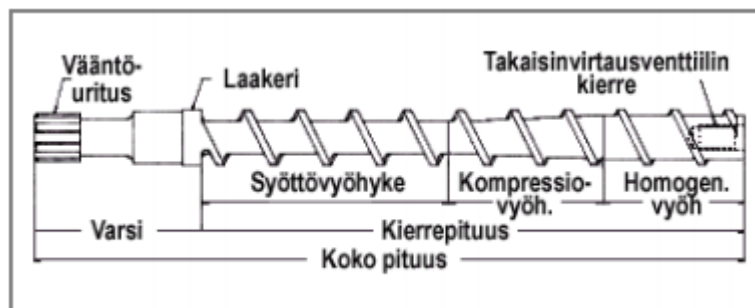


Kuva 12. Jälkipaine ja kappaleen jäähdytys. Seuraava vaihe alkaa. [4.]

5.7 Annostelu ja plastisointi

Jälkipainevaiheen päätyttyä ruiskuvalukone aloittaa uuden raaka-aineannoksen valmistelun eli plastisoinnin jäähdytysvaiheen aikana. Yleensä ei puhuta sulatuksesta, koska muoveilla ei ole selvää sulamispistettä.

Annostelun aikana kierukkaruuvi (kuvassa 13) pyörii liikkuen samalla taaksepäin ja samalla siirtyy asetetun annosmäärän verran muovisulaa kierukkaruuvien eteen. Samanaikaisesti muovisula sekoittuu ja homogenoituu tasaiseksi massaksi.



Kuva 13. Ruiskuvalukoneen ruuvi ja vyöhykkeet. Yleensä ruuvi jaetaan kolmeen vyöhykkeeseen. Syöttövyöhyke tiivistää ja kuljettaa raaka-ainetta eteenpäin, kompressiovyöhykkeellä raaka-aine sulaa ja homogenoitivyöhykkeellä sulatettu massa sekoittuu mahdollisimman tasalaatuiseksi. [2.]

Granulaatti sulaa plastisointivaiheessa lämmitysvastuksien ja kierukkaruuvien pyörimisestä aiheutuva kitkan vaikutuksesta, joka saadaan aikaan vastapaineella. Annosteluvaiheessa kierukkaruuvien pyöriessä syntyy ruuvien etupuolelle muovisulan aiheuttamia voimia, jotka työntävät ruuvia taaksepäin. Jotta plastisointi onnistuisi hyvin, täytyy kierukkaruuvien perääntymistä hidastaa vastapaineella. Vastapaineella voidaan vaikuttaa muovisulan homogeenisuuteen, käyttäytymiseen ja sekoittumiseen. Automaattiajossa kitkalämmön osuus sulattamiseen tarvittavasta lämmöstä on n. 75 % ja lämmitysvastuksien loput 25 %. "Sulatustehoa" voidaan kasvattaa nostamalla sylinterin lämpötiloja tietyissä rajoissa, koska liian korkeat lämpötilat nostavat jaksonaikaa ja voivat myös vahingoittaa raaka-ainetta ja sen ominaisuuksia. [2.] [4.] Taulukossa 2 on muutamien muoviraaka-aineiden sylinterilämpötiloja. Sylinterin lämpötilaprofiili asetetaan kuitenkin yleensä muovigranulaatin maahantuojan ohjeiden mukaisesti.

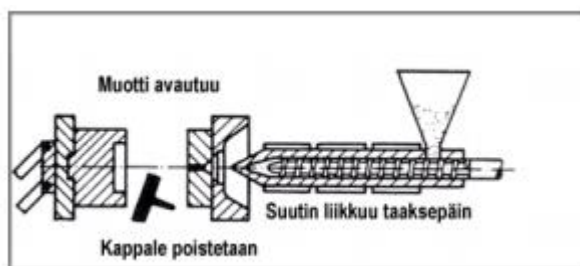
Taulukko 2. Eri raaka-aineiden sylinterilämpötiloja.

Nimi	Lyhenne	Sylinterilämpö takana °C	Sylinterilämpö edessä °C	Suuttimen lämpötila °C	Sulalämpötila °C
Polypropeeni	PP	220	220	220	202 - 252
Polykarbonaatti	PC	280 - 300	280 - 320	280 - 300	280 - 300
Akryylibutadienistyreeni	ABS	200 - 230	210 - 240	220 - 250	220 - 250
Polyamidi	PA 6	220 - 260	240 - 280	240 - 280	240 - 280

Annosmatkan eli annostusmäärän on vastattava kappaleen painoa, ja tällöin myös on otettava huomioon jälkipaineen aikana tapahtuvasta kutistumisesta johtuva määrä. Yleensä ruiskutusvaiheessa jätetään ”raaka-ainetyyny” ruuvien etupuolelle. Se on raaka-ainemäärä, joka jää ruiskutusvaiheen jälkeen suuttimen ja kierukkaruuvien väliin. Tyynyn avulla varmistetaan, että muovisulaa jää riittävästi jälkipainevaiheen ajaksi ja se toimii myös eristeenä ruuvien ja muotin välillä. Yleensä tyynyn matka on noin $0,1 \cdot$ annosmatka tai 20 % ruuvinhalkaisijasta. [4.]

5.8 Muotin aukaiseminen ja kappaleen poistaminen

Jäähdytysajan jälkeen, kappaleen ollessa tarpeeksi jähmettynyt ja luja kestämään ulostyönnön, muottipuoliskot voidaan avata joustavasti, mutta nopeasti. Kappale jätetään yleensä liikkuvaan muottipuolikkaaseen, koska koneen liikkuvassa muottipöydässä sijaitsee ulostyöntömekanismi. Kappaleen ulostyöntö voidaan suorittaa jo avauksen aikana tai vasta sen jälkeen, kun kappale on tarpeeksi jäähtynyt. [4.] Kuvassa 14 on muotin aukaisu.



Kuva 14. Muotin avaaminen ja kappaleen ulostyöntö. [4.]

Muotin avausmatka täytyy asettaa sellaiseksi, että kappaleen poisto onnistuu ongelmitta. Avausmatkassa huomioon otettavia asioita ovat mm. kappaleen koko, ulostyöntäjien

liikematka eteen ja kappaleen poimivan robotin liikeradat. Ulostyöntömekanismin liikkeen pituus asetetaan yleensä niin, että mekaanisiin ääriasentoihin ei tarvitsisi mennä. Tämä säästää ruiskuvalukonetta ja muottia turhalta rasitukselta ja myös ulostyöntö sujuu sulavasti ilman mekaanista kosketusta. [4.] Myöhemmin perehdytään tarkemmin muotin ominaisuuksiin ja ulostyöntöjärjestelmään.

6 Ruiskuvalumuotti

Muotti on yksi tärkeimmistä osatekijöistä ruiskuvalukappaleen valmistuksessa. Jokaiselle tuotteelle on valmistettava oma muotti, oli muotti yksi- tai monipesäinen. Muotin pesän tai pesien on oltava kappaleen muotoinen ja valmistuksessa on huomioitava kappaleen kutistuminen pesän kokoa määriteltäessä. Eli pesän on oltava muovin kutistuman verran kappaleen lopullisia mittoja suurempi. Muotti määrittelee melko pitkälti kappaleen lopullisen laadun, joten ruiskuvalukappale ei ole koskaan muottia parempi. Tämän vuoksi muotti vaatii korkeatasoisen valmistuksen lisäksi myös säännöllisen ja tarkan huollon. Riippuen muotista ja sen toiminnoista, muotin valmistus on kallista. Suurten monipesäisten kuumakanavamuottien valmistus voi maksaa jopa enemmän kuin pieni ruiskuvalukone. [4.]

Muotin päätehtäviin kuuluu:

- muovisulan vastaanottaminen
- antaa kappaleelle muoto
- muovisulan jäähdytys
- jäähtyneen kappaleen poisto muotista.

Muotin toissijaisiin tehtäviin kuuluu:

- kestää siihen vaikuttavat voimat
- siirtää liikettä
- ohjata muotin liikkuvia osia. [4.]

6.1 Muotin rakenne ja toiminta

Suurien kappaleiden muotit ovat yleensä yksipesäisiä ja vastaavasti jos valmistetaan paljon pieniä kappaleita, on muotti yleensä monipesäinen. Muotti on käytännössä paineastia, jonka on kestävä jopa 200 MPa:n paine. Tästä syystä muotti valmistetaan tavallisesti työkaluteräksestä, erilaisilla työstömenetelmillä. Muottien kustannukset ovat korkeita niiden mittatarkkuuksien vuoksi. [2.] [4.]

Tässä käydään läpi muotin rakenteen ja toiminnan peruseriaatteet, ja myöhemmin paneudutaan syvällisemmin muotin temperointiin liittyviin asioihin.

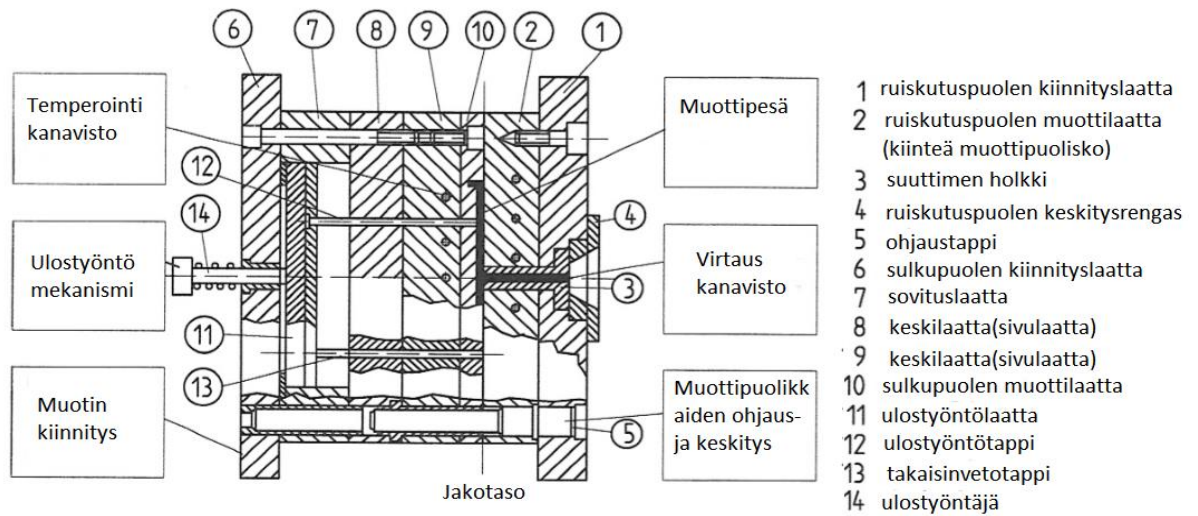
Muotin toiminnalliset osat jaetaan yleensä seuraaviin ryhmiin:

- kuuma- / kylmäkanavisto
- kappaletta muovaavat osat (pesät)
- temperointi- ja jäähdytyskanavat
- kappaleen ulostyöntömekanismit

Yksinkertaisimmillaan muotti koostuu kahdesta muotti- ja kiinnityslaatasta, ulostyöntölaatoista, kahdesta sivulaatasta ja laattojen ohjauksista. Erityisesti monipesäiset muotit koostuvat yleensä useammista laatoista. Useiden päällekkäisten laattojen avulla voidaan mahdollistaa esimerkiksi eri materiaaleista valmistettävien pistimien ja inserttien käyttö. Laattojen avulla muotti voidaan myös sovittaa eri sulkumatkoille riippuen ruiskuvalukoneesta. [9.]

Muottien ja niillä valettavien tuotteiden laajan valikoiman vuoksi myös muotteja on paljon erilaisia. Kuvassa 15 on kuvattu muotin peruselementit. Eroavaisuuksista huolimatta ruiskuvalumuotit valmistetaan yleensä standardimuottipakettiin ja niiden on täytettävä tietyt ehdot. Muotti on pystyttävä kiinnittämään ruiskuvalukoneen sulkuyksikköön ongelmitta. Kiinnityksen yksinkertaistamiseksi ja yhteensopivuuden varmistamiseksi muotin suuttimen holkin ja ruiskutusyksikön suuttimen kärjen välillä, muotteihin on saatavilla soviterenkaita (kuvassa 15, kohta 4). [6.] [9.]

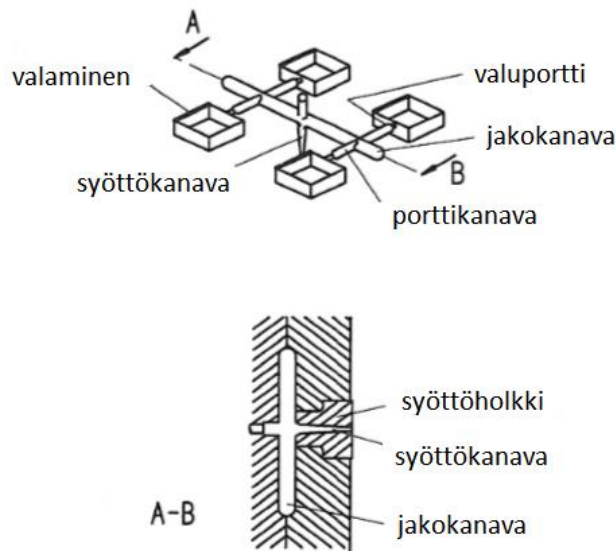
Myös muotin laattojen täytyy olla yhteensopivia ja niiden on oltava helppo irrottaa ja liittää uudestaan toisiinsa.



Kuva 15. Ruiskuvalumuotin osat. [10.]

6.2 Valukanavisto

Ruiskuvalumuoteissa on kaksi kanavavaihtoehtoa, kylmäkanava tai kuumakanava. Tässä esitellään ensin kanaviston peruseriaatteet ja perehdytään enemmän kuumakanavistoon. Kanaviston (kuva 16) tehtävänä on ottaa vastaan sula raaka-aine suuttimelta ja kuljettaa se muottipesään, tai monipesäisessä muotissa jaella raaka-aine muottipesiin.



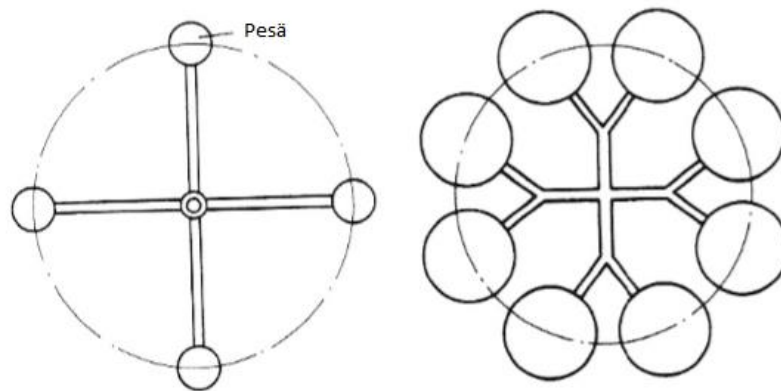
Kuva 16. Esimerkki normaalikanavasta monipesäisessä muotissa. [6.]

Ruiskutuksen aikana ruiskutusyksikön suutin on kiinni syöttöholkissa ruiskuttaen muovisulaa syöttökanavaan. Muotin ollessa monipesäinen muovisula virtaa jakokanavistoa pitkin porttikanavistolle ja valuporteille jatkaen siitä pesiin. Jakokanavia ja pesiä erottava valuportti on tietyllä tavalla mitoitettu ja muotoiltu aukko, joka johtaa muottipesään. Valuportti (syöttöportti) minimoi kappaleeseen syntyvän syöttöjäljen ja antaa lisälämpöä muovisulaan kitkan vaikutuksesta, koska muovisula kerkeää hieman jäähtyä kulkiessaan kanavistoa pitkin. [6.]

