



MUOVIENTEKNIIKAN RUISKUVALU

Jarkko Lamminen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2012
Kemiantekniikan
koulutusohjelma

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ
Tampereen ammattikorkeakoulu
Kemiantekniikan koulutusohjelma

JARKKO LAMMINEN
Muovien ruiskuvalu

Opinnäytetyö 41 sivua
Joulukuu 2012

Tämä opinnäytetyö käsittelee muovien ruiskuvalua. Sen tavoitteena oli kattava kirjallisuusaiheinen työ, josta selviää muovien ja niiden ruiskuvalun tärkeimmät osa-alueet.

Opinnäytetyössä muovien jaottelu tehtiin käytön mukaan eli pääryhmät olivat valtamuovit, tekniset muovit ja erikoismuovit. Muovilajikkeiden käytöstä 80 % koostuu valtamuoveista. Tekniset muovit ja erikoismuovit ovat kalliimpia, mutta sopivat paremmin vaativampiin käyttökohteisiin.

Ruiskuvaluprosessi muodostuu työkierrosta, jonka aikana valmistuu yksi tai useampia valmiita kappaleita. Prosessin hallinta on tärkeässä roolissa, koska sen avulla säädelään ruiskuvalukappaleen pintaominaisuuksia, muotoa sekä sen mekaanisia ja kemiallisia ominaisuuksia.

Prosessin vaatimat toiminnot suorittaa ruiskuvalukone. Ruiskuvalukoneet ovat nykyään hyvin pitkälle automatisoituja ja monipuolisesti säädettävissä. Koneet on mitoitettava niin, että ne kestävät ruiskuvaluprosessin eri vaiheet.

Ruiskuvaluteollisuudessa laadunvalvonta jakautuu monille sektoreille. Perustuotannon lisäksi käytössä on myös erikoistekniikoita, jolloin tuotteella on usein myös erikoisvaatimuksia. Raaka-aineet, prosessi ja lopputuote asettavat kaikki omat laatuvaatimuksensa, joiden täyttymistä tulee valvoa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Chemical Engineering

JARKKO LAMMINEN:
Plastic injection molding

Bachelor's thesis 41 pages
December 2012

This thesis is dealing with plastic injection molding. Its aim was a comprehensive literary based work that includes all important sectors of plastics and plastic injection molding.

In this thesis division of different kind of plastics was done based on their use. In that case main groups are bulk plastics, technical plastics and specialized plastics. 80 percent of plastic varieties' use is bulk plastic. Technical and specialized plastics are more expensive but also more suitable for demanding use.

Plastic injection molding process consists of work cycle. During that cycle is completed either one or several pieces. Process control is in a great matter because with it pieces' surface qualities shape as well mechanical and chemical qualities are controlled.

Injection molding machine carries out operations that the process demands. Machines are nowadays mostly automated and diversely adjustable. Molding machines must be sized the way that they withstand all stages of the process.

In injection molding industry quality control is divided in many sectors. Besides basic production there are special techniques that set some special requirements for end product. Raw materials, process and end product set their own quality demands and fulfilling of those demands must be monitored.

Key words: plastic injection molding, injection molding process, injection molding machine

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 MUOVIEN RYHMITTELY JA YLEISIÄ OMINAISUUKSIA.....	9
2.1 Valtamuovit.....	9
2.1.1 Polyeteeni.....	9
2.1.2 Polyvinyylikloridi	10
2.1.3 Polypropeeni	10
2.1.4 Polystyreeni.....	11
2.1.5 Solupolystyreeni.....	11
2.2 Tekniset muovit.....	11
2.2.1 Akrylinitriilibutadieenistyreeni	12
2.2.2 Styreeniakrylinitriili	12
2.2.3 Polyetylenitereftalaatti	12
2.2.4 Polymetyylimetakrylaatti	13
2.2.5 Polykarbonaatti	13
2.2.6 Polyamidi	14
2.2.7 Polyoksimeteeni	14
2.2.8 Polybuteenitereftalaatti	15
2.2.9 Termoelastit	15
2.2.10 Biomuovit.....	15
2.3 Erikoismuovit.....	16
2.3.1 Polysulfoni	16
2.3.2 Nestekidemuovit	16
2.3.3 Fluorimuovit.....	17
3 RUISKUVALUKONE.....	18
3.1 Yleistä ruiskuvalukoneista	18
3.2 Ruiskuvalukoneen osat	18
3.2.1 Sulkuyksikkö.....	18
3.2.1.1 Mekaaniset sulkuyksiköt.....	20
3.2.1.2 Hydrauliset sulkuyksiköt.....	20
3.2.1.3 Sulkuyksiköiden vertailu.....	21
3.2.2 Ruiskutusyksikkö	22

3.2.2.1 Syöttöyksikkö.....	22
3.2.2.2 Ruiskutussylinteri.....	23
3.2.2.3 Kierukkaruuvit	23
3.2.2.4 Sulkuventtiili	24
3.2.2.5 Lämmitysvastukset.....	24
3.2.2.6 Sylinterin suutin	25
3.2.3 Ohjausyksikkö.....	25
3.2.3.1 Automaattinen ohjaus	26
3.2.3.2 Automaattinen säätö.....	26
4 RUISKUVALUMUOTTI	27
4.1 Muotin tehtävät	27
4.2 Muotin osat	27
4.2.1 Muotin ohjaus ja kiinnitys.....	28
4.2.2 Syöttökanavat.....	28
4.2.3 Kuumakanavat	29
4.2.4 Muottipesä.....	29
4.3 Muotin lämmönsäätö.....	30
4.4 Muottikutistuma	31
5 RUISKUVALUPROSESSI	32
5.1 Ruiskuvalujakso	32
5.1.1 Muotin sulku	33
5.1.2 Ruiskutus.....	33
5.1.3 Jälkipaine	34
5.1.4 Annostus ja plastisointi	34
5.1.5 Jäähdytys	35
5.1.6 Muotin avaus ja kappaleen ulostyöntö.....	35
6 RUISKUVALUN ERIKOISTEKNIIKAT.....	36
6.1 Monikomponenttiruiskuvalu	36
6.1.1 Sisäkkäisruiskuvalu.....	36
6.1.2 Rinnakkaisruiskuvalu.....	37
6.1.3 Marmorointi	37
6.1.4 Samanaikainen ruiskuvalu	37
6.2 Häviävän keernan tekniikat.....	37
6.2.1 Sulavat metallikeernat.....	37
6.2.2 Liukenevat keraamikeernat	38

7 LAATU JA LAADUNVALVONTA.....	39
7.1 Raaka-aineiden laatu	39
7.1.1 Raaka-aineiden analysointi	39
7.2 Prosessin laadunhallinta	39
7.3 Tuotelaatu.....	40
LÄHTEET.....	41

LYHENTEET JA TERMIT

PE	Polyeteeni
PP	Polypropeeni
PVC	Polyvinyylikloridi
PS	Polystyreeni
PET	Polyteenitereftalaatti
PA	Polyamidi
PTFE	Polytetrafluoretyleeni
ABS	Akrylinitriilibutadieenistyreeni
SAN	Styreeniakrylinitriili
PMMA	Polymetyylimetakrylaatti
PC	Polykarbonaatti
PBT	Polybuteenitereftalaatti
POM	Polyoksimeteeni
TPE	Termoelastit
PLA	Polylaktidi
PGA	Polyglykolidi
PSU	Polysulfoni
PTFE	Polytetrafluorieteeni

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on käsitellä muovien ruiskuvalua ja sen eri osa-alueita. Siinä käsitellään yleisimmät muovimateriaalit ja niiden ominaisuudet. Työ kattaa myös ruiskuvaluun liittyvät prosessit ja käytetyt työmenetelmät sekä ruiskuvalukoneen toimintaperiaatteet.

Muovit ovat materiaaliryhmä, joka tarjoaa laajan valikoiman materiaaleja ja niiden eri yhdistelmiä. Ruiskuvalu on monipuolinen kolmiulotteisten muovituotteiden valmistusmenetelmä. Siinä käytetään raaka-aineena pääasiassa kestumuoveja, mutta materiaalilajikkeiden määrä on silti suuri.

(Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 11)

Ruiskuvalun osalta kehitys on mennyt eteenpäin kaikilla osa-alueilla. Koneet ovat automatisoituja ja muotit laadukkaita, jolloin voidaan keskittyä prosessiin ja sen kehittämiseen. Prosessien parannukset ja erikoistekniikoiden kehitys luovat ruiskuvalulle hyvät näkymät muovien valmistusmenetelmänä myös tulevaisuudessa.

(Järvelä ym. 2000, 11)

2 MUOVIEN RYHMITTELY JA YLEISIÄ OMINAISUUKSIA

Muovien ryhmittely on monimutkaista johtuen muoviterminologian epätasaisuudesta. Erityisesti raaka-aineiden valmistajat käyttävät tapaa, jossa muovit jaetaan käytön mukaan valtamuoveihin, teknisiin muoveihin ja erikoismuoveihin.

(Kurri, Malen, Sandell & Virtanen 1999, 17)

Toinen tapa on jakaa muovit niiden muokattavuuden perusteella kesto- ja kertamuoveihin. Kestomuovi voidaan sulattaa useita kertoja ilman, että kemiallinen rakenne hajoaa. Kertamuovien kemiallinen rakenne ei tällaista kestä. (Järvinen 2000, 15)

Yksi tapa on puhua luonnonmuoveista sekä synteettisistä muoveista. Näiden lisäksi muovit voidaan jakaa vielä muovikemian kannalta polykondensaatteihin, polyaddukteihin ja polymeeraatteihin. Kukin muovilaatu voidaan useimmiten luokitella kuulumaan moneen eri ryhmään. (Kurri ym. 1999, 17)

Tässä opinnäytetyössä muovit jaettiin käytön mukaan valtamuoveihin, teknisiin muoveihin ja erikoismuoveihin.

