



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

PET-PULLOJEN PUHALTAMINEN JA LAADUNTESTAUS

Case: Oy Sinebrychoff Ab

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Muovitekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Mari Koponen

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

KOPONEN, MARI:

PET-pullojen puhaltaminen ja laadun
testaus
Case: Oy Sinebrychoff Ab

Muovitekniikka opinnäytetyö, 48 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä käsitellään PET-pullojen materiaaleja, puhallustekniikoita ja Sinebrychoffilla käytettäviä laaduntestausmenetelmiä. Lisäksi käydään läpi yleisimpien ongelmien ratkaisuja puhallusmuovauksessa.

PET-pullot valmistetaan preformeista, ja pullojen puhallus tapahtuu Sinebrychoffin tiloissa. Preformien laatu vaikuttaa puhallettavan pullon ominaisuuksiin ja muotoutuvuuteen. Työssä käsitellään erityisesti Sinebrychoffilla käytettävää venytyspuhallusmuovausta.

Muita puhallusmuovaustekniikoita ovat ruiskutusvenytyspuhallusmuovaus, ekstruusiopuhallusmuovaus ja ruiskutuspuhallusmuovaus, jotka myös esitellään työssä.

Lisäksi työssä esitellään puhalletuille tyhjille pulloille Sinebrychoffilla tehtävät yhdeksän eri laatutestiä: visuaalinen tarkastus, paineenkestotesti, pullon osien painojen mittaaminen, pullon korkeuden ja ympärysmittan mittaaminen, pohjan etäisyyden mittaaminen, puristustesti, seinämän paksuuden mittaaminen, tilavuuden mittaaminen sekä jännityshalkeamatesti.

Työtä voidaan käyttää tulevaisuudessa koulutusmateriaalina uusille puhalluskoneen operaattoreille.

Asiasanat: PET-pullot, preformit, puhallustekniikat, venytyspuhallusmuovaus, laatutestit, ongelmatilanteet

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Plastics Engineering

KOPONEN, MARI:

Blow moulding and quality testing of
PET bottles
Case: Oy Sinebrychoff Ab

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 48 pages, 3 pages of appendices

Spring 2014

ABSTRACT

This thesis gives information on the raw-materials and blow moulding technologies used in making PET bottles, as well as quality tests which are used at Sinebrychoff. In addition, the thesis discusses the general problems of the blow moulding process and their solutions

PET bottles are made from preforms which are blow moulded at Sinebrychoff. The quality of the preforms affects the quality and the mouldability of the bottles. The thesis discusses especially the stretch blow moulding technology used at Sinebrychoff.

The other blow moulding technologies described are injection stretch blow moulding, extrusion blow moulding and injection blow moulding.

Thesis presents nine different quality tests which are used for empty bottles at Sinebrychoff: visual check, burst test, weighing of the parts of the bottle, measuring of height and circumference, base clearance, top load test, thickness of the wall, volume test and stress crack test.

The thesis can be used as a training material for new blow moulding operators.

Key words: PET bottles, preforms, blow moulding techniques, stretch blow moulding, quality tests, trouble shooting

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	OY SINEBRYCHOFF AB	2
2.1	Carlsberg-konserni	2
2.2	Vastuu ympäristöstä	3
3	MATERIAALITIEDOT	4
3.1	R-PET ja Plant-PET	4
3.2	PET:n olomuodot	5
3.2.1	Rajaviskositeettiarvo	6
3.2.2	Asetaldehydiarvo	7
4	PREFORMIT	9
4.1	Preformien ruiskuvalu	10
4.2	Preformien varastointi	13
5	PULLOJEN VALMISTUS PUHALLUSMUOVAUKSELLE	14
5.1	Venytyspuhallusmuovaus ja ruiskutusvenytyspuhallusmuovaus	14
5.2	Ekstruusio puhallusmuovaus	16
5.3	Ruiskutuspuhallusmuovaus	17
6	PREFORMISTA PULLOKSI	20
6.1	Preformien kuljetus ja esilämmitys	21
6.2	Preformien esilämmitys	22
6.3	Puhallusmuovaus	23
6.3.1	Venytyssuhde	25
6.3.2	4-vaiheinen aukipuhallus	26
7	PULLOJEN LAADUN TESTAUSMENETELMÄT JA ONGELMIEN RATKAISUJA	29
7.1	Spesifikaatiot ja mittaustulosten syöttöohjelma	29
7.2	Testit	30
7.2.1	Visuaalinen tarkastus	31
7.2.2	Paineenkestotesti	32
7.2.3	Pullojen osien painot eli materiaalin jakautuminen	33
7.2.4	Pullon korkeus ja ympärysmitta	35
7.2.5	Pohjan etäisyyden mittaus	35

7.2.6	Puristustesti	36
7.2.7	Seinämän paksuus	36
7.2.8	Tilavuuden mittaus	37
7.2.9	Jännityshalkeamatesti	37
7.3	Puhallusmuovauksen ongelmien ratkaisuja	38
7.3.1	Preformeista johtuvat ongelmat	38
7.3.2	Esilämmityksestä ja puhalluksesta johtuvat ongelmat	40
8	PULLOJEN TÄYTTÖ JA KIERRÄTYS	44
8.1	Pullojen täyttäminen	44
8.2	PET-pullojen kierrätys	45
9	YHTEENVETO	47
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Oy Sinebrychoff Ab:lla on siirrytty käyttämään PET-pulloja vuonna 2008. Ennen PET-pulloja Sinebrychoffilla käytettiin kierrätettäviä muovipulloja. PET-pullojen kierrätys on kuitenkin tehokkaampaa ja ympäristöystävällisempää kuin entisten kierrätettävien muovipullojen käyttö. PET-pullot valmistetaan kierrätysmuovista. Pullojen puhallus tapahtuu Sinebrychoffin tiloissa.

Sinebrychoffilla käytetään venytyspuhallusmuovausta, jossa panimolle toimitetuista preformeista, eli pullon aihioista, venytetään ja puhalletaan paineen ja lämmön avulla pulloja. Preformien laatu vaikuttaa puhallettavan pullon ominaisuuksiin ja muotoutuvuuteen. Sinebrychoffilla valmistetaan usean muotoisia ja kokoisia pulloja, joiden koot vaihtelevat 0,33 ja 1,5 litran välillä. Tässä työssä ei käytetä tuotenimiä, vaan puhutaan pulloista niiden yleisnimillä.

Pullojen laatua testataan useilla eri menetelmillä. Testeissä kiinnitetään huomioita esimerkiksi pullojen ulkonäköön, painoon, seinämän paksuuteen, paineenkestoon ja muotoutuvuuteen. Osa testeistä suoritetaan päivittäin, ja osa vain silloin, kun tuotantoon tulee uusi pullotyyppi. Laatua testaavat puhalluskoneen operaattorit ja laborantit. Laatua seurataan esimerkiksi mittaustulosten syöttöohjelmalla, jonka kautta myös tiedotetaan mahdollisista poikkeamista.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään PET-pullojen materiaaleja, puhallustekniikoita ja Sinebrychoffilla käytettäviä laaduntestausmenetelmiä. Lisäksi käydään läpi yleisimpien ongelmien ratkaisuja puhallusmuovauksessa. Työ on laadittu kirjallisuuskatsauksen avulla, operaattorien ja laboranttien työtä seuraamalla sekä keskustelemalla operaattoreiden ja linjajohdon kanssa. Vastaavaa suomenkielistä tutkimusta ei löytynyt kirjallisuuskatsauksessa. Työtä voidaan käyttää tulevaisuudessa koulutusmateriaalina uusille puhalluskoneen operaattoreille.

2 OY SINEBRYCHOFF AB

Oy Sinebrychoff Ab on Suomen vanhin elintarvikealan yritys ja Pohjoismaiden vanhin panimo. Yritys on Suomessa johtavassa asemassa virvoitus- ja energiajuomien sekä siiderien, oluiden ja lonkeroiden valmistuksessa. Sinebrychoff on Suomessa ainoa yritys, joka valmistaa Coca-Cola Companyn tuotteita. Näihin sisältyvät erimakuiset Coca-Colat, Fantat, Spritet ja BonAquat. Muita Sinebrychoffin tunnettuja tuotteita ovat muun muassa KOFF, Karhu, Golden Cap, Battery sekä Muumi- ja Smurffi-virvoitusjuomat. Sinebrychoffin panimo sijaitsi alun perin Helsingissä Hietaniemen alueella, josta se muutti Keravalle 1992. Nykyisin Keravalla sijaitseva panimo on toiminnaltaan yksi Euroopan moderneimmista panimoista. (Sinebrychoff 2014c.) Alapuolella (TAULUKKO 1) on lueteltuna Oy Sinebrychoff Ab:n toiminnan keskeisimmät luvut vuodelta 2012.

TAULUKKO. 1 Oy Sinebrychoff Ab:n avainluvut 2012 (Sinebrychoff 2013)

Liikevaihto	396 M€
Henkilöstö	850 henkeä
Kokonaistuotanto	367 miljoonaa litraa
Vienti	n. 5 % kokonaismyynnistä

2.1 Carlsberg-konserni

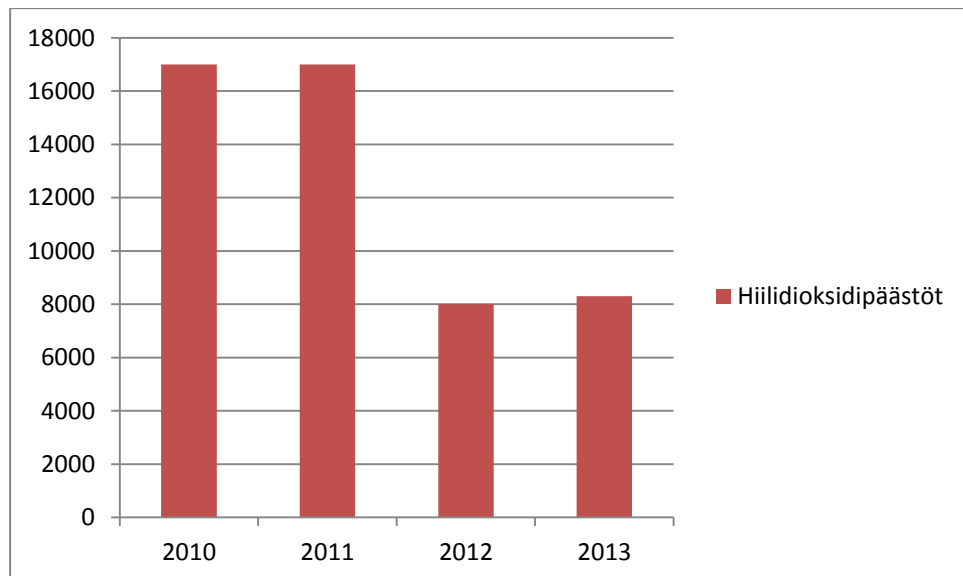
Vuonna 2000 Sinebrychoffista tuli osa Carlsberg-konsernia, joka on maailman neljänneksi suurin panimo. Carlsbergin perusti J. C. Jacobsen vuonna 1847. Carlsbergin tunnettuja juomia ovat esimerkiksi Carlsberg, Tuborg ja Baltica. Carlsbergin pääkonttori sijaitsee Kööpenhaminassa. (Carlsberg Group 2013.) Alapuolella on lueteltuna Carlsbergin avainlukuja vuodelta 2012 (TAULUKKO 2). Luvut ovat noin arvioita valuuttamuunnoksen takia.

TAULUKKO 2. Carlsbergin avainluvut 2012 (Sinebrychoff 2013)

Liikevaihto	8 miljardia €
Liiketulos	1,34 miljardia €
Henkilöstö	yli 41 000

2.2 Vastuu ympäristöstä

Sinebrychoffilla vastataan hyvin nykypäivän ympäristövaatimuksiin. Ympäristön kuormittamisen vähentäminen on myös yksi päätavoitteista. Pyrkimyksenä on vähentää tuotannossa käytettävän veden ja tuotannossa syntyvän jäteveden määriä. Tavoitteena on myös vähentää tuotannon energian kulutusta, pakkausjätettä ja kasvihuone- ja pakokaasupäästöjä (KUVIO 1). Pakkausmateriaalit ovat kaikki kierrätettäviä ja niiden käyttöä pyritään vähentämään. Yrityksen johto ja johtoryhmä ovat sitoutuneita edistämään yhteiskuntavastuuta. (Sinebrychoff 2014b.)



KUVIO 1. Hiilidioksidipäästöjen kehitys (Sinebrychoff 2014c)

3 MATERIAALITIEDOT

Yleisellä tasolla muovit jaetaan kerta- ja kestopuoveihin niiden muovausominaisuuksien perusteella. Kertamuovit ovat vain kerran muovailtavissa, kun taas kestopuovit ovat useasti muovailtavia. Kertamuoveissa on polymeeriketjujen välillä kemiallisia sidoksia, joita kestopuoveissa ei ole. Kertamuoveja ovat muun muassa epoksihartsit.

Virvoitusjuomapulloissa käytetään kestopuovia, kuten polyeteenitereftalaattia (PET). Näin valmistetut pullot voidaan kierrättää, eli niissä käytettävä muovi voidaan muovata uudelleen lämmön ja paineen avulla. Muita kestopuoveja ovat muun muassa polypropeeni (PP) ja polyamidit. (Seppälä 2008, 27.)

Tässä luvussa käsitellään Sinebrychoffilla virvoitusjuomapulloissa materiaalina käytettäviä polyeteenitereftalaatteja, R-PET:a sekä Plant-PET:a. PET-pullot otettiin käyttöön vuonna 2008 (Lappalainen 2010, 2). Lisäksi käsitellään PET-pullomateriaalin tärkeimpiä ominaisuuksia: rajaviskositeettiarvoa ja asetaldehydipitoisuutta.

3.1 R-PET ja Plant-PET

Sinebrychoffilla on käytössä kahdenlaista PET-materiaalia: R-PET ja Plant-PET. R-PET:sta valmistetaan kaikki muut pullot paitsi 0,5 litran X-pullot, jotka valmistetaan Plant-PET:sta (PlantBottle™). R-PET on kierrätettyä materiaalia ja Plant-PET on materiaalia, jossa 15 % on kasviperäistä materiaalia ja 50 % kierrätettyä materiaalia. (Coca-Cola Company 2014.)

R-PET rakentuu kahdesta komponentista: mono-etyleni glykolista (MEG) 30 % ja puhdistetusta tereftaali haposta (PTA) 70 %. Plant-PET:ssa MEG korvataan kasvipohjaisella materiaalilla, joka on tehty sekä sokeriruokoetanolista että sokerin valmistuksessa syntyvästä molassista, tai pelkästään sokeriruokoetanolista. Kierrätys- ja käyttöominaisuuksiltaan Plant-PET on samanlainen kuin PET ja R-PET. (Coca-Cola Company 2014.)