Muottia suunniteltaessa portin sijoittamisella pesään nähden on tärkeä rooli kappaleen laadussa. Jos portti on sijoitettu siten, että pesä ei täyty tasaisesti, vaan muovisula pääsee virtaamaan mielivaltaisesti, voi kappaleen pintaan ilmestyä saumoja. Saumat eivät ole ainoastaan kosmeettinen haitta, vaan ne myös heikentävät kappaleen mekaanisen rasituksen kestävyttä. Syöttöportti sijoitetaan yleensä kohtaan, jossa kappaleen seinämävahvuus on suurin, koska kappale kutistuu jäähtymisen aikana synnyttäen tilaa portin kohdalle. Näin ollen kutistuman kompensointi on helpompaa syöttämällä lisää muovisulaa pesään jälkipaineen aikana. Kuumakanavistossa porttien sijainti voidaan optimoida parhaiten, koska muovia voidaan juoksuttaa pitkiäkin matkoja ja painehäviöt voidaan minimoida. [6.]

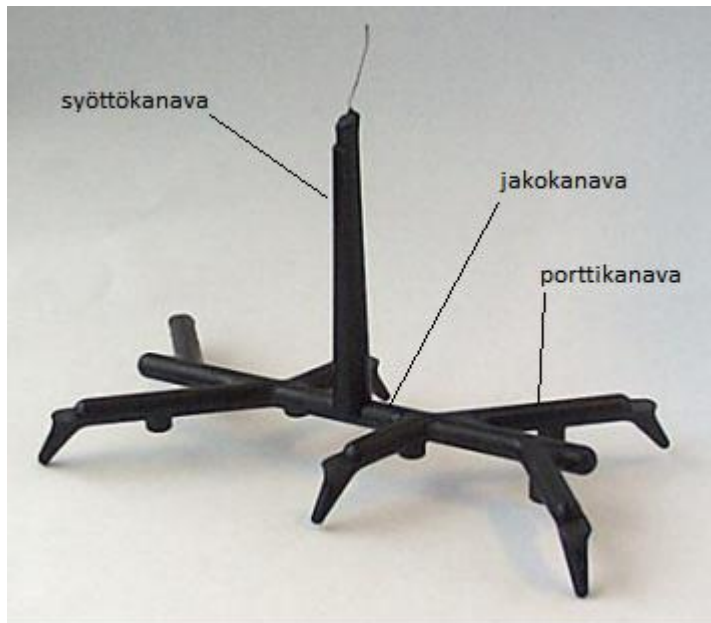
Monipesäisessä muotissa kanavisto on suunniteltava niin, että kaikki pesät täyttyvät samanaikaisesti ja yhtä tasaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaisen pesän täyttymiseen kuluu sama aika, syötetään samalla paineella ja sula raaka-aine on saman lämpöistä.

Muuten iskujen välinen laatu voi vaihdella ja ilmentyä esimerkiksi vajaina kappaleina. Näiden seikkojen vuoksi kanavisto tulisi suunnitella yleensä niin, että syöttökanavan ja pesien välinen matka on yhtä pitkä (kuva 17). Aina tämä ei ole mahdollista valmistettavan kappaleen muodon ja koon vuoksi. Varsinkin suuret kappaleet vaativat useamman kuin yhden syöttöportin ja siitä johtuen erilaisia kanavien pituuksia. Tällaisissa tapauksissa on mietittävä, valitaanko kuuma- vai kylmäkanavisto. [6.]



Kuva 17. Esimerkki pesien sijoittelusta, jossa kanavien pituudet ovat yhtä suuria. [10.]

Kuumakanavistossa kanavisto on lämmitetty. Se koostuu erillisistä osista, kuten lämmitysvastuksista ja suuttimista ja se on integroitu kiinteään muottipuoliskoon, muottilaatan taakse. Kuumakanavistossa muovisula pysyy koko ajan sulana ja sitä voidaan pitää kanavistossa ennen pesää olevan syöttöportin suuttimen takana odottamassa seuraavaa iskua. Raaka-aine voidaan syöttää suoraan pesiin, ja sen ansiosta raaka-ainehävikki on pienempi, koska enää ei tarvita raaka-ainetta täyttämään erillistä jakokanavistoa. Myöskään kylmäkanavistosta syntyvää ”jöötiä” (kuvassa 18) eli kanavistosta aiheutuvaa muoviosaa ei tarvitse poistaa lopputuotteesta. [11.]

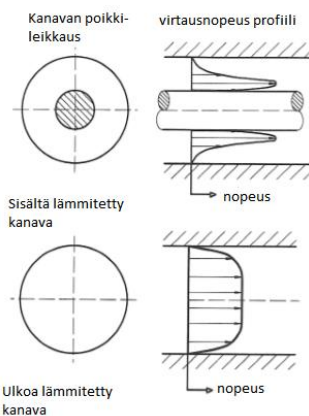


Kuva 18. Kylmäkanavistosta hukkaan menevä muoviosa eli "jööti". [12.]

Kuumakanavan hyödyt verrattuna kylmäkanavaan ovat:

- lyhyempi jakson aika
- parempi tuotteiden laatu
- pienempi sulkuvoima (paine kohdistuu ainoastaan pesiin).
- raaka-aineen vähäisempi hävikki
- pienemmät painehäviöt

Kuumakanavat luokitellaan lämmitystavan perusteella eristettyyn tai lämmitettävään kanavistoon, jossa taas on kaksi eri toteutusvaihtoehtoa (kuvassa 19): sisältäpäin lämmitettävä kanava tai ulkoapäin lämmitettävä kanava. [11.]



Kuva 19. Kuumakanavatyypit. [6.]

Kuumakanavistojen rakenteita ja erilaisia järjestelmiä on olemassa todella monta, joten rakenteen yksiselitteinen kuvaus on vaikeaa. Yleisesti kuitenkin sisältäpäin lämmitetty kanavisto koostuu kahdesta sisäkkäin olevasta putkesta, jossa sisemmässä putkessa on lämmityselementti ja ulommassa putkessa kulkee sula muovi. Samalla muovi toimii eristeenä muotin ja lämmityselementin välillä vähentäen lämpöhäviötä.

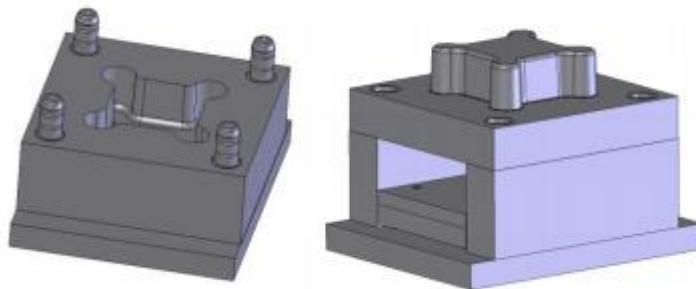
Ulkoa lämmitetyssä kanavistossa on eristetty ja lämmitettävä jakotukki, jossa sula muovi virtaa. Eristetyssä rakenteessa jakokanavien halkaisijat ovat suuret ja kanava eristyy muottilaatasta, kun muovisula virtaa sen läpi ensimmäisten syöttöjaksojen aikana. Alussa muovi jähmettyy kanavan seinämiin, mutta jokaisen raaka-aine-erän kuitenkin pitäisi säilyttää kanava avoimena. [6.]

Kuumakanavistossa on lukuisten etujen lisäksi myös haittapuolia. Kuumakanavistomuotti on kallis valmistaa, joten se on kannattavampi vain suurille tuotantomäärille. Se myös vaatii tehokkaan lämmönsäätöjärjestelmän. Ruiskuvalukoneen ylös ajaminen ja tuotannon aloittaminen on hitaampaa ja vaatii enemmän ammattitaitoa kuumakanavamuotilla varustetussa ruiskuvalukoneessa. Kuumakanavistot ovat myös alttiita vaurioille, kuten esimerkiksi kulumiselle ja lämmityselementtien rikkoutumiselle. Lämpötilojen optimointi ja vaihtelu kanavistossa saattavat myös vahingoittaa raaka-ainetta; esimerkiksi liian lämpimässä raaka-aine voi palaa. Kuumakanavamuotissa myös muotin lämpölaajeneminen on otettava huomioon. Luonnollisesti myös energiankulutus on suurempi lämmityslaitteiston vuoksi. [6.] [11.]

Yleisesti kuitenkin kuumakanaviston hyödyt ovat haittoja suuremmat ja se maksaa itsensä takaisin ajan saatossa, kun vain kunnossapidosta huolehditaan ja käyttäjät ovat ammattitaitoisia.

6.3 Muottipesä ja keernat

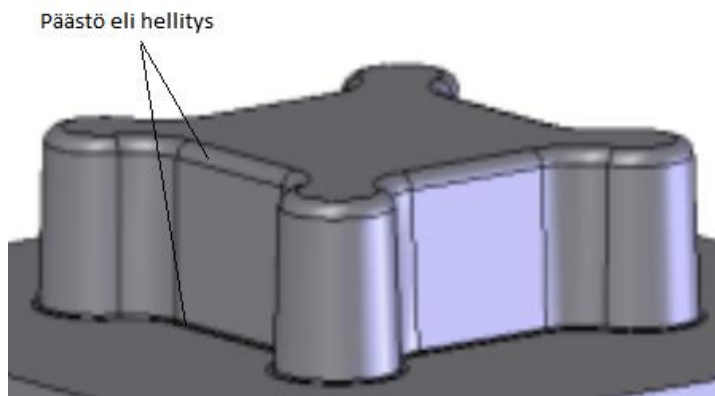
Muottipesä on muotin sisällä oleva tyhjä tila, jossa valukappale saa lopullisen muotonsa ja se jakaantuu sekä liikkuvan että kiinteän muottipuoliskon muottilaattoihin. Yleensä kiinteän muottipuoliskon muottilaatassa on pesämuodot eli siihen työstetty syvennys ja liikkuvan muottipuoliskon muottilaatassa keernamuodot. Keernamuodoiksi kutsutaan muottipesästä ylöspäin nousevaa muotoa, ja ne voivat olla koneistettu suoraan muottilaattaan tai erillisiä osia. [13.] Kuvassa 20 on havainnollistettu muottipuoliskojen rakennetta.



Kuva 20. Vasemmalla kiinteä muottipuolisko, jossa muottipesä. Oikealla liikkuva muottipuolisko, jossa keernamuodot. Kuvassa olevassa muotissa näkyy myös ulostyöntöjärjestelmä. [13.]

Kuten kuvasta 20 käy ilmi, yleensä pyritään siihen, että keernamuodot ovat liikkuvalla puolella ja pesämuodot kiinteällä puolella. Valettava kappale nimittäin puristuu jähmettymisen ja kutistuman vaikutuksesta keernamuotojen ympärille. Keernamuotojen sijoittamisella liikkuvaan muottipuoliskoon varmistetaan, että kappale tulee ulos pesästä muotin avausvaiheessa ja poistetaan ulostyöntimillä.

Päästöiksi eli hellityksiksi kutsutaan keernan pinnan vinouskulmaa. Kuvasta 21 huomaa, että keernan yksikään pystysuuntainen pinta ei ole kohtisuorassa jakotasoon nähden, vaan kulmia on loivennettu.



Kuva 21. Keernan päästö eli hellitys.

Jokaisessa valettavassa kappaleessa on oltava hellitys, ja sen suuruus riippuu kappaleen muodoista, käytettävästä raaka-aineesta ja muottipesän pinnan tekstuurin syvyydestä. Kappale ei irtoa hyvin muotista, mikäli hellitys ei ole tarpeeksi suuri.

Yleensä muottipuoliskoa, jossa pesät sijaitsevat, kutsutaan pesäpuoliskoksi tai kiinteäksi puoliskoksi. Keernapuoliskoa kutsutaan myös liikkuvaksi puoliskoksi tai ulostyöntöpuoliskoksi sen sisältämien toimintojen mukaan. [13.]

Muottipuoliskojen väliin jäävää pintaa kutsutaan jakopinnaksi. Jakopinnan tulisi olla mahdollisimman tasainen molemmin puolin, jotta puoliskot voisivat painua tiiviisti yhteen. Epätasaisuus saattaa aiheuttaa muovisulan vuotamisen pesästä jakopinnalle syöttämisen aikana ja aiheuttaa purseita kappaleeseen. [13.]

Muottipesän vaatimuksiin kuuluu:

- vastaanottaa massasula
- antaa kappaleelle haluttu muoto ja mitat

- kestää siihen kohdistuva paineet
- taata kappaleen pinnanlaatu.

Pesän pitää täytyä siten, että massa virtaa pesän jokaiseen kohtaan aiheuttamatta saumoja tai ilmataskuja. Pesän mitoissa täytyy ottaa huomioon materiaalin kutistuminen, jotta lopullinen tuote olisi haluttujen mittojen mukainen. Pesän ja sen osien, esimerkiksi mahdollisten inserttien, täytyy kestää kovaa painetta varsinkin suuren viskositeetin omaavia raaka-aineita käytettäessä. Suurempi viskositeetti vaatii suuremman ruiskutuspaineen. [13.] Yksi tärkeimmistä vaatimuksista on muotin pinnan laatu, koska se myös määrittelee lopullisen kappaleen pinnan laadun. Kuten aiemmin mainittiin, lopputuote ei ole koskaan muottia parempi.

Pesien lukumäärä muoteissa vaihtelee, mutta pesien maksimi lukumäärään on olemassa teknisiä kuin taloudellisiakin rajoitteita:

- pesien koko
- muotin mitat
- ruiskuvalukoneen suorituskyky ja varustelu
- kappaleen laadun vaatimukset.

Varsinkin ruiskuvalukoneen suorituskyky on oleellinen muotin pesien määrässä. Ensimmäisenä on ruiskuvalukoneen suurin annoskoko eli sulan raaka-aineen määrä, jonka se pystyy ruiskuttamaan muottiin yhden työkierron aikana. Jos suurin mahdollinen annostelumäärä on jo käytössä, ei ole mitään järkeä kasvattaa muotin pesien lukumäärää. Myös koneen plastisointikyky rajoittaa pesien lukumäärää. Jos raaka-aineen plastisointimäärä seuraavaa annosta varten on jo suurin mahdollinen, ei pesien määrän lisäys ole kannattavaa. Pesien lukumäärä kasvattaa myös muotin kokoa ja vaatii näin ollen tilaa ruiskuvalukoneessa, johon muotti kiinnitetään. Ruiskuvalukoneelta vaaditaan myös suurempaa sulkuvoimaa pesien lukumäärän kasvaessa, koska suurempi pesämäärä kasvattaa muotin aukeamiseen pyrkiviä voimia. [6.]

6.4 Ulostyöntöjärjestelmä

Ulostyöntäjä poistaa kappaleen ja mahdollisen valukaran muotista jäähdytyksen jälkeen. Ruiskuvalamalla on mahdollista tehdä mitä monimutkaisempia kappaleita, mutta kappaleen poisto muotista voi tuottaa hankaluuksia, jos halutaan noudattaa seuraavia ulostyöntäjän vaatimuksia suunnitteluvaiheessa:

- Kappale on poistettava ehjänä.
- Kappaleeseen ei saa jäädä jälkiä ulostyöntötapeista.
- Ulostyöntöjärjestelmä täytyy sijoittaa muottiin niin, ettei se haittaa jäähdytysjärjestelmää.
- Ulostyöntöpinnien esteetön palautuminen on taattava, jotta välttyttäisiin vahinkojen aiheutuminen muottiin.