2.1 Valtamuovit

Valtamuoveista voidaan ottaa esimerkkeinä PE, PVC, PP sekä PS. Muovien kulutuksesta noin 80 % koostuu valtamuoveista, mikä selittyy osittain niiden edullisella hinnalla. (Kurri ym. 1999, 222)

2.1.1 Polyeteeni

Polyeteeni on maailmanlaajuisesti käytetyin muovi ja sillä on suhteellisen pitkä historia, sillä se kehitettiin jo 1930-luvulla. Polyeteenin päätyypit ovat pientiheyspolyeteeni PE-LD sekä suurtiheyspolyeteeni PE-HD. Näistä käytetympi on PE-LD, jonka molekyyli sisältää paljon sivuhaaroja molekyyliketjuissa. Siitä johtuen sen tiheys ja kiteisyysaste

jäävät alhaisiksi. Pientiheyspolyeteenistä valmistetaan muun muassa kalvoja, esimerkiksi muovikasseihin sekä pahvin päällystykseseen. (Järvinen 2000, 20–21)

PE-HD-molekyylit muodostuvat lyhyistä sivuhaaroista ja niitä on vähän. Tämä antaa sille siksi korkeamman tiheyden, minkä vuoksi se on myös PE-LD: tä jäykempää. Rakenteen pienentää myös kaasunläpäisevyyttä ja parantaa kemikaalinkestoaa pientiheyspolyeteeniin verrattuna. Korkeatiheyspolyeteenistä valmistetaan harmaita vihannespusseja sekä ruiskuvaluttuja koreja ja leluja. Sitä käytetään myös erilaisten läpinäkymättömien nestepullojen ja –kanistereiden valmistukseen. (Järvinen 2000, 24)

Polyeteenin muunneltavuus takaa sen laajan käytön myös tulevaisuudessa ja sille löytyykin jatkuvasti uusia erikoiskäyttösovelluksia.

(Järvelä ym. 2000, 18)

2.1.2 Polyvinyylidikloridi

Polyvinyylidikloridi eli lyhyemmin PVC on erittäin käytetty muovilaatu, koska sen ominaisuuksia voidaan vaihdella laajasti sekoittamalla siihen erilaisia lisäaineita.

(Järvelä ym. 2000, 20)

Polyvinyylidikloridin laaja-alaiset ominaisuudet mahdollistavat sen käytön moniin eri tarkoituksiin. Kestävänä ja sitkeänä materiaalina sitä käytetään rakennusteollisuudessa putkina, kaapeleina sekä erilaisina rakennusten päällystemateriaaleina seinissä ja lattioissa. Sitä käytetään myös hygieniatuotteissa sairaaloissa ja ruokapakkauksissa.

(Järvinen 2000, 30 - 32)

2.1.3 Polypropeeni

Polypropeenia pystytään työstämään monella eri tavalla, joten siitä valmistettujen tuotteiden tarjonta on hyvin laaja. Siitä valmistetaan muun muassa köysiä, kalvoja ja levyjä sekä ruiskuvalamalla ja puhallusmuovauksella tehtyjä tuotteita.

(Järvinen 2000, 26)

Eniten käytettyjen polypropeenien molekyyliyksittäisistä haaroittuista metyyli-ryhmä on aina samalla puolella, eli ne ovat isotaktisia. Yleisesti ottaen lyhyet molekyyliyksittäiset parantavat muovin työstettävyyttä, kun taas pitkät molekyyliyksittäiset kasvattavat tuotteen lujuutta. Polypropeenin rakentuessa lähes samanpituisista molekyyliyksittäisistä on sen moolimassajakauma kapea. Tämä johtaa siihen, että esimerkiksi ruiskuvaluotteista saadaan hyvin muototarkkoja, koska kappale kutistuu jäähtyessään tasaisesti. (Järvinen 2000, 26)

2.1.4 Polystyreeni

Polystyreeni on homopolymeerinä kirkas ja hauras valtamuovi. Tämänkaltaisen polystyreenin käyttökohteita ovat kertakäyttöastiat, pakkausrasiat sekä optiset instrumentit. (Järvinen 2000, 34)

Polystyreenin molekyyliyksittäisiin voidaan kopolymeroida butadieenikumia, jolloin sen iskulujuus saadaan paremmaksi. Tällöin muovi kuitenkin menettää läpinäkyvyytensä. Iskulujuudesta polystyreenistä käytetään joko lyhennettä S/B tai PS-HI. Tätä polystyreeniä käytetään muun muassa iskulujuutta sekä jäykkyyttä vaativiin kotitaloustarvikkeisiin sekä esimerkiksi televisiokoteloihin. Muita styreenin kopolymeerejä ovat teknisiksi muoveiksi luokiteltavat ABS, SAN ja ASA. (Järvinen 2000, 34)

2.1.5 Solupolystyreeni

Solupolystyreeni on ontto polystyreenin erä, joka tuotteen valmistusvaiheessa paisutetaan lopulliseen muotoonsa vesihöyryn avulla. Sitä käytetään yleisimmin eriste- eli EPS-levyihin, joita usein myös Styrox-levyiksi kutsutaan. Eristelevyt ovat hyvin eristäviä sekä kevyitä, sillä valmiissa tuotteessa on yli 95 % ilmaa. Ne ovat myös edullisia.

(Järvinen 2000, 36)

2.2 Tekniset muovit

Tekniset muovit ovat kalliimpia kuin valtamuovit, eikä niiden käyttömäärä yllä myöskään samalle tasolle. Nimensä mukaan näiden muovilaatujen tekniset ominaisuudet ovat

valtamuoveja paremmat, joten ne sopivat vaativampiin tuotteisiin ja osiin. Teknisiä muoveja ovat ABS, SAN, PET, PMMA, POM, PC, PA sekä PBT. (Järvinen 2000, 15)

2.2.1 Akrylinitriilibutadieenistyreeni

Akrylinitriilibutadieenistyreeni eli ABS on akrylinitriilin, butadieenin ja styreenin kopolymeeri. Lähtökomponenttien keskinäisellä suhteella pystytään vaikuttamaan muovin ominaisuuksiin. (Järvinen 2000, 40)

Se on yksi käytetyimmistä teknisistä muoveista erilaisissa laitesovelluksissa sekä käytösesineissä. Usein käytetään erilaisia ABS-seoksia, jotta saavutettaisiin parhaat seokselta vaaditut ominaisuudet. Esimerkiksi polykarbonaattia lisäämällä saadaan parannettua iskutietkeyttä sekä lämmönkestoa. Polysulfoni taas tuottaa alentumattoman iskulujuuden ja parantuneen lämmönkeston.

ABS:lle tyypillisimpiä ominaisuuksia ovat muun muassa työstön ja jatkojalostuksen helppous sekä hyvät mekaaniset ominaisuudet. Liuottimien kesto on kuitenkin huono ja sillä on alhainen väsymislujuus. (Järvelä ym. 2000, 23)

2.2.2 Styreeniakrylinitriili

SAN on myös styreenin kopolymeeri, johon on lisätty akrylinitriiliä. Se on kova ja jäykkä polymeeri, jonka styreenipitoisuus on usein 75 %. Väriltään se on kirkas, joskin se kellastuu ulkokäytössä. Siitä valmistetaan esimerkiksi kotitalousastioita ja autonosia. (Järvelä ym. 2000, 24)

2.2.3 Polyetyleenitereftalaatti

Polyetyleenitereftalaatti eli PET on erityisesti kalvo- ja pullomateriaalina käytetty polymeeri, josta valmistetaan myös jonkin verran ruiskuvalutuotteita.

(Järvelä ym. 2000, 33)

PET:ä valmistetaan kahta eri laatua, on osakiteinen PET-C sekä amorfinen PET-A. PET-C on ominaisuuksiltaan miltei identtinen PBT:n kanssa, mutta sen ruiskuvalaminen vaatii korkeamman prosessilämpötilan. (Järvinen 2000, 42)

PET-A on käyttömuovina erittäin suosittu ja kalvojen lisäksi siitä valmistetaan erityisesti pulloja puhallusmuovaamalla. (Järvinen 2000, 40)

2.2.4 Polymetyylimetakrylaatti

PMMA on akryylimuovi, sillä se on akryylihapon ja metakrylaatin johdannainen.

(Järvelä ym. 2000, 25)

Se on akryylimuoveista käytetyin ja siitä valmistetaan PMMA- levyä sekä myös erilaisia valaisinprofiileja. Ruiskuvalutuotteita ovat esimerkiksi auton valokuvut, erilaiset linssit ja lamput. (Järvinen 2000, 44)

PMMA: n käyttö edellä mainituissa sovelluksissa perustuu sille tyypillisiin ominaisuuksiin. Sillä on nimittäin erinomaiset optiset ominaisuudet, usein lasiakin paremmat. Se kestää myös kulutusta ja UV-säteilyä, joten se sopii hyvin ulkokäyttöön.

(Järvinen 2000, 40)

2.2.5 Polykarbonaatti

Polykarbonaatti, lyhyemmin PC on amorfinen ja lasinkirkas tekninen muovi. PC:n ruiskuvalaminen on vaikeaa, koska sen juoksevuus on huono. Kuitenkin siitä voidaan valmistaa tarkkamittaisia kappaleita, sillä sen muottikutistuma on vähäinen.