Suomessa Plant-PET otettiin käyttöön 2013. Suomen lisäksi Plant-PET:a käytetään Norjassa, Ruotsissa, Iso-Britanniassa, Ranskassa, Saksassa, Espanjassa, Hollannissa ja Belgiassa. Plant-PET vastaa pakkausteknologian kasvaviin ympäristövaatimukseen vähentämällä fossiilisten raaka-aineiden käyttöä. Tulevaisuuden tavoitteena onkin kehittää pullo, joka olisi tehty kokonaan uusiutuvista materiaaleista, kuten kasvijätteistä. Plant-PET:n käytön myötä jo pelkästään Coca-Cola-pulloihin käytetty öljymäärä on vähentynyt 200 000 tynnyrillistä vuosina 2009 - 2012. Vuonna 2010 tehtiin jo pelkästään Coca-Cola-pulloja noin 2,5 miljardia. (Coca-Cola Company 2014.)

3.2 PET:n olomuodot

Polyeteenitereftalaatti, PET, omaa kaksi eri rakennemuotoa, jotka ovat osittain kiteinen ja amorfinen (Brandau 2003, 16). Osittain kiteinen rakenne on muovilla, jonka polymeeriketjut ovat järjestyneet säännöllisiksi tilavuusmuodoiksi, kristalliiteiksi. Kun kiteistä polymeeriä lämmitetään, kristalliitit hajoavat sulamispisteessä. Kristalliitit muodostuvat uudelleen, jos lämpötilaa lasketaan sulamispisteen alapuolelle (Seppälä 2008, 45). Amorfisella muovilla puolestaan ei ole kiteistä rakennetta. Amorfisella muovilla ei ole sulamispistettä, vaan lasiutumispiste, josta käytetään lyhennettä T_g , lasiutumislämpötila. Lasiutumislämpötila on piste, jossa kuumennettu amorfinen muovi jäähtyessään muuttuu nestemäisestä tilasta kumimaiseen tilaan, josta se lopulta jähmettyy kovaksi ja lasimaiseksi aineeksi. Osittain kiteytyneellä materiaalilla on rakenteessaan sekä kiteisyyttä (kristalliitteja) että amorfisuutta. Osittain kiteisen materiaalin käyttölämpötila on kiteiden sulamispisteen alapuolella ja lasiutumispisteen yläpuolella. (Seppälä 2008, 52–53.) Alapuolella (TAULUKKO 3) on lueteltuna PET-materiaalin tiheys, sulamispiste, lasiutumispiste sekä vetolujuus.

TAULUKKO 3. PET:n ominaisuudet (Brandau 2003, 17)

Materiaali	Tiheys (g/cm ³)	Sulamislämpötila (°C)	Lasiutumislämpötila T _g (°C)	Vetolujuus (kg/cm ²)
PET	1,33	260	76	583

Kun PET on granulaatteina, on sen rakenne lämmön avulla kiteytynyt, mutta vain osittain. Granulaatit on valmistuksessa kristallisoitu 50 %:sta 70 %:iin. Tässä vaiheessa PET on väriltään valkoista, koska sen rakenteessa olevat sferuliitit heijastuvat valkoisina. Valmiissa pullossa sen pohjassa näkyvä ruiskutuspiiste on kiteinen. (Brandau 2003, 16.)

Sulatetut PET-granulaatit ovat rakenteeltaan amorfisia, kuten myös granulaateista tehdyt preformit. Preformit ovat kirkkaita eivätkä valkoisia niin kuin granulaatit ovat. Tämä johtuu siitä, että amorfisella muovilla ei ole järjestynyttä rakennetta. Valmiissa pullossa vain kaulaosa on amorfinen. (Brandau 2003, 16–17.)

Osittain kiteytynyt rakenne PET:lla on, kun se on puhallusmuovattu pulloksi, jolloin pullon seinät ovat rakenteeltaan osittain kiteiset. Kun materiaali venytetään ja puhalletaan muotoonsa, se osittain kiteytyy. Kiteisyys pysyy kuitenkin niin pienenä, ettei PET muutu takaisin valkoiseksi, kuten se oli granulaattivaiheessa. (Brandau 2003, 17.)

Virvoitusjuomapullon kannalta tärkeitä ominaisuuksia muovilta ovat rajaviskositeettiarvo sekä asetaldehydipitoisuus. Seuraavissa alaluvuissa on käsitelty näitä ominaisuuksia.

3.2.1 Rajaviskositeettiarvo

Rajaviskositeettiarvo, intrinsic viscosity (IV), mittaa polymeerin molekyyliainetta. Se määritetään mittaamalla polymeerin viskositeettia erityisen myrkyllisen liuottimen avulla. Kun rajaviskositeettiarvo kasvaa, polymeerin ketjuista tulee pidempiä ja muovin mekaaninen kestävyys paranee. (Brandau 2003, 17.) Jotta PET-pullon puhaltaminen onnistuu, on PET-muovin IV-arvon

oltava oikeanlainen. Yritys on määrittänyt, että IV-arvon on oltava vähintään 0,82 (Carlsberg spesifikation). Yleisesti ottaen PET-pulloille IV-arvo on 0,72 – 0,85 (Edupoli 2007b, 2). Periaatteessa ei ole yhtä ainoaa oikeaa IV-arvoa, vaan sen suuruus riippuu jokaisen tehtaan omista kokemuksista. Omien kokemusten perusteella yritys on määrittänyt spesifikaation (Thiele 2007, 85).

Jo pienetkin IV-arvon vaihtelut vaikuttavat preformin valmistus- ja jatkokäsittelyprosessiin. IV-arvon ollessa liian matala on materiaalin paineen kesto huomattavasti alhaisempi, jolloin puhalluksessa ei välttämättä saavuteta pullon oikeanlaista muotoa, jännityshalkeilu on yleisempää, muovi ei ole enää kirkasta, vaan sen pinta on samea sekä preformin muovautuminen on vaikeampaa, koska muovin jakautuminen on epätasaisempaa. (Thiele 2007, 85–88.)

Oikeanlaisen IV-arvon määrittäminen on tärkeää, jotta lopullisen tuotteen ominaisuudet ovat oikeanlaiset. IV-arvon ollessa korkeampi on myös lopullisen tuotteen, pullon, mekaaniset ominaisuudet lujempia. Näin ollen pullo kestää paremmin ulkoapäin kohdistuvia mekaanisia rasitteita (Edupoli 2007b, 2). Toisaalta, jos IV-arvon annetaan nousta liian korkeaksi, on se kuitenkin tuotteen kannalta epätoivottavaa. IV-arvon oltaessa liian korkea voi tuotteeseen jäädä sulamatonta muovimassaa, jännityshalkeamat yleistyvät, tuotteen pintaan saattaa jäädä erilaisia kuvioita ja tuotteesta, preformista tai pullosta, voi tulla virheellinen (Thiele 2007, 85–88).

3.2.2 Asetaldehydiarvo

Toinen lopullisen tuotteen, virvoitusjuomapullon, kannalta tärkeä asia on asetaldehydiarvo, AA. Asetaldehydi on väritön kaasu, jota syntyy luonnollisesti esimerkiksi hedelmien tuottamana ja joka imeytyy amorfiseen muoviin. (Edupoli 2007b, 5.) Asetaldehydi muodostuu PET:n sulamisvaiheessa, joka tapahtuu preformien ruiskuvalun aikana. Asetaldehydiä muodostuu lämmöstä johtuvan hajoamisreaktion aikana, mitä voidaan vähentää preformien nopealla valmistusajalla. Asetaldehydiä syntyy riippuen siitä, kuinka kauan itse muovi on sulassa tilassa. Asetaldehydiä voidaan vähentää, jos PET-granulaatit onnistutaan

kuivamaan hyvin ennen preformien ruiskuvalua, tai ruiskuvalussa muovin annostelunopeus pidetään alhaisena. (Thiele 2007, 117–121.)

Yritys on laatinut asetaldehydipitoisuudelle spesifikaatiot (Carlsberg spesification):

- kivennäisvesipullot max. pitoisuus 4 ppm
- virvoitusjuomapullot 25 ppm
- olutpullot 25 ppm.

4 PREFORMIT

Tässä luvussa käsitellään preformien valmistusta. Preformeilla tarkoitetaan aihioita, joista pullot puhalletaan. Preformeja voidaan valmistaa kirkkaina tai värillisinä (KUVIO 2).



KUVIO 2. Erivärisiä preformeja (Putokšnis 2014)

Sinebrychoffilla käytetään kirkkaita, vihreitä ja mustia preformeja, riippuen valmistettavasta tuotteesta. Sinebrychoffille preformit tulevat Liettuasta SA Putokšnisilta. Preformit ovat yrityksen hyväksymiä ja Putokšnis valmistaa preformit yrityksen vaatimusten mukaisesti. Sinebrychoffille toimitetaan Putokšnisilta eri painoisia preformeja: 51,5 g, 43,0 g, 31,5 g, 24,0 g ja 18,5 g. Alapuolella (TAULUKKO 4) luetellaan, mitä preformeja käytetään erikokoisilla pulloilla.

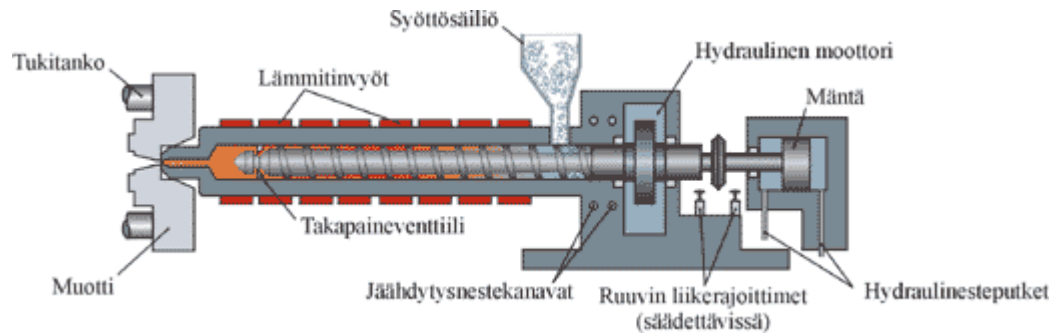
TAULUKKO 4. Preformien painot ja pullojen koot

Preformin paino	Pullon koko
43,0 g	1,5 litraa
51,5 g	1,25 litraa
31,5 g	0,95 litraa
24,0 g	0,4-; 0,45- ja 0,50 litraa
18,5 g	0,33 litraa

Preformien valmistus jaetaan 1- ja 2-vaiheiseen tuotantotapaan. 1-vaiheisella tuotannolla tarkoitetaan sitä, että preformien ruiskutus ja niiden aukipuhallus tapahtuvat samassa yksikössä, kun taas 2-vaiheisella tarkoitetaan sitä, että ruiskutus ja puhallus tapahtuvat eri yksiköissä. (Brandau 2005, 92–96.) Nämä eri tavat on selitetty alaluvussa 5.1. Sinebryhoffin preformit ovat 2-vaiheisia, sillä ne valmistetaan eri tehtaassa. Tässä alaluvussa on käsitelty jälkimmäistä tapaa, 2-vaiheista tuotantotapaa.

4.1 Preformien ruiskuvalu

Preformit valmistetaan ruiskuvalulla, jossa PET-granulaatit sulatetaan ruiskuvalukoneessa lämmön ja kitkan avulla, jonka jälkeen sula massa ruiskutetaan ruiskuvalukoneen ruuvin avulla muottiin (KUVIO 3). Kun muovi jäähtyy, niin se saavuttaa muotin muodon. (Seppälä 2008, 275.)



KUVIO 3. Esimerkki ruiskuvalukoneesta (Tampereen teknillinen yliopisto 2014)

Seppälän mukaan ruiskutusnopeuden tulee olla suuri ja ruiskutuspaineen iso, mutta PET-preformien ruiskutuksessa niiden on oltava pieniä (Brandau 2005, 87). Jos ruiskutuspainetta on liian iso ja ruiskutusnopeus liian suuri, niin PET-materiaalissa voi esiintyä leikkaantumista. Jos preformin seinämän paksuudet olisivat suuremmat, niin nämä tekijät eivät nousisi niin suuresti esille kuin ne nousevat nyt. (Brandau 2005, 87.)

Onnistuneen preformin ruiskutus vaatii PET-granulaattien hyvää kuivaamista ennen ruiskutusta. PET on hydroskooppinen materiaali, eli se imee vettä ja kosteutta itseensä. Ruiskutettava materiaali voi sisältää vettä enintään 50 ppm (parts per million). Jos granulaatteja ei ole kuivattu hyvin, ruiskutuksen yhteydessä materiaalin rajaviskositeetti (IV) laskee. Mitä enemmän vettä granulaatit sisältävät, sitä enemmän IV laskee, jolloin hyvien preformien ruiskuttaminen on mahdotonta. Hyvällä preformilla tässä tarkoitetaan preformia, jonka puhaltaminen haluttuun muotoon onnistuu. Kuivaus tapahtuu lämmitetyn ilmavirran avulla, jonka lämpötila saa enintään olla 171 °C. Jos kuivaus tapahtuu korkeammassa lämpötilassa, granulaatit kellastuvat eivätkä ole enää käyttökelpoisia. (Brandau 2005, 86–87.) Jos kuivaaminen onnistuu huonosti, IV laskee eikä valmistettu preformia voida työstää samalla tavalla. Preformi alkaa paisua pienemmässä paineessa, koska sen venytysuhde (SR) (katso luku 6.3.1) on suurempi kuin preformilla, jonka granulaattien kuivaus on onnistunut. (Brandau 2005, 87.)

PET-preformien ruiskuvalussa ruiskutus tapahtuu niin, että preformin ruiskutuskohta on preformin alaosassa. Ruiskutuskohta näkyy selvästi myös valmiin pullon pohjassa. Tätä kohtaa kutsutaan myös portiksi, jonka täytyy olla tarpeeksi paksu ajatellen preformin loppukäyttöä pullona. Jos ruiskutuspuheen paksuus jää liian ohueksi, se ei kestä puhalletun pullon paineistusta täyttämisen yhteydessä. Esimerkkinä Brandau mainitsee, että preformin seinämän paksuuden ollessa 3 mm, on silloin pelkän ruiskutuskohdan oltava 2,16 mm – 2,34 mm lisää tähän seinämän paksuuteen verrattuna. Kun ruiskutus aloitetaan tästä päästä preformia, niin kaulan ruiskutus tapahtuu viimeisenä, koska se on viimeinen kohta muotista, jonka muovi saavuttaa. Kun ruiskutus tapahtuu, muovin kohdatessa muotin seinämän, muovin jähmettyminen alkaa heti. (Brandau 2005, 87–92.)

