



Mira Teräväinen

Astioiden laadunmittaus Draught- Master-linjalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

22.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Mira Teräväinen
Otsikko: Astioiden laadunmittaus DraughtMaster-linjalla
Sivumäärä: 37 sivua + 1 liite
Aika: 22.4.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine: Bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat: Yliopettaja Kai Laitinen
Laatupäällikkö Hannu Sistonen

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Sinebrychoff Supply Company Oy:lle, ja työn tavoitteena oli astioiden laadunmittausten varmistaminen ja oikeanlainen raportointi DraughtMaster-linjalla. Tämän lisäksi operaattoreiden käyttöön kehitettiin päivitetty työhje laadunmittaamisen tueksi.

DraughtMaster-astiat valmistetaan läpinäkyvästä PET-muovista valmistetuista preformeista eli aihioista venytyspuhallusmuovaamalla. Astioiden laatua tutkitaan tuotannon aikana sähkömagneettisella paksuudenmittauslaitteella sekä aistinvaraisesti tarkastelemalla astian visuaalisia ominaisuuksia, kuten läpinäkyvyyttä ja pinnan virheitä.

Työssä tutkittiin kolmen kuukauden ajalta kirjattuja astian seinämän paksuuksia. Linjaston puhalluskoneelle tehtiin näiden mittausten puolella välissä mekaaninen päivitys, mutta datan pohjalta huomattiin, ettei päivitys tuonut riittäviä parannuksia. Tuloksista todettiin myös se, että mittausta- ja raportointitavoissa oli puutteita. Suurin osa kirjatuista tuloksista pysyi spesifikaatorajojen sisäpuolella, ja todennäköisyyskuvaajien perusteella kaikki tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä eivätkä ne noudattaneet normaalijakaumaa.

Nykyisen puhalluskoneen tekniset ominaisuudet eivät riitä optimaalisten materiaali- ja kaumiensa saavuttamiseen. Myös mittaustarkkuudessa ilmeni mahdollisia ongelmia, joihin pyritään vaikuttamaan päivitetyn työhjeen avulla. Tulevaisuudessa parannuskohteina voisi olla nykyisten mittausten menetelmien tarkkuuden tutkiminen ja mahdollisesti investoinnit uusiin mittaustarvikkeisiin ja niiden suunnitteluun tai uusien raakamateriaalien testaus.

Avainsanat: draughtmaster, puhallusmuovaus, laadunvalvonta, pakkausmateriaali, PET

Abstract

Author: Mira Teräväinen
Title: Keg Quality Measurement on the DraughtMaster Line
Number of Pages: 37 pages + 1 appendix
Date: 22 April 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Biotechnology and Food Engineering
Supervisors: Kai Laitinen, Principal Lecturer
Hannu Sistonen, Quality Manager

This thesis was commissioned by Sinebrychoff Supply Company Oy. The aim was to assure the quality measurement and correct reporting on the DraughtMaster line. In addition, an updated work manual was developed for operators to support the quality measurements.

DraughtMaster kegs are blown from preforms made of transparent PET plastic by stretch blow molding. The quality of the kegs is examined during production with an electromagnetic thickness measuring device and by sensory evaluation of the visual properties of the keg, such as transparency and surface defects.

During the thesis project, the wall thicknesses of the kegs recorded over a period of three months were examined. A mechanical update was made to the blow molder in the middle of these measurements, but the data indicated that the update did not bring sufficient improvements. The results also showed that there was a clear deficiency in the measurement and reporting methods. Most of the recorded data remained within the specification limits and on the basis of the probability plots, all results were statistically significant and did not follow the normal distribution.

The technical properties of the current blow molder are not sufficient to obtain optimal material distribution results. There were also possible problems with the measurement accuracy, which will be addressed with the updated work manual. In the future, areas for improvement could be examining the accuracy of existing measurement methods and possibly investing in new equipment and their design or testing new raw materials.