(Järvinen 2000, 46)

Sähköteollisuus on yksi tärkeä polykarbonaatin käyttäjä, koska PC on iskulujaa, lämmönkestävää ja se sammuu itsestään. Lisäksi siitä valmistetaan CD- ja DVD- levyjä

kuin myös erilaisia valaisimia. PC:n erityisominaisuuksiin voidaan lukea myös sen kylmätöystön mahdollisuus. (Järvinen 2000, 40)

2.2.6 Polyamidi

Polyamidit ovat suuri ja paljon käytetty ryhmä erilaisia teknisiä muoveja. Ne erotetaan toisistaan perään liitettävällä numerolla, joka kertoo polyamidin perusmolekyylin hiiliatomien lukumäärän. PA6, PA66, PA11 ja PA12 ovat eniten käytetyt muovilajikkeet. PA66 tunnetaan yleisemmin Nylon-nimellä, joka on DuPontin antama kaupan nimi. (Järvelä ym. 2000, 30)

Polyamidit kestävät iskuja ja kemikaaleja, mutta töystön jälkeen ne tulisi kosteuskäsitellä, sillä ne imevät runsaasti kosteutta. Tästä seuraa ei toivottavia muodonmuutoksia. Polyamidista valmistetaan erilaisia vaatekuituja, kalvoja ja letkuja. Muita teknisiä käyttökohteita ovat esimerkiksi hammaspyörät ja laakerit. Ruiskuvalaessa polyamidiin lisätään usein lasikuitua, jotta jäykkyyttä saadaan parannettua. Polyamidin UV-kesto on huono. (Järvelä ym. 2000, 30)

2.2.7 Polyoksimeteeni

Kyseinen osakiteinen muovi tunnetaan myös polyasetali nimellä ja siitä voidaan käyttää lyhennettä POM. Polyoksimeteenille ominaista on sen niin kutsuttu jousiominaisuus, eli se palautuu muodonmuutoksesta jännityksen loputtua alkuperäisiin mittoihinsa.

(Järvinen 2000, 50)

POM:ia löytyy sekä homo- että kopolymeerityyppejä, joilla on hieman erilaiset ominaisuudet. Yleisesti POM imee hyvin vähän kosteutta, minkä takia sitä käytetään kosteiden tilojen kulutusosissa, jotka altistuvat jatkuvasti veden kosketukselle. Siitä valmistetaan myös monenlaisia pieniä kiinnitys- ja kulutusosia. (Järvinen 2000, 50)

2.2.8 Polybuteenitereftalaatti

Osakiteinen PBT on esterimuovi, jonka pitkäaikainen lämmönkesto on teknisistä muoveista paras. (Järvinen 2000, 52)

PBT:llä on hyvät mekaaniset ominaisuudet ja kestää hyvin niin kulutusta kuin UV-säteilyä. PBT: työstö onnistuu sulana sekä ruiskuvalamalla että ekstruusiolla. Sitä seostetaan usein muilla materiaaleilla esimerkiksi lasikuidulla. (Järvelä ym. 2000, 32)

Polybuteenitereftalaattia ruiskuvaletaan sähkö- ja autoteollisuuden erilaisiksi koteloiksi ja sähköosiksi. (Järvinen 2000, 52)

2.2.9 Termoelastit

Termoelastit ja kumit kuuluvat elasteihin ja niille on ominaista, että ne palautuvat lähes alkuperäisiin mittoihinsa venytyksen jäljiltä. Termoelasteja ei voi muovata uudelleen, mutta niitä voidaan työstää kestumuovin tapaan. Kaksikomponenttitekniikkaa käyttäessä voidaan termoelasteja hyödyntää ruiskuvaltaessa erilaisia komponentteja.

(Järvinen 2000, 54)

2.2.10 Biomuovit

Biomuoveista puhuttaessa käsitellään polymeerejä, joiden tulisi hajota hallitusti. Nämä polymeerit voidaan jaotella kahteen ryhmään; synteettiset ja luonnon polymeerit.

(Järvinen 2000, 58)

Iso osa biohajoavista polymeereistä on polyestereitä. Näitä ovat esimerkiksi polylaktidi, polyglykolidi sekä polykaprolaktoni. Luonnon polymeereihin kuuluvat tärkkelys ja selluloosa sekä sellakka, ligniini ja luonnonkumi. (Järvinen 2000, 58)

Maatuvilta tuotteilta vaaditaan, että ne hajoavat maaperässä olevien mikrobien vaikutuksesta mahdollisimman nopeasti, mutta kuitenkin niiden tulisi kestää käyttöolosuh-

teissa tarvittava aika. Yleisesti polymeerit on suunniteltu vastaamaan käyttötarkoitustaan. Useimmin käytetyt biopolymeerit pohjautuvat tärkkelys- ja polykaprolaktoniseoksiin. (Järvinen 2000, 58)

Lääketieteen sovellukset sisältävät monia erityisominaisuuksia, sillä käytettävän polymeerin täytyy sopia yhteen elimistön kanssa, muodostaen hajottaessa vain elimistön omia materiaaleja. Mikä tärkeintä, ihmiskehoon asennettavan osan hajoamisaikaa on pystyttävä kontrolloimaan. Lääketieteellisiin tarkoituksiin käytetään PLA: n sekä PGA: n eri polymeerejä, sillä niillä on hyvin samankaltaiset mekaaniset ominaisuudet luun kanssa. (Järvinen 2000, 59)

2.3 Erikoismuovit

Erikoismuovit ovat kalliita ja yleensä niistä löytyy ainakin yksi erikoisominaisuus, jota ei teknisiltä muoveilta löydy. Esimerkkinä voidaan ottaa lämmönkesto, joka on monella erikoismuovilla tärkeä ominaisuus.

2.3.1 Polysulfoni

PSU on amorfinen kestopuovi ja se kestää korkeitakin lämpötiloja verrattuna teknisiin muoveihin. Lyhytaikaisesti se kestää noin 180 °C. Tämän vuoksi sitä käytetään paljon lääke- ja elintarviketeollisuudessa, joissa voidaan käyttää korkeita lämpötiloja.

(Järvinen 2000, 62)

2.3.2 Nestekidemuovit

Nestekidemuoveista käytetään lyhennettä LCP. Niihin muodostuu kiteitä jo polymeerin sulamuodossa ja sulan jäähtyessä syntyy järjestäytynyt kuiturakenne. Tämän kuiturakenteen takia nestekidemuoveja kutsutaan itselujittuviksi muoveiksi.

(Järvinen 2000, 63)

Nestekidemuovien rakenne on ruiskuvalun jälkeen puun syymäisen rakenteen kaltainen. Nestekidemuovit ovat kierrätettäviä, eikä ruiskuvalettuja osia tarvitse välttämättä jälkikäsitellä. (Kurri ym. 1999, 47)

Nestekidemuoveilla on hyvä lämmönkestävyys sekä lujuusominaisuudet. Kemikaalit, pakkaneen tai säteily eivät tuota ongelmia näiden muovilaatujen käytössä. Käyttökohteita ovat erilaiset kuidut, kalvot ja sähköoptiset sovellukset. (Kurri ym. 1999, 47)

2.3.3 Fluorimuovit

Fluorimuoveja käytetään paljon teollisuudessa sekä muissa sovelluksissa. Tunnetuin näistä muoveista on PTFE eli Teflon. PTFE on ainoa fluorimuovi, jota ei voi sulatyöstää eli ruiskuvalaa tai ekstruoida. Tämän lisäksi fluorimuovit voivat aiheuttaa työstökoneisiin korroosiota. (Järvinen 2000, 63)

Kemikaalien kesto, alhainen kitka ja lämmönkestävyys ovat ominaisuuksia, joiden takia fluorimuoveja käytetään erilaisissa tiivisteissä, letkuissa, laakereissa ja pinnoitteissa. (Järvinen 2000, 63)

3 RUISKUVALUKONE

3.1 Yleistä ruiskuvalukoneista

Ruiskuvalukoneita on saatavilla hyvin monia eri malleja ja merkkejä. Yksinkertaistettuna ruiskuvalukoneen tehtävä on saada aikaan tarvittavat liikkeet, joilla muotti avautuu ja sulkeutuu. Liikkeiden välissä tarvitaan riittävä sulkuvoima, joka pitää muotinpuolikkaat kiinni. Näiden lisäksi koneen täytyy myös ruiskuttaa sula muovimassa muottiin ja plastisoida uusi annos muotin seuraavaa täyttöä varten. (Järvelä ym. 2000, 92)

Nykyisin suurin osa koneista on jo automatisoituja ja niitä voidaan ohjata ja säätää monipuolisesti. Koneet voidaan jakaa säätäviin ja ohjaaviin, johteellisiin tai johteettomiin sekä täyssähköisiin ja sähköhydraulisiin koneisiin. (Kurri ym. 1999, 72)

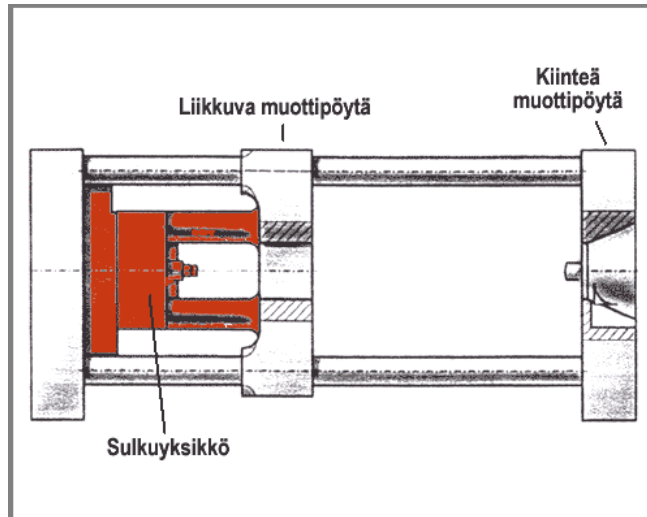
Yleensä ruiskuvalukoneet luokitellaan sulkuvoiman, ruuvin halkaisijan tai ruiskutuspaineen mukaan. Sulkuvoima pyrkii vastustamaan ruiskutuspaineen aiheuttamaa, muotin sisälle syntyvää massan painetta. Sulkuvoiman käyttöalue on koneissa 200–100000 kN. Ruiskutuspainena käytetään 120–250 MPa ja ruuvin halkaisija on yleisesti välillä 18–120 mm. (Järvelä ym. 2000, 93)

3.2 Ruiskuvalukoneen osat

Ruiskuvalukone muodostuu viidestä toiminnallisesta kokonaisuudesta. Nämä ovat sulkuyksikkö, ruiskutusyksikkö, hydrauliyksikkö, ohjausyksikkö ja runko. Näiden lisäksi on tietysti vielä muotti, joka ei varsinaisesti ole koneen osa, mutta kuuluu olennaisesti ruiskuvalukoneeseen. (Kurri ym. 1999, 73)

3.2.1 Sulkuyksikkö

Sulkuyksiköitä on rakenteellisesti monenlaisia, mutta yhteisenä tehtävänä niillä on säädellä muotin liikkeitä. Kuva 1 esittää sulkuyksikön rungon kaaviokuvan.