Koska muovin jähmettyminen alkaa heti, kun muovi koskee muotin seinämää, on sen optimaalinen orientoituminen tärkeä asia. Orientoitumisella tarkoitetaan materiaalin, tässä tapauksessa polymeerin hiiliketjujen, järjestäytymistä. (Brandau 2005, 80.)

Orientoituminen tapahtuu venytyksen avulla, joka suunnataan polymeeriketjuhin sekä vaaka- että pystysuorasti. Venytys tapahtuu siten, että amorfista PET:a venytetään lasiutumispisteen (T_g) alapuolella, jolloin polymeeriketjut rikkoutuvat ja tuotteen vetolujuus pienenee. Samaan aikaan materiaalia venytetään lasittumislämpötilan yläpuolella, jolloin polymeeriketjut järjestäytyvät eli orientoituvat venityssuunnan mukaan. Kun näitä venytysvoimia pidetään yllä kappaleen jäähtymisen aikana, molekyylit jähmettyvät venytystilassa. Kun venytys tapahtuu molemmista suunnista, saadaan materiaalia, joka on biakiaalisesti orientoitunut. (Edupoli 2007b, 3.)

Jotta pullosta tulisi itse tuotteen kannalta oikeanlainen, sen venytyksen pitää loppua juuri oikeassa kohdassa. Jos venyminen ei lopu oikeassa kohdassa, orientaatio ei onnistu eikä pullon muotoutuminen ole oikeanlainen. Väärin orientoituneen PET-muovin kappaleen pintaan voi tulla myös erilaisia halkeamia. (Brandau 2005, 80.)

Preformien kaulaosaa ei muovata enää ruiskuvalun jälkeen, eli sen mitat pysyvät samana puhalluksen aikana. Sinebrychoffilla kaulan halkaisija on 28 mm kaikilla

0,95, 0,5, 0,45 ja 0,33 litran tuotteilla. Yleisesti kaulojen halkaisijat voivat vaihdella 28 mm ja 60 mm:n välillä (O'Neill 2000, 21).

4.2 Preformien varastointi

Kun preformit on ruiskuvalettu, ne laitetaan kuljetuslaatikkoon (konttiin), jossa ne saapuvat Sinebrychoffille. Ennen preformien syöttämistä puhalluskoneelle on niiden lämpötilaa tasattava pitämällä niitä vähintään vuorokausi huoneenlämmössä. Preformit tulevat Liettuasta asti, joten niiden lämpötilat voivat vaihdella suuresti. 1-vaiheisessa tuotantotavassa tätä ei tapahdu, sillä preformit siirtyvät suoraan ruiskutuksen jälkeen puhallukseen (Braundau 2005, 92–93).

Kun preformit ovat olleet huoneenlämmössä ainakin vuorokauden, niin ne esilämmitetään vielä ennen kuin niiden aukipuhallus tapahtuu. Tämä tapahtuu juuri ennen puhaltamista, jotta muovi saadaan lämmitettyä lähelle puhalluslämpötilaa. (Brandau 2005, 93.) Preformien esilämmityksestä kerrotaan lisää luvussa 6.2.

5 PULLOJEN VALMISTUS PUHALLUSMUOVAUKSELLE

Puhallusmuovaustapoja on kolme: venytys- ja ruiskutusvenytyspuhallusmuovaus, ekstruusiopuhallusmuovaus sekä ruiskutuspuhallusmuovaus (Rosato & Rosato 1989, 15). Sinebrychoffilla on käytössä venytyspuhallusmuovaus. Alaluvuissa on esiteltyä kaikki puhallustavat ja luvussa 6.3 perehdytään tarkemmin venytyspuhallusmuovaukseen.

5.1 Venytyspuhallusmuovaus ja ruiskutusvenytyspuhallusmuovaus

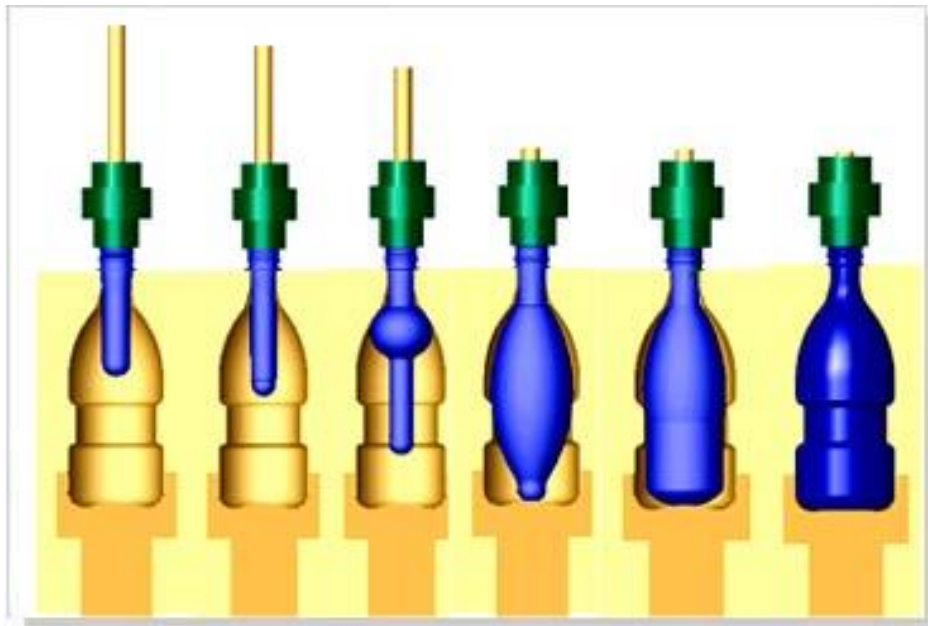
Ensimmäiset PET-pullot valmisti DuPont 1970-luvulla. Pullo valmistettiin venytyspuhallusmuovauksella, jolloin preformi oli valmistettu jo etukäteen ruiskuvalulla. 1970-luvulla markkinoille nousi Sidel, joka ensimmäisenä yrityksenä valmisti puhalluskoneita, jotka mahdollistivat suuret tuotantomäärät. (Brandau 2003, 12–13.) Muita konemerkkejä nykyään ovat muun muassa Sipa, Kronos, SIG Corpoplast (Edupoli 2007a, 9). Sinebrychoffilla on käytössä Sidelin puhalluskone.

Venytyspuhallusmuovauksessa on kaksi eri tapaa valmistaa lopullinen tuote, pullo. Pullo voidaan valmistaa ruiskutusvenytyspuhallusmuovauksella (ISBM, injection stretch blow moulding) tai venytyspuhallusmuovauksella (SBM, stretch blow moulding). Sinebrychoffilla on käytössä jälkimmäinen, SBM, jossa pullojen preformit on valmistettu etukäteen Putokšnisilla, kun taas ISBM:ssa puhalluskoneeseen kuuluu myös preformien ruiskutusyksikkö. Molemmissa tavoissa voidaan käyttää materiaaleina PET:a, polypropeenaa (PP) tai polyeteeni-naftalaattia (PEN). Molemmilla tuotantotavoilla voidaan valmistaa monenmuotoisia pulloja, mutta vain sellaisia, joissa kaula on symmetrisesti pullon keskellä. (Edupoli 2007a, 1, 9–10.)

ISBM:ssa, eli 1-vaiheisessa tuotantotavassa, preformin laadun tarkkailu on parempaa verrattuna SBM:iin. Ensimmäisessä tavassa koneessa voidaan havainnoida preformien virheet heti, kun taas jälkimmäisessä tapauksessa viat huomataan usein vasta lopullisesta tuotteesta. Tällöin vian kohdistaminen nimenomaan preformiin on hankalampaa, koska välissä on tapahtunut puhaltaminen. Toisaalta, kun vertaillaan tuotantoaikoja, niin SBM:ssa, eli 2-

vaiheisessa tuotantotavassa, ei tarvitse huomioida preformien tekemiseen kuluva aikaa, vaan voidaan keskittyä vain pullojen puhaltamiseen. (Edupoli 2007a, 8–9.) Näin ollen säästytään myös yhden koneen ostamiselta, kun ei tarvitse ostaa ruiskuvalukonetta erikseen.

Venytyspuhallusmuovauksessa valmiit preformit syötetään puhalluskoneeseen kuljetinta pitkin. Ensimmäisenä ne menevät uuniin, jossa tapahtuu preformien esilämmitys. Preformin eri kohtiin suunnattujen infrapunalamppujen avulla sitä kuumennetaan niin, että kun se asettuu muottiin, voidaan puhallus aloittaa. Puhalluksen aikana venytystappi menee ensin pulloon, jonka jälkeen pullo puhalletaan haluttuun muotoonsa (KUVIO 4). Prosessista kerrotaan enemmän luvussa 6.



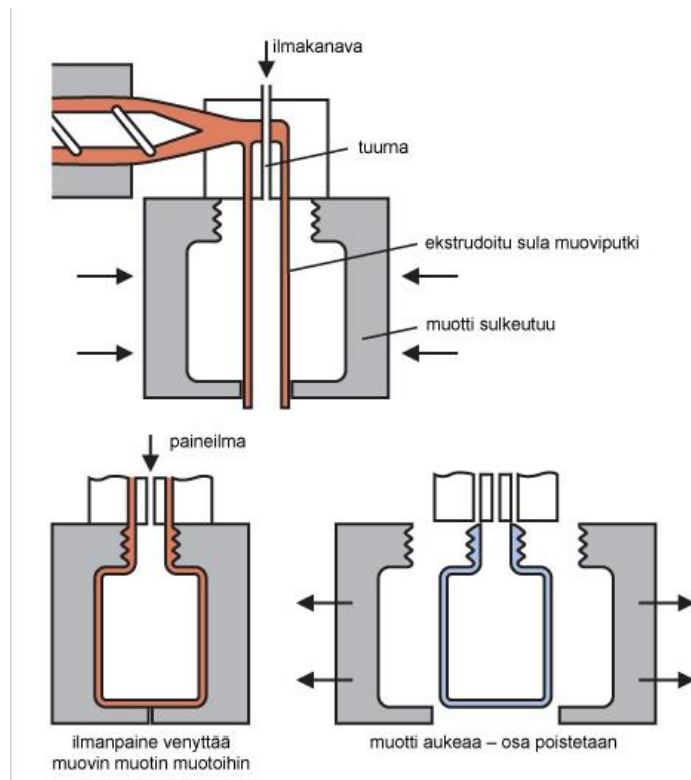
KUVIO 4. Venytyspuhallusmuovaus (The Metal Casting 2014)

Venytyspuhallusmuovauksella tehtyjen tuotteiden kestävyys, kirkkaus sekä ulkopuolisten kaasujen ja kosteuden eristys ovat ylivoimaisia muihin puhallustapoihin verrattuna. Muovipulloissa voidaan havaita vain pientä virumista (Rosato & Rosato 1989, 52).

5.2 Ekstruusiopuhallusmuovaus

Ekstruusiopuhallusmuovauksessa (extrusion blow moulding) kappale muotoillaan siten, että ekstruuderilla tehdään ontto putki, joka puristetaan muotin väliin, ja putken ala- tai yläpään laitetaan puhallusyksikkö. Puhallusyksiköstä puhalletaan ilmaa, joka muovaa putken seinämät muotin reunoja vasten. Kun kuumen aihion reunat koskettavat kylmää muotin reunaa, kappale saa muotonsa (KUVIO 5). Kun kappaleen puhallus on valmis, puhallusyksikkö poistetaan pullon päästä, kappale jäädytetään muotin sisällä ja lopuksi poistetaan muotista (Rosato & Rosato 1989, 16). Tällä menetelmällä voidaan puhalttaa myös muita materiaaleja kuin vain PET:a, kuten polyvinyylidikloridia (PVC), jota on käytetty pulloissa 1940-luvulla (Rosato & Rosato 1989, 34).

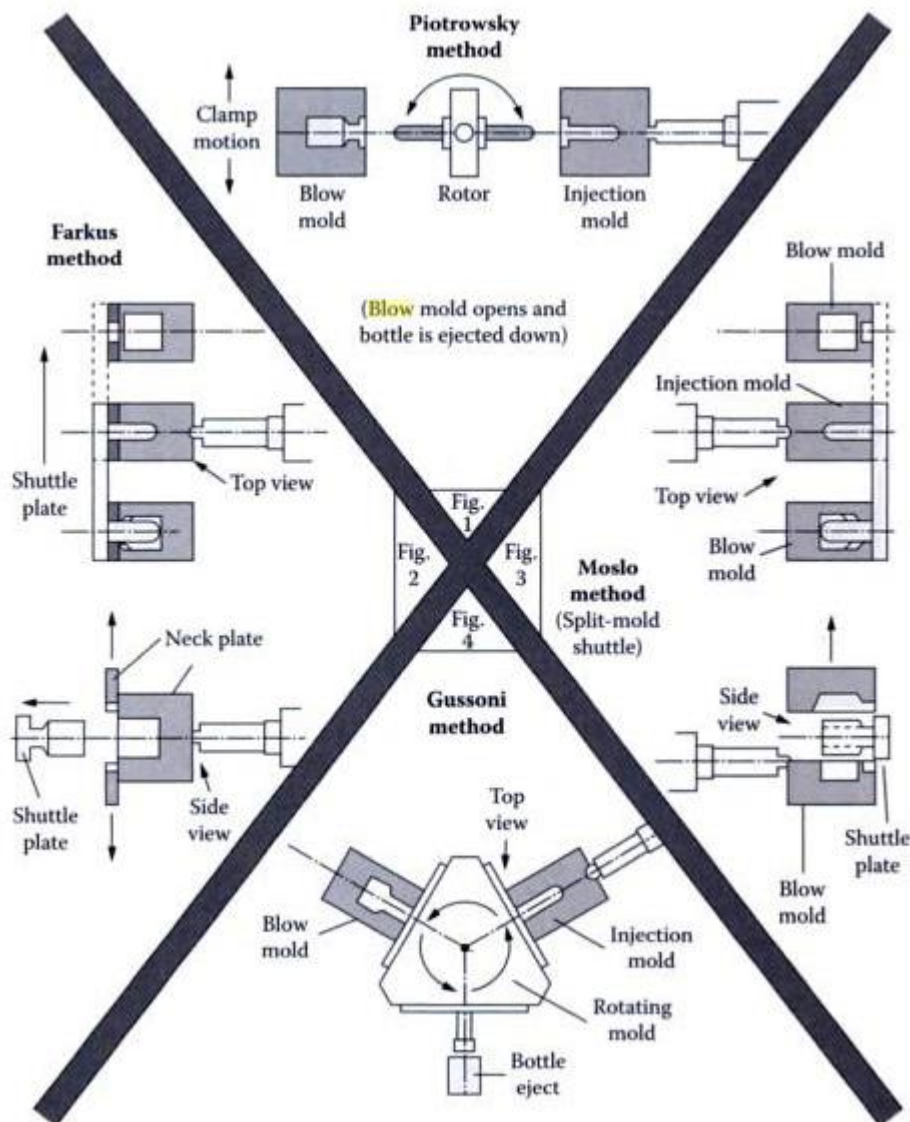
Ekstruusiopuhallusmuovauksen hyviä puolia ovat hyvä tuotantotehokkuus ja pienet työkalukustannukset. Itse tuotantokoneeseen kuuluvat sekä ruiskutus- että puhallusmuovauskalustot ja niiden valmistajia on laaja valikoima. Menetelmän suurin haittapuoli on kappaleiden ruiskutuksesta ja puhalluksesta jäävä ylimääräinen materiaali. Kun muovi ruiskutetaan ahioksi ja tästä edelleen puhallusmuovataan kappaleeksi, sekä ylä- että alapään jää turhaan puristettua ahiota. Myös kappaleen lopullinen ”trimmaus” tapahtuu joko koneessa tai koneen ulkopuolella, jossa poistetaan muun muassa ylipursuamat. Tämän takia kierrätyskulut ovat suuremmat kuin esimerkiksi ruiskutuspuhallusmuovauksessa, jossa voidaan käyttää koko materiaali hyödyksi. Ekstruusiopuhallusmuovauksessa seinämän paksuuden määrittely on vaikeampaa, kuin venytyspuhallusmuovauksessa, jossa ahiot on tehty etukäteen tarkoilla mitoilla. (Rosato & Rosato 1989, 15.)