Keywords: draughtmaster, blow molding, quality control, packaging materials, PET

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Puhallusmuovaus	2
2.1	Ekstruusiopuhallusmuovaus	2
2.2	Ruiskupuhallusmuovaus	4
2.3	Venytyspuhallusmuovaus ja ruiskuvenytyspuhallusmuovaus	5
2.4	Käytettävät materiaalit ja muotit	7
2.5	Prosessiin vaikuttavat tekijät	10
3	Erilaiset ravintola-astiat	12
3.1	Metalliset astiat	12
3.2	DraughtMaster-astiat	13
4	Tilastollinen laadunohjaus	15
4.1	Spesifikaatio- ja valvontarajat	15
4.2	Laatikko-janakuvaaja	16
4.3	Todennäköisyyslaskenta	16
5	Laadunvalvonta valmistuslinjalla	18
5.1	DraughtMaster-tuotantolinja	18
5.2	Spesifikaatiot ja mittaustulosten kirjaus	19
5.3	Laatumittaukset, laitteistot ja niiden mittausvarmuus	19
6	Tulokset ja niiden tarkastelu	23
6.1	Seinämien paksuusmittaukset	24
6.2	Seinämien materiaalijakauma	26
6.3	Seinämien paksuuksien todennäköisyysjakaumat	27
6.4	Kaularenaan paksuusmittaukset ja todennäköisyysjakauma	29
6.5	Koulutus ja ohjeistus	31
7	Johtopäätökset	33
	Lähteet	34
	Liitteet	

Lyhenteet

Liite 1: Astian seinämän ja kaulan paksuuden mittausohje

Lyhenteet

- EBM: *Extrusion Blow Molding*. Ekstruusiopuhallusmuovaus.
- HDPE: *High Density Polyethylene*. Korkeatiheyksinen polyeteeni.
- IBM: *Injection Blow Molding*. Ruiskupuhallusmuovaus.
- ISBM: *Injection Stretch Blow Molding*. Ruiskuvenytyspuhallusmuovaus.
- LCL: *Lower Control Limit*. Alempi tilastollinen valvontaraja.
- LSL: *Lower Specification Limit*. Spesifikaation alaraja.
- MES: *Manufacturing Execution System*. Tuotannonohjausjärjestelmä.
- PC: *Polycarbonate*. Polykarbonaatti.
- PET: *Polyethylene terephthalate*. Polyeteenitereftalaatti.
- PP: *Polypropylene*. Polypropeeni.
- PVC: *Polyvinylchloride*. Polyvinyylikloridi.
- SBM: *Stretch Blow Molding*. Venytyspuhallusmuovaus.
- UCL: *Upper Control Limit*. Ylempi tilastollinen valvontaraja.
- USL: *Upper Specification Limit*. Spesifikaation yläraja.

1 Johdanto

Perinteisesti hanajuomat on valmistettu metallisiin astioihin, jotka käytön jälkeen pestään ja käytetään uudelleen. Painavat metalliastiat ovat kuitenkin hankalia varastoida ja käsitellä ja niiden kuljetuskustannukset ovat suuret. Juoman annosteluun tarvitaan myös erillinen hiilidioksidipullo. Uusi DraughtMaster-hanajärjestelmä edistää kestäväää kehitystä ja on ekologisempi vaihtoehto metallisille astioille, tölkeille ja lasipulloille. Suomen Luonnonvarakeskus Luken validoiman elinkaaritutkimuksen perusteella DraughtMaster-järjestelmässä käytetävän PET-pullon hiilijalanjälki metallisiin astioihin verrattuna on 3,8 % pienempi. [1.]

DraughtMaster-astiat valmistetaan venytyspuhallusmuovauksella valmiista preformeista eli aihioista. Astioiden materiaalin laatua tutkitaan ja seurataan aktiivisesti tuotannon aikana mittaamalla seinämän paksuutta ja suuaukon muotoja. Mittausvälineinä käytetään sähkömagneettisesti toimivaa paksuudenmittauslaitetta ja metallisia apuvälineitä eli tulkkeja. Astioiden kirkkautta ja pintaa tarkastellaan myös visuaalisesti.