Kaikista tärkein vaatimus on, että ulostyöntötapeista ei aiheudu vahinkoa valettavaan kappaleeseen tai muottiin. Tästä syystä ulostyöntäjän tapit sijoitetaan usein niin, että pinnien ja kappaleen välinen kontakti osuu sellaiseen paikkaan, josta mahdollinen jälki ei näy. Myös tappien koko ja istuminen muotin rakenteeseen ovat tärkeitä tekijöitä muotin ja valukappaleiden vahinkojen ehkäisemiseksi. [6.]

6.5 Muotin temperointi

Jäähdytys on ruiskuvaluprosessin pisin vaihe ja määrää tahdin, jolla kappaleita voidaan valmistaa. Riittävän tasaisella jäähdytyksellä varmistetaan myös kappaleiden haluttu laatu, jonka vuoksi jäähdytysajan optimointi taloudellisesti kannattavalta kantilta on monimutkaista.

Muotin temperoinnilla halutaan taata pesien sisäpinnan oikea lämpötila ja samalla kuljettaa lämpöä pois kappaleista jäähdytyksen aikana. Tämän vuoksi muotit on varustettu jäähdytyskanavalla, jossa virtaa temperointilaitteen pumppaama vesi tai öljy. Muotin temperointiin perehdytään syvällisemmin myöhemmin.

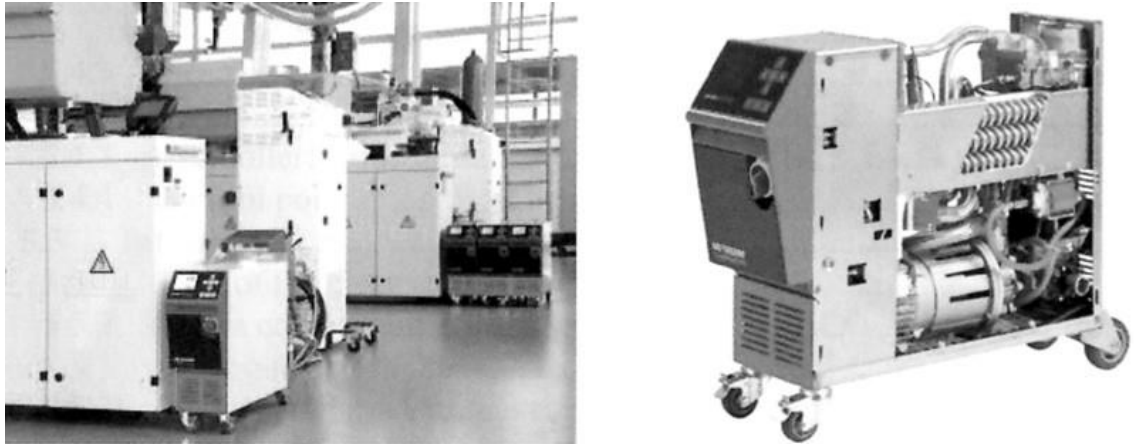
7 Muotin temperoiminen

Kappaleen poistamiseksi muotista täytyy sen olla tarpeeksi jäähtynyt, jotta kappaleeseen ei synny muodonmuutoksia, kuten vääntymiä tai ulostyöntäjän jälkiä. Valukappaleen jähmettyminen alkaa kappaleen ulkoreunoista ja sen sisäosa saattaa olla jopa sula ssa tilassa poistohetkellä. [14.]

Ruiskutuksen aikana muotin lämpötilan tulisi olla sama kuin sulan muovimassan, kun taas ulostyöntön aikana muotin lämpötilan tulisi olla sama vallitsevan ympäristön kanssa. Tällä varmistettaisiin valukappaleen ulko- ja sisäosien mahdollisimman pieni lämpötilaero, raaka-aine voitaisiin ruiskuttaa pienimmällä mahdollisella paineella ja kappaleeseen kohdistuvat rasitukset olisivat vähäisempiä. [14.] Tällä tavoin jäähtyminen olisi kuitenkin hidasta ja jakson aika pidempi. Ruiskuvalujaksoa optimoidessa täytyy ottaa myös muita huomioon myös muita kuin teknillisiä seikkoja. Taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna tulisi valujakson olla niin pieni kuin mahdollista.

Muotin temperoinnin tarkoitus on varmistaa tarvittava muottipesän sisälämpötila ja lämmön poistuminen jäähdytysvaiheessa. Muotin temperoinnilla on todella iso vaikutus niin kappaleen laatuun ja valuprosessin jaksonaikaan. Jäähdytysaika voi olla jopa yli puolet kokonaisjaksonajasta.

Muotin temperoinnin suorittaa esimerkiksi kuvassa 22 näkyvä temperointilaitte, joka pumpkaa väliainetta letkuja pitkin muotin jäähdytyskanaviin. Muotista ja sen jäähdytystarpeista riippuen temperointilaitteita voi olla useita.



Kuva 22. Vasemmalla HB-Thermin temperointilaite tuotantotilassa ja oikealla sama laite ilman suojakoteloä. [15.]

7.1 Jäähdytyskanavisto ja lämmön siirtyminen

Sula polymeerimassa menettää lämpöään johtumalla joutuessaan kosketukseen pesän pintakerroksen kanssa. Lämmönjohtumisen tehostamiseksi muotissa on mahdollisimman hyvin pesien muotoja mukailevia kanavistoja, joissa väliaine virtaa. Kanavistoja kutsutaan jäähdytyskanaviksi, vesirei'iksi tai temperointikanaviksi.

Lämmönsiirron väliaineena käytetään joko vettä tai öljyä, riippuen muotin lämpötilasta. Yleensä väliaineena käytetään vettä, kun muotin lämpötila on alle 90 °C, vaikka paineistettuna vedelläkin päästäisiin yli 100 °C lämpötiloihin. Öljyä käytetään muottilämmön ollessa yli 90 °C. Käytettävä muovi määrää muotin lämpötilan ja laatuvaatimukset pesän seinämän lämpötilatarpeen. Nesteiden käyttö lämmönsiirrossa mahdollistaa myös muotin lämmityksen. [14.]

Kuitenkin veden lämmönsiirto-ominaisuudet ovat pakotetussa konvektiossa paremmat, kuin öljyn. Esimerkiksi veden lämmönsiirtokerroin eli tehokkuus pinnan ja kaasun/nesteen välillä on $900 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Vastaavat lämmönsiirtokertoimet ilmalle ja öljylle ovat $50 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ ja $400 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$. [14.]

Jäähdytyksen suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat seikat:

- Temperointikanavien tulisi olla erillään ja mahdollisimman symmetrisiä suhteessa kappaleen täyttöalueisiin.
- Temperointikanavien etäisyys kappaleen seinästä tulisi olla yhtä suuri. Varsinkin kappaleessa olevien syvennyksien kohdalle ei saisi muodostua lämpötilaeroja.
- Jäähdytysaineen syöttö ja poisto tulisi sijoittaa muotin taakse.
- Jäähdytysaineen virtauksen tulisi olla turbulenttista, jotta lämmön siirtymä oli kokonaisvaltaisesti tehokkaampaa.

Väliaineen virtaustavalla on suuri merkitys lämmönsiirron tehokkuuteen. Temperointilaitteen pumpun pitäisi tuottaa vähintään 0,4 MPa:n paine, jotta väliaine virtaisi turbulenttisesti kanavistossa laminaarisen virtauksen sijaan (kuva 23). [4.]



Kuva 23. Laminaari- ja turbulenttivirtaus. [4.]

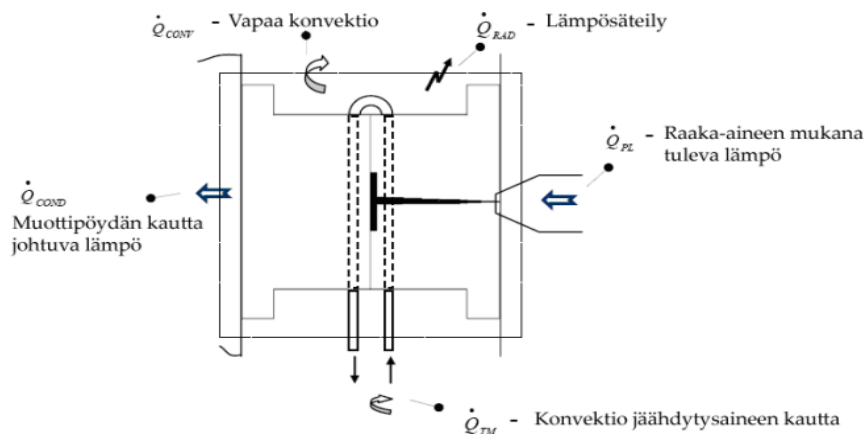
Verrattuna laminaariseen virtaukseen turbulenttivirtaus aiheuttaa kanavan sisäpinnalle ohuemman kalvon ja mahdollistaa sen avulla suuremman lämpövirran. Reynoldsin kaavalla lasketaan turbulenttisuuden aste: $Re = \frac{v \times d \times \rho}{\mu_m}$, jossa v = virtausnopeus, d = kanavan halkaisija, ρ = virtaavan aineen tiheys, μ_m = virtaavan aineen dynaaminen viskositeetti. Tuloksena saatavan Reynoldsin luvun putkivirtauksessa tulkitaan seuraavasti:

- Alle 2300 tarkoittaa laminaarista vaikutusta.
- 2300–4000 on siirtymäalue, jossa virtaus voi vaihdella turbulenttisen ja laminaarisen välillä.
- Yli 4000 tarkoittaa turbulenttista virtausta.

Kuitenkin vasta sitten, kun R_e on noin 10 000, voidaan virtausta pitää varmasti täysin turbulenttisenä, koska virtauksen muuttumisen ennustaminen täysin turbulenttiseksi alemmilla arvoilla on vaikeaa. [14.] [16.]

7.2 Muotin lämpötasapaino

Ruiskutusyksikön ruuvin ja lämpövastuksien avulla tuodaan lämpöä raaka-aineeseen, jotta se saadaan sulaan muotoon. Ruiskutettaessa muovisulaa muottiin, lämpö siirtyy muottiteräkseen, jäähdytyskanaviin ja muotin ulkopinnalle kappaleen jäähtyessä. Muotista lämpö siirtyy konvektion avulla jäähdytyskanavistoa pitkin temperointilaitteelle. Lämpöä siirtyy myös koneen muottipöytiin ja muottitilan ympärillä sijaitsevan tilan ilmaan säteilemällä ja vapaan konvektion myötä. Kuvassa 24 on esitetty lämmön siirtyminen muotissa. [14.]



Kuva 24. Lämmön siirtyminen muotista. [14.]

Lämpövirran muottimateriaaliin aiheuttavat ruiskuvaluprosessin aikana valukappaleessa tapahtuvat entalpiamuutokset. Entalpia on termodynamiikassa energiaa ilmaiseva suure. Entalpiamuutos on yhtä suuri kuin siirtyvä lämpöenergia, kun prosessi tapahtuu vakioaineessa ja sitä saatetaan kutsua myös lämpösisällöksi. Lämpövirran siirtymisen kuvaamiseksi on laadittu yhtälö, jossa lasketaan yhteen muottiin polymeerimassan mukana tuotu lämpöteho, jäähdytyskanavistoon siirtynyt lämpöteho ja ympäristöön siirtynyt lämpöteho. Tämä summa asetetaan yhtä suureksi muottiin

kertyneen lämpötehon kanssa, jonka pitäisi olla tasapainotilassa nolla. Alla olevassa yhtälössä ei ole huomioitu valujaksojen aikaisia lämpötilojen ja lämpövirtojen vaihteluja. [14.]

$$Q_{PL} + Q_{AMB} + Q_{TM} = Q_{ACCUM}, \text{ jossa}$$

Q_{PL} = Polymeerin tuoma lämpöteho

Q_{AMB} = Ympäristöön siirtynyt lämpöteho

Q_{TM} = Jäähdytyskanaviin siirtynyt lämpöteho

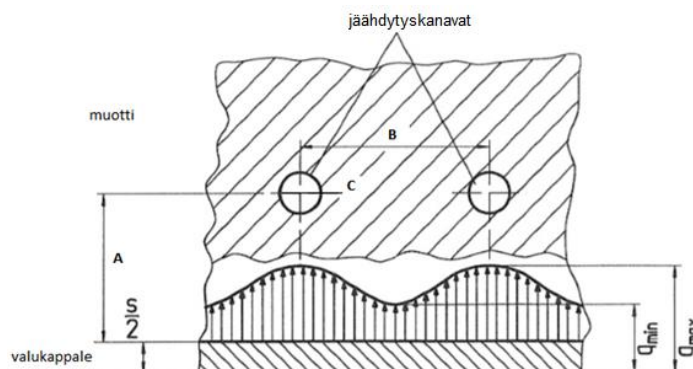
Q_{ACCUM} = Muottiin kertynyt lämpöteho

Eli käytännössä muotista täytyisi poistua yhtä paljon lämpöä kuin siihen on ruiskutetun polymeerimassan mukana tuotu. Tällöin muotti on lämpötasapainossa. Sisään virtaavan lämpömäärän ollessa suurempi verrattuna ulos virtaavaan lämpötehoon muotin lämpömäärä kasvaa ja päinvastoin. Yllä olevassa kaavassa Q_{PL} on aina positiivinen, kun massasula on muotin sisällä. Q_{AMB} voi olla negatiivinen tai positiivinen, riippuen muotin ja sen ympäristön välisestä lämpötilaerosta. [14.]

Muotin lämpötilat pysyvät tasaisina, kun jäähdytysjärjestelmä on tehokas ja olosuhteet optimaaliset. Tämän myötä kappaleen laatu ja valujakson aika ovat halutun mukaiset. [14.]

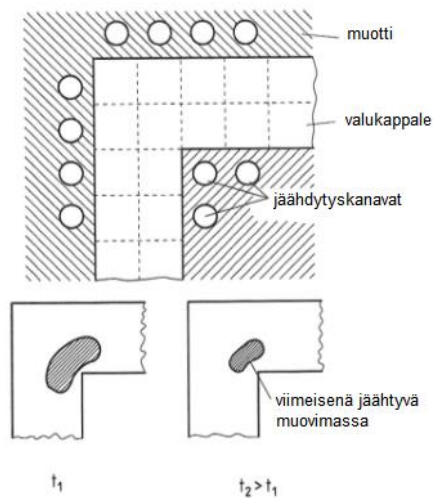
7.3 Temperointikanavien suunnittelu ja mitoitus

Tärkeintä on, että lämmönvirtaus ja muottipesän seinämän lämpötilaprofiili ovat mahdollisimman tasaisia prosessin aikana. Tähän vaikuttaa mm. temperointikanavien sijoittelu. Poikkileikkauksessa 25 on kolme lämpötilojen tasaisuuteen ja kanaviston suunnitteluun vaikuttavaa tekijää. Välimatka A on kanavien ja muottipesän seinämän välinen etäisyys, B kanavien välinen etäisyys ja C kanavan halkaisija. Välimatkaa A suurentamalla ja välimatkaa B pienentämällä lämpötilaprofiilia saadaan tasalaatuisemmaksi. Tietenkin valettavan kappaleen muodot ja muotin rakenne aiheuttavat rajoitteita. [6.]