Kuva 1. Sulkuyksikkö (<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>)

Johteellisessa sulkuyksikössä muotti asennetaan johteiden väliin, mikä tekee asentamisesta vaikeampaa. Käytössä on myös johteettomia malleja, mutta niiden tukeva runko lisää taas sulkuyksikön painoa. Näin ollen niiden kokoa ei ole saatu kasvatettua tarpeeksi ja johteelliset sulkuyksiköt ovat yleisemmässä käytössä.

(Järvelä ym. 2000, 93)

Suurimmassa osassa ruiskuvalukoneita sulkuyksikkö on kooltaan suurin koneen osista. Kokoluokituksia on monia, mutta kansainvälisesti käytetään sulkuvoimaa ja sen arvoa P . P saadaan käyttäen kaavaa 1.

$$P = \frac{V_{s,max} \times P_{in,max}}{1000} \quad (1)$$

missä

$V_{s,max}$ on maksimaalinen iskutilavuus

$P_{in,max}$ on maksimi ruiskutusaine (Järvelä ym. 2000, 94)

Ruiskuvalukone on mitoitettava siten, että se kestää ruiskuvaluprosessin eri vaiheet. Muotin pitää aueta kappaleen valmistuttua ja tämän jälkeen muotin sulku ennen uuden

massan ruiskutusta. Sulkuvoiman tulee vastata ruiskutusaineeseen ja jälkipaineeseen niin, että muotin puolikkaat pysyvät kiinni koko tämän vaiheen. (Järvelä ym. 2000, 94)

3.2.1.1 Mekaaniset sulkuyksiköt

Mekaanisissa sulkuyksiköissä käytetään niin kutsuttuja polvinivel-sulkumekanismeja, jotka toteuttavat avautumis- ja sulkuliikkeet. Nimitys tulee niveltankosysteemien polvia muistuttavasta liikkeestä. (Järvelä ym. 2000, 94)

Edullisin ja helpoin toteuttaa on kahden niveltangon tai niveltankoparin mekanismi, jota liikuttaa keskimmäiseen niveleen kiinnitetty hydraulisylinteri. Sillä ei kuitenkaan saa tehtyä suuria muotin avautumisliikkeitä ja avautumisnopeus saada maksimiin vasta liikkeen lopussa. (Järvelä ym. 2000, 95)

Suuremmissa koneissa käytetään kaksoispolviniveliä, joita voi olla jopa viisi yhtä sylinteriä kohden. Verrattuna neliniveliseen, saadaan viisinivelisellä sulkuyksiköllä suurempi muottiaavautuma samanpituuisella mekanismilla, jolloin ruiskuvalukoneen kokonaispituutta saadaan lyhemmäksi. (Järvelä ym. 2000, 95)

Polvinivelkoneet ovat stabiileja ja niiden käyttönopeus soveltuu useaan käyttökohteeseen, vaikkei nopeus pysykään vakiona koko liikkeen ajan. (Järvelä ym. 2000, 95)

3.2.1.2 Hydrauliset sulkuyksiköt

Hydrauliset sulkuyksiköt sisältävät useimmiten kaksi työsylinteriä jotka toteuttavat yksikön tärkeimmät tehtävät.

Pääsylinterinä on suuri, sulkuvoiman synnyttävä sylinteri. Pienempi kuljetussylinteri avaa ja sulkee muotin. Kaksi erillistä sylinteriä vähentää tarvittavan öljyn määrää, kun pääsylinteriin ei tarvitse pumpata jatkuvasti suuria määriä öljyä. Sulkuvoiman tuottava korkeapaine tuotetaan vähän öljyä kuluttavalla pumppusysteemillä.

Hydraulinen sulkusysteemi antaa suljettuna periksi, kun muottiin ruiskutetaan muovisulaa. Pääsylinterissä oleva öljytyyny ei vastaa jäykkyydeltään terästä, jolloin muotin täytyy painua enemmän kokoon suljettuna.

Sulkukoneistoon voidaan lisätä myös mekaaninen lisäelementti, joka vähentää öljyn pumppauksen tarvetta. Kun muotin sulkemisliike on toteutettu joko yhdellä tai useammalla pienellä sylinterillä, lukitaan sulkuyksikkö. Lukitsemiseen käytetään mekaanisia lukituselementtejä, jolloin hydraulisesti synnytetty sulkuvoima saadaan aikaan huomattavasti nopeammin kuin perinteisellä hydraulisella systeemillä.

(Järvelä ym. 2000, 97)

3.2.1.3 Sulkuyksiköiden vertailu

Sulkusysteemeistä mikään ei ole yksiselitteisesti paras, sillä jokaisesta löytyy sekä huonoja että hyviä puolia. Taulukossa 1 on esitetty kunkin sulkuyksikön ominaisuudet käyttäen +/- -merkkejä.

Taulukko 1. Eri sulkusysteemien edut ja huonot puolet

	Mekaaniset	Hydrauliset	Hydraulis- Mekaaniset
Energian tarve	+	-	+
Turvallisuus	+	+	+
Muottipöytien tukevuus	-	+	+
Sulkuvoima	+	+/-	+
Liikkeiden toistettavuus	+	-	+
Sulkuvoiman toistettavuus	-	+	+
Muotin asetuksen nopeus	-	+	-
Sulkuaika	+	+	+
Avaamisvoima	+	-	-
Jäykkyys	+	-	-

(Järvelä ym. 2000, 100)

3.2.2 Ruiskutusyksikkö

Kuvassa 2 on esitetty ruiskutusyksikön osat kaaviokuvan avulla.



Kuva 2. Ruiskutusyksikkö

(<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>)

Muovin käsittelyyn eniten osallistuvat elementit ovat syöttöyksikkö, hydraulisyylinteri, kierukkaruuvi, sulkuventtiili ja suutin. Lisäksi yksiköstä löytyy lämmitysjärjestelmä, jonka vastukset ovat useimmiten sähköiset.

Näillä laiteosilla on jokaisella oma tehtävänsä. Syöttöyksikön kautta sylinteriin syötetyt raaka-aineet plastisoituvat lämmön vaikutuksesta. Tämän jälkeen ruiskutusyksikkö ruiskuttaa muovisulan muottipesään. Jälkipaine saa aikaan kappaleen muotin mukaiset muodot jäähtymisen aikana. Lisäksi ruiskutusyksikkö liikkuu tarvittaessa kiinni muottiin ja takaisin ruiskutusjakson jälkeen. (Järvelä ym. 2000, 101)

3.2.2.1 Syöttöyksikkö

Laitteen osana syöttösuppilo on varsin yksinkertainen, mutta sen on toimittava ongelmitta tiettyjen vaatimusten mukaan. Asennuksen, irrottamisen ja puhdistuksen tulee olla helppoa. Tehdasolosuhteissa syöttösuppilon tulee olla myös pölytiivis. Syöttösuppilo varustetaan usein myös sekoittimella, jota kutsutaan härkkimeksi. Se estää syötettävän raaka-aineen holvautumisen. (Järvelä ym. 2000, 101)

3.2.2.2 Ruiskutussylinteri

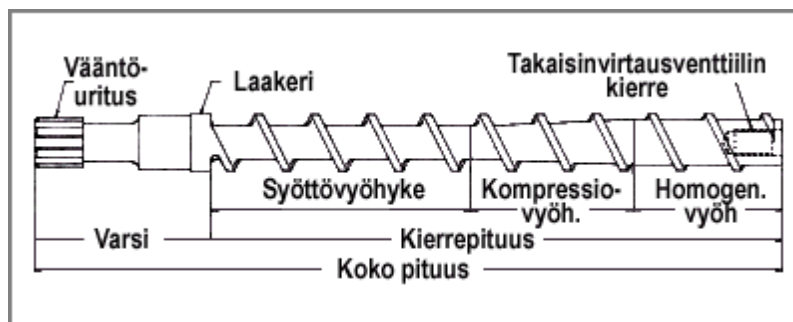
Paksuseinäinen putki, jonka takaosan laakeroitu reikä on tarkoitettu ruuvien käyttökoneistoa varten ja sen etupuolella raaka-aineen syöttöaukko. Sylinterin toisessa kärjessä on suutin, jonka läpi raaka-aine syötetään muottipesään. Siinä olivat ruiskutussylinterin rakenne ja käyttötarkoitus. (Järvelä ym. 2000, 102)