Tämä insinööriyö toteutettiin Sinebrychoff Supply Company Oy:lle, joka on osa Carlsberg-konsernia. Pohjoismaiden vanhimpana panimona ja Suomen vanhimpana elintarvikeyrityksenä Sinebrychoff valmistaa erilaisia virvoitus- ja alkoholi-juomia. Tunnetuimpia tuotteita ovat Coca-Cola, Koff ja Karhu. Tammikuusta 2021 lähtien panimo on toiminut täysin hiilineutraalisti ja valmistanut juomat 100 prosenttisesti uusiutuvalla energialla. [2; 3.]

Työn tavoitteena oli DraughtMaster-astioiden mittaustarkkuuden varmistaminen, mittaustekniikoiden optimointi sekä mittausvarmuuden parantaminen operaattorien joukossa.

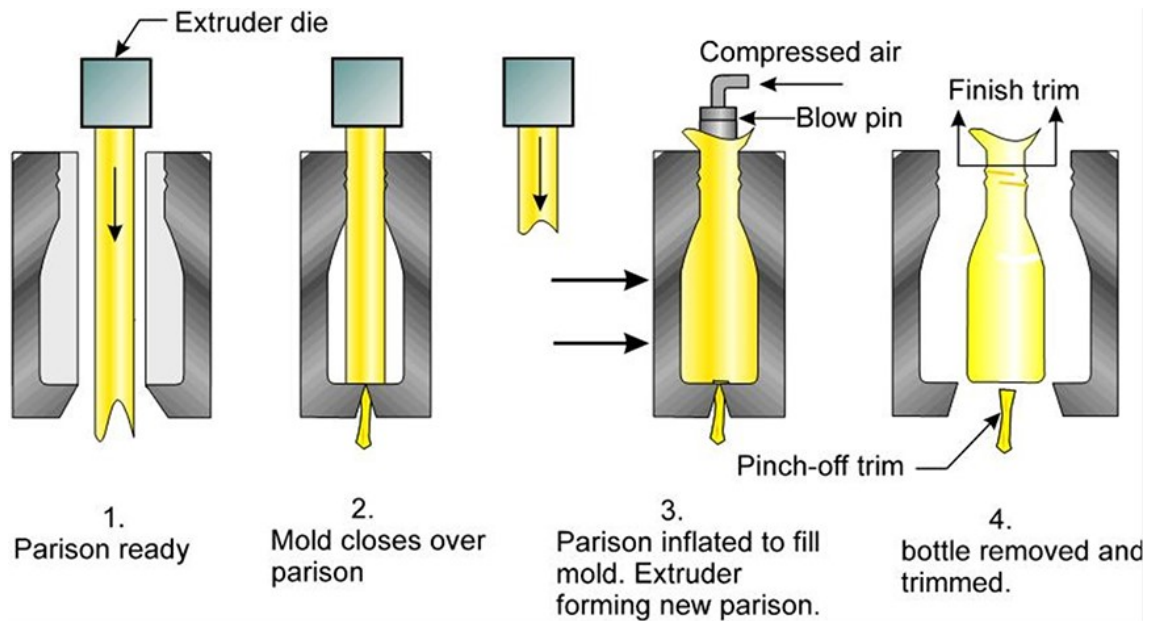
2 Puhallusmuovaus

Puhallusmuovaus on onttojen muovituotteiden, kuten pullojen ja säiliöiden valmistusmenetelmä. Tällä valmistustekniikalla voidaan valmistaa tuotteita, joiden tilavuus vaihtelee millilitroista satoihin litroihin, ja se sopii erityisesti tuotteille, joita valmistetaan suurissa erissä. Puhallusmuovaus voidaan jakaa preformin eli aihion valmistusmenetelmän perusteella ekstruusio- ja ruiskupuhallusmuovaukseen sekä venytys- ja ruiskuvenytyspuhallusmuovaukseen. [4, s. 34; 5, s. 301–302.]