Kuva 25. Lämmönsiirtymisprofiili. q_{min} ja q_{max} ovat lämpömääriä. [6.]

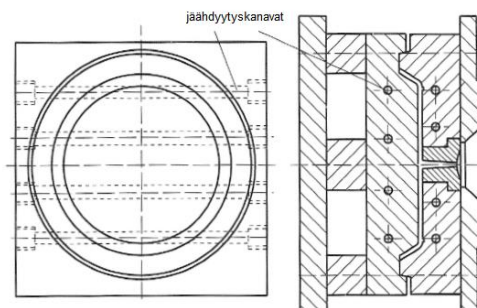
Erityisesti muotin keernapuolen kulmauskohdat tuottavat ongelmia lämmön siirtymisessä, koska keernapuolella on vähempi lämpöä johtavaa muottimateriaalia. Lämmönsiirtyminen on liian hidasta ja sen vuoksi kappaleeseen ilmestyy vääntymiä. Jäähdytymisen aikana ulompi kulma jäähtyy nopeampaa kuin sisempi, johtuen paremman lämmönsiirron vuoksi. Kuten kuvasta 26 huomaa, sula keskusta ei ole täysin keskellä kappaletta, vaan lähempänä keernapuolta. Jäähdytymisen aiheuttamaa lämpökutistumaa on näin hankalampi kompensoida jälkipaineen avulla, joten valukappaleen sisus jää vajaaksi. Vajauksen vuoksi kappaleessa esiintyy sisäisiä jännityksiä ja kappale vääntyyilee ulostyönnön jälkeen. [6.] Ongelma on ratkaistavissa lisäämällä jäähdytyskanavia keernapuolelle. Kanavien lisäys nopeuttaa lämmönsiirtymistä ja viimeisenä jäähtyvä keskusta on keskellä kappaletta.



Kuva 26. Muovisulan jähmettyminen kulmissa. [6.]

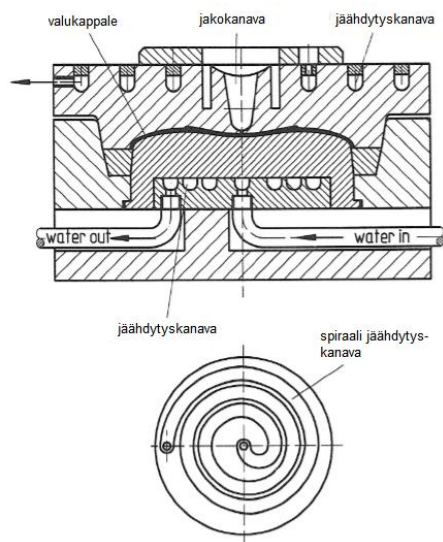
Ruiskuvalettavien kappaleiden muodot monimutkaistuvat koko ajan ja tämän vuoksi myös vaikeuttavat temperointijärjestelmän toteutusta muotissa. Kappaleiden monimutkaisten muotojen vuoksi myös ruiskutuskanavistot ja ulostyöntöjärjestelmät monimutkaistuvat.

Erilaisille valettaville kappaleille on muoteissa olemassa erilaisia jäähdytyskanavaratkaisuja. Yksinkertainen esimerkki on kuvassa 27, jossa litteälle valukappaleelle on kummallekin puolelle asennettu suoraan kulkevat jäähdytyskanavat, jotta muottipesän kummallakin puolella olisi mahdollisimman tasainen lämpötila ja lämmön poistuminen olisi tasaista mm. vääntyilyn ehkäisemiseksi. Kanavistojen sijoittaminen on muotin kummallekin puolelle yleensä hankalaa, varsinkin liikkuvaan muottipuoliskoon, koska yleensä ulostyöntöjärjestelmä sijaitsee tällä puolella. [6.]



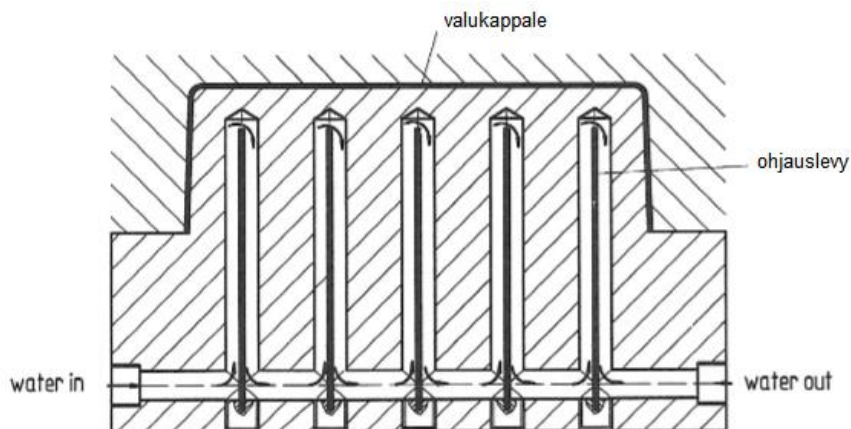
Kuva 27. Suorat jäähdytyskanavat (eivät sovellu pyöreille kappaleille). [6.]

Kuvassa 28 on havainnollistettu tehokkaampi jäähdytiskanava-asettelu verrattuna suoriin kanaviin. Tässä asettelussa jäähdytysaine kiertää spiraalin muotoista kanavistoa pitkin. Tämän asettelun etuna on, että lämpötilaero väliaineen ja valukappaleen välillä on suurimmillaan siellä, missä lämpötila on alhaisimmillaan. Tällä asettelulla voidaan minimoida kappaleen vääntyily lähes kokonaan ja se mm. soveltuu pyörintäsymmetrisille kappaleille. [6.]



Kuva 28. Spiraali jäähdytiskanava. [6.]

Kaikkein suurin ongelma on kuitenkin muotin keernamuotojen jäähdytys. Kuvassa 29 on esitelty yksi ratkaisu, joka soveltuu varsinkin suurille valukappaleille. Siinä porataan keernan sisään syviä reikiä, jotka ovat kohtisuorassa jäähdytiskanavaan nähden.



Kuva 29. Keernan jäähdytys. [6.]

On olemassa monenlaisia tapoja ohjata väliaineen virtausta keernan rei'issä, mutta helpoin ja halvin tapa on jakaa reikä kahteen osaan esimerkiksi metallisella ohjauslevyllä, kuten kuvan 29 tapauksessa. Levyjen keskittäminen on kuitenkin hankalaa ja voi aiheuttaa epätasaista lämmönsiirtymistä. On olemassa myös muita jakotapoja, esimerkiksi spiraalin muotoisia jakajia, jotka tasaavat lämmönsiirtymistä. [6.]

Kaikista parhaimpaan lopputulokseen päästään, kun jäähdytyskanavat on sijoitettu myötäilemään muottipesän muotoja mahdollisimman symmetrisesti kummassakin muottipuoliskossa.

8 Yleisimmät ongelmat ja laatuvirheet

8.1 Painaumat (kutistumaonkalot)

Ruiskuvaletussa tuotteessa painaumat ilmenevät yleensä kohdissa, joissa tuotteen seinämävahvuus vaihtelee. Yleensä syynä on, ettei tuotteen termistä kutistumista ole voitu kompensoida tarpeeksi hyvin ja prosessin aikaiset muotin ja raaka-aineen lämpötilat ovat olleet epävakaita. Myös itse kappaleen suunnittelu vaikuttaa painaumien ja kutistumaonkaloiden syntyyn. Kappaleen paksuuden vaihtelukohdat on suunniteltava jouheviksi. Jos ainepaksuuserot ovat suuret ja siirtymäkohdat liian jyrkkiä, syntyy kappaleeseen imuja ja sen myötä painaumia. Jyrkät ainepaksuuserot ja seinämävahvuuden siirtymät aiheuttavat myös kappaleeseen sisäisiä jännityksiä, jotka aiheuttavat vääntyilyä ja sen myötä kappaleen mittatarkkuus kärsii. [17.] Pyöristämällä kappaleen epäjatkuvuuskohtia, kuten esimerkiksi nurkkia, voidaan välttää kutistumisesta johtuvia painaumia ja kappaleen sisäisiä jännityksiä.

8.2 Palojäljet

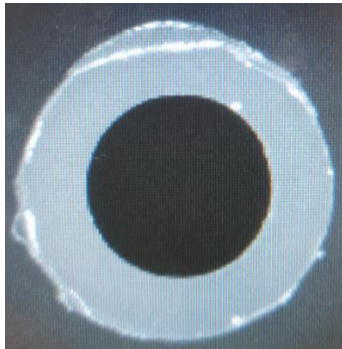
Palojäljet ilmenevät tuotteessa nimensä mukaisesti tummina, palaneina kohtina tai ruskeina ja hopeisina juovina. Hopeiset juovat ovat merkki molekyyliketjun lyhenemisestä ja ruskeat juovat makromolekyyliarakenteen muutoksista. Ne ilmenevät tuotteessa jaksoittain ja yleensä kappaleen kapeissa kohdissa. Palojälkien ilmenemisen syyt:

- Liian korkea sylinterin tai kuumakanavan lämpötila tai se on seissyt liian kauan kanavistossa.
- Liian suuri ruuvin nopeus tai vastapaineen suuruus. [17.]

Edellä mainittujen kohtien tarkistaminen ja mahdollinen korjaaminen poistavat palojälkien syntymisen mahdollisuuden.

8.3 Purse

Purse (kuva 30) muodostuu esimerkiksi silloin, kun sula muovi pääsee karkaamaan muottipesästä, yleensä muottipuoliskojen väliselle jakopinnalle tai ulostyöntöpinnien kohdalta. [18.] Kappaleen jäähtyessä myös tämä vuotokohta jäähtyy ja jää kappaleeseen.



Kuva 30. Pursetta ulkokehällä tipin pohjasta kuvattuna.

Pursetta voi aiheuttaa liian pieni sulkuvoima, jonka seurauksena muottipuoliskot eivät ole tarpeeksi tiiviisti toisiaan vasten. Myös muotin käyttöikä ja huoltamattomuus altistavat purseille. Lisäksi liian suuri ruiskutusaine voi aiheuttaa muovisulan vuotamisen. Purseiden muodostumisen voi estää seuraavilla tavoilla:

- Sulkuvoimaa suurettamalla.
- Muotin säännöllisellä huollolla ja puhdistamisella tai muotin vaihtamisella sen käyttöikänsä täytyessä.
- Valuprosessin parametrien, kuten ruiskutusaineen, ruiskutusnopeuden, muotin lämpötilan ja kaasun poiston, optimoinnilla.

8.4 Hilseily

Kappaleen pinnasta irtoaa muovia ohuina kalvoina tai lastuina. Hilseily voi johtua riittämättömästä raaka-aineen sekoittamisesta tai ruuvin liian alhaisesta ruuvin lämpötilasta. Raaka-aineen sisältämä kosteus ja liian kylmä muotti ja kanavisto

aiheuttavat myös hilseilyä. Hilseilyn estämiseksi on vastaavasti nostettava muotin lämpötilaa tai pienennettävä ruiskutusnopeutta ja/tai sulamassan lämpötilaa. [17.]

8.5 Vajaat kappaleet

Vajaat kappaleet (kuva 31) johtuvat siitä, että muottipesä tai pesät eivät täyty kokonaan. Vajaiden kappaleiden aiheuttajia on monia, tässä muutama:

- liian pieni annoskoko
- raaka-aineen huono virtaavuus ja liian pieni syöttöportti pesässä
- riittämätön ruiskutuspaino
- sulkurenkaan vuotaminen
- Muotin kaasunpoisto ei toimi ja ilma vie muovin tilan pesässä. [17.]



Kuva 31. Kärjestä vajaa kappale.

Yleensä vajaiden tuotteiden ilmestyminen ei ole riippuvainen lämpötiloista, mutta niiden syntymistä voi ehkäistä ja hallita lämpötiloilla, kuten massan sulalämpöä nostamalla. Myös jälkipainetta, jälkipaineaika ja annoskoko nostamalla voidaan ehkäistä vajaiden tuotteiden syntymistä. [17.] Mikäli ruuvi pohjaa ruiskutuksen aikana, on myös syytä tarkistaa sulkurenkaan toiminta. Massan esteetön virtaaminen muotissa on myös syytä varmistaa.

8.6 Kosteusjuovat

Kosteusjuovat johtuvat raaka-aineen kosteudesta, joka on imeytynyt siihen varastoinnin tai käsittelyn aikana. Näin ollen prosessin aikana kosteus höyrystyy. Vesihöyrykuplat

pyrkivät massasulan pintaan ja purskahtavat paineen vaikutuksesta aiheuttaen juovia kappaleen pintaan. Kosteus voi joutua sulan raaka-aineen sekaan myös muotin pinnasta. [18.] Kosteusjuovia ilmetessä kannattaa tarkastaa muotin temperointilaitteiston ja raaka-ainekuivaimen toiminta, kuten myös raaka-aineen varastointiolosuhteet.

8.7 Kuplat

Kuplat (kuva 32) johtuvat muovisulan seassa olevasta ilmasta. Pääasiassa kuplien ilmaantuminen johtuu liian alhaisesta plastisointikyvystä tai paineen alentaminen tapahtuu liian nopeasti, eli ruuvin liike taaksepäin on liian nopea. Ilman sekoittuminen muovisulan sekaan aiheuttaa kahta erilaista ilmiötä. Toinen ilmenee kuplan muodossa ja toinen kuoppa tuotteen pinnassa, riippuen kohdasta johon, ilma on jäänyt pesässä. [17.] [18.]



Kuva 32. Kuplat tipin kärjessä.

Kuplien syntymisen yhteydessä on syytä tarkistaa muotin kaasunpoisto ja plastisoinnin onnistuminen. Myös koneen ajoasetuksissa voi olla vikaa ja ruuvin liikettä on syytä hidastaa.

9 Käytetyt laaduntarkastusmenetelmät

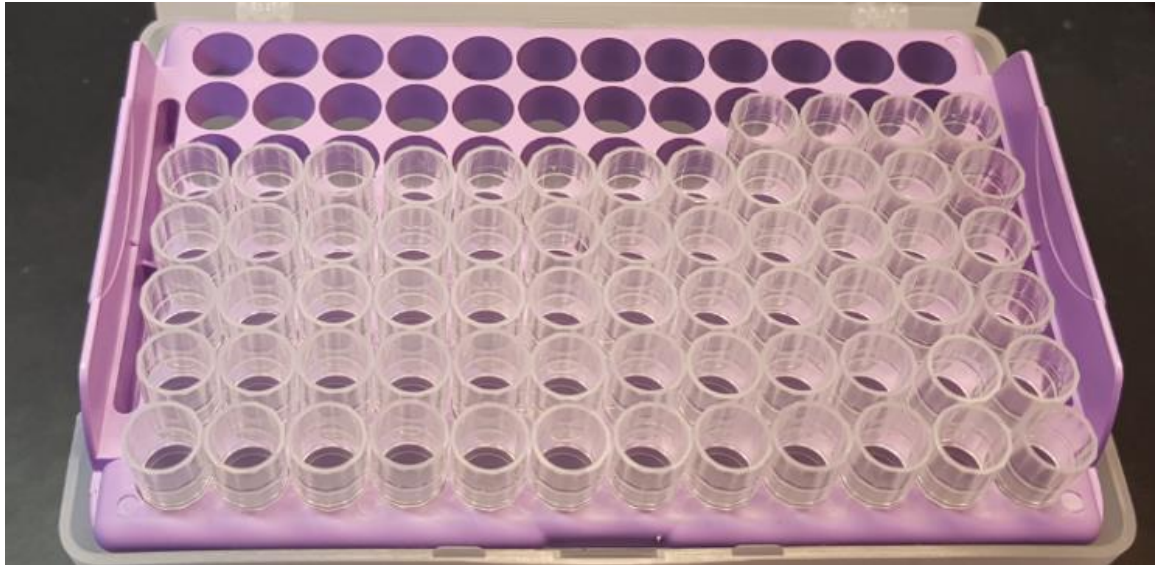
9.1 Visuaalinen tarkastus

Visuaalisessa tarkastuksessa ensiksi mitataan yhden iskun tuottamien kappaleiden yhteispaino. Sen jälkeen jokainen tippi tarkastetaan silmämääräisesti mahdollisten pinnan virheiden, kuten kuplien, naarmujen, kolojen, mahdollisten roskien ja vajaiden kappaleiden varalta. Tarvittaessa käytetään mikroskooppia tai suurennuslasia, koska virheet ovat yleensä vaikeasti havaittavissa. Esimerkiksi tipissä esiintyville kuplille on tietty raja-arvo, jonka ylittäessään kyseinen tippi hylätään.