KUVIO 5. Ekstruusiopuhallusmuovaus (Muovimuotoilu 2014)

5.3 Ruiskutuspuhallusmuovaus

Ruiskutuspuhallusmuovauksessa (injection blow moulding) on kaksi vaihetta: aihion, eli preformin, ruiskutus ja sen puhaltaminen. Tämä ja venytyspuhallusmuovaus ovat hyvin samantapaisia tuotantotapoja. Ensin muovimateriaali sulatetaan preformin ruiskutusta varten, minkä jälkeen sula muovimassa ruiskutetaan aihionmuotoiseen muottiin, josta se poistetaan jäähtymisen jälkeen. Tämän jälkeen aihio siirretään puhallusmuottiin, jossa se saa lopullisen muotonsa. (Rosato & Rosato 1989, 22.) Tarkemmin tarkasteltuna tässä menetelmässä on neljä eri tapaa (KUVIO 6) valmistaa lopullinen tuote (Belcher 2007, 3).



KUVIO 6. Ruiskutuspuhallusmuovaus (Belcher 2007, 3)

Kaikissa menetelmissä ruiskutetaan ensin aihio, joka puhallusmuovataan sen jälkeen. Erot menetelmissä riippuvat preformien siirtotavasta. Piotrowskyn menetelmässä aihio siirretään vaakasuoralla liikkeellä ruiskutusyksiköstä puhallusyksikköön. Moslon menetelmä on muuten samanlainen, mutta preformin siirto tapahtuu ylös ja alas tapahtuvan liikkeen avulla. Molemmilla tavoilla ongelmana on puhalletun tuotteen poistaminen muotista. Farkuksen menetelmässä sekä pysty- että vaakasuoraliike ovat mahdollisia, jolloin puhalletun kappaleen poistaminen on helpompaa. Ruiskutusyksikön ja puhallusyksikön välinen siirto

tapahuu seinän avulla, johon preformin muotti on kiinnitetty. Preformi siirretään puhallukseen seinämän pyörittäessä ympäri. Ongelmaksi tässä tulivat pitkät sykliajat (ruiskutus + puhallus) sekä useiden tasojen liikkeet. (Belcher 2007, 2.)

Nykyisin eniten käytetty tapa on Gussonin menetelmä. Yhdessä koneessa on sekä ruiskutus- että puhallusyksikkö, kun muissa menetelmissä on erilliset yksiköt. Muotit pysyvät paikoillaan, ja kappaleen siirto tapahtuu koneen sisällä olevan siirtäjän avulla. Tämä mahdollistaa sen, että tuotantoajat pienenevät ja sarjatuotanto on mahdollista: kun yksi aihio on ruiskutettu, siirron aikana voidaan aloittaa toisen aihion ruiskuttaminen. (Belcher S. 2007, 2–3.)

Ruiskutuspuhallusmuovauksessa seinämänpaksuutta ja materiaalin siirtymistä muotissa on helppoa seurata. Tällä menetelmällä saadaan pinnanlaadulta parempia tuotteita kuin ekstruusiopuhallusmuovauksella. Verrattuna ekstruusiopuhallusmuovaukseen jätettä ei synny samalla tavalla. Menetelmässä voidaan käyttää koko materiaali hyödyksi, kun taas ekstruusiopuhallusmuovauksessa sekä ylä- että alapäästä jäi ylimääräistä muovia jäljelle. (Rosato & Rosato 1989, 15.)

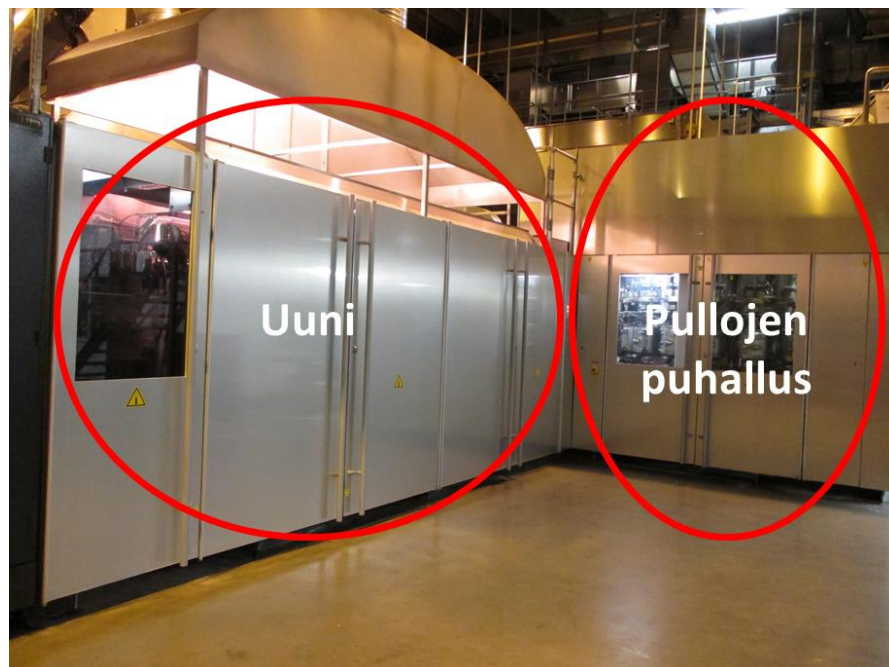
6 PREFORMISTA PULLOKSI

Sinebrychoffin KMP-pulloveralikoimaan kuuluu yhteensä yhdeksän eri tuotteen pulloa. Joillakin tuotteilla on vielä erikokoisia pulloja, esimerkiksi Z-pulloissa on neljää eri kokoa: 0,33, 0,5, 0,95 ja 1,5 litran pullot. Jokaiselle pullotyypille ja -koolle ovat omannäköisensä muotit, joten myös esimerkkinä mainitut erikokoiset Z-pullot ovat kaikki ulkomuodoltaan erilaisia. Tässä luvussa käsitellään, miten preformeista aukipuhalletaan pulloja, ja mitä asioita puhalluksessa on huomioitava.

Sinebrychoffilla on käytössä Sidelin puhalluskoneet (Sidel SBO 20 Universal).

Tässä työssä käsiteltävän koneen tuotantonopeus on 36 000 pulloa/h.

Puhalluskonetta sanotaan rotaatiopuhalluskoneeksi, koska preformista puhalletaan pullo yhden 360° kierroksen aikana. Preformit voidaan syöttää samalta puolelta konetta kuin pullojen poisto tapahtuu, eli preformin matka pulloksi tapahtuu yhden kierroksen aikana. Alapuoella olevassa kuviossa (KUVIO 7) on Sinebrychoffilla käytettävä pienten pullojen puhalluskone (pienet pullot: 0,33, 0,40, 0,45, 0,5 ja 0,95 litran pullot), jossa on 20 muottipesää.



KUVIO 7. Puhalluskone (Sinebrychoff 2014)

6.1 Preformien kuljetus ja esilämmitys

Preformit säilytetään konteissa, joissa ne saapuvat Sinebrychoffille (KUVIO 8). Preformit kaadetaan konteistaan kuljettimelle, jossa ne kääntyvät oikeinpäin ja kulkevat puhalluskoneelle jonossa kuljetinta pitkin.



KUVIO 8. Preformien säilytyskontti (Sinebrychoff 2014)

Kuljettimelta preformit siirtyvät yksittäin tähtipyörälle, jonne ne vievät pidike, joka ottaa preformista kiinni kaulan alapuolelta. Tähtipyörältä preformit siirtyvät uuniin, jossa jokaiselle preformille on oma pidike (spindel, spindeli) (KUVIO 9). Ennen puhalluskonetta preformit kulkevat uunin läpi, jossa esilämmitys tapahtuu.



KUVIO 9. Preformien pidikkeitä, spindeleitä (Sidel 2014)

6.2 Preformien esilämmitys

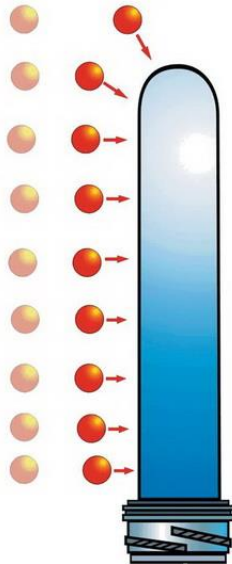
Preformit esilämmitetään uunissa, joka on osa puhalluskonetta. Uunissa lämmitys tapahtuu infrapunalamppujen avulla. Preformeja lämmitetään oikeaan puhalluslämpötilaan, ja lämmitys voi tapahtua niin preformin sisä- kuin ulkopuolelta tai molemmilta puolin preformia. Tärkeintä on saada preformin sisäpintaa lämmitettyä ulkokuorta enemmän, sillä sisäpinnassa tapahtuu suurin venytys puhalluksen aikana. (Brandau 2005, 93.) Preformin kaulaa ei lämmitetä, sillä sitä ei muovata puhalluksen yhteydessä. Jotta kaula ei lämpiäisi, on preformien pidikkeissä kaulaosan alla lämmönsiirtoa haittaava levy ja siihen on kohdistettu myös puhallus, joka jäädyttää kaulaa. Esilämmitysuunissa on preformeille omat pidikkeet, jotka kuljettavat preformin uunin läpi, jossa lämmitys tapahtuu. Preformit on käännetty ylösalaisin lämmitysvaiheessa ja ne pyörivät oman pystyakselinsa ympäri (KUVIO 10).



KUVIO 10 Preformien esilämmitys uunissa (Sidel 2014)

Preformien lämmitys tapahtuu infrapunalamppujen ja preformin toisella puolella olevan heijastimen avulla. Infrapunalamppujen lämpötilaa, korkeutta ja etäisyyttä voidaan säädellä. Oikeanlaisen lämpötilan saavuttaminen on erittäin tärkeää pullon muotoutumisen kannalta. Jos lämpötilat jäävät liian mataliksi, pullon

seinämät eivät veny tarpeeksi, ja näin ollen ei synny laadukasta tuotetta. (Edupoli 2007a, 20.) Alapuolella on esitetty infrapunalamppujen paikat preformiin nähden (KUVIO 11).



KUVIO 11. Infrapunalamppujen paikoitus uunissa (Plastic – injection - molding machine)

Preformit siirtyvät tämän jälkeen puhallusmuotteihin, joissa preformien aukipuhallus tapahtuu. Preformien lämpö tasataan vielä ennen puhaltamista lämmöntasausvaiheessa. Tämä on erittäin tärkeä vaihe huomioida tuotantoajoissa, sillä jos lämpötila ei tasaannu, vaikuttaa se pullon muotoutumiseen puhalluksessa. Jos lämmön tasaantumisvaihe on liian pitkä, voi pullon kaulaosaan kohdistua liikaa lämpöä, joka voi aiheuttaa kaulan muodonmuutoksia. (O'Neill 2000, 28.) Ennen muottiin siirtoa preformi käännetään oikeinpäin.

6.3 Puhallusmuovaus

Puhallus- ja venytysvaihe ovat huomattavasti lyhyempiä kuin preformin esilämmitysvaihe. Tämän eron takia uunissa on valmistumassa enemmän preformeja kuin koneessa on muotteja. Alapuolella olevissa kuvioissa (KUVIO 12 ja KUVIO 13) on Sidelin puhallusmuotti.



KUVIO 12. Puhalluskoneen muotin osat (Sinebrychoff 2014)



KUVIO 13. Puhallusmuotin pohja (Sinebrychoff 2014)

Kun preformi on esilämmitetty, aloitetaan sen aukipuhaltaminen. Preformit siirtyvät pidikkeiltään muotteihin, joita tässä Sidelin koneessa on 20. Pullojen puhaltaminen tapahtuu neljässä osassa: muotin sulkeutuminen, venytys ja esipuhallus, jälkipaineistus sekä viimeistelypuhallus. Tämän takia sitä kutsutaan 4-vaiheiseksi aukipuhaltamiseksi. (Edupoli 2007a, 5–7.)

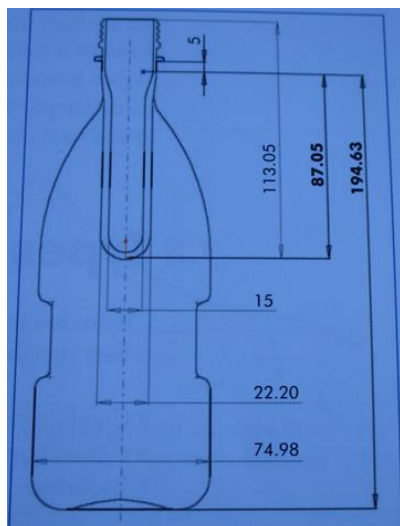
6.3.1 Venytyssuhde

Preformien puhalluksen kannalta preformin venytyssuhde on tärkeä tekijä. Venytysuhteella tarkoitetaan muovista tuotetun kappaleen pituuden suhdetta kappaleen aihion alkuperäiseen pituuteen. Maksimi venytyssuhde riippuu materiaalin IV-arvosta: jos materiaalilla on korkea IV, on sen venytyssuhde pienempi (Brandau 2003, 49). Esimerkkinä Brandau (2005) mainitsee PET-pullon muovauksen, jossa tietyn pituinen preformi puhalletaan täyteen pullon muotoon. Tällöin preformia pakotetaan lisätyn puhalluspaineen avulla venymään enemmän kuin mitä preformi venyisi pelkän lämmityksen avulla. (Brandau 2005, 80.) Venytyssuhteen vaikutukset huomataan, kun aukipuhaltamisvaiheessa materiaalin siirtäminen esimerkiksi pohjaosasta kaulaosaan ei onnistu samalla tavalla kuin silloin, kun venytyssuhde on oikeanlainen (Brandau 2005, 97).