2.1 Ekstruusio puhallusmuovaus

Ekstruusio puhallusmuovaus (extrusion blow molding, EBM) on yleisin ja yksinkertaisin käytössä oleva puhallusmenetelmä. Valmistettavia kappaleita ovat säiliöt, kannut ja pullot, jotka ovat tilavuudeltaan maksimissaan 100 litraa. Muita valmistettavia tuotteita ovat tankit ja putket. Valmistusprosessi on yksivaiheinen ja joko jatkuva tai jaksottainen. [4, s. 35; 6, s. 177; 7.]

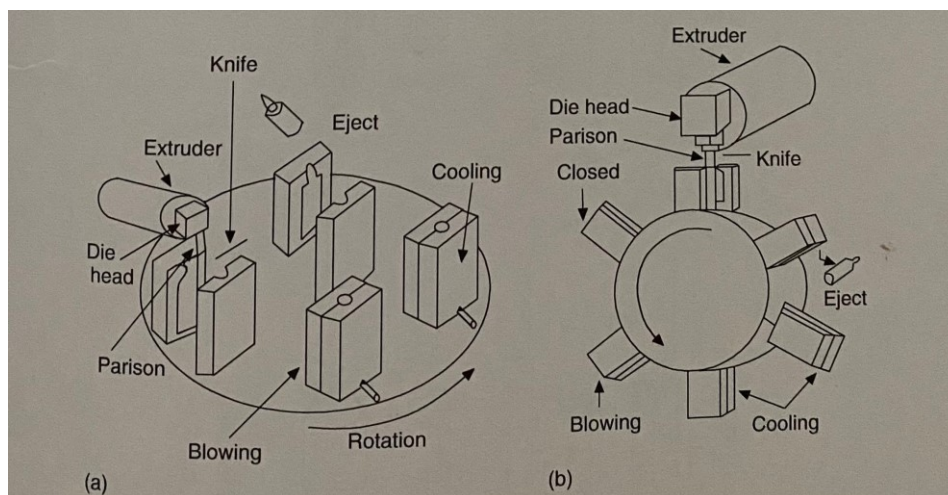
Tuote valmistetaan kuvan 1 mukaisesti pursottamalla sula muovimassa ontoksi putkeksi eli preformiksi kahden metallisen muottipuoliskon väliin, jotka tämän jälkeen sulkeutuvat ja muodostavat muotin samalla leikaten preformin haluttuun pituuteen. Paineilmaa johdatetaan muottiin, jolloin muovimassa venyy muotin muotoiseksi ja kun se osuu metalliseinsään, se jäähtyy nopeasti. Kun tuote saavuttaa oikean muodon ja koon, sekä on jäähtynyt, muotti avautuu ja tuote poistetaan. Tuotteen pohjaan ja suuaukkoon jäänyt ylimääräinen materiaali eli jäyste poistetaan. [4, s. 35; 8, s. 108–109.]



Kuva 1. Ekstruusiopuhalluksen vaiheet [9].

Jäysteen poistamisen lisäksi muita jälkikäsittelyprosesseja ovat mm. liekkikäsitely ja vuotojen havaitseminen. Muovipullon pintaa voidaan käsitellä kaasuliekillä, mikä parantaa sen tarttuvuuskykyä. Tällöin tuotteen pintaa on helpompi maalata ja päällystää halutuilla aineilla. Myös esimerkiksi etikettien liimaus helpottuu. [10; 11.]

Jatkuvassa ekstruusiopuhallusprosessissa preformeja valmistetaan ruuviekstruuderista puristamalla keskeytymättömästi. Jokaiselle prosessin vaiheelle on oma muottisarja, joka on kiinni vaaka- tai pystysuuntaisesti pyörivässä pöydässä (kuva 2). Tällaiset pyörivät koneet sopivat hyvin pitkille ajoille, joissa valmistetaan suuria määriä tuotetta. [4, s. 35.]



Kuva 2. Vaaka- ja pystysuuntaisesti pyörivät ekstruusiopuhalluspöydät [4, s. 35].