Jokaisen visuaalisen tarkastuksen jälkeen kappaleet tarkastetaan pesäkohtaisesti tarkastussolulla. Työssä tehtiin havainnot mahdollisista virheistä tippikohtaisesti ja kirjattiin havainnot ylös. Havaintojen pohjalta määriteltiin saanti eli hyväksytyjen kappaleiden lukumäärä verrattuna kaikkien tippien yhteismäärään. Hyväksymiskriteereinä käytettiin yrityksen määrittelemiä laatu-ehdotuksia.

9.2 Tarkastussolu

Tarkastussolulla tarkastetaan tippien mekaanisten ominaisuuksien ja mittojen paikkansa pitävyyttä. Tarkastussolu perustuu monipuoliseen konenäköjärjestelmään, joka koostuu teollisuuskameroista, tarkasti sijoitellusta LED-valaistuksesta, kuljettimesta ja teollisuusrobotista. Tipit viedään soluun kuvan 33 mukaisissa matriiseissa, joka toimii tuotteen ns. telineenä myös lopullisessa tuotepakkauksessa.



Kuva 33. Matriisi.

9.2.1 Konenäköjärjestelmä

Solun sisältämät kamerat kuvaavat tippejä eri suunnista ja yksi solun kamera tunnistaa matriisista oikeat poimimiskohdat. Solussa robotti hoitaa kappaleenkäsittelyn ja vie tarkastettavat kappaleet kuvattavaksi kuvausalueelle. Solulla tarkastetut kappaleet ovat jäljitettävissä järjestelmään syötettyjen tietojen perusteella.

9.2.2 Käyttöliittymä

Tarkastussolussa on kosketusnäytöllä ohjattava graafinen käyttöliittymä. Käyttöliittymässä määritellään tarkastettavan tuotteen tiedot, joiden tarkoituksena on tehdä tuotteista jäljitettäviä. Tarkastuksen aikana on myös mahdollista tarkkailla kuvia ja lokia, johon kirjataan tarkastustulokset.

9.2.3 Solun toiminta ja mittaukset

Varsinaisessa tarkastuksessa tippi kuvataan useista suunnista ja tipeille on määritetty etukäteen hyväksymis- ja hylkäysrajat. Solun PC analysoi kuvat ja tarkastaa niiden perusteella tarkastettavien kappaleiden mittojen paikkansa pitävyyden samalla ilmoittaen robotille, mihin tarkastettu tippi sijoitetaan. Solun kappaleenkäsittely ei aiheuta tarkastettaviin kappaleisiin muodonmuutoksia, joten kappaleille voidaan tehdä solun tarkastusten jälkeen vielä lisätarkastuksia. Tippien mittaustulokset tallennetaan erilliseen tiedostoon, josta tuloksia voi halutessaan analysoida.

9.3 Minitab-datan analysointiohjelma

Minitab on tilastollisten analyysien tekemiseen suunniteltu ohjelmisto, joka tarjoaa yleiset tilastolliset ominaisuudet, koesuunnittelun, tilastollisen prosessinohjauksen ja mittaussysteemin analysoinnin. Ohjelma sisältää mm. graafisen analysoinnin konseptit, perustilastot, SPC (Statistical process control), aikasarja-analyysit ja multivaritekniikan.

10 Ensimmäinen koeajo ja mittaukset

10.1 Koeajon suunnittelu ja toteutus

Alussa pohdittiin, millä ruiskuvalukoneella ja muotilla koeajot suoritetaan. Tätä täytyi hieman tarkastella tuotannon kalenterien mukaan, että milloin koneella ei olisi paljoa tuotantoajoa. Ensimmäisessä koeajossa ei tuotannon aikataulujen kannalta ollut mitään väliä, koska siinä haluttiin määrittää tuotteen laadun normaalitilanne eli missä mennään sillä hetkellä. Valitsimme myös seurattavat parametrit ajon aikana.

Ensimmäisessä koeajossa aikavälinä oli kahdeksan tuntia ja näytteitä kerättiin puolen tunnin välein eli 17 näyteiskua, joista jokainen sisälsi 64 tippiä. Valmiiksi seurattavien parametrien sijaan päätimme sisällyttää työhön kaksi parametriä, joiden arvoja ei vielä tallenneta seurantajärjestelmään. Nämä olivat temperointilaitteiston veden virtaaman määrä, sisään- ja ulosmenevän veden välinen lämpötilaero ja massasulan lämpötila. Kuitenkin jokaisen iskun kohdalla kirjattiin edellä mainittujen lisäksi myös kaikki muut seurattavat parametrit ruiskuvalukoneen ohjausyksikön päätteeltä, jotta tarvittaessa voitiin etsiä mahdollisia korrelaatioita dataa analysoitaessa (kuva 34). Koeajossa temperointilaitteita oli kaksi, joiden näytöiltä otettiin talteen iskukohtaiset arvot. Ensimmäisessä koeajossa kahden temperointilaitteen yhteisvirtaama oli n. 50 l/min. Myös käytetystä raaka-aine-erästä otettiin kilon näyte viskositeettimittausta varten.

✓	1863	16:00	7.97	0.44	2.09	7.4	9.5	915	890
✓	1864	16:00	7.94	0.44	2.10	7.3	9.5	919	881
✓	1865	16:00	7.94	0.44	2.09	7.3	9.5	920	881
✓	1866	16:00	7.92	0.44	2.10	7.3	9.5	918	868
✓	1867	16:00	7.92	0.44	2.09	7.3	9.5	924	889
✓	1868	16:01	7.92	0.44	2.11	7.4	9.5	919	903
✓	1869	16:01	7.94	0.44	2.11	7.3	9.5	915	900
✓	1870	16:01	7.63	0.44	2.11	7.5	9.5	920	903
✓	1871	16:01	7.81	0.44	2.11	7.3	9.5	915	890
✓	1872	16:01	7.94	0.44	2.10	7.3	9.5	917	888
✓	1873	16:01	7.93	0.44	2.13	7.2	9.5	919	879

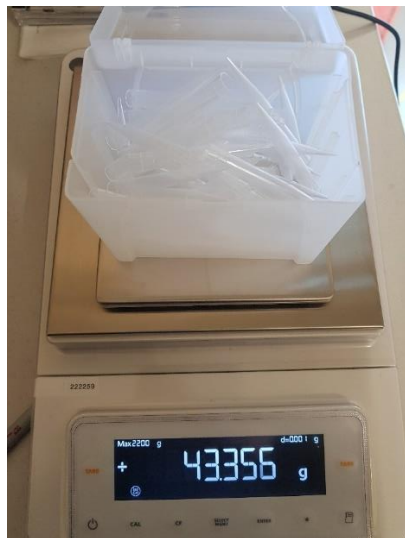
Kuva 34. Prosessin seuranta päätteeltä. Pääte näyttää jokaisen iskun sen hetkiset arvot.

Näytteet kerättiin siten, että päätteeltä laitettiin kappaleita poimiva robotti hetkeksi pois päältä, jolloin muotin ulostyöntäjät pudottivat tipit muotin alapuolella olevaan laatikkoon.

Heti tämän jälkeen robotti laitettiin takaisin toimintaan eli kappaleet kerättiin ns. lennosta. Tämän vuoksi näytteenottoa täytyi ennakoida siten, että pyrittiin ottamaan aina jokaisen alkavan minuutin kolmas näyte. Näin parametrien lukemat pystyttiin yksilöimään iskukohtaiseksi mahdollisimman tarkasti.

10.2 Visuaalinen tarkastus

Ennen visuaalista tarkastusta jokainen näyteisku punnittiin (kuva 35) eli jokaisen iskun 64 tipin yhteispaino ja kirjattiin ylös. Visuaalisessa tarkastuksessa jokainen tippi tutkittiin silmämääräisesti mahdollisten pintavirheiden varalta. Ensimmäisessä koeajossa saatiin 15 näytettä 17 näytteen sijaa, koska ruiskuvalukone seiso hieman yli tunnin johtuen prosessihäiriöstä. Jokaisen näytteen sisältäessä 64 tippiä yksitellen tarkastettavaksi tuli yhteensä 960 valukappaletta.

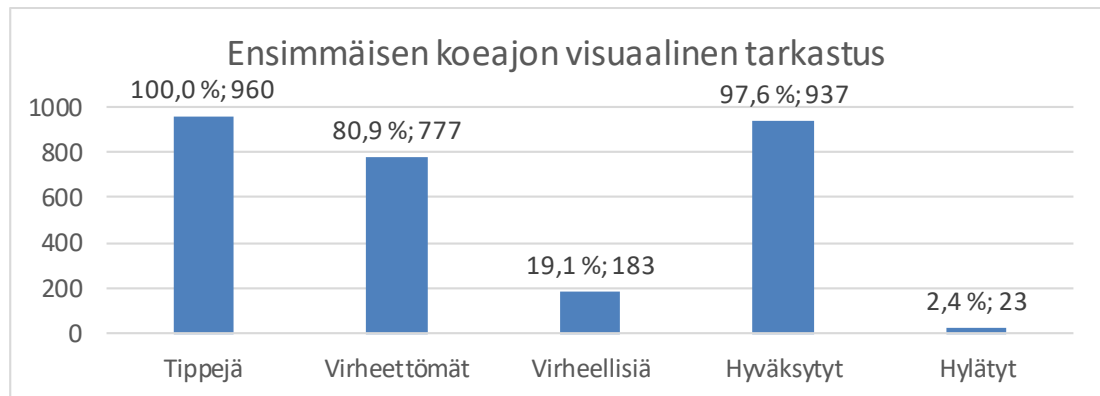


Kuva 35. Jokainen näyteisku punnittiin ennen tarkastuksia.

10.3 Visuaalisen tarkastuksen tulokset ja analysointi

Visuaalisessa tarkastuksessa käytettiin yrityksen asettamia kriteereitä kappaleen hylkäämisessä/hyväksymisessä. Selvästi suurin osa hylätyistä tifeistä sisälsi kuplia, jotka ylittivät vaatimuksissa asetetun maksimirajan. Kuten edellä on mainittu, tarkastuksessa

on otettu huomioon melko mitättömätkin virheet, joita ei normaalissa tuotannonaikaisessa tarkastuksessa huomioitaisi. Varsinkin suuria kuplia sisältävät tipit on merkattu hylätyiksi. Kuvassa 36 on esitetty tarkastustulokset.



Kuva 36. Visuaalisen tarkastuksen tulokset.

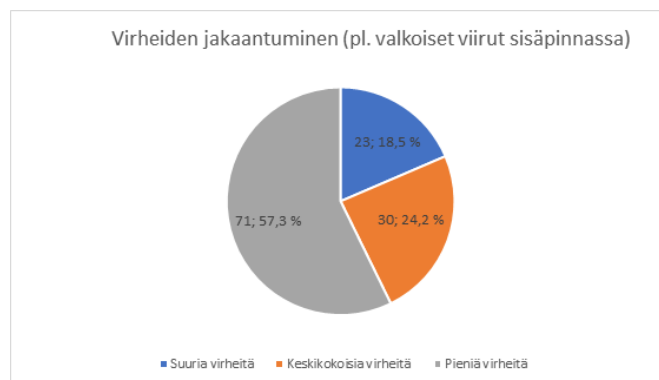
Tarkastuksessa selvästi hylättyjä tippejä oli vain 23. Kuitenkin hylkäysrajoilla pyöriviä tippejä oli paljon enemmän. Hylättyihin tippeihin ei ole myöskään merkattu valkoista naarmua sisältäviä tippejä. Todennäköisesti valkoiset naarmut tippien sisäpinnassa johtuivat muotin keernasta, koska se toistui samojen pesien tipegissä. Ainakin neljässä pesässä ilmeni huomattavaa valkoista viirua. Kuvassa 37 on havainnollistettu virhetyypit niiden ilmaantumiskertojen mukaan.



Kuva 37. Virhetyyppien jakaantuminen suhteessa kaikkiin virheisiin (kpl; prosenttiosuus).

Suurimmaksi osaksi tipeissä oli kuplia, jotka ilmenivät joko tipin seinämän sisässä tai pinnassa olevan kuopan muodossa. Viirujen suuren määrän selittänee se, että virhe ilmeni säännöllisesti jokaisessa iskussa eli ongelma on muotin keernasta peräisin. Muita pieniä virheitä oli todella vähän. Kahdessa tipissä oli lumihitalemainen jälki, joka saattoi johtua sulamassan seassa olevasta kosteudesta, mutta sen erottaminen kuplasta oli vaikeaa. Pintanaarmut tulivat todennäköisesti näytteenoton aikana, jolloin vielä lämpimät tipit putosivat laatikkoon.

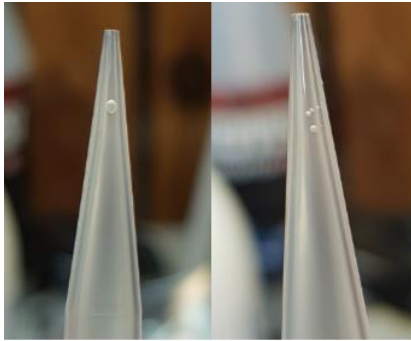
Virheet luokiteltiin taulukossa pieniksi, keskikokoisiksi ja suuriksi. Taulukkoon merkatut suuret virheet, kuten suuret kuplat ovat suoraan hylättyjä. Keskikokoiset virheet ovat rajojen rajamailla ja pienet virheet huomattavasti rajojen alapuolella. Kuvassa 38 on esitelty virheluokkien jakaantuminen havaintojen perusteella. Tähän laskelmaan ei olla huomioitu viiruja sisältäviä kappaleita.



Kuva 38. Virheiden jakaantuminen ensimmäisessä koeajossa.

Suuria virheitä eli hylättyjä tippejä olisi enemmän, mikäli valkoista viirua sisältävät tipit olisi suoraan laitettu hylkyyn. Näin ollen hylättyjä olisi 82 kappaletta. Suurien kuplien ilmenemisessä oli myös havaittavissa pesäkohtaista toistuvuutta.

Oli myös tilanteita, joissa edellisen iskun saman pesänumeron tipissä oli hylkäysrajan ylittävä kupla, mutta seuraavassa iskussa samassa tipissä oli monia keskikokoisia kuplia jakaantuneena ympäri kappaletta. Eli iskukohtaisesti oli sattumanvaraista, että ylittikö kuplan koko hylkäysrajan vai ei. Kuvassa 39 on havainnollistettu edellä mainittu tilanne, jossa saman pesänumeron tippi on kuvattu kahdesta eri iskusta.