Eri venytyssuhteita lasketaan esimerkiksi seuraavasti (luvut KUVIO 14) (Brandau 2003, 49):

- Ulkoreunojen venytyssuhde (max): $74,98 / 22,2 = 3,38$
- Sisäreunojen venytyssuhde (max): $74,58 / 15 = 4,97$
- Pituussuuntainen venytyssuhde: $194,63 / 87,05 = 2,23$
- Puhallussuhde: $4,97 * 2,23 = 11,08$.

Puhallussuhde antaa kuvan siitä, kuinka paljon materiaalia venytetään puhalluksen aikana. Esimerkiksi virvoitusjuomapulloissa puhallussuhde on yleisesti yli kymmenen. (Brandau 2003, 49.)



KUVIO 14. Venytysuhteiden laskeminen preformista ja pullosta (Brandau 2003, 49)

6.3.2 4-vaiheinen aukipuhallus

Kun preformi saavuttaa muotin, jonka puoliskot ovat samanlaisia keskenään, sulkeutuu muotti heti. Muotin täytyy sulkeutua heti, jotta säästytään lämpötilahäviöiltä. Jos preformi pääsee jäähtymään liikaa tässä välissä, se ei muotoudu toivotulla tavalla. Preformin kaulaosaa on suojattu puhalluksen ajan, joten se ei pääse muuttamaan muotoaan. Aikaisemmasta kuvasta (KUVIO 12) nähdään, että preformin kaula jää kokonaan muotin ulkopuolelle. Kun muotti sulkeutuu, alkaa preformin venytys. Muotin sulkeutuessa preformin sisä- ja ulkopuoliset paineet ovat tasaiset. (O'Neill 2000, 61.)

Venytys tapahtuu venytystapin avulla, joka liikkuu kohti preformin pohjaa ja venyttää sen lopulta muotin pohjaan asti. Samalla, kun venytys alkaa, alkaa myös esipuhallus, joka on paineeltaan pienempi kuin viimeistelypuhallus. Venytyksen on oltava tarpeeksi nopea, jotta saadaan puhallettua hyvänlaatuinen pullo. Jos venytysnopeus on liian pieni, voi preformi jäähtyä lähelle PET-materiaalin lasiutumislämpötilaa, jolloin materiaalin venytys ei enää onnistu. Tarpeeksi nopea puhallus myös parantaa materiaalin orientoitumista. (O'Neill 2000, 61–62.)

Esipuhalluksen paine on 12–25 baria, kun taas viimeistelypuhallus tehdään noin 40 barilla. Esimerkiksi Y-pullolla esipuhalluspaine on 7 baria. Esipuhalluksen aikana muovi on kumimaista ja se muotoutuu paineilman avulla kuplaksi preformin heikoimmasta kohdasta, kaulaosasta katsottuna noin kolmanneksen koko preformin pituudesta. Preformin muotoilun takia kuplan laajeneminen loppuu ennen kuin se saavuttaa muotin pinnan. (O'Neill 2000, 62.)

Kun venytystappi lähenee preformin päätyä, esipuhalluksen aikana syntynyt kupla laajenee. Materiaalin rajaviskositeettiä ja lämpötila ovat huomioitavia asioita venytysvaiheessa. Kun venytys on lopussa, pidetään esipuhalluspainetta yllä vielä 0,05–0,1 sekuntia, jotta kupla laajenee ja materiaalia saadaan siirrettyä enemmän syntyvän pullon pohjaan. Kun esipuhallus poistetaan, pidetään yllä vielä jälkipainetta, joka on esimerkkinä mainitulla Y-pullolla 32 baria. Puhalluspainetta pidetään yllä jälkipainevaiheessa. Jälkipainevaihetta kutsutaan myös pelkäksi puhallusvaiheeksi. Materiaalin orientoituminen alkaa ennen seuraavaa vaihetta, viimeistelypuhallusta (O'Neill, T. 2000, 62–63).

Viimeistelypuhallus tapahtuu hyvin lyhyessä ajassa, noin 0,02 sekunnissa. Tässä vaiheessa kuplasta muotoutuu pullo, josta tulee muotin muotoinen. Paineilma pakottaa materiaalin muotin viileisiin seinämiin, jolloin muovin jähmettyminen alkaa heti. Pullon lopullisen muotoutumisen jälkeen venytystappi poistuu ensimmäisenä muotista ja sen jälkeen alkaa paineen vähentäminen. Muotin auetessa painetta on yhä jäljellä, minkä takia pullon seinämät saattavat pullistua. Pullistuminen on kuitenkin niin pientä, ettei sillä ole merkitystä tuotteen laadun kannalta. (O'Neill 2000, 63.)

Kun pullo on puhallettu, se siirtyy täytettäväksi. Ennen täyttöä se jäähdytetään pikaisesti puhalluskoneen sisäpuolella, jotta mahdollinen kutistuminen saataisiin tapahtumaan mahdollisimman nopeasti. PET-materiaali kutistuu hieman käsittelyn jälkeen, mutta ei niin paljon, että siitä koituisi harmia tuotteen laadun kannalta. Puhalluskoneen jälkeen ei ole tarkastajaa, joka hylkäisi epäonnistuneesti puhalletut pullot. Pullojen puhalluksessa on ainoastaan paineen tarkastaja, joka hylkää pullon, jos paineistus on epäonnistunut. Paineistus epäonnistuu esimerkiksi silloin, jos preformissa on reikä tai preformin sisällä on likaa. Puhalluksen

epäonnistumisella tässä tarkoitetaan sitä, että muottiin annettu paine on pienempi kuin pullon puhallusreseptissä nimellinen puhalluspaineen arvo on. Jokaisella tuotteella on erilaiset puhalluspaineet.

7 PULLOJEN LAADUN TESTAUSMENETELMÄT JA ONGELMIEN RATKAISUJA

Tuotannon onnistumisen kannalta on tärkeää, että tuotetut pullot ovat laadukkaita. Joitakin laatuun vaikuttavia tekijöitä voidaan testata erilaisilla menetelmillä, joita tässä luvussa käydään läpi. Erilaisten testien tekeminen on merkittävää, jotta saadaan pidettyä halutut testitulokset hallinnassa ja annettujen raja-arvojen sisäpuolella. Kuvitellaan kaksi ammuntatulosta, jossa toisen tulokset sijoittuvat kaikki ammuntatauluun, mutta eri puolille taulua. Toisen tulokset ovat kaikki lähemmäs, mutta ammuntataulun ulkopuolella. Kumman tulokset ovat enemmän hallinnassa? Tulokset, jotka ovat kaikki ulkopuolella, mutta pienellä hajonnalla, ovat hallittuja, kun taas tulokset, jotka ovat ympäri ampumataulua, eivät ole. Ohjauksen on helpompaa siirtää kaikki tulokset tauluun ja vielä lähelle keskipistettä tekemällä pieniä korjauksia, kun taas hajanaisia tuloksia ei pystytä yhtä helposti siirtämään samaan kohtaan. Testeissä on kyse samasta asiasta: jos tuloksista osa on hajanaisesti rajojen sisäpuolella ja osa kokonaan ulkopuolella, on paljon hankalampaa saada kaikki tulokset rajoihin. Jos taas kaikki tulokset ovat rajojen alarajassa tai sen alapuolella, on helpompaa siirtää kaikki tulokset yhtenäisesti lähelle oikeaa tulosta ja tehdä korjaavia toimenpiteitä.

Tässä luvussa käydään läpi pullojen eri testausmenetelmiä, joita Sinebrychoffilla käytetään prosessin hallinnassa tyhjiä pullojen testaamiseen. Osa testeistä tehdään puhalluskoneen yhteydessä puhalluskoneen operaattorin tekemänä ja osa laboratoriossa laborantin tekemänä. Pullotestit määräytyvät yrityksen määräyksen mukaan.

7.1 Spesifikaatiot ja mittaustulosten syöttöohjelma

Spesifikaatioilla annetaan rajat, jotka kuvaavat mittaustulosten hajontaa. Otetaan esimerkiksi täyden pullon paino, jonka pitäisi olla 530 grammaa. Tämän täyden pullon painon alaraja olisi 525 grammaa ja yläpaino 535 grammaa.

Mittaustulosten pitää osua tähän väliin, ja toivottavaa olisi vielä, että lähelle oikeaa painoa, 530 grammaa. Puhalluspuolella ei puhuta samoista painoista, mutta menetelmä on sama: annetaan mitta-arvorajat, joissa tulosten on oltava. Jos

tulokset eivät ole näissä rajoissa, on suoritettava korjaavia toimenpiteitä. Rajat määritellään kokemusten perusteella. Yritykseltä tulee suurpiirteiset rajat, esimerkiksi ± 5 grammaa, mutta tarkemmat spesifikaatiot määritellään sen mukaan, mitkä aikaisemmissa tuotantoajoissa on todettu sopiviksi. Voidaan siis muuttaa esimerkissä mainitun täyden pullon raja-arvoja suppeammaksi, mutta yritykseltä tulevia spesifikaatioita ei saa ylittää tai alittaa.

Testitulokset kirjataan mittaustulosten syöttöohjelmaan, jossa näkyvät eri raja-arvot, spesifikaatiot, painoille, mitoille ja paineille. Jos mittaustulos ei ole spesifikaation rajoissa, niin ohjelmaan tulee poikkeusmerkintä. Näihin poikkeusmerkintöihin tulee kiinnittää huomiota ja yrittää minimoida niiden syntyminen. Tavoitteena on niin sanottu vihreä rivi, eli että kaikki tulokset olisivat sallittujen rajojen sisällä. Jos tulokset eivät ole spesifikaatioissa, niin mittaukset on tehtävä uudelleen. Jos tämänkään jälkeen tulokset eivät ole toivottuja, niin ryhdytään etsimään vikoja pullojen puhaltamisesta tai itse preformeista.

Mittaustulosten syöttöohjelmassa poikkeamalla tarkoitetaan tulosta, joka ei ole sallituissa raja-arvoissa. Poikkeamat eivät ole toivottuja, mutta jos niitä tulee, on syyt selvitettävä. Tällä hetkellä syöttöohjelmassa ei ole tilaa kirjoittaa, mitä korjaavia toimenpiteitä on tehty, vaan ne kirjoitetaan vuorokohtaisiin raportteihin. Mittaustulosten syöttöohjelmaan olisi hyvä saada numerokoodit eri toimenpiteille, jotka voitaisiin laittaa omaan sarakkeeseen jo olemassa olevaan Excel- taulukkoon. Tästä numerosta selviäisi, mikä pullossa tai preformissa on alun perin ollut vikana ja mitä toimenpiteitä puhallukseen on tehty.

7.2 Testit

Puhalletuille tyhjille pulloille tehdään yhdeksän eri testiä: visuaalinen tarkastus, paineenkestotesti, pullon osien painojen mittaus, pullon korkeuden ja ympärysmittan mittaus, pohjan etäisyyden mittaus, puristustesti, seinämän paksuuden mittaus, tilavuuden mittaus sekä jännityshalkeamatesti. Tuotannossa tehtävät testit tehdään heti aloituksessa, jotta säästytään mahdollisilta tuotantovirheiltä. Tärkeää testien tekemisen aloittamisessa on, että koneen lämpö on tasaantunut, jolloin säästytään poikkeavilta ajoarvoilta. Aloituksella tässä

tarkoitetaan sitä, että ajetaan noin 2 000 pulloa säilöön, jotka joko ajetaan jatkossa täyttöön tai poistetaan tuotannosta testien tulosten perusteella.

7.2.1 Visuaalinen tarkastus

Visuaalinen tarkastus tehdään 5–10 minuutin päästä aloituksesta sekä aina 2 tunnin välein. Aluksi tarkastetaan jokaisesta muotista yksi pullo, mutta kahden tunnin välein otetaan satunnainen pullo satunnaisesta muotista. Visuaalista tarkastusta tehdään myös preformeille satunnaisesti ja erityisesti silloin, jos on syytä epäillä, että preformissa on vikaa. (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 28.3.2014.)

Visuaalisessa tarkastuksessa käydään pulloja läpi ja katsotaan, että ne ovat ulkonäöltään hyväksyttäviä täyttöä varten. Pulloissa ei pääosin saa näkyä pintanaarmuja tai sisäpuolisia vikoja, muita vaurioita, lommoja, naarmuja tai värivikoja. Myös pistemäiset kuopat, likatäplät ja kondenssijäljet ovat visuaalisessa tarkastuksessa tarkastettavia kohteita. Yhtenä pinnanlaatuvirheenä voidaan mainita helmiäismäinen kohta pullossa, joka aiheuttaa läpinäkymättömän kohdan. (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 28.3.2014.)

Testiä varten on puhallettu pullo, joka on raja-arvoissa visuaalisilta ominaisuuksiltaan. Testattavat pullot eivät saa alittaa ominaisuuksiltaan tätä testipulloa, jonka yritys on hyväksynyt. Operaattoreilla on käytössään mallipullot jokaisesta pullotyypistä.

Jos todetaan, että pulloissa on vikaa, mutta sitä ei voida kohdistaa puhaltamiseen, aletaan tarkastaa preformeja. Joskus preformeissa voi olla jo silminnähtäviä virheitä, mutta joskus virheet voivat olla vaikeasti havaittavia. Tätä varten puhalluskoneella on polarisoitu valo (Light polarizer), jolla voidaan tarkastaa preformeja. Tässä laitteessa valo voidaan kohdistaa pulloon eri kulmista, $0^\circ/45^\circ/90^\circ$. Valon luoman kuvion perusteella voidaan havaita preformissa erilaisia virheitä, jotka on esitelty alapuolella olevassa kuviossa (KUVIO 15). (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 28.3.2014.)