Koska ruiskutussylinterit toimivat massatuotantolaitteen osina, on kulutuskesto yksi tärkeä laatutekijä. Tämän takia sylinteriputken pinta karkaistaan. Sylinteri voidaan myös valmistaa bimetallista, joka ei syövy teräksen lailla. Sylinterin sisäpinnan viimeistely jätetään tarkoituksella kierukkaruuvien pintaa karheammaksi, jolloin plastisoitava raaka-aine varmasti kulkeutuu eteenpäin sylinterissä. (Järvelä ym. 2000, 102)

Ruiskutussylintereiden erikoisversiona voidaan pitää kaasunpoistosylintereitä, joissa sylinterin rakenteessa on puolivälissä kaasunpoistoaukko. Sitä voidaan käyttää joillekin kosteutta kerääville muoveille, eikä tällöin tarvita erillistä kuivausta. Kosteus poistuu aukon kautta ennen ruiskutusta. Tämä tapa ei kuitenkaan sovellu kaikille kuivausta vaativille muovilajeille. (Järvelä ym. 2000, 102)

3.2.2.3 Kierukkaruuvit

Kierukkaruuvien tehtävä on tuottaa homogeenista sulaa muovimassaa, jonka se ruiskuttaa mäntämäisesti toimien ruiskuvalukoneen muottiin. Kuva 3 kuvaa kierukkaruuvien rakenteen ja osat. (Järvelä ym. 2000, 103)



Kuva 3. Kierukkaruuvi (<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>)

Koska käyttötarkoituksia on monia, löytyy kierukkaruuveja myös lukuisia erilaisia. Kesto- ja kertamuoveille sekä elastomeereille on omat ruuvityypinsä. Näiden lisäksi on erilaisia erikoisruuveja kuten kaasunpoistoruuvi. Käytössä on myös suurteho- sekä sekoitusruuveja. (Järvelä ym. 2000, 103)

Erilaisista ruuveista valitaan käyttökohteeseen sopiva niin, että vaadittava annosmatka on samalla myös ruuvin käyttökelpoisiin alue. $1 \cdot D - 3 \cdot D$ on yleensä käyttökelpoisiin alue. Käytössä on myös suhde $\frac{L}{D}$, joka useimmiten on yli 20. (Kurri ym. 1999, 73)

3.2.2.4 Sulkuventtiili

PVC:n ja joidenkin kertamuovien kierukkaruuvit ovat sulkuventtiilittömiä, muuten sulkuventtiili on osa kierukkaruuvia. Se on aivan ruuvin kärjessä, jolloin se estää tehokkaimmin muovimassan palautumisliikkeen ruiskutuksen aikana. (Järvelä ym. 2000, 103)

Sulkuventtiilin perusominaisuuksia ovat lyhyt sulkemisaika ja korkea kulutuksen kesto. Sulkemisaika on ajanväli liikkeen alusta liuku- ja vasterenkaan kosketukseen asti. Venttiilin tehokkuus mitataan sen kyvyllä estää massan takaisinvirtaus, joka hyvällä venttiilillä on korkeintaan 5 %. (Järvelä ym. 2000, 104)

Sulkuventtiili on liikkuvien osiensa takia altis kulumiselle, joten sen kunnan tarkistus ja puhdistus tulee tehdä riittävän usein. Valitsemalla raaka-aineille optimaalinen venttiilimateriaali, saavutetaan paras mahdollinen kestävyys. Venttiilin kunto vaikuttaa annosmääriin ja niiden vaihteluihin. (Kurri ym. 1999, 75)

3.2.2.5 Lämmitysvastukset

Käytetyimmät lämmitysvaihtoehdot ovat sähkölämmitys sekä nestekierrolla toteutettu lämmitys. Sähkövastukset ovat edullisia ja niiden vaihtaminen on helppoa. Nykyään sähkövastusten säätö onnistuu jo helposti, kun tietokoneohjauksella voidaan seurata annettua asetusarvoa. (Järvelä ym. 2000, 108)

Nestelämmitys on kalliimpi kuin sähkölämmitys ja sen käyttöalue rajoittuu yläpäässä noin 300 °C:een. Jäähdytys on nestekierrolla helppoa, mikä onkin tämän lämmitystavan paras puoli. Jäähdytys onnistuu tarvittaessa nopeasti, minkä takia nestelämmitys soveltuu tarkkaa lämpötilan kontrollointia vaativille materiaaleille. (Järvelä ym. 2000, 108)

3.2.2.6 Sylinterin suutin

Sylinterin kärjessä sijaitseva suutin on joko avoin tai suljettava sulkusuutin. Avointa suutinta on vaikeampi käyttää, koska se ei pidättele sulaa muovimassaa suuttimen ollessa irti muotista. Ruiskuvaluprosessin kannalta yksinkertainen avoin suutin olisi paras vaihtoehto, mutta sitä käytetään yleensä yksipesäisten muottien kanssa.

(Järvelä ym. 2000, 106)

Sulkusuuttimia on monia erilaisia. Neulasulkusuuttimia on sekä jousikuormitettuja että hydraulisia malleja. Edullisemmat jousikuormitetut suuttimet vaativat usein korkean avautumispaineen, jolloin alhaisia ruiskutuspaineita on mahdoton käyttää. Lisäksi jouset kuoleentuvat käytön myötä. (Järvelä ym. 2000, 107)

Hydraulisisissa suuttimissa ei ole samoja ongelmia, mutta ne ovat huomattavasti kalliimpia. Käytössä on myös liukukara- ja kiertokarasuuttimia. (Järvelä ym. 2000, 107)

3.2.3 Ohjausyksikkö

Ohjausyksikkö on tietokoneperustainen ruiskuvalukoneen osa, jonka avulla prosessin valvonta, ohjaus ja säätö on saatu automatisoitua (Järvelä ym. 2000, 111). Ohjausyksikkö muodostuu komponenteista, joita ovat keskusyksikkö, näyttöruutu sekä käyttöpaneeli, josta syötetään käsin ohjausparametrit (Kurri ym. 1999, 76).

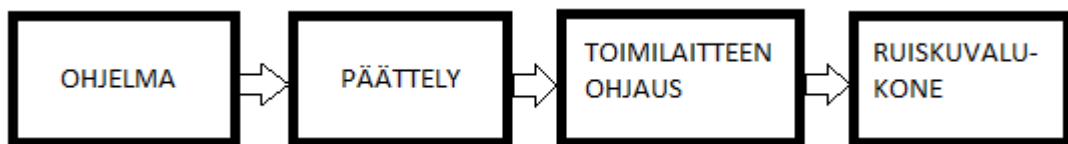
Ohjausyksikön ohjaus- ja säätöpiiri käsittää monia toimintoja. Lämpötilan ohjaus seuraa sylinterien, sulan, kuumakanavan sekä muotin lämpötiloja. Kierukkaruuvien pyörimisnopeutta ja ruiskutusnopeutta pystytään myös säätämään, kuten myös pöydän liikkeitä ja keernatoimintoja. Kun parametrit on saatu kohdalleen, voidaan ne tallentaa, jolloin seuraavassa ajossa oikeiden arvojen löytäminen helpottuu. (Järvelä ym. 2000, 111)

Kehittyneet ohjausyksiköt tarkkailevat myös erilaisia laatuun vaikuttavia suureita ja näyttävät toteutuneiden arvojen historiaa pitkältäkin aikaväliltä. Asetettujen toleranssien avulla koneen voidaan antaa itse ohjata prosessia ja jos se ei siihen pysty, ilmoittaa se häiriöstä ja pysähtyy automaattisesti. (Kurri ym. 1999, 76)

3.2.3.1 Automaattinen ohjaus

Automaattinen ohjaus toimii kuvion 1 periaatteella, jossa ruiskuvalukoneelle muodostetaan ohjelma käyttäen apuna ohjausyksikköä. Ohjelma seuraa koneen toimintoja ja antaa sen pohjalta toimintakäskyjä toimilaitteelle ja sen ohjausjärjestelmälle.

(Kurri ym. 1999, 76)

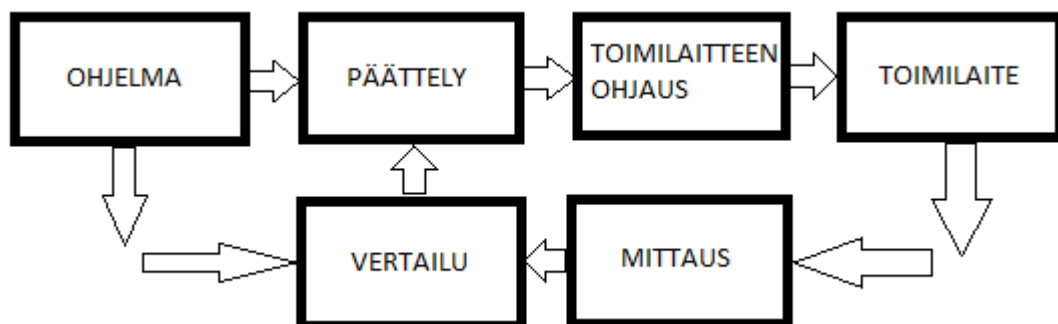


Kuvio 1. Automaattinen ohjaus (Kurri ym. 1999, 76)

3.2.3.2 Automaattinen säätö

Automaattisessa säädössä kone toimii samankaltaisella ohjelmalla kuin automaattisessa ohjauksessa. Kuten kuvio 2 esittää, saadaan toimilaitteelta jokin mitta-arvo takaisinkytkennällä ja tätä arvoa verrataan ohjelman asetusarvoon. Vertauksen perusteella toimilaitteen ohjaus muuttaa käynnissä olevaa prosessia oikeaan suuntaan.