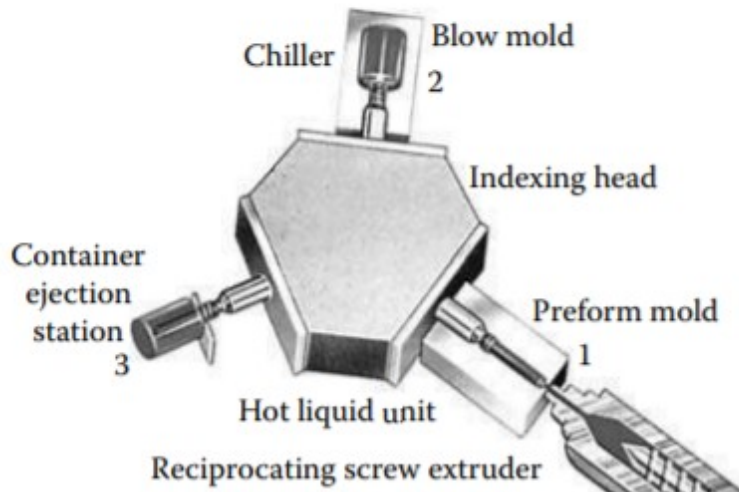
Jaksottainen puhallusmuovaus tapahtuu sykleissä ja ruuviekstruuderin sijasta käytetään mäntää. Mäntäpuristusmenetelmän avulla preformi puristetaan ulos kertyneestä sulasta massasta ja kuljetusvarsi leikkaa sekä kuljettaa preformin seuraavaan muottiin, jossa se puhalletaan muotoonsa. [4, s. 35–36.]

Koekstruusio- eli monikerrospuhalluksessa lopputuote koostuu kahdesta tai useammasta eri materiaalista, jotka on puhallettu kerroksittain haluttuun muotoon. Tällä menetelmällä voidaan esimerkiksi lisätä muovin sekaan esto- eli barriereeriaine, joka estää mm. ulkoisten aromien tai kosteuden pääsyn tuotteeseen. [12.]

2.2 Ruiskupuhallusmuovaus

Ruiskupuhallusmuovaus (injection blow molding, IBM) on monivaiheinen prosessi, jossa tuotteet valmistetaan jatkuvatoimisesti pyörivässä karusellipöytäkooneessa. Ruiskupuhallusmuovauksessa ensimmäinen vaihe on muovipellettien syöttäminen ekstruuderiiin, jossa ne sulavat pyörivän ruuvin aiheuttaman kitkan ansiosta. Tämän jälkeen tapahtuu preformin ruiskuvalaminen, jossa muovimassa ruiskutetaan paineella muottiin. Tällöin tuotteeseen muodostuu myös kaula ja suuaukko. Seuraavaksi lämmin preformi siirretään puhallusta varten

muottiin, jossa se puhalletaan lopulliseen muotoonsa paineilmalla ja jäädytetään. Viimeisessä vaiheessa asemointitanko irrottaa valmiin tuotteen karuselli-pöydästä. Prosessin vaiheet näkyvät kuvassa 3. [8, s. 110; 13; 14, s. 7.]