Kuva 39. Saman pesänumeron tippi eri iskuista kuvattu. Kuvan tilanteessa kuitenkin molempien tippien kuplat johtivat hylkäykseen.

Ensimmäisen koeajon hyväksymisprosentiksi saadaan 97,6 % eli 937 hyväksyttyä tippiä, mikäli valkoisia viiruja sisältäviä tippejä ei oteta laskuihin. Valkoisia viiruja sisältävät tipit mukaan lukien hyväksymisprosentti olisi 91,5 % eli 878 hyväksyttyä tippiä. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että rajatapauksien eli keskikokoisten virheiden tulkinta oli joissain tapauksissa hankalaa virheen epämääräisyyden vuoksi.

11 Toinen koeajo ja mittaukset

11.1 Toisen koeajon suunnittelu ja toteutus

Ennen toista koeajoa ruiskuvalukoneelle lisättiin kaksi temperointilaitetta lisää, ja muotille asennettiin temperointiletkuja varten ylimääräinen jakotukki, jotta kaikki temperointilaitteet saataisiin liitettyä muotin jäähdytyskanaviin. Eli verrattuna ensimmäiseen koeajoon, virtaavan jäähdytysveden määrä tuplaantui. Sulamassan lämpötilaa mittaavaa anturia varten oli hankittu Kistlerin mittalaitteisto (esitellään myöhemmin), jonka avulla anturidataa pystyttiin analysoimaan ja seuraamaan. Luonnollisesti myös laitteisto oli asennettava valmiiksi ennen koeajon aloittamista.

Toisen koeajon oli tarkoitus olla samankaltainen kuin ensimmäisen eli kahdeksan tunnin ajo, jossa kerättäisiin näytteitä puolen tunnin välein. Toinen koeajo suoritettiin samalla ruiskuvalukoneella ja muotilla. Eroina toisessa koeajossa oli temperointilaitteiden määrän nosto neljään ja sulamassan mittaussanturi ruiskuvalukoneen suuttimen kärjessä. Neljällä temperointilaitteella veden yhteisvirtaama oli noin 100 l/min. Huomioonotettava ero oli myöskin se, että muotin ollessa sama oli sillä kuitenkin ajettu tuotantoajoa iskumäärällisesti enemmän verrattuna ensimmäiseen koeajoon. Ensimmäisessä koeajossa muotti oli käytännössä vasta huollettu ja toisessa koeajossa muotilla oli ajettu huomattavasti enemmän iskuja ja muotti lähenteli jo huoltorajaa. Myös toisessa koeajossa otettiin raaka-aine-erästä näyte viskositeettimittausta varten.

Toisessa koeajossa kuitenkin oli hieman ongelmia, sillä alun perin käytössä oli hieman vanhempi mittalaitteisto, jossa mittauksen tuloksia ja etenemistä seurattiin PC:llä selaimen kautta. Käyttöliittymä oli Java-pohjainen ja aluksi ei saatu millään laitteistoa ja PC:tä yhdistymään keskenään. Sitten huomattiin, että PC:ssä ja mittaussyksikössä täytyi olla samansukuinen IP-osoite. PC:n IP-osoitteen vaihdon jälkeen saatiin laitteet kommunikoidaan keskenään, mutta mittaus ei millään meinannut onnistua, joten päätettiin ottaa käyttöön uudemmat mittalaitteet. Myös vanhemman mittaussyksikön toiminnan epävarmuuden vuoksi päätimme vaihtaa laitteet.

Ongelmien vuoksi toisessa koeajossa saatiin vain yhdeksän näytettä ja aikaväli oli huomattavasti lyhyempi kuin ensimmäisessä koeajossa. Näyteiskuja otettiin yhdeksän. Näytteet kerättiin lopulta n. 5 – 15 min välein ja yhteensä näytekappaleita kertyi 575

kappaletta 576 näytteen sijaan, koska tarkastusvaiheessa huomattiin yhden näytekappaleen hukkuneen näytteenoton aikana. Näytteet kerättiin samalla tavalla ns. lennosta, jolloin ulostyöntäjät työntävät tipit putoamaan koneen alle laatikkoon. Toiseen koeajoon näytteenottolaatikkaa muutettiin hieman pehmentämällä laatikon pohjaan, jotta tippien putoamisesta laatikkoon ei aiheudu muodonmuutoksia tippeihin.

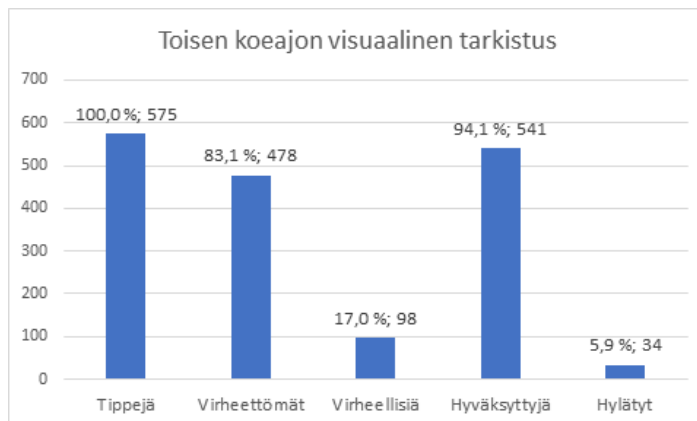
Ensimmäisen koeajon tapaan jokaisen näytteen kohdalla kirjattiin veden virtaaman ja sisään- ja ulosvirtaavaan veden lämpötilaeron lisäksi myös muut parametrit ruiskuvalukoneen ohjausyksiköstä mahdollisten korrelaatioiden varalta.

11.2 Visuaalinen tarkastus

Kuten edellä mainittiin, toisessa koeajossa kerättiin yhdeksän näyteiskua eli yhden tipin puuttuessa näytekappaleita tuli yhteensä 575. Toisessa visuaalisessa tarkastuksessa meneteltiin samalla tavalla kuin ensimmäisessä, eli jokainen tippi tarkastettiin yksitellen ja mahdolliset virheet kirjattiin taulukkoon ylös. Sen jälkeen tipit aseteltiin matriisiin tarkastussolua varten. Ongelmien vuoksi näytteidenottoväli jäi pienemmäksi kuin ensimmäisessä koeajossa.

11.3 Visuaalisen tarkastuksen tulokset ja analysointi

Toisen koeajon visuaalisen tarkastuksen tulokset olivat melkein samat kuin ensimmäisessä. Näytemäärien takia täytyy tuloksia tarkastella tietenkin prosentuaalisesti. Kuvassa 40 on esitelty tarkastustulokset.



Kuva 40. Toisen visuaalisen tarkastuksen tulokset.

Kuplia ja kuoppia oli selvästi suurin osa havaituista virheistä, mutta kokonaisuudessaan virheellisiä oli hieman vähemmän verrattuna ensimmäiseen koeajoon. Myös toisessa tarkastuksessa ilmeni samaa valkoista viirua tipin sisäpinnassa. Samojen pesänumeroiden tifeissä oli valkoista viirua samalla tavalla kuin ensimmäisessä koeajossa. Suurien kuplien ilmenemisessä oli myös havaittavissa toistuvuutta tietyissä pesissä. Kuvassa 41 on esitelty virhetyyppien jakaantuminen.

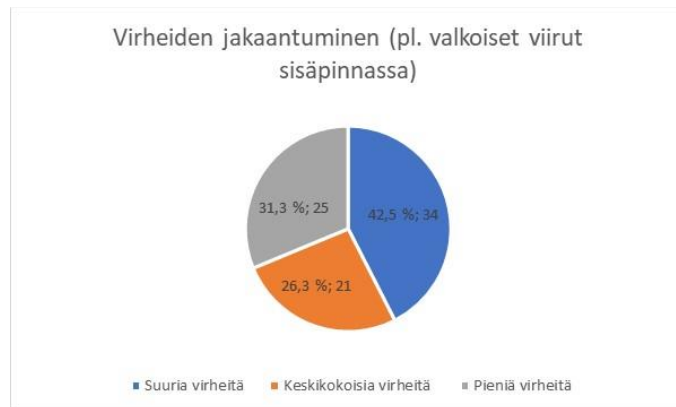


Kuva 41. Toisen visuaalisen tarkastuksen virhetyyppien jakaantuminen.

Aivan kuten ensimmäisessä tarkastuksessa, toisessakin koeajossa kuplat ja kuopat olivat yleisin virhetyyppi. Verrattuna ensimmäiseen tarkastukseen kuplia ilmaantui enemmän ja valkoisia viiruja vähemmän. Ensimmäisessä koeajossa viiruja ilmeni neljässä tietyssä pesässä, mutta toisessa ainoastaan kahdessa. Lumihiutalemaista jälkeä ilmeni kolmessa

tipissä, joka saattaa joutua kosteudesta, mutta edellisen tarkastuksen tapaan oli virhettä sen pienuuden vuoksi hankala määritellä.

Myös toisessa tarkastuksessa virheet määriteltiin sen vakavuuden perusteella suuriksi, keskikokoisiksi ja pieniksi. Kuvassa 42 on havainnollistettu näiden jakaantumista virheiden kesken.



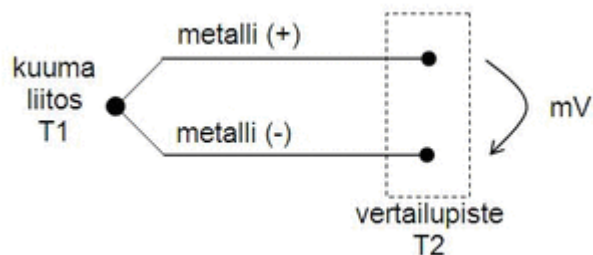
Kuva 42. Virhetyyppien jakaantuminen suhteessa kaikkiin virheisiin (kpl; prosenttiosuus).

Toisessa tarkastuksessa suuria virheitä oli huomattavasti enemmän kuin ensimmäisessä. Varsinkin kuplat ylittivät hylkäysrajan useammin, ja ne olivatkin suurin hylkäyksen aiheuttaja. Tämän selittää se, että muotti lähenteli iskumäärältään huoltorajaa, joten kaasunpoisto ei toiminut muotissa enää niin hyvin. Myös tähän laskentaan ei ole laskettu mukaan valkoista viirua sisältäviä tippettä, koska niiden oletetaan johtuvan keernasta. Valkoisten viirujen vähenemisen selittänee muotin huolto koeajojen välillä. Kaiken kaikkiaan tulokset ovat yllättävän yhtäläiset. Tuloksista on vielä yhteenveto myöhemmin.

11.4 Lämpötila-anturi ja mittalaitteisto

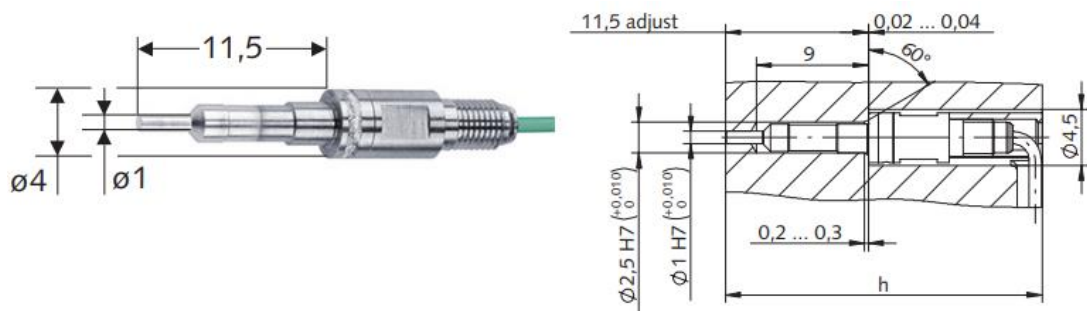
11.4.1 Anturi

Sulalämmön mittaamiseen käytettiin Kistlerin lämpötila-anturia, joka on termoparianturi. Termoparin toiminta perustuu kahden eri metallin liitokseen, joiden välille syntyy lämpötilasta riippuva jännite. Tämä ilmiö taas perustuu lämpösähköiseen ilmiöön, jossa lämpötilaero synnyttää sähkövirran tai sähkövirta synnyttää lämpötilaeron. Eli kun käytännössä kaksi eri metallista tai metalliseoksista valmistettua lankaa hitsataan toisesta päästä yhteen, muodostuu termoelementti. Toisessa päässä olevat vapaat langat muodostavat vertailuliitoskohdan. Jos hitsatun pään ja vertailupisteen välillä vallitsee lämpötilaero, syntyy vertailupisteiden välille millivolttien suuruinen jännite, jonka suuruus on verrannollinen lämpötilaeroon ja lankojen materiaaleihin. [19.] Kuvassa 43 on esitetty termoelementin eli termoparin toiminta.



Kuva 43. Termoparin toimintaperiaate. [19.]

Kuvassa 44 on itse anturi ja kuvan alapuolella olevassa taulukossa 3 on esitelty Kistlerin anturin ominaisuuksia.



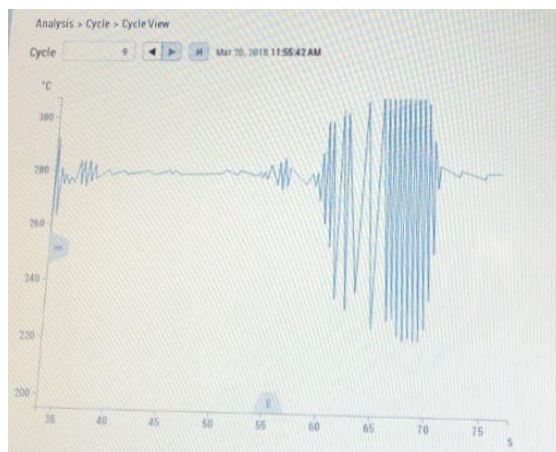
Kuva 44. Kistlerin lämpötila-anturi. [20.]

Taulukko 3. Anturin ominaisuuksia.

Termopari	Tyyppi	K (NiCr-Ni)
Mittausväli	Sulamassa °C	≤450
Paineen sieto	bar	0 ... 2000
Kaapeli	Vihreä/Valkoinen	+ / -

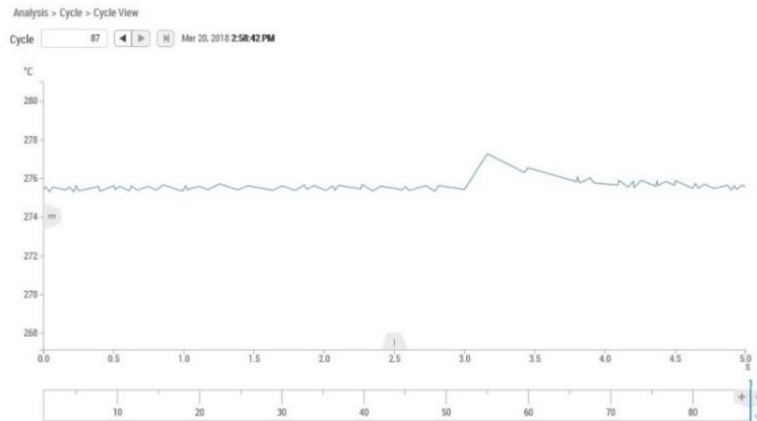
11.5 Sulalämmön mittaus

Sulalämmön mittauksen toteutuksessa ilmeni yllättäviä ongelmia. Laitteiden vaihdon jälkeen ongelmaksi nousivat häiriöt, jotka aiheuttivat kohinaa mittauskäyrään ja tuloksiin. Häiriön kanssa laitteisto näytti, että sulalämpö heitteli ruiskutuksen aikana yli 100 °C, joka ei voinut pitää paikkaansa. Kytkemällä rajakytkimen mittauskäyrä piirtyi rauhallisesti ja välillä häiriöpiikki sekoitti käyrän täysin. Kuvassa 45 on havainnollistettu häiriötilanne.