KUVIO 15. Preformin vikojen tunnistus polarisoidun valon avulla (R&D Tool & Engineering Group)

7.2.2 Paineenkestotesti

Sisäinen paineenkestotesti, burst test, tehdään aina aloituksessa puhalletuille pulloille. Jokaisesta muotista otetaan yksi pullo, jotka vuorollaan asetetaan paineistuskoneeseen. Pullo paineistetaan sisältäpäin, ja testauslaite kertoo käytössä olevan paineen määrän. Testi loppuu siihen, kun pullo räjähtää

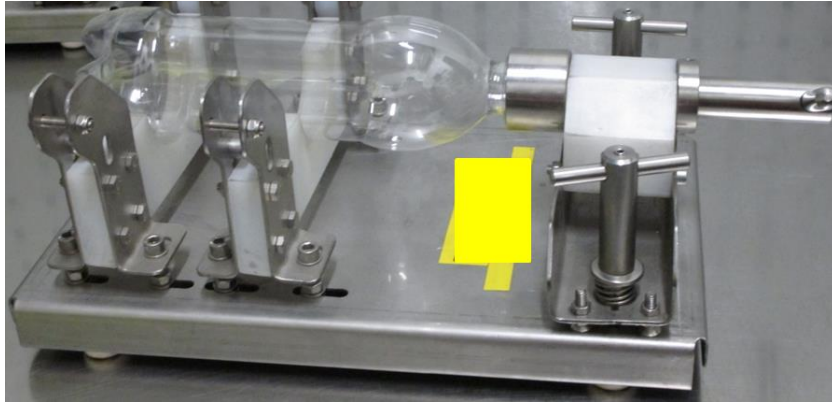
sisäpaineen ollessa tarpeeksi korkea. (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 28.3.2014.)

Jokaisella pullotyypillä paineenkestot ovat erilaiset, joten myös spesifikaatiot vaihtelevat tuotteiden väleillä. Tiettyä maksimipainetta ei ole, vaan tuloksista katsotaan lähinnä minimipaine ja pullosarjasta keskiarvo. Alle litran pulloilla minimipaineenkesto on 10,2 baria ja keskiarvo 11,9 baria. Litraa suuremmilla pulloilla minimipaine on 6,38 baria ja keskiarvo 8,6 baria. (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 7.2.2014.) Liitteessä 1 esitetään geneerisen pullotyypin paineenkestotestin tulosesimerkki.

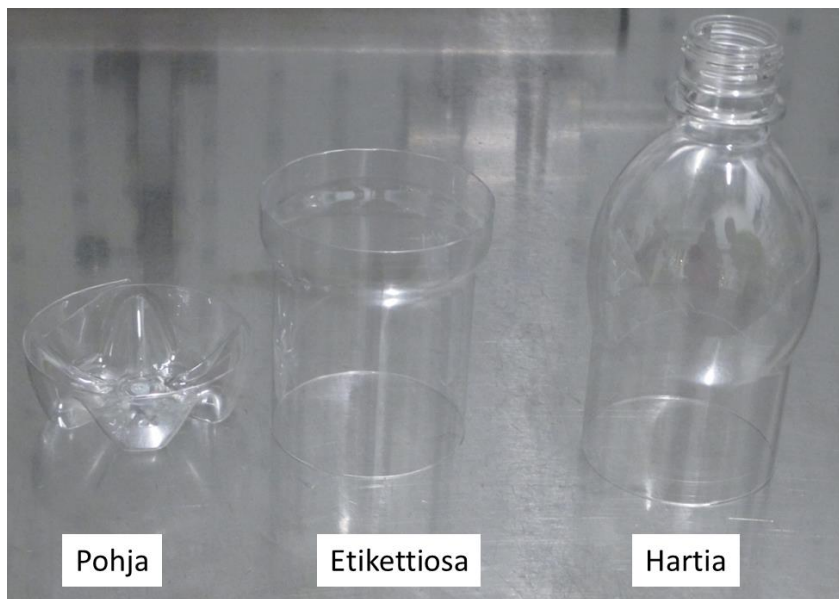
Pullo voi räjähtää ennen aikojaan. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat pohjan huono muotoutuminen, esipuhalluksen asetukset, liian pitkä lämmöntasausvaihe, preformissa mahdollisesti olevat aukot tai kristallisoituminen, liian alhainen materiaalin rajaviskositeetti sekä liian kostea tai lämpöinen tyhjän pullon säilytystila. Esipuhallusaikaa ja -painetta lisäämällä sekä preformin pohjan esilämmitystä lisäämällä saadaan pulloon puhallettua kestävämpi pohja. (Brandau 2003, 120–121.)

7.2.3 Pullojen osien painot eli materiaalin jakautuminen

Pullo leikataan kolmeen osaan jokaiselle pullotyypille erilaisella pulloleikkurilla (KUVIO 16), jolla pullo jaetaan hartia-, etiketti- ja pohjaosiin (KUVIO 17). Jokainen osa punnitaan erikseen ja tulokset kirjataan tulosohjelmaan. Vaaka sijaitsee tukevalla kivipöydällä eikä siihen näin ollen vaikuta esimerkiksi värinä. Jokaisella pullotyypillä ovat omat painorajansa. Pullojen osien painot mitataan heti aloituksessa ottamalla yksi pullo jokaisesta muotista. Lisäksi kahden tunnin välein mitataan jokaisesta muotista vielä yhden pullon pohjan paino. (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 7.2.2014.) Tämä on yksi kriittisimmistä tekijöistä pullon toimivuuden kannalta jatkokäsittelyssä. Liitteessä 2 on esimerkkitulo pullon pohjaosan painomittauksesta geneerisellä pullolla.



KUVIO 16. Pullon leikkuri (Sinebrychoff 2014)



KUVIO 17. Pullon osat (Sinebrychoff 2014)

Pohjapaino on yksi kriittisimmistä tekijöistä pullon toimivuuden kannalta jatkokäsittelyssä. Jos pullon pohjan paino heittelee pahasti, sitä saadaan muokattua muuttamalla preformien lämmitystä tai puhalluksessa tapahtuvaa esipuhallusta. Jokaisesta leikatusta pullonpohjasta tarkastetaan myös se, että pohja on hieman taipuisa eikä se napsahda poikki (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 17.1.2014). Jos pohja napsahtaa poikki, se ei kestä myöskään paineistusta. Jos pullon pohja on liian painava, niin silloin pohja saattaa haljeta paineistuksen yhteydessä. Jos pullon etiketti- ja hartiaosa ovat liian kevyitä, se vaikuttaa pulloon ylhäältäpäin kohdistuvan painon kestoja (BMC Controls, 20).

7.2.4 Pullon korkeus ja ympärysmitta

Pullon korkeus ja ympäryys mitataan korkeusmitalla ja ympärysmitalla. Tulosten tulee vastata tarkasti niitä mittoja, jotka on määritelty pullon suunnitteleman yhtiön muottipiirustuksissa. Tämän testin suorittavat puhalluskoneen operaattorit. Korkeus mitataan Height gauge-laitteella, joka on asetettuna tukevalle kivipöydälle, ja ympärysmitta mitataan Pl Tape *5-mittanauhalla. Alapuoella (TAULUKKO 5) on lueteltuna kolmen erikokoisen pullon tilavuuden ja korkeuden rajat sekä pullon eri osien painorajat.

TAULUKKO 5. Esimerkipullojen tilavuus, korkeus sekä eri osien painot (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 28.3.2014)

Pullo ja sen koko	Pullon tilavuus (ml)	Pullon korkeus (mm)	Yläosan paino (g)	Keskiosan paino (g)	Alaosan paino (g)
GC 0,33-litraa	353,0±3	215,1±1	10,2±0,5	5,8±0,5	2,4±0,5
GC 0,45-litraa	482,15±5	215,6±1,0	10,5±0,5	7,7±0,5	5,7±0,5
Geneerinen 0,5-litraa	525,35±5	214,5±1,0	14,4±0,5	4,6±0,5	4,9±0,5

7.2.5 Pohjan etäisyyden mittaus

Pohjan etäisyyden mittauksessa, base clearance, mitataan, kuinka kaukana pullon pohjan keskipiste on tasoon nähden. Testi tehdään digitaalisella työntömitalla (Sylvac). Tämä testi tehdään myös aloituksen yhteydessä ja jokaisesta muotista otetaan testaukseen yksi pullo. Jokaiselle pullotyypille on spesifikaatioissa omat raja-arvonsa ja vaihteluväli on 2 mm - 10 mm. (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 17.1.2014.) Testi suoritetaan puhalluskoneen operaattoreiden toimesta. Jos pohjassa on liikaa materiaalia, pohjan etäisyys voi jäädä liian pieneksi. Pohjan

ollessa liian paksu materiaali ei pääse pohjassa jäähtymään tarpeeksi ja se kutistuu takaisin preformin muotoon. (BMC Controls, 29.)

7.2.6 Puristustesti

Puristustestissä, topload test, mitataan, kuinka paljon yksittäinen pullo kestää ylhäältä päin kohdistettua painoa. Pullot testataan TopLoad Testerillä. Testin tekee laborantti, ja se tehdään aina, kun uusi pullotyyppi otetaan käyttöön sekä pullon muodon, preformin painon tai granulaatin muuttuessa. Testissä pulloon kohdistetaan ylhäältä päin painoa ja testin tulokseksi saadaan se paino, jolla pullon nurjahtaa. Tällä testillä selvitetään muun muassa kuinka hyvin pullo kestää päällekkäin lavausta, kun pullot tuotannossa pinotaan lavoille kerroksittain. Etenkin kevyillä preformeilla, esimerkiksi 0,33 litran siideripulloilla, tämä päällekkäin lavaus oli aluksi ongelma. Myös pullon muotoilu vaikuttaa kestävyyskykyyn. Pullon puhalluksessa jouduttiin miettimään puhallusreseptin muuttamista, jotta pullo saatiin paremmin kestäväksi ylhäältäpäin kohdistuvaa painetta. (Hörkkö 2014.)

Jos huomataan, että tulokset eivät ole hyväksyttäviä, niin pullon puhaltamista muokataan. Heikot kohdat pullossa voivat johtua esilämmityksen lämpötiloista, joita voidaan muuttaa murtumakohdalta. Myös esipuhallusten asetukset vaikuttavat pullon kestävyyskykyyn. Esipuhalluksen painetta voidaan lisätä tai esipuhalluksen ajoittamista voidaan aikaistaa. (BMC Controls, 25.)

7.2.7 Seinämän paksuus

Seinämän paksuus mitataan laboratoriossa aina, kun otetaan käyttöön uusi pullomalli. Mittaus tapahtuu kuulamittarilla (Agr Topwave), jolla saadaan mitattua seinämän paksuus halutusta kohdasta pulloa. Tärkeimpänä mittauskohteena ovat pullojen pohjat, ja ne mitataan aina tyhjästä pulloista. Mittaukseen otetaan jokaisesta muotista yksi pullo ja ne voidaan mitata tyhjänä tai täytenä. Tyhjiä pulloja mittojen on vastattava pullojen piirustuksessa olevia mittoja. (Hörkkö 2014.)

Täysiä pulloja mitataan, kun halutaan tietää, kuinka paljon pullot turpoavat ajan kuluessa. On todettu, että pullot turpoavat kuukauden verran, jonka jälkeen ne eivät enää vaihda muotoaan. Myös säilytyslämpötilalla on merkitystä pullon turpoamisen kannalta, esimerkiksi testauksissa lämmitetyt täydet pullot ovat menettäneet muotoaan silmin havaittavasti paljon enemmän kuin viileämmissä oloissa olleet pullot. (Hörkkö 2014.) Liitteessä 3 on esimerkki tyhjän geneerisen pullon pohjan mittaustuloksista.

7.2.8 Tilavuuden mittaaminen

Tilavuuden mittauksella mitataan, kuinka paljon tyhjään pulloon mahtuu juomaa. Täydessä pullossa pitää olla enemmän juomaa kuin mitä siinä tulee olemaan tuotannon päätyttyä. Esimerkiksi siideripulloon juomaa laitetaan tuotannossa 0,45 litraa, jolloin pullon tilavuuden täytyy olla enemmän kuin tämä määrä. Pullo punnitaan ensin tyhjänä, minkä jälkeen se täytetään ääriään myöten täyteen vedellä ja punnitaan uudestaan. Näin saadaan vesimäärän paino selville, minkä jälkeen se muutetaan tilavuudeksi. (Hörkkö 2014.)

7.2.9 Jännityshalkeamatesti

Jännityshalkeamatestissä, stress crack test, katsotaan, onko pullon pohjaan puhalluksen tai preformin valmistuksen yhteydessä jäänyt jännityshalkeamia. Testi tehdään vain silloin, kun otetaan uusi pullomalli tai preformi käyttöön. Testiä tehtäisiin useammin, jos tuotannossa pulloratojen voiteluun käytettäisiin lipeäpohjaista ratavoiteluainetta, mutta koska Sinebrychoffilla ei käytetä, niin testataan vain uusi pullomalli. (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 7.2.2014.)

Testissä otetaan yksi pullo jokaisesta muotista, joka täytetään vedellä, jota laitetaan pulloon saman verran kuin täytössä täytettyyn pulloon. Vesimäärä siis vaihtelee pullon koon mukaan, esimerkiksi 0,33 litran pulloon laitetaan vettä 0,33 litraa. Tämän jälkeen pullo laitetaan astiaan, jonka pohjalla on lipeäliuosta, jossa pulloa pidetään. Lipeäliuos on verrattavissa saippuaan. Pullonsuulle laitetaan paineilmaletku, jolla pullo paineistetaan noin 5 barin paineeseen. Kun pullon puhaltamisesta on kulunut yksi tunti, niin sen pitää kestää lipeässä 5 minuuttia.

Vastapuhalletun pullon tulee kestää lipeässä 10 minuuttia. Tämän jälkeen pullo räjähtää ja testi on suoritettu. Jos pullo ei kestä vastapuhallettuna 10:tä minuuttia tai 5:tä minuuttia ollessaan tunnin vanha, aletaan selvittää, mistä jännityshalkeamat johtuvat. (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 7.2.2014.)

Jos jännityshalkeametestissä todetaan, ettei pullon pohja kestä lipeässä oloa, voi materiaali olla huonosti jakautunut pullon pohjassa. Rajaviskositeetti-arvo on oleellinen myös jännityshalkeamien kannalta. Jos rajaviskositeetti on laskenut preformien valmistusvaiheessa, ei pullon pohja kestä testausolosuhteita. Pohjan muotoilua voidaan muuttaa muuttamalla sekä preformien esilämmitystä että puhallusparametreja, tai vain jompaakumpaa niistä. (Brandau 2003, 122.)

7.3 Puhallusmuovauksen ongelmien ratkaisuja

Tässä alaluvussa käydään läpi erilaisia puhallusmuovauksessa ilmeneviä ongelmia. Tähän on koottu kirjallisuudesta löytyviä ongelmia ja niiden ratkaisumenetelmiä sekä puhalluskoneen operaattoreilta selville saatuja ratkaisutapoja. Tähän osioon on koottuna yleisimmät viat puhallusmuovauksessa. Vikoja saattaa löytyä sekä preformeista että puhalletuista pulloista. Pelkästään preformeista johtuvat ongelmat on selitetty luvussa 7.3.1 ja esilämmityksestä sekä puhalluksesta johtuvat ongelmat on selitetty luvussa 7.3.2.