(Kurri ym. 1999, 76)



Kuvio 2. Automaattinen säätö (Kurri ym. 1999, 77)

4 RUISKUVALUMUOTTI

Ruiskuvalumuotit ovat erittäin tarkasti viimeistelyjä ruiskuvalukoneen osia ja ne räätälöidään useimmiten yhtä ja tiettyä kappaletta varten. Valmistamisen koneellisuus on lisääntynyt, mutta silti muottien hinta pysyy korkealla johtuen raaka-aineista, suunnittelusta sekä valmistustyöstä. (Järvelä ym. 2000, 113)

Yksinkertaiset muotit koostuvat vain kahdesta muottipuolikkaasta, jotka kiinnittyvät muottipöytiin. Toinen puolikas on kiinteä ja toinen liikkuva. Rakenne voi kuitenkin olla hyvin monimutkainen. (Järvelä ym. 2000, 113)

Erilaisia muottiratkaisuja on monia. Nykyisin vähän käytetty kolmievymuotti aukeaa kahdesta jakotasosta, ensimmäisessä on muottipesä ja toisessa valukanava. Luistikeer-namuotissa kappaleen sisäiset muodot saadaan aikaan keernoilla. Kierroittava muotti on vielä yksi malli perusmuoteista. Kaksikerrosmuotti on esimerkki yksilöllisemmästä tuotantomuotista, jossa kumpikin muotin jakotasoista avautuu yhtä aikaa.

(Järvelä ym. 2000, 117–119)

4.1 Muotin tehtävät

Muotti toimii muovisulan virtauskanavana, jonka jälkeen sula asettuu muotin mukaiseen muotoon. Muotin avulla haluttu muoto saavutetaan, kun sula muovi jäähdytetään, jonka jälkeen valmis kappale voidaan työntää muotista. (Järvelä ym. 2000, 113)

Eri työvaiheiden kautta muotti joutuu kovalle rasitukselle ja sen tuleekin kestää massan aiheuttama paine sulkuvoimien rasitukset. Samalla sen pitää kuitenkin aueta helposti ja puoliskojen pitää kohdata toisensa tarkasti. (Järvelä ym. 2000, 113)

4.2 Muotin osat

Perusmuotissa toiminnallisia osia on melko vähän. Muotin keskeisin osa on muottipesä, jonka ympärillä on lämmönsäätöjärjestelmä. Muovi tulee muottiin syöttökanavaa pitkin.

Muotin ulko-osista löytyy muotin ohjaus sekä asennusosat. Lisäksi valmiille tuotteelle on ulostyöntömekanismit. (Järvelä ym. 2000, 114)

Kun muottia tarkastellaan lähemmin, käy selväksi, että kokonaisuus ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen. Yksittäisessä muotissa on yli 20 itsenäistä osaa, joiden pitää toimia tarkasti kokonaisuutena. (Järvelä ym. 2000, 114)

4.2.1 Muotin ohjaus ja kiinnitys

Muotin keskitys suuttimen kanssa samaan linjaan tapahtuu keskitysrenkaalla. Se on vaihdettava muotin osa, joka asennetaan muottiin vastaamaan kiinteän pöydän reikää. Suutin taas saadaan ohjattua muottisuuttimeen pallopinnan tai kartion avulla.

(Järvelä ym. 2000, 120)

Muottipuolikkaat ohjataan vastaamaan toisiaan yleisimmin tappiohjauksella, mutta lisä-apuna käytetään myös ohjauskartiota, joka tekee loppuohjauksen varsinkin käytettäessä suuria muotteja. Ohjaustappi-holkkimenetelmä tehdään tarkkuustyönä, jolloin välykset ovat pienet. Tällöin muottipuoliskojen ohjaus on tarkempaa, toisaalta kuitenkin osien kuluminen lisääntyy. Ohjauskartion ohjaus tapahtuu vasta muottipintojen ollessa kosketuksissa. (Järvelä ym. 2000, 120–121)

4.2.2 Syöttökanavat

Ruiskuvalukappaleesta löytyy monta ominaisuutta, joihin syöttökanava vaikuttaa. Laatu ja taloudellisuus sanelevat suuressa määrin käytettävän kanavamallin. Perinteiset valukanavatyyppit, kuten kartio- ja pistevalukanava ovat jääneet tuotantomuoteissa takalalle. Tämä johtuu siitä, että valukappaleeseen jää työstöjälki valutapin poistamisesta. Tasomaisen pinnan omaavia kappaleita valmistetaan kalvosyöttökanavilla, jolloin kappale ei kieroudu. (Järvelä ym. 2000, 122–123)

Valukanavista käytetyimpiä on tunnelivalukanava, jonka syöttöpiste saadaan sijoitettua useimmiten kappaleen sivupintaan. Irrotus tapahtuu automaattisesti, jolloin näiden toimintojen avulla irrotuskohta jää näkymättömiin. (Järvelä ym. 2000, 125)

Kissankynsivalukanavaa eli kaarevaa kanavaa käytetään silloin, kun ruiskutuspaikan on oltava kappaleen ulostyöntöpuolella. (Järvelä ym. 2000, 127)

4.2.3 Kuumakanavat

Kuumakanava toimii ruiskuvalukoneessa sylinterin jatkeena ja se voidaan tehdä toimimaan kahdella eri periaatteella. Kanava voi päättyä jo suutinalueelle tai se voi jatkua muotille asti, jolloin ruiskutus muottiin tapahtuu suoraan kanavan kautta. Kuumakanavan suuttimet voivat toimia kappaleen muotoa antavina pintoina, jolloin ne ovat muotoiltuja ja jäähdytettyjä. (Järvelä ym. 2000, 128)

Kuumakanavalla on myös muita etuja, kun verrataan perinteisiin valukanaviin. Raaka-ainehukkaa ja jälkityöstön tarvetta ei ole. Muottipesään voidaan asentaa useita ruiskutus pisteitä ja niiden paikat voi sijoitella halutulla tavalla. Kuumakanavien avulla voi rakentaa myös kerrosmuotteja. (Järvelä ym. 2000, 128)

Kuumakanavien ongelmia ovat aloituksessa tasapainon löytäminen ja siitä johtuva hävikin kasvu. Lämmönsäätö on haastavaa, jolloin tarvitaan lisälaitteita ja silti lämmitysvastuksia voi hajota. Kustannukset nousevat useimmiten perinteistä kanavajärjestelmää kalliimmaksi. (Järvelä ym. 2000, 128)

Kanavaa voidaan lämmittää sisäisesti tai ulkoisesti ja tämä määräytyy lämmityselementin paikan mukaan. Elementti voi olla sulakanavan keskellä ja ulkopuolisessa systeemissä käytetään kuumapalkkirunkoa tai suuttimen ulkopuolista lämmitystä.

(Järvelä ym. 2000, 128)

4.2.4 Muottipesä

Muottipesä on muotin tärkein yksittäinen osa, koska se antaa kappaleelle sen lopullisen muodon. Siksi sen tulee olla muodoltaan ja kooltaan sellainen, että massasula leviää

tasaisesti joka paikkaan. Muottikutistuman jälkeen kappaleen mittojen ja muodon tulee vastata annettuja parametreja. (Järvelä ym. 2000, 133)

Muotin täytyessä sisäinen paine kasvaa hyvin korkeaksi, joten materiaalien ja muotin valmistuksen taso pitää olla korkealuokkaista, jotta muottipesä kestää rasitukset muuttamatta muotoaan. (Järvelä ym. 2000, 133)

Sarjatuotannossa tehokkuus on avainasemassa, siksi muotit ovat usein monipesäisiä. Perhemuotissa pesät ovat identtisiä ja näin taataan, että valmistetut osat ovat ominaisuuksiltaan samanlaisia. (Järvelä ym. 2000, 133)

4.3 Muotin lämmönsäätö

Ruiskuvaluprosessissa iso osa käytetystä energiasta kuluu muovimassan työstämisen vaatimaan lämmönsäätelyyn. Taloudellisuuteen vaikuttaa se miten muovimassan siirtämä lämpömäärä saadaan poistettua muotista. Lämmönsäätely on kuitenkin myös muotin lämmittämistä verrattain korkeisiin lämpötiloihin. (Järvelä ym. 2000, 134)

Prosessin kannalta tärkeintä on, että lämpötila pysyy tasaisena kautta muotin, jolloin raaka-aineen työstö on helpointa. Tämä ei ole helppoa, koska yhden kappaleen valmistusjakso on lyhyt ja lämpötilan vaihtelut suuria. Lämmönsäätelykanavien sijoittelu on usein kompromissi, sillä ne joudutaan asentamaan sinne minne ne ongelmitta mahtuvat. Näin jotkut muotin osat jäävät tehokkaan lämmönsäätelyalueen ulkopuolelle.

(Järvelä ym. 2000, 133)

Lämmönsäätely vaikuttaa hyvin erilaisilla erityyppisiin raaka-aineisiin. Osakiteiset muovit luovuttavat kiteen muodostuessa enemmän lämpöä kuin amorfiset. Kertamuovien silloittumisnopeuteen voidaan vaikuttaa, koska ne ristosilloittuvat korkeissa lämpötiloissa. Nestekidemuovit puolestaan jähmettyvät hyvin nopeasti. Tarvittava lämpötapaino voidaan saavuttaa vain hyvällä lämmönsäätelyllä. (Järvelä ym. 2000, 133–134)

4.4 Muottikutistuma

Muovit pyrkivät kutistumaan, kun ne jäähtyvät ja jähmettyvät. Muottikutistuma tarkoittaa jähmettymisen seurauksena tapahtuvaa kutistumista ja siihen vaikuttaa monta tekijää. Muotin lämpötila on massan lämpötilaa tärkeämpi vaikuttaja. Jälkipainetaso ja sen pitoaika vaikuttavat myös kutistumaan. Kappaleen seinämävahvuus ja kappaleen etäisyys ruiskutusportista kuten myös muovilaji ovat osana kutistumakäyttäytymistä.