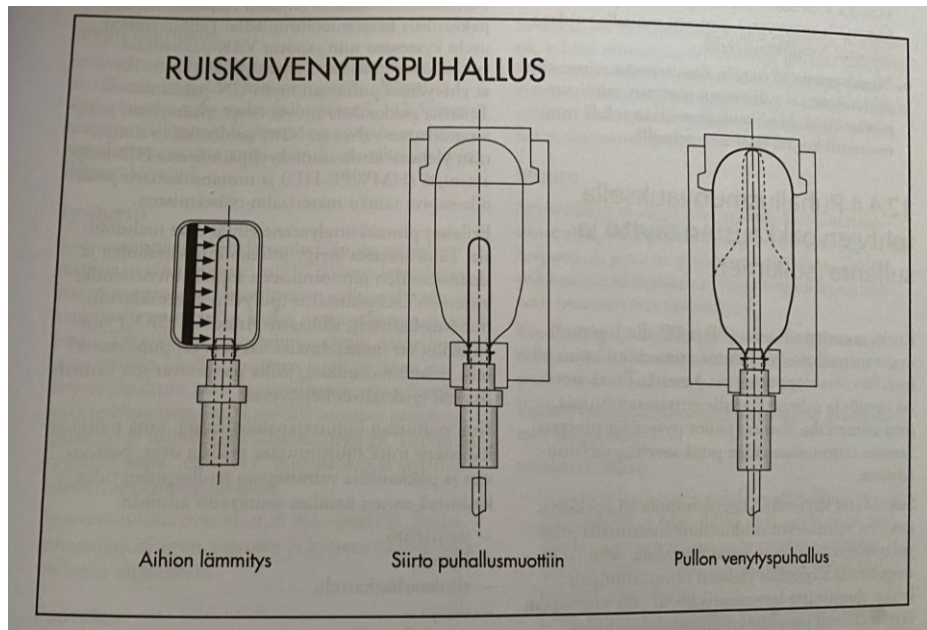


Kuva 3. Ruiskupuhallusmuovauksen vaiheet: 1. Preformin muovaus, 2. Puhallus, 3. Valmiin tuotteen irrotus. [14, s. 7.]

Ruiskupuhallus on huomattavasti hitaampi valmistusmenetelmä kuin esimerkiksi ekstruusiopuhallus, ja siinä käytettävät materiaalit ovat rajatumpia. Ruiskutusprosessissa pystytään kuitenkin hallitsemaan paremmin preformin seinän ja kaulan paksuutta sekä valmistamaan ei-symmetrisiä kappaleita. [4, s. 36.]

2.3 Venytyspuhallusmuovaus ja ruiskuvenytyspuhallusmuovaus

Ruiskuvenytyspuhallusmuovauksessa (injection stretch blow molding, ISBM) preformi ruiskuvaletaan puhalluskoneen yhteydessä samaan tyyliin kuin ruiskupuhalluksessa (kuva 4). Ruiskuvenytyspuhalluksella voidaan valmistaa kappaleita, jotka ovat pääasiassa onttoja ja muodoltaan kiertosymmetrisiä. [15; 16.]



Kuva 4. Ruiskuvenytyspuhallus [8, s. 111].

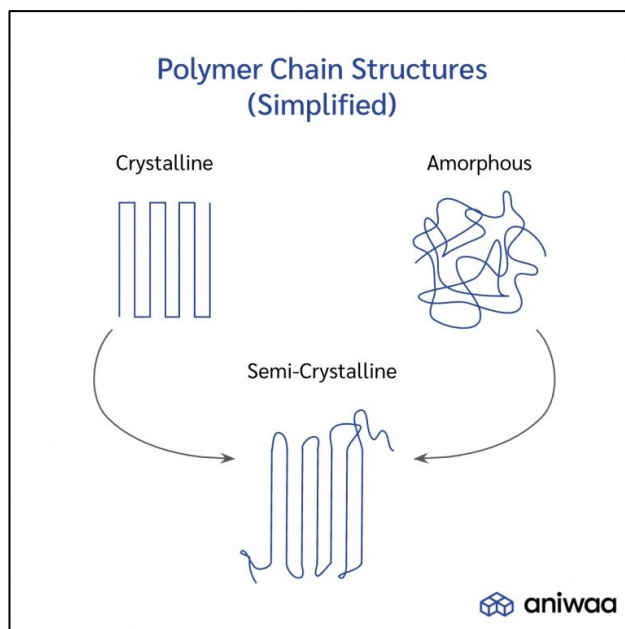
Venytyspuhallusmuovauksessa (stretch blow molding, SBM) tuotteet voidaan valmistaa kahdella eri prosessilla: yksi- tai kaksivaiheisella. Yksivaiheisessa prosessissa tuote valmistetaan yhdessä koneessa. Ensin preformi puhalletaan kuten