7.3.1 Preformeista johtuvat ongelmat

Preformien lämpötilan tasaaminen ennen niiden työstämistä on erittäin tärkeä osa onnistunutta puhallusmuovausta. Joskus preformien kuljetus saattaa aiheuttaa esimerkiksi preformien kaulaosien vaurioitumista, eikä sitä voida korjata enää työstövaiheessa. Tämän takia preformien tarkastus säännöllisin väliajoin on tarpeellista. (Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 7.2.2014.)

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että jos pullon pohja halkeaa, niin silloin preformi on ollut liian kylmä tai preformin pohja on ollut lämmin, kun muu vartalo taas liian kylmä. Preformien esilämmityksen voi testata ottamalla lämmitetyn preformin ja painamalla sen seinämiä yhteen. Jos seinämiä ei pysty käsin

puristamaan yhteen, on preformi liian kylmä, mutta jos preformin seinämät jäävät puristuksen jälkeen yhteen, on preformi liian kuuma. (Brandau 2003, 108–112.)

Tärkeitä asioita puhallusmuovauksessa ovat uunin infrapunalamppujen asetukset, joiden sopivimmat asetukset saadaan kokeilemalla selville eikä niitä voida määrittellä esimerkiksi pelkän tietokoneohjelman avulla. Lamppujen etäisyyttä, korkeutta ja lämpötilaa voidaan säätää lamppukohtaisesti, vaikka preformin seinämän paksuus onkin tasainen. (Brandau 2003, 110–112.)

Pullon seinämissä voi esiintyä myös sameutta, kuten valkeita ympyröitä tai juovia preformin ruiskutuspuolella. Sameutta syntyy, jos lämpötila aiheuttaa materiaalin kristallisoitumista lämpötilan lähentyessä 120 °C. Lämpötilan laskemisella estetään PET:n kristallisoituminen. Jos puhalletuista pulloista vain satunnaisissa pulloissa on sameutta eikä voida jäljittää syntymistä esilämmitysvaiheeseen, niin preformien joukossa on saattanut olla eri lämpöisiä yksilöitä. Tämän takia preformien lämmön tasaaminen ennen niiden työstöä on erittäin tärkeää. (Brandau 2003, 115–116.)

Pullon seinämistä voi löytyä helmimäinen alue, joka oikeastaan on mikromurtuma materiaalin molekyyli-rakenteessa. Helmimäisyyttä voi esiintyä etenkin pullon sisäpinnalla ja se näkyy vaaleana, maitomaisena alueena. Murtumia voi syntyä venytysvaiheessa, jos preformit ovat erillisiä, kun niitä aletaan työstää, tai preformin paksuus on liian ohut ja lämpötila liian matala. Murtumia voi esiintyä yhdessä tai useammassa kohdassa, jolloin preformin lämmityksen säätöä korjataan viallisilta kohdilta infrapunalamppujen asetuksia säätämällä. (Brandau 2003, 116.)

Joskus pullonkaulat saattavat olla epämuodostuneita. Kaulan epämuodostuminen voi tapahtua puhalluskoneen uunissa etenkin, jos lämpötila lähenee PET:n lasittumislämpötilaa, jolloin PET on kumimaista ja kaula silloin muotoiltavissa. Jos todetaan, ettei kaula ole vahingoittunut ennen uuniin menoa, voi preformin pidike, joka on kaulaosan alapuolella, olla liian kuuma tai kaulan jäähtymisessä voi olla vikaa, jolloin tarkastetaan lämpötilat ja jäähtytys. (Brandau 2003, 116–117.)

Pullon seinämän paksuus saa vaihdella 0 mm:stä 0,05 mm:iin. Tätä suuremmat vaihtelut aiheuttavat epämuodostumia pullossa. Pullon seinämän vaihtelut johtuvat preformin seinämän vaihtelusta, eikä preformin seinämän paksuudessa saa olla suurempia vaihteluita. Jos pullon seinämistä löydetään epämuodostumia, täytyy preformit tarkastaa. (Brandau 2003, 119.)

7.3.2 Esilämmityksestä ja puhalluksesta johtuvat ongelmat

Lähes kaikkiin ongelmiin ratkaisut löytyvät sekä uunin esilämmitysvaiheesta että puhallusvaiheesta. Joskus ongelmat johtuvat pelkästään esilämmitysvaiheesta ja joskus pelkästään puhallusvaiheesta. Tässä osiossa on ensin kerrottu teoriaa yleisistä ongelmista ja lopuksi on taulukko (TAULUKKO 6), jossa on koottuna pelkästään seinämän paksuuden vaihteluihin liittyvät toimenpiteet.

Joskus puhalletuissa pulloissa saattaa pullon kaula-alueen alapuolella olla näkyviä poimuja, jolloin poimukohdassa on paksua materiaalia. Tämä voi johtua sopimattomasta lämpötilasta kaulan tuen alla tai siitä, että esipuhalluspaine on liian matala tai esipuhallus tapahtuu liian myöhään. Tämä voidaan korjata lisäämällä preformin lämmitystä kaulan alle. Jos lämmitystä lisätään liikaa ja lämmitetty alue sumenee, lisätään kaulaosan alapuolelle jäähdytystä. Lämmitystä voidaan lisätä siirtämällä kohdan infrapunalamppua lähemmäksi tai vähentää lämmitystä esimerkiksi pohjasta ja lisätään sitä kaulatuen alapuolelle. Esipuhalluspainettakin voidaan lisätä vähentämällä viimeistelypuhallusta, kunhan esipuhalluksen aikana syntyvä kupla ei laajene liian isoksi. (Brandau 2003, 113.)

Jos pullon pohjassa on ylimääräistä materiaalia, kuten kohoumia, on esipuhalluspaine liian matala tai paineistus tapahtuu liian hitaasti. Jos paine on liian matala tai myöhässä, materiaali pääsee tarttumaan venytystappiin ja materiaali jäähtyy sekä paksunee takertumiskohdasta. Tällöin pullon puhaltaminen vaadittuun muotoon ei onnistu toivotulla tavalla. Jotta takertumista ei tapahtuisi, lisätään esipuhalluksen painetta tai aikaistetaan esipuhalluksen alkua. Materiaali voi päästä tarttumaan venytystappiin myös, jos preformin pohjan lämpötila on liian kylmä. (Brandau 2003, 114.)

Preformin ruiskutuspuite on oltava keskellä pullon pohjaa, jotta pullon seinämän paksuudet ovat tasaiset. Jos ruiskutuspuite ei ole keskellä, voi se johtua esipuhalluksesta, venytystapista tai itse materiaalista. Materiaalista johtuva vinous johtuu siitä, että materiaalin viskositeettiraja-arvo, IV, on liian matala. Jos esipuhalluksen paine on liian korkea tai esipuhallus alkaa liian ajoissa, niin silloin preformin ruiskutuspuite voi mennä pois toivotulta akselilta. Jos esipuhallus alkaa liian aikaisin, ei venytystappi ehdi koskettaa preformin pohjaa ensin, ja näin ollen pullon muotoutuminen voi mennä vinoon. Esipuhalluspaineen ollessa liian korkea voi se poistaa materiaalin venytystapin kärjestä, jolloin materiaali pääsee liikkumaan epätasaisesti kohti muotin reunoja. Esipuhalluksen painetta vähentämällä ja esipuhalluksen alkua aikaistamalla voidaan estää ruiskutuspuite vinoon meno. Ruiskutuspuite voi mennä vinoon myös, jos venytystapin liike on vinossa tai itse tappi on vino. Tällöin tarkastetaan tapin liikkuvuus, ja jos siinä huomataan vikaa, on se korjattava. (Brandau 2003, 114–115.)

Pohjan muotoutuminen on erittäin tärkeää lopullisen pullon kannalta. Jos pullon pohja ei muotoudu kunnolla, sen työstäminen puhalluksen jälkeen on hankalaa. Epämuodostuneet pohjat voivat olla muun muassa kuoppia tai kuhmuja. Jos pohjassa on kuhmu, niin silloin se ei pysy pystyssä ja useimmiten se räjähtää, kun sen täyttäminen alkaa. Epämuodostumiseen vaikuttavat viimeistelyvaihe ja preformin lämpötila. Jos viimeistelyvaiheen paine on liian pieni tai se alkaa liian myöhässä, on preformi saattanut jäähtyä liikaa, jotta sen pohja muodostuisi kunnolla. Jos viimeistelyvaiheen paine on jo säädetty 42 bariin, niin virhe voi löytyä jo pullon muotoilusta. Pullon muotoilussa on tärkeää, että kaikki pullon säteet ovat tarpeeksi isoja. Preformi saattaa jäähtyä, jos preformin siirto uunista muottiin on liian pitkä, joten tätä aikaa lyhentämällä varmistetaan, ettei preformin lämpötila pääse jäähtymään liikaa. Myös lamppujen lämpötilaa pohjan alueelta voidaan säätää lämpimämmiksi. (Brandau 2003, 117).

Muotin yhtymäkohdasta ei saa jäädä erottuvaa jälkeä pullon kylkeen. Jos pullo ei pääse muotoutumaan kunnolla, saattaa esiintyä jopa silmännähtäviä tai sormituntumalla havaittavissa olevia jälkiä. Jos muotti ei pääse sulkeutumaan kunnolla tai muotti aukeaa kesken puhalluksen, tulee yhtymäkohtaan selvä sauma. Muottien pintojen, niin sisäpintojen kuin yhtymäkohtienkin, puhtaus on erittäin

tärkeää. Kaikki muotissa olevat epäpuhtaudet näkyvät puhalletussa pullossa, sillä pullon pinta on ikään kuin peilipinta muotista. Silmin havaittavat ulkonemat pullossa saattavat johtua myös siitä, että esipuhalluksen paine on liian korkea tai preformin ulkopinta on lämpimämpi kuin sen sisäpinta. Esipuhalluksen paineen vähentäminen ja preformin jäähtymisen tai lämmityslamppujen asetuksia voidaan myös säätää (Brandau 2003, 118.)

Pullojen oikean koon säilymisen kannalta erittäin tärkeitä asioita ovat säilytystilan kosteus ja lämpötila. Jos olosuhteet ovat liian kosteat tai lämpimät, niin tyhjä pullo pääsee kutistumaan ja täysi pullo taas paisumaan. Tyhjien pullojen kutistumiseen olosuhteiden lisäksi vaikuttaa se, ettei materiaali, PET, ole päässyt puhallusvaiheessa orientoitumaan kunnolla. Jos tilavuus muuttuu 3 % 72 tunnissa, on se vielä hyväksyttävä kutistuma pullossa. Pullot pääsevät kutistumaan enemmän, jos puhalluspaine on liian pieni tai puhallus alkaa liian myöhään, preformi saattaa olla liian kuuma puhallukseen tultaessa sekä preformin esilämmityksen jälkeen tapahtuva lämpötilan taseus, on liian lyhyt. Uunin lämpötiloja säätämällä sekä puhalluspainetta lisäämällä ja viimeistelypuhalluksen aikaistamisella saadaan parempi pullo kutistumisen kannalta. (Brandau 2003, 119–120.)

Alapuolella (TAULUKKO 6) on lueteltuna pullon seinämän paksuuteen vaikuttavia tekijöitä, sekä miten esipuhalluksen, venytyksen, lämmöntasausvaiheen tai preformin lämpötilan muutos vaikuttaa pulloon. Pullo ja preformi on jaettu kolmeen osaan: hartia-, vartalo- ja pohjaosaan.

TAULUKKO 6. Koneen asetusten muuttamisen vaikutukset pullon seinämän paksuuteen (Brandau 2003, 121)

Koneen parametrit	Hartian paksuus	Vartalon paksuus	Pohjan paksuus
Esipuhallus aikaisemmin	lisää	vähentää	vähentää
Esipuhallus myöhemmin	vähentää	vähentää	lisää
Esipuhalluspaineen nosto	lisää	lisää	vähentää
Esipuhalluspaineen vähentäminen	vähentää	vähentää	lisää
Venytyksen nopeuttaminen	vähentää	lisää/vähentää	lisää
Venytyksen hidastaminen	lisää	vähentää/lisää	vähentää
Lämmöntasausvaiheen pidennys	vähentää	vähentää	lisää
Lämmöntasausvaiheen lyhennys	lisää	lisää	vähentää
Preformin pohja viileämpi	vähentää	vähentää	lisää
Preformin pohja lämpimämpi	lisää	lisää	vähentää
Preformin hartia viileämpi	lisää	vähentää	vähentää
Preformin hartia lämpimämpi	vähentää	vähentää	lisää
Preformin vartalo viileämpi	vähentää	lisää	vähentää
Preformin vartalo lämpimämpi	lisää	vähentää	lisää

8 PULLOJEN TÄYTTÖ JA KIERRÄTYS

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi, mitä pulloille tehdään puhalluksen jälkeen. Ensin käsitellään täyttämistä, etiketöintiä, pakkaamista ja lavaamista, joiden jälkeen käsitellään pullojen kierrätystä.

8.1 Pullojen täyttäminen

Kun pullo on puhallettu, ne siirretään kuljettimia pitkin täytön puolelle, jossa ne täytetään, etiketöidään, pakataan ja pinotaan lavalle.

Pullot kulkevat täyttökoneelle pullojen kääntäjän kautta, joka kääntää pulloit oikeinpäin ja siirtää ne ilmakuljettimelle, jota pitkin pulloit siirtyvät täyttökoneelle. Täyttökoneella pulloit ensin huuhdellaan, ja sen jälkeen ne tulevat täyttöventtiileille, joiden määrä vaihtelee koneittain. Täyttöventtiileillä pulloit paineistetaan, jolloin saadaan selville mahdolliset reiät, joita pulloissa saattaa olla. Jos pullossa on reikä ja se räjähtää paineistuksen aikana, ei tätä pulloa silloin täytetä, vaan se tulee tyhjänä täyttökoneesta ulos. Paineistuksen jälkeen pullo täytetään, minkä jälkeen pulloihin laitetaan korkit korkituskonessa, joka on täyttökoneen sisällä.

Täytön jälkeen pulloit kulkevat tarkastajan läpi, joka tarkastaa, onko pullossa korkkia, onko korkki huonosti tai onko pullo vajaa täytön jälkeen. Korkittomat pulloit, pulloit, joissa on korkki huonosti, sekä vajaat pulloit hylätään, eikä niitä siirretä tuotannossa eteenpäin. Tämän jälkeen pulloit menevät kuljettimia pitkin etiketöintiin etikettikoneelle. Täällä pulloihin laitetaan tuotteenmukainen etiketti. Etiketit liimataan joko kylmä- tai kuumaliimalla, riippuen etiketeistä. Nykyään ainoastaan muovisissa siideripulloissa on kylmäliimalla liimattu paperinen etiketti kaulassa. Pulloihin laitetaan vielä parasta ennen -päiväysleima laserleimasimella, jonka jälkeen ne menevät toisen tarkastajan läpi, joka hylkää pulloit, joissa ei ole etikettiä, leimausta tai jotka ovat vajaita.