(Järvelä ym. 2000, 141)

Näin monta muuttujaa ja kutistuman vaihtelu kappaleen eri kohdissa antavat vaikeat lähtökohdat prosessin hallintaan. Muotti kannattaa valmistaa siten, että sen säätö onnistuu materiaalia poistamalla, ei lisäämällä. (Järvelä ym. 2000, 141)

5 RUISKUVALUPROSESSI

Ruiskuvaluprosessi muodostuu työkierrosta, jonka kesto esitetään ajan funktiona. Yksi kierros sisältää muotin sulkeutumisen, muovin ruiskutuksen ja jäähtymisen, jälkipaineen ja kappaleen ulostyönnon muotin aukeamisen jälkeen. Uusi kierto alkaa muotin jälleen sulkeuduttua. (Martin, Olmsted, 2001, 97)

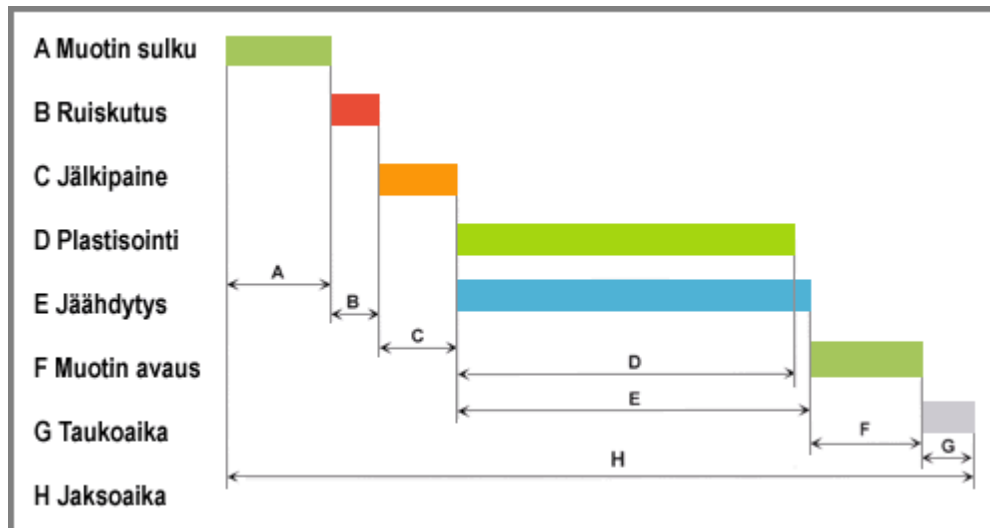
Jokaisessa suoritettussa kierrossa muodostuu valmis muovituote, kesti kierros sitten neljä sekuntia tai useita minuutteja. Yhden kierron aikana voi valmistua myös useampia kappaleita. Lääketieteeseen valmistettavia pienkomponentteja voi valmistua jopa yli sata kappaletta samassa kierrossa. Kierron pituus riippuu kappaleen koosta ja ominaisuuksista. (Martin ym. 2001, 97)

Kierron pituudella pystytään vaikuttavaan huomattavasti prosessin kannattavuuteen ja tuottavuuteen. Mitä enemmän kiertoja kone pystyy suorittamaan, sitä parempi tuottavuus. Jo muutaman sekunnin nopeutus voi merkitä suurta prosenttiosuutta tuottavuuden kasvatuksessa. (Martin ym. 2001, 98)

Prosessin hallinta on merkittävä osuus ruiskuvalua, koska sen avulla pystytään säätelemään ruiskuvalukappaleen pintaominaisuuksia, muotoa sekä sen mekaanisia ja kemiallisia ominaisuuksia. (Järvelä ym. 2000, 47)

5.1 Ruiskuvalujakso

Ruiskuvalujakso on kokonaisuus, jonka vaiheet ovat osittain tai kokonaan rinnakkain, kuten kuva 4 esittää.



Kuva 4. Ruiskuvalujakson vaiheet (Järvelä ym. 2000, 47)

5.1.1 Muotin sulku

Muotin sulku tapahtuu vaiheittain eri nopeuksilla siihen asti, että muotti on täysin sulkeutunut. Sulkemisliikkeen alussa nopeus on korkea hidastuen kohti sulkeutumista. Muottisulun varmistuspaineella varmistetaan aivan sulkeutumisen loppuvaiheessa, että sulkeutuminen on täydellinen, eivätkä mahdolliset jäämät vaurioita muottia. Jos käytetty kokoonpano vaatii, tässä vaiheessa tapahtuu ruiskutusyksikön eteenpäin suuntautuva liike, jolla estetään suuttimen jähmettyminen. (Järvelä ym. 2000, 48)

5.1.2 Ruiskutus

Kun muotti on sulkeutunut ja sekä muotin että ruiskutusyksikön suuttimet ovat vastakkain, voidaan ruiskutus aloittaa. (Järvelä ym. 2000, 48)

Ruiskutusvaiheessa kierukkaruuvi liikkuu nopeasti eteenpäin, jolloin se mäntämäisesti työntää muovisulan muottipesiin täyttäen ne. Muovimassan jähmettymisaika pitäisi olla sama kaikissa kappaleen osissa, joten ruiskutusnopeus on keskeisin tekijä. Ruiskutus-paineen on oltava riittävän suuri, että tavoiteltu muotin täyttämisaika saavutetaan. Käytännössä ruiskutusaika vaihtelee 0,1 sekunnin ja kolmen sekunnin välillä.

(Kurri ym. 1999, 79)

Ruiskutusvaiheen asetuksilla ja säädöillä voidaan olennaisesti vaikuttaa valetun kappaleen pinnanlaatuun. Ruiskutus ei täytä muuttia aivan äärimmilleen, vaan noin 5 prosenttia muotin tilavuudesta jää täyttymättä. (Järvelä ym. 2000, 48)

5.1.3 Jälkipaine

Jälki- eli pitopaine seuraa ruiskutusvaihetta. Se saadaan aikaiseksi kierukkaruuvien hitaalla, pyörimättömällä liikkeellä. Tällä saadaan täytettyä muovin jähmettymisestä johtuvan muottikutistuman synnyttämä tila. (Kurri ym. 1999, 80)

Mittatarkkuus, muovin sisäiset jännitykset ja kappaleen paino ovat jälkipaineen vaikutuksen alaisia muuttujia. Liian suurella jälkipaineella kappaleeseen voi syntyä myös pursetta, kieroutumista ja haurastumista. Muotin sulussa esiin tullut suuttimen jähmettyminen estetään tarvittaessa ruiskutusyksikön liikkeellä taakse. (Kurri ym. 1999, 80)

5.1.4 Annostus ja plastisointi

Annostelussa muovisulaa työntyy sylinterin etuosaan, koska kierukkaruuvi pyörii ja liikkuu samalla taaksepäin. Kuljettu matka määräytyy annoksen koon eli kappaleen massan mukaan. Tähän määrään pitää sisältyä mukaan jälkipaineen ylläpitoon tarvittava muovimassatyyny, joka jää ruiskutuksen jälkeen ruuvien etuosaan. (Kurri ym. 1999, 81)

Optimaalinen plastisointiaika on lähes yhtä pitkä kuin jäähdytysjakso. Se voi kestää myös paljon jäähdytysjaksoa vähemmän, mutta joskus koneen kapasiteetti ei vaan riitä suuren tilavuuden plastisointiin nopeassa ajassa. (Järvelä ym. 2000, 48)

Annostelun aikana muovisula synnyttää voimia, jotka kohdistuvat ruuviin työntäen sitä taaksepäin. Näitä voimia vastaan tarvitaan vastapaine, jonka avulla plastisointi saadaan tasalaatuiseksi ja sulan massan määrä mahdollisimman suureksi. Vastapaineen synnyttämä kitka voi tuottaa jopa 75 % plastisointiin tarvittavasta lämmöstä.

(Kurri ym. 1999, 81)

5.1.5 Jäähdytys

Kylmän muottipinnan kohtaaminen aloittaa välittömästi muovimassan jäähtymisreaktion ja varsinainen jäähdytysaika alkaa jälkipaineen päätyttyä. Koska ruiskutuslämpötilat ovat korkeita ja kappaleen lämpötila tulee laskea murto-osaan siitä, on jäähdytys usein kierron pisin vaihe. (Järvelä ym. 2000, 48)

Jäähtymisen tulisi saada mahdollisimman tasaiseksi, että kappaleeseen ei syntyisi laatu- poikkeamia kuten imuja tai huokosia. Vaadittavaan jäähdytysaikaan vaikuttaa lukuisia tekijöitä. Kappaleesta riippuvia tekijöitä ovat muovityyppi ja sen lämpösisältö sekä lämmönjohtavuus. Kappaleen seinämän paksuus sekä muotin lämpötila ja asetettu ulostyöntölämpötila ovat myös olennaisia vaikuttajia. (Kurri ym. 1999, 80)

5.1.6 Muotin avaus ja kappaleen ulostyöntö

Muottipuoliskojen avausliike on joustava mutta nopea. Muotin ei tarvitse olla täysin avautunut ennen kappaleen ulostyöntöä. Riittää että kappale on jäähtynyt ja jähmettynyt riittävästi ja muotti on avautunut tarpeeksi. Avausmatkan asetusarvon tulee olla niin suuri, että kappale mahtuu ulos muotista ilman ongelmia. Arvoon vaikuttavat kappaleen koko ja ulostyöntäjien suorittaman liikkeen pituus. Muotin keernatoiminnot ja robotin liikkeet tulee ottaa myös huomioon. (Kurri ym. 1999, 82)

Kappaleen ulostyönnön jälkeen voidaan aloittaa uusi ruiskuvalujakso, ellei tarvita taukoajan käyttöä. Tauko aika tarvitaan, jos kappale ei irtoa muotista ensimmäisellä ulostyönnöllä ja työntö tarvitsee toistaa. (Järvelä ym. 2000, 48)

6 RUISKUVALUN ERIKOISTEKNIIKAT

Erikoistekniikoita käytetään muovien ruiskuvalussa, kun tuotteella on jotain erityisvaatimuksia, joita ei perinteisillä menetelmillä saada valmistettua.