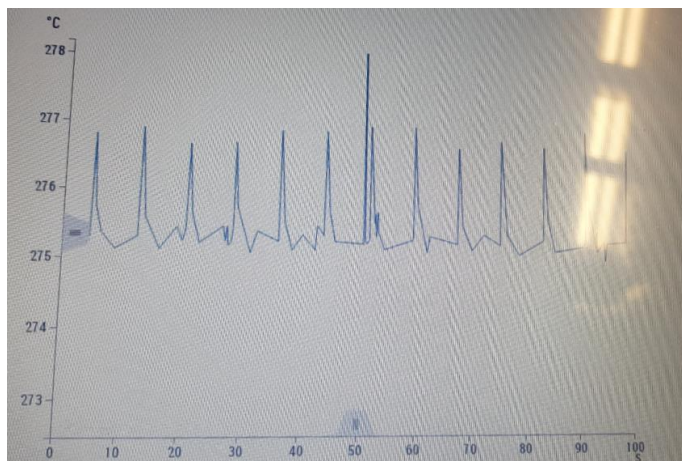
Kuva 45. Häiriön näkyminen kuvaajassa.

Mietiskelyn ja testien jälkeen häiriölähde paikallistettiin. Anturijohdon ja mittausyksikönjohdon liitoskohdassa oleva vahvistinkappale oli ruiskuvalukoneen sähkökaapin päällä, joten häiriön todettiin indusoituneen siitä anturidatan sekaan. Myös laitteen valmistajalta saatiin tietoa, että kaikkein eniten häiriöaltis on itse vahvistinkappale. Ratkaisuna vahvistinkappale eristettiin laittamalla se suljettuun metalliseen astiaan. Heti sen jälkeen mittaustulokset alkoivat näyttämään todenmukaisilta. Kuvassa 46 on yhden syklin kuvaaja onnistuneen mittauksen tuloksena.



Kuva 46. Yhden syklin lämpötilakuvaaja.

Kuten kuvassa 46 näkyy, sulalämpö vaihtelee noin 2,5 °C ruiskutuksen aikana. Muuten lämpötila on suhteellisen tasainen. Lämpötila nousee ruiskutuksen aikana kitkan vaikutuksesta, kun sulamassa työnnetään suurilla nopeuksilla muottiin. Lämmön nousu on yllättävän vähäistä, kun ottaa huomioon ruuvien liikenopeudet ja matkan. Mittauksessa mitattiin myös monta iskua peräkkäin. Kuvassa 47 on mitattu 12 sykliä.



Kuva 47. Kahdentoista syklin mittaus.

Kuvassa 47 piikit ovat aina ruiskutushetkiä. Todennäköisesti seitsemännessä piikissä oleva pystysuora viiva on pieni häiriö johtuen siitä, että anturin kärki ei ole sulavirran seassa, vaan anturin ja sulavirran välillä on pieni syvennys. Tähän syvennykseen saattoi jäädä muovia estämään anturin mittausta, joka näkyi piikkinä kuvaajassa. Seuraavassa iskussa anturin mittaamisen estänyt muovi oli todennäköisesti poistunut.

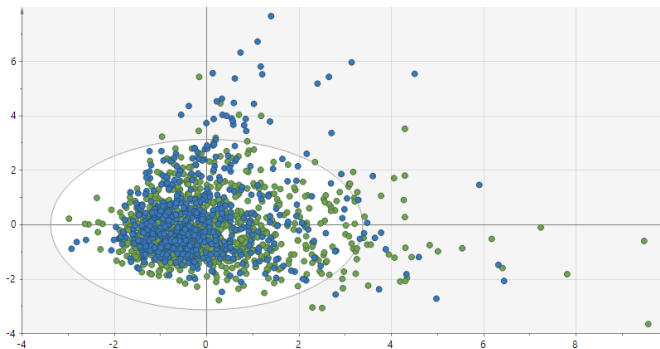
Mittauksessa ei keritty alun ongelmien vuoksi aiheuttamaan vaihtelua sulamassaan esimerkiksi ruuvien pyörimistä nopeuttamalla tai hidastamalla. Suurin ja merkittävin huomio on se, että sulamassan lämpö on todellisuudessa noin 40 °C korkeampi kuin asetettu arvo. Ruiskuvalukoneen asetuksissa määritellään lämmitysvastusten arvo, mutta kitka aiheuttaa vielä lämmön nousua. Oli tiedossa, että todellinen sulanlämpötila on korkeampi, mutta yllättävää oli sen noinkin suuri ero asetettuun arvoon nähden. Suuren lämpötilaeron koeajossa käytetyn ruiskuvalukoneen sulalämmöissä selittänee lyhyt jakson aika, joten plastisoinnin on oltava nopeaa, joka taas lisää granulaattien hankautumista toisiaan ja sylinteriä vasten nostaen massan lämpötilaa.

Vaikka sulamassan lämpötilaan ei keritty aiheuttamaan muutoksia ja tutkimaan sen vaikutusta tuotteiden laatuun sen kummemmin, saatiin silti toteutettua toimivaksi havaittu mittausmenetelmä lämpötilan mittaamiseen. Arvokasta tietoa oli myös saada mittauksen tuloksena selville lämpötilan vaihtelu prosessin aikana, mikä oli suhteellisen pientä. Vaihtelut ovat kuitenkin kone- ja muottikohtaisia. Myös todellisen lämpötilan selvitys oli arvokasta tietoa, koska ylipäätään sulamassan lämpötilaa ei ollut ennen mitattu. Myöhemmin analysoidaan tarkemmin lämpötilamittauksen tuloksia ja jatkomittauksia.

12 Koeajojen tarkastussolutulokset ja painot

12.1 Tarkastussolun tulokset ja analysointi

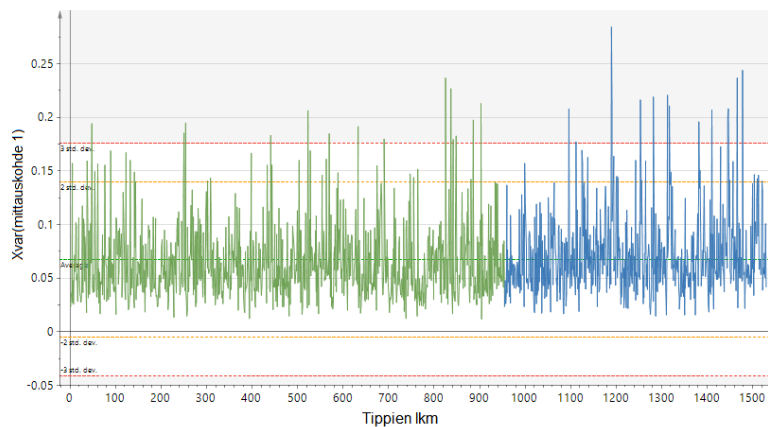
Ennen tarkastussolun tulosten analysointia täytyi tehdä hypoteesi, mihin tippien mittoihin jäähdytysveden lisäys mahdollisesti vaikuttaa. Päätimme alustavasti lähteä tutkimaan tipin mittauskohde 1:tä ja mittauskohde 2:ta. Pääasiassa lähdimme vertailemaan mittojen keskihajontaa koeajojen kesken, sillä siitä yleensä huomaa heti erojen suuruuden. Tietenkin muutkin tarkastussolun mittaamat kohteet otettiin huomioon ja kaikista mitatuista parametreista tehtiin monimuuttuja-analyysi, joka on kuvassa 48.



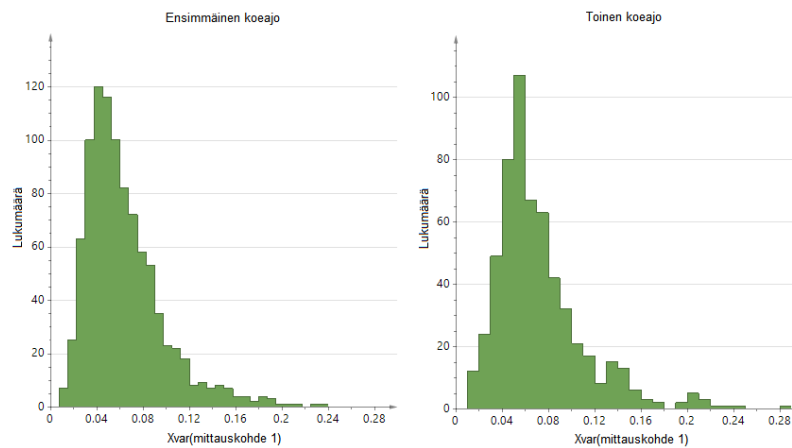
Kuva 48. Monimuuttuja-analyysi tarkastussolun mittaustuloksista. Virheällä ensimmäinen koeajo ja sinisellä toinen.

Kuvassa 48 ovaalin sisällä olevat pisteet ovat hyväksytyjä tippejä. Hyväksytyjen rajat on määritelty eri yrityksen laatimien mittauskohteiden toleranssirajojen pohjalta. Ulkopuolella on hylätyt tipit. Kuvasta huomaa pisteiden sijoittumisen samankaltaisuuden, joten jo tästä voidaan päätellä, ettei mittaustuloksissa ole radikaaleja muutoksia koeajojen välillä.

Tulosten muissa analysoinneissa mm. etsittiin mahdollista hajontaa tipin eri mitoissa iskujen välillä ja verrattiin kummankin koeajon mittauskohteiden tulosten jakaantumista keskenään. Kuvassa 49 on esitetty tipin mittauskohde 1:n vaihtelu kummassakin koeajossa ja kuvassa 50 mittauskohde 1:n mittaustulosten esiintymiskertojen jakaantuminen.



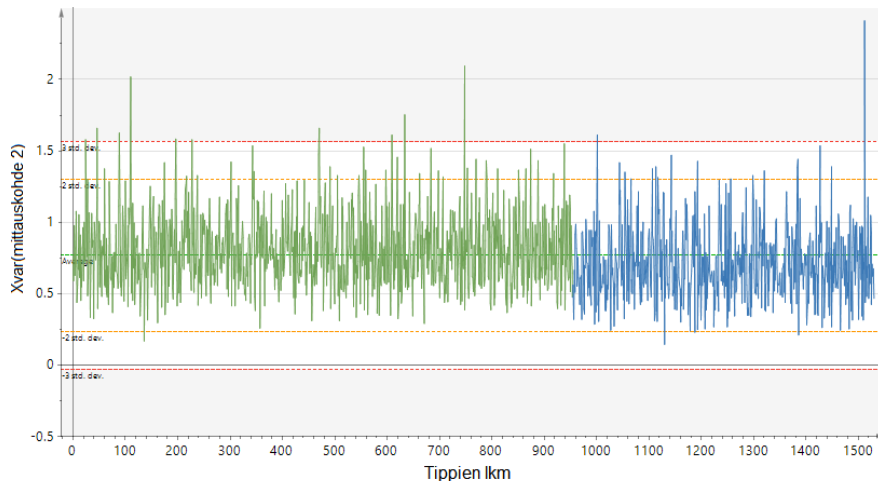
Kuva 49. Vihreällä ensimmäisen koeajon mittauskohde 1:n keskihajonta ja sinisellä toisen koeajon vastaava keskihajonta.



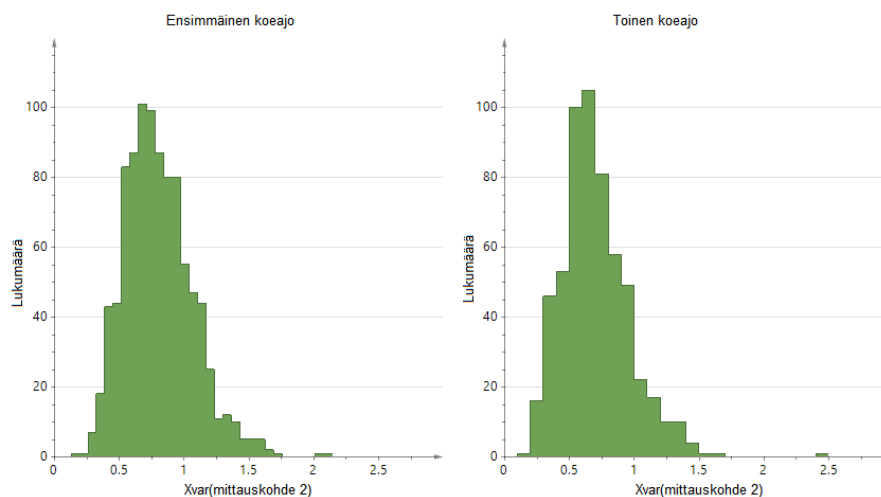
Kuva 50. Mittaustulosten jakaantuminen (mittauskohde 1).

Kuten kuvaajista 49 ja 50 näkee, kummassakin ensimmäisen ja toisen koeajon väliset mittauskohde 1:n kuvaajat ovat käytännössä identtiset, niin keskihajonnan kuin esiintymiskertojen kannalta. Kuten edellä mainittiin, erona koeajojen välillä oli virtaavan jäähdytysveden määrän tuplaaminen muotissa. Eli ensimmäisessä koeajossa veden virtaaman määrä oli 50 l/min ja toisessa koeajossa 100 l/min, joten toisessa koeajossa lämmönsiirtymisen kappaleesta pitäisi olla tuplasti tehokkaampaa. Myös seuraavassa mittauskohde 2:n keskihajonnan ja tulosten esiintymiskertojen kuvissa 51 ja 52 koeajojen välillä ei ole suurta eroa, vaikka hypoteesina ajateltiin veden määrän lisäämisen

vaikuttavan ainakin suoruuteen. Muiden mittauskohteiden vastaavat kuvaajat löytyvät liitteistä.



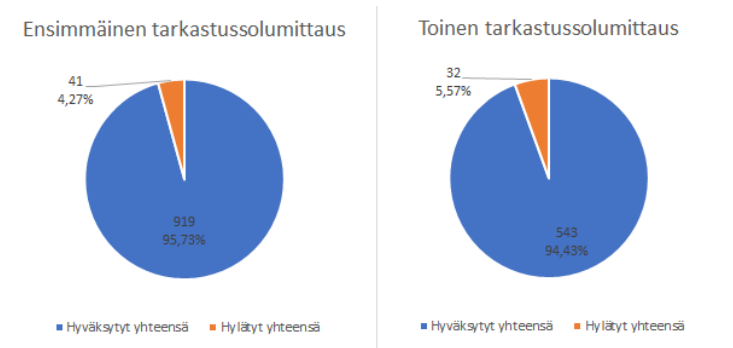
Kuva 51. Mittauskohde 2:n hajonta. Vihreällä ensimmäinen koeajo ja sinisellä toinen koeajo.



Kuva 52. Mittaustulosten jakaantuminen (mittauskohde 2).