Etiketöinnin jälkeen pulloit siirtyvät suoraan lavaajalle tai menevät pakkaajan kautta. Pakkaajan kautta ajetaan tuotteet, jotka myydään erikokoisissa paketeissa. 0,33 litran siiderit ja 0,33 litran Z-pullot ajetaan pakkaajan kautta ja näistä tehdään

24 pullon paketteja. Myös 0,40 litran pullot ajetaan pakkaajan kautta ja näistä tehdään sekä 12 pullon että 24 pullon pakkauksia. Z:n 0,95 litran pullot ajetaan pakkaajan kautta 12 pullon pakkaukseen. Pakkaajassa pullot laitetaan pahvisen pohjan päälle ja sen ympärille kutistetaan kutistemuovi, jotta pullot pysyvät paketissa. Kutistus tapahtuu pakkaajan uunissa. Pakkaajan jälkeen paketit leimataan musteleimasimella ja paketit siirtyvät lavaukseen.

Jos pulloja ei paketoita, ne menevät suoraan lavaukseen. Paketittomat pullot lavataan kennojen päälle, joilla pullot usein sijaitsevat myös kaupoissa. Yhdelle lavalle pinotaan kuusi kerrosta kennoja ja yhdessä kerroksessa on aina 8 kennoa. Yhdellä kennolla on 24 pulloa, eli yhdellä lavalla on silloin $48 \times 24 = 1\,152$ pulloa. Jos pullot on pakattu paketteihin, ei paketteja laiteta kennoille vaan ne pinotaan sellaisinaan lavalle. Riippuen pullojen ja pakettien koosta yhdellä lavalla on eri määrä paketteja sekä pulloja. Lavauksen jälkeen pullot siirtyvät varastoon, josta ne lähetetään tilausten mukaan eri paikkoihin.

8.2 PET-pullojen kierrätys

PET:n käyttö virvoitusjuomapulloihin alkoi vasta 1978-luvulla, johon asti oli pullomateriaalina käytetty lasia. Muovipullot syrjäyttivät lasin osuutta virvoitusjuomamarkkinoilta nopeaan tahtiin, koska muovin käyttö materiaalina on paljon turvallisempaa kuin helposti särkyvän lasin. Myös PET-pullojen kierrätys on helpompaa kuin lasin. (Brandau 2000, 10.) Käytetyt ja palautetut PET-muovipullot kierrätetään uudelleen pullomateriaaliksi, mistä R-PET-pullot valmistetaan. Kuluttajat palauttavat pullot palautusautomaatteihin, joihin voi palauttaa vain etiketillisiä muovipulloja. Etiketillä varmistetaan, että palautettava muovipullo on PET-muovia eikä mitään muuta materiaalia. Jos muovipullojen joukkoon pääsee muuta materiaalia, on sen kierrättäminen uudeksi pullomateriaaliksi mahdotonta. (PALPA 2010.)

Palautetut pullot menevät kierrätyslaitokselle, jossa ne paalataan ja lähetetään muualle jatkokäsittelyä varten. Jotta pullomateriaalia voitaisiin käyttää uudelleen, jatkokäsittelijä rouhii, pesee ja granuloi materiaalin sekä lähettää sen eteenpäin eri preformin valmistajille. Läpinäkyvän muovipullon materiaalia voidaan käyttää

uudelleen PET-pulloihin, ja värillisistä pulloista tehdään muun muassa reppuja ja laukkuja. (PALPA 2010.)

9 YHTEENVETO

Työssä esiteltiin PET-pullojen puhallusmuovaukseen liittyvät teoriat, laaduntestausmenetelmät ja testien hyödyllisyys. Työn ansiosta tiedot puhallusmenetelmistä ja laadunhallinnan testeistä ovat nyt helposti kaikkien saatavilla. Näin tiedonhallinta on helpompaa, kuin etsimällä tietoja Sinebrychhoffin omista tietokannoista. Tätä työtä voidaan käyttää uusien puhalluskoneoperaattoreiden koulutusmateriaalina Sinebrychhoffilla. Uudet operaattorit voivat valmistautua tämän materiaalin avulla tulevaan työhönsä, ja näin säästynee aikaa pelkän teorian opettamisessa. Suosituksena on, että työstä löytyisi paperinen versio puhalluskoneelta.

Työssä tuotiin esille parannusehdotus mittaustulosten syöttöohjelmaan. Syöttöohjelmaan kirjoitetaan mittauksen tulos ja ohjelma antaa tiedon, onko tulos sallituissa rajoissa. Jos tulos ei ole rajoissa, tulee poikkeusmerkintä. Tällä hetkellä ohjelmassa ei ole tilaa kirjoittaa korjaavia toimenpiteitä, joita poikkeamalle on tehty. Ohjelmaan voitaisiin kehittää erillinen sarake, jossa mainittaisiin, mikä alun perin on ollut vikana ja mitä toimenpiteitä on tehty poikkeaman korjaamiseksi. Työssä on kuvattu yleisimmät korjaustoimenpiteet, joiden pohjalta kyseinen sarake voitaisiin kehittää.

Yllättävintä työn tekemisen kannalta oli se, että kirjallisuudesta löytyi niin paljon tietoa itse puhallusprosessista, laadutesteistä ja ongelmien ratkaisumenetelmistä. Aloittaessani työtä olin varma, että tulisin viettämään paljon enemmän aikaa itse puhalluskoneella, kuin työn tekemisen aikana yhteensä vietin. Suurin osa lähteistä oli englanninkielisistä kirjoista, ja suomentamisen myötä olen saanut lisää itsevarmuutta teknisen englannin lukemiseen sekä tekstin ymmärtämiseen. Suurena apuna työssä ovat olleet nykyiset puhalluskoneen operaattorit, joiden avulla olen saanut työhöni lisää yksityiskohtaista tietoa. Myös tuotantolinjan johdon apu on ollut huomattavaa, koska olen saanut tehdä tutkimustani puhalluskoneella. Tätä työtä tehdessäni olen oppinut eri puhallusmuovaustekniikoiden perusteet, venytyspuhallusmuovauksen eri vaiheet sekä Sinebrychhoffilla olevan puhalluskoneen toimintaa. Olen myös tarkentanut

tietojani pullojen laatutesteistä ja ymmärrän nyt paremmin testitulosten vaikutuksen puhallusprosessiin.

LÄHTEET

PAINETUT LÄHTEET:

Belcher, Samuel L. 2007. Practical guide to injection blow molding. United States of America: Taylor & Francis Inc.

Brandau, O. 2003. Stretch Blow Moulding – A Hands-on Guide. Heidelberg, Germany: PETplanet Publisher GmbH

Brandau, O. 2005. Bottles, Preforms, Closures A Design Guide for PET Packaging. Heidelberg, Germany: PETplanet Publisher GmbH.

Edupoli. 2007a. PET-pullojen valmistaminen. Koulutusmateriaali.

Edupoli. 2007b. Polyethylene Terephtalate. Koulutusmateriaali.

O'Neill, T. 2000. Dressed to Fill. Heidelberg, Germany: PETplanet Publisher.

Rosato, Donald V. & Rosato, Dominick V. 1989. Munich: Hansen Publisher

R&D Tool & Engineering Group 2014.

Seppälä, J. 2008. Polymeeriteknologian perusteet. 6. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

ELEKTRONISET LÄHTEET:

BMC Controls. 2011. Blow moulding controls [viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: http://www.blow-moulding-controls.com/_technicalbulletins/petbottlefaults.pdf

Carlsberg Group. 2013. Carlsberg Group CSR Report [viitattu 2.5.2014].

Saatavissa:

<http://www.carlsberggroup.com/investor/downloadcentre/Documents/CSR%20Reports/CarlsbergGroupCSRReport2013.pdf>

Carlsberg Group. 2014. Brands [viitattu 2.5.2014]. Saatavissa:

<http://www.carlsberggroup.com/brands/Pages/default.aspx>

Coca-Cola Company. 2014. Plant Bottle – Ensimmäinen askel kohti tulevaisuutta [viitattu 20.4.2014]. Saatavissa: http://www.coca-cola.fi/nordic-corp/fi_FI/pages/company/plantbottle.html

Muovimuotoilu. 2014. Puhallusmuovaus [viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/47/80/>

Lappalainen, T. 2010. Polypropeenirullaetikettien ominaisuuksien tutkiminen [viitattu 2.5.2014]. Saatavissa: http://theseus.fi/bitstream/handle/10024/25301/Lappalainen_Tiina.pdf?sequence=1

PALPA. 2010. Juomapakkausten kierrättäminen [viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: <http://www.palpa.fi/files/palpafi/Uutiset/palpa-ppt-koulut.pdf>

Plastic injection molding machine blog. 2014. PET bottle production line [viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: <http://www.plastic-injection-molding-machine.net/pet-bottle-production-line-136.html>

Putokšnis. 2014. P.E.T. Pre-Forms [viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: <http://www.putoksnis.lt/article/archive/208/>

Sidel. 2014. Blow molding [viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: http://www.sidel.com/media/138697/blowing_solutions_gb_2012.pdf

Sinebrychoff. 2009. Sinebrychoffit - osa suomalaista teollisuus- ja kulttuurihistoriaa [viitattu 2.5.2014]. Saatavissa: http://www.sinebrychoff.fi/SiteCollectionDocuments/Sinebrychoffit_netti.pdf

Sinebrychoff. 2013. Sinebrychoff – International Portfolio [viitattu 2.5.2014]. Saatavissa: http://www.sinebrychoff.fi/SiteCollectionDocuments/International/SFF%20International%20Portfolio_2013.pdf

Sinebrychoff. 2014a. Vastuullisuus, tuloksia [viitattu 2.5.2014]. Saatavissa: <http://www.sinebrychoff.fi/VASTUULLISUUS/tuloksia/Pages/Tulokset2013.asp>

[X](#)

Sinebrychoff. 2014b. Vastuu ympäristöstä [viitattu 2.5.2014]. Saatavissa:
<http://www.sinebrychoff.fi/VASTUULLISUUS/ymparistovastuu/Pages/Ymp%C3%A4rist%C3%B6johtaminenSinebrychoffilla.aspx>

Sinebrychoff 2014c. Yhtiön avainlukuja [viitattu 2.5.2014]. Saatavissa:
<http://www.sinebrychoff.fi/yhtio/luvut/Pages/Sinebrychofflukuina.aspx>

Tampereen teknillinen yliopisto. 2014. Muovit [viitattu 25.3.2014]. Saatavissa:
http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_4_3.php

The Metal Casting. 2014. Blow Molding [viitattu 25.3.2014]. Saatavissa:
<http://www.themetalcasting.com/blow-molding.html>

JULKAISEMATTOMAT LÄHTEET:

Carlsberg Spesification. 2014.

Hörkkö, H. 2014. Tutkimusinsinööri. Oy Sinebrychoff Ab. Haastattelu 27.3.2014.

Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 17.1.2014. Yrityksen sisäinen tietojärjestelmä.

Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 7.2.2014. Mittaustulosten syöttöohjelma ja yrityksen sisäinen tietojärjestelmä.

Sinebrychoffin sisäinen tiedonanto 28.3.2014. Sisäinen tietojärjestelmä

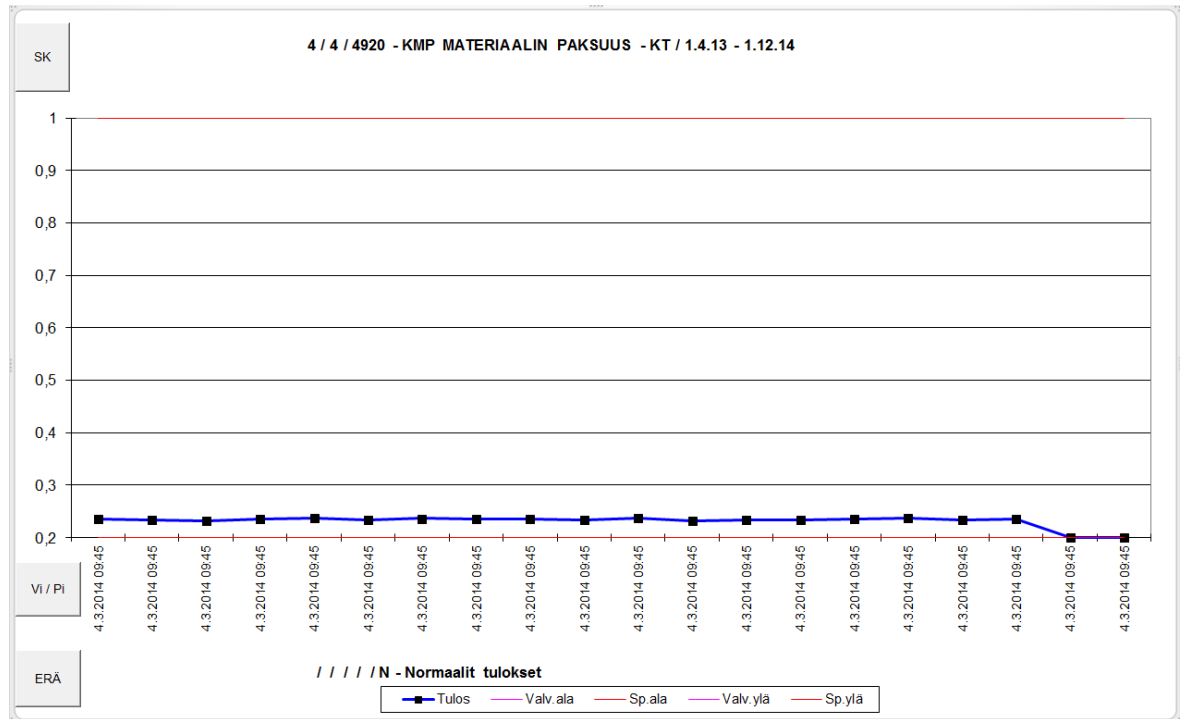
LIITTEET

LIITE 1. Tulosesimerkki paineenkestotestistä

LIITE 2. Tulosesimerkki pullon pohjan painotestistä

LIITE 3. Tulosesimerkki seinämän paksuustestistä

LIITE 3. Tulosesimerkki seinämän paksuustestistä



Punaiset viivat kuvaavat paksuuden ala- ja ylärajaa. Mustat neliöt ovat mittaustuloksia.