6.1 Monikomponenttiruiskuvalu

Nimensä mukaisesti tämä tekniikka mahdollistaa kappaleen valmistamisen useasta eri materiaalista. Tällöin voidaan käyttää saman muovimateriaalin eri värejä tai kokonaan eri muovilaatuja. Näin parannetaan lopputuotteen ominaisuuksia ja lisätään sen käyttömahdollisuuksia. Monikomponenttiruiskuvalussa voidaan käyttää eri tekniikoita.

(Järvelä ym. 2000, 158)

6.1.1 Sisäkkäisruiskuvalu

Tällä menetelmällä voidaan yhdistää kaksi tai useampia komponentteja toisiinsa niin, että sisä- ja ulko-osa ovat eri muovia. Käytössä voi olla erikoismuovi ja pehmeä muovi kuten autojen puskureissa tai sitten voidaan käyttää vain eri värejä. Prosessin hallittavuus on monimutkaista ja se vaatii hyvän muovien tarttuvuuden. Näin ollen myös laitekustannukset ovat korkeat. (Kurri ym. 1999, 95)

Sisäkkäisruiskuvalun yhtenä lajina pidetään kaasuvusteista ruiskuvalua. Siinä osittain täytettyyn muottiin ruiskutetaan paineella inerttiä kaasua, yleensä typpeä. Kaasun paineesta muovimassa painautuu reunoille ja kappaleesta muodostuu ontto. Kaasun paine vähentää myös jälkipaineen ja sulkuvoiman tarvetta. Kaasuvusteisella prosessilla säästetään materiaalia ja jo lyhyellä jaksonajalla saavutetaan hyvä pinnanlaatu.

(Kurri ym. 1999, 94)

Kaasuvusteisella ruiskuvalulla valmistetaan paksuseinäisiä kappaleita kuten pakkauslaatikoita. Tällöin prosessin ongelma, eli seinämäpaksuuden vaikea hallittavuus voi tulla esiin. (Järvelä ym. 2000, 163)

6.1.2 Rinnakkaisruiskuvalu

Kun tarvitaan samaan kappaleeseen eri materiaalista valmistettuja kohtia, käytetään liitosvalumenetelmää. Se on vanhin käytetty monikomponenttiruiskuvalutekniikka. Materiaalit saadaan työstettyä sekä rinnakkain että päällekkäin. Toteutus vaatii vaihdettavan muottipuoliskon tai liikkuvat keernat ja hyvän muovien välisen adheesion.

(Järvelä ym. 2000, 158)

6.1.3 Marmorointi

Marmorointia ei käytetä tuoteominaisuuksien takia, vaan lopputuotteen poikkeavan ulkonäön vuoksi. Tällaisessa ruiskuvalussa käytetään useimmiten saman muovimateriaalin eri värejä ja ne sekoitetaan peräkkäin tai samanaikaisesti kierukkaruuvissa. Materiaalien sekoittuminen ei ole täydellistä, jolloin tuote saa marmorin pintakuviota muistuttavan värityksen. (Järvelä ym. 2000, 158)

6.1.4 Samanaikainen ruiskuvalu

Prosessina samanaikainen ruiskuvalu on nopea, mutta samalla monikomponenttiruiskuvalutekniikoista vaativin. Muotti täytetään samanaikaisesti käytetyillä materiaaleilla, jolloin ne yhdistyvät jo työstölämpötilassa. Näin eri materiaalit voidaan yhdistää helposti, kunhan vaatimuksena ei ole yhtymäsauman laatu. Sauman sijaintia ja muotoa on vaikea hallita. (Järvelä ym. 2000, 164)

6.2 Häviävän keernan tekniikat

Kappaleiden sisäisiä muotoja on vaikea toteuttaa perinteisillä ruiskuvalutekniikoilla. Perinteinen keernatekniikka vaatii keernojen poistamisen ruiskuvalun loppuvaiheessa. Tämän takia on kehitetty erilaisilla mekanismeilla hajoavia keernoja, joilla muoto saadaan aikaan. (Järvelä ym. 2000, 173)

6.2.1 Sulavat metallikeernat

Monet sovellukset hyödyntävät sulavia metallikeernoja. Prosessi sisältää neljä vaihetta. Ensin metallikeerna valetaan alhaisessa lämpötilassa sulavasta metalliseoksesta. Valmis

keerna asetetaan muottiin ja sen jälkeen kappale ruiskuvaletaan. Viimeisenä metalli poistetaan kappaleesta sulattamalla, yleensä induktiolla. Tämän jälkeen sula metalli johdetaan uudelleen valuun ja prosessi alkaa alusta. (Järvelä ym. 2000, 173)

Keernan käyttö lisää prosessin vaiheita, mikä hidastaa tuotantoa tällä tekniikalla. Yhteensopivia keerna- ja muovimateriaaleja on vaikea löytää ja metallien kierrätys on hankalaa. Siksi kyseistä tekniikkaa käytetään melko vähän. (Järvelä ym. 2000, 173)

6.2.2 Liukenevat keraamikeernat

Yhdistämällä keraamijauhe ja vesiliukoinen sideaine saadaan nopeasti liukeneva keerna. Materiaalit ovat ympäristöystävällisiä sekä kierrätettäviä ja kustannuksiltaan alhaisia. keraamikeernat soveltuvat hyvin matalapaineisiin työstötekniikoihin, joissa ne eivät altistu vedolle tai taivutukselle. (Järvelä ym. 2000, 175)

7 LAATU JA LAADUNVALVONTA

Laadunvalvonta on ruiskuvalutuotannossa moneen osaan jaettu kokonaisuus, johon kaikki osat vaikuttavat merkittävästi. Raaka-aineille, prosessille ja valmiille tuotteelle on kaikille oltava omat laatuvaatimuksensa, joiden täyttymistä on valvottava.

(Järvelä ym. 2000, 190)

Laadukas tuotantokokonaisuus takaa yrityksen kilpailukyvyn ja kannattavuuden. Ammattitaitoiset työntekijät minimoivat hävikin ja reklamaatiokustannukset.

(Järvelä ym. 2000, 190)

7.1 Raaka-aineiden laatu

Raaka-aineiden laatua on usein vaikea kontrolloida, koska toimittajia ja nimikkeitä on paljon ja määrät ovat suuria. Muutamilla tekijöillä voidaan kuitenkin parantaa laadun hallittavuutta. Raaka-ainevalikoima kannattaa pitää mahdollisuuksien mukaan suppeana. Raaka-aineen oikea käsittely ja prosessin seuranta raaka-aineen tai erän vaihtuessa on tärkeää. (Järvelä ym. 2000, 192)

7.1.1 Raaka-aineiden analysointi

Raaka-ainetta voidaan tutkia monella tavalla, mutta useimmat menetelmät ovat kalliita ja vaativat todellista ammattitaitoa. Sulaindeksin määrittäminen on yksinkertainen operaatio siihen rakennetuilla välineillä ja se onkin tärkein laadunvalvonnan menetelmä.

Muita vähemmän käytettyjä menetelmiä ovat viskoteetin määrittäminen leikkausnopeuden ja lämpötilan funktiona. Paine-tilavuus-lämpötila analyysin lisäksi voidaan analysoida myös niin polymeeriä kuin apuaineita. (Järvelä ym. 2000, 193)

7.2 Prosessin laadunhallinta

Prosessia on pystyttävä hallitsemaan riittävästi, jotta lopputuotteen laatu voidaan taata. Prosessia pystytään hallitsemaan monipuolisesti, mutta ongelmaksi muodostuu erilaisien parametrien väliset riippuvuudet. Mittatarkkuus pystytään säätämään prosessin pa-

rametreillä, mutta eri osien välinen yhteensopivuus ei välttämättä ole riittävä. Sen takia laadunvalvonnassa käytetään esimerkiksi tilastollista prosessin hallintaa ja Cpk-lukuja. (Järvelä ym. 2000, 193)

7.3 Tuotelaatu

Muovituotteen laatuvaatimukset asetetaan useimmiten sen käyttökohteen ja – tarkoituksen perusteella. Kappaleen laatua voidaan seurata mittaamalla siitä sen ominaisuuksia kuvaavia parametreja. Useimmiten pyritään helposti mitattaviin suureisiin kuten kappaleen paino ja mitat. Vaikeammin määritettäviä ominaisuuksia ovat sisäiset jännitykset, homogeenisuus, hapettumisaste ja mekaaniset ominaisuudet.

(Järvelä ym.(2000, 190–191)

LÄHTEET

Davis, Martin E., Olmsted, Bernie A., 2001. Practical injection molding. Marcel Dekker, Inc.

Järvelä, Pertti, Syrjälä, Kai & Vastela, Martti, 2000. Ruiskuvalu. 3. p. Tampere: TTKK-PAINO

Järvinen, Pasi. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Porvoo: WS Bookwell Oy

Kurri, Veijo, Malén, Timo, Sandell, Risto & Virtanen, Matti, 1999. Muovitekniikan perusteet. Hakapaino Oy

Höök, Tuula, Nykänen, Sanna. Ruiskuvalu, tulostettu 9.8.2012.
<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>