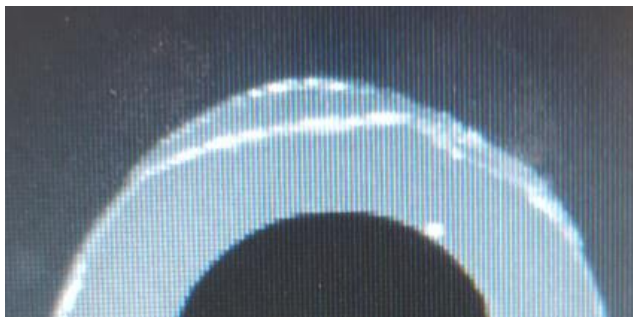
Tulokset ovat melko yksiselitteisiä, eli jäähdytysveden alkuperäinen määrä on riittävä ainakin juuri työssä käytetyn ruiskuvalukoneen muotilla, tuotteella, annoskoolla ja jaksonajalla. Jos itse valukappale olisi kooltaan suurempi, voisi jäähdytysveden määrällä olla suurempaa roolia, koska mm. jäähdytysaika olisi pidempi. Muotin osalta oli tulosten samankaltaisuus yllättävääkin, kun ottaa huomioon muotin huomattavasti suuremman iskumäärän ennen toisen koeajon aloittamista.

Molemmissa tarkastussolussa oli myös tippien mittojen kannalta hylättyjä kappaleita. Tarkastussolu myös ilmoittaa raportissa, minkä mittauskohteen toleranssialue on ylitetty tai alitettu. Kuvassa 53 on kummankin tarkastussolumittauksen hyväksytyjen ja hylättyjen tippien suhde.



Kuva 53. Tarkastussolun hyväksymät ja hylätyt kappaleet.

Kuvasta 53 näkee, että hylkäysprosenttien välillä on hieman yli prosentin ero, jota voidaan pitää pienenä. Kannattaa kuitenkin huomioida näytekokojen ero. Ensimmäisen tarkastuksen hylkäysprosentti olisi todennäköisesti hieman pienempi, mikäli näytteenottometodi olisi ollut hieman helläkätisempi. Joissakin ensimmäisen koeajon tarkastuksen titeissä oli havaittavissa pieniä muodonmuutoksia varsinkin tippien kärjissä. Kolhut olivat silmin havaittavissa, joten ne ylittivät helposti tarkastussolun hylkäysrajat. Kuvassa 54 on esimerkki kolhiintuneesta tipistä.



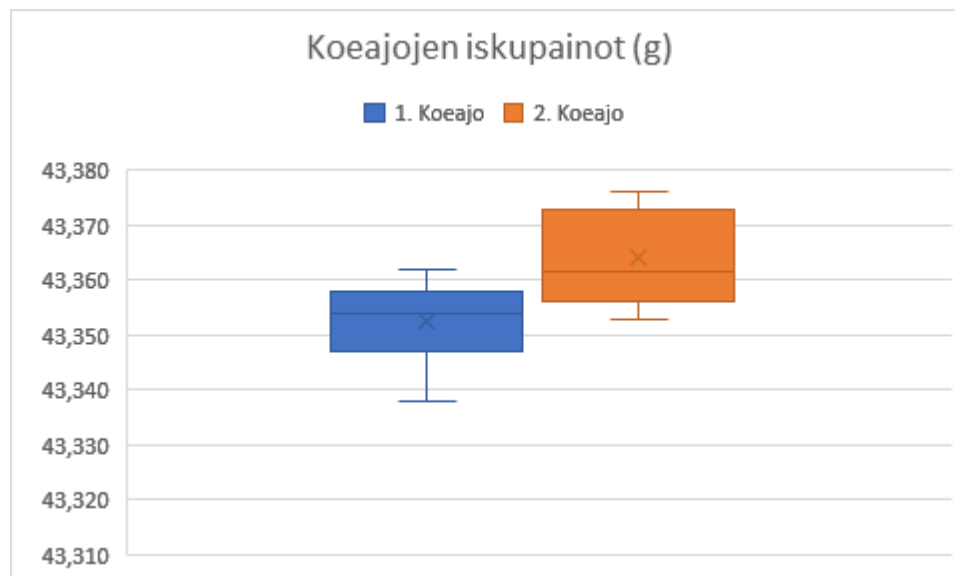
Kuva 54. Kolhiintunut kappale.

Myös toisessa koeajossa tipit saattoivat kolhia toisiaan, mutta näytteenotto oli kuitenkin hellävaraisempi pehmustetun näytteenottolaatikon vuoksi. Toisen koeajon mittauksien hylkäysprosenttia saattaa visuaalisen tarkastuksen hylkäysprosentin tavoin selittää enemmän käytetty muotti toisessa koeajossa, joka näkyy esimerkiksi purseiden

muodossa. Kuten aiempienkin tulosten kohdalla, myöskään tässä ei ole käytännön kannalta merkittävää eroa koeajojen välillä.

12.2 Iskujen painot

Ennen tarkastuksia jokainen näyteisku punnittiin. Iskupainot kirjattiin ylös, jotta voitaisiin etsiä korrelaatioita koeajojen välillä esimerkiksi virtaamien suhteen. Kuvassa 55 on esitetty painojen vaihtelu koeajojen välillä.



Kuva 55. Iskupainojen vaihtelu.

Mitään yksiselitteisiä korrelaatioita ei löytynyt ja iskupainoissa oli vain gramman sadasosien eroja, joista osa menee myös mittausepävarmuuden syyksi. Punnitus pyrittiin suorittamaan suhteellisen samoissa olosuhteissa ja samoilla metodeilla. Myös puntarin kalibrointi oli ajan tasalla. Myös iskupainojen suhteen tulos on yksiselitteinen, eli jäähdytysvedellä ei tässä tapauksessa ole vaikutusta iskujen painoihin.

13 Yhteenveto

Kaikkien mittausten ja niiden tulosten kannalta on yksiselitteistä, että projektissa käytetyn ruiskuvalukoneen, siinä olleen muotin, tuotteen, annoskoon ja prosessin jaksonajan suhteen alkuperäinen 50 l/min veden määrä on riittävä, eikä sen lisäämisellä ole tässä tapauksessa vaikutusta kappaleiden visuaaliseen laatuun, painoon tai mittoihin.

Visuaalisien tarkastusten välillä hylkäysprosenttien ero oli todella pieni ja sillä ei ole käytännössä mitään muutoksiin aiheuttavaa vaikutusta. Kuitenkin omasta mielestäni oli pieni ero tippien sameudessa. Toisen koeajon tippien pinta oli hieman kirkkaampi ja muutenkin epämääräisiä visuaalisia virheitä oli vähemmän. Tämä voisi viitata tippien kiteytymiseen eli muottilämmöt ovat voineet poiketa hieman koeajojen välillä. Toisaalta näytteiden keräysmetodilla saattoi olla pieni vaikutus toisen koeajon pienten virheiden vähäisyyteen. Tulevaisuuden kannalta olisi hyvä tarkistaa myös käytetyn muotin tiettyjen pesien keernat tifeissä ilmenneiden valkoisten viirujen kannalta. Kummassakin koeajossa samojen pesien tifeissä ilmeni tätä ongelmaa, vaikka muotti oli käynyt välillä huollossa.

Myös tarkastussolun mittaustulosten kannalta fakta on, että tippien mittoihin ei jäähdytysveden lisäämisellä ole muutoksia aiheuttavaa vaikutusta. Ennen koeajoja oltiin suhteellisen toiveikkaita, että ainakin tippien mittauskohde 1:ssä saattaisi olla enemmän hajontaa koeajojen välillä. Positiivista kummankin tarkastuksen suhteen on se, että vaikka eroa ei ollut koeajotuloksien välillä, muottien iskumäärillä oli huomattava ero. Vaikka toisen koeajon aikana muotilla oli ajettu huomattavasti enemmän iskuja ja ensimmäisen koeajon aikana muotti oli käytännössä huollettu, niin erot ovat tippien laadussa pienet. Tämä voisi kertoa, että ainakin tällä tuotteella ja muotilla voisi ajaa enempiä iskuja, kuin huoltoraja määrää.

Vaikka tulokset ovat yksiselitteisiä, ja toivottiin löytyvän selvä yhteys laadun ja jäähdytysvedenmäärän välille, saatiin myös arvokasta tietoa. Vaikeuksien kautta saatiin toimiva sulamassan lämpötilaa mittaava mittaustapa. Yllättävintä oli, että vaikka ruiskuvalukoneelle asetetaan lämpötila sulamassalle, niin se on todellisuudessa kymmeniä asteita suurempi. Eli tulevaisuudessa ruiskuvalukoneen asetustemperatuuri voisi laskeakin ainakin tällä koneella. Myös sulamassan vaihtelu prosessin aikana saatiin selville ja se vaihteli n. 2,5 °C, joka kertoo nykyisen prosessin tasapainoisuudesta.

Jatkon kannalta tutkimuksessa voisi ainakin tehdä samankaltaiset koeajot myös muilla samaan muottiperheeseen kuuluvilla muoteilla ja samalla ruiskuvalukoneella. Myös samat mittaukset olisi hyvä suorittaa. Ennen koeajoja olisi hyvä saada yksittäisten näyteiskujen keräys mahdolliseksi ruiskuvalukoneen robottisoluun, jotta prosessista riippumattomilta kappaleiden vaurioilta vältyttäisiin. Koeajoissa voisi myös aiheuttaa vaihtelua sulalämpöön, ottaa yksittäinen isku talteen ja tutkia sen vaikutusta tippien laatuun. Lämpötila-anturin lisäksi mittauksiin voisi ottaa mukaan myös paineanturin. Sulalämmön mittausta olisi mielenkiintoista suorittaa myös muilla ruiskuvalukoneilla, joissa esimerkiksi olisi pienemmät annoskoot ja koko annosta ei ruiskutettaisi suoraan muottiin.

Lähteet

- (1.) Järvinen P. Muovit ja muovituotteiden valmistus. Söderkulla: Muovifakta Oy; 2017.
- (2.) Höök Tuula, Nykänen Sanna. Ruiskuvalu. 2009; Available at: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>.
- (3.) Processing data for the injection molder. Leverkusen: Bayer MaterialScience AG.
- (4.) Kurri V, Kurri V, Pohjapelto K. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus; 1999.
- (5.) Järvinen Pasi. Muovin suomalainen käsikirja. ; 2000.
- (6.) Pötsch G, Michaeli W. Injection molding. Munich [u.a.]: Hanser [u.a.]; 1995.
- (7.) Kulkarni S. Robust process development and scientific molding. München: Hanser; 2017.
- (8.) Arburg. Available at: <https://www.arburg.com/us/us/media-center/pictures/products-and-services/>. Accessed 18.3., 2018.
- (9.) Höök Tuula. Muotin suunnittelu, muotin perusrakenne. 2014; Available at: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_structure_FI.pdf.
- (10.) Gastrow H, Lindner E. Injection molds. 3. ed. ed. Munich; Vienna: Hanser; 2002.
- (11.) Höök Tuula. Ruiskuvalumuotin kuumakanavistot. Available at: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_hot_runner_systems_FI.pdf. Accessed 20.2.2018.
- (12.) Möttönen Tero. Kuumakanavallisten ruiskuvalumuottien lämmönsäätömekaniikka ja kuumakanaviston diagnosointi sekä kunnossapito Kajaanin Ammattikorkeakoulu; 2010.
- (13.) Höök Tuula. Muotin suunnittelu, muotin perusrakenne. 2014; Available at: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_structure_FI.pdf.

- (14.) Höök Tuula. Muotin suunnittelu, ruiskuvalumuotin jäähditys. 2009; Available at: http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_cooling_system_FI.pdf.
- (15.) Geisser Philipp. Temperature Control Technology. 3.ed. ed. St.Gallen: HB-Therm AG; 2016.
- (16.) Reynoldsin luku. Available at: https://fi.wikipedia.org/wiki/Reynoldsin_luku. Luettu 10.3. 2018. Muokattu viimeksi 15.12.2016.
- (17.) Guide to surface defects on thermoplastic injection molded parts. Lüdenscheid: Kunststoff institut Lüdenscheid; 1992.
- (18.) Top-10 Injection Molding Defects And How To Fix Them Available at: <https://www.creativemechanisms.com/blog/what-cause-injection-molding-defects-and-how-to-fix-them>.
- (19.) SKS Sensors. Miten toimii TE-anturi (termoelementti)? Available at: <http://www.skssensors.fi/faq/miten-te-anturi-toimii/>.
- (20.) Kistler Group. Direct Temperature Measurement – Installation Compatible Sensors. 2014; Available at: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=59245>.
- (21.) Kistler Group. Multichannel Temperature Amplifier for the Injection Molding Industry. 2016; Available at: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=44052>.
- (22.) Kistler Group. ComoNeo - System for process monitoring and process optimization in plastic injection molding applications. 2015; Available at: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=73837>.

Liitteiden luettelo

Liite 1 Ensimmäisen koeajon ajoparametrit

Liite 2 Toisen koeajon ajoparametri

Liite 3 Tarkastussolun tuloksien analysointikuvat

29.1.2018		Pyritty ottamaan jokaisen alkavan minuutin 3. isku.							
8:51	7,9	0,43	1,98	7,1	9,5	948	875		
9:14	7,93	0,43	1,98	7,1	9,5	954	857		
9:45	7,8	0,43	1,98	7,1	9,5	944	853		
10:15	7,9	0,43	1,96	7,1	9,5	944	855		
10:45	7,84	0,43	1,94	7,1	9,5	943	858		
11:17	7,79	0,43	1,99	7,1	9,5	936	854		
11:45	7,97	0,43	1,96	7,1	9,5	945	855		
12:15	7,79	0,43	1,96	7,1	9,5	937	852		
12:45	7,79	0,43	1,96	7,2	9,5	949	877		
13:15	7,81	0,43	1,97	7,1	9,5	945	856		
13:57	7,83	0,43	1,98	7,1	9,5	940	852		
14:15	7,83	0,43	1,96	7,1	9,5	941	853		
14:45	-	-	-	-	-	-	-		
15:15	-	-	-	-	-	-	-		
15:46	7,81	0,43	2,01	7,1	9,5	949	858		
16:15	7,85	0,43	1,95	6,9	9,5	945	842		
16:45	7,83	0,43	1,9	6,9	9,5	962	842		
1	2	3	4	5	6	7	8		
220	230	220	230	230	220	220	220		

1	40/40.4	0,4	50 / 51	1,0	40/40.6	0,6	26,2	22,7
0,1	40/40.5	0,5	50 / 51	1,0	40/40.7	0,7	26,2	22,6
1	40/40.4	0,4	50 / 51	1,0	40/40.6	0,6	26,2	22,6
1	40/40.3	0,3	49.9/50.8	0,9	39.9/40.4	0,5	26,2	22,6
1,1	40/40.4	0,4	50 / 51	1,0	40/40.6	0,6	26,2	22,7
1,1	40/40.4	0,4	50 / 51	1,0	40/40.6	0,6	26,2	22,7
1,1	40/40.5	0,5	50 / 51	1,0	40/40.6	0,6	26,2	22,6
1	40/40.5	0,5	50 / 51	1,0	50/40.6	0,6	26,3	22,5
1,1	40/40.5	0,5	50 / 51	1,0	40/40.6	0,6	26,3	22,6
10	11	12						
220	220	220						

26,8	25,7	43,360		
26,8	25,6	43,355		
26,8	25,6	42,676		tippi nro17. puuttui
26,8	25,6	43,376		
26,8	25,6	43,353		
26,8	25,6	43,373		
26,8	25,7	43,372		
26,8	25,7	43,361		
26,9	25,7	43,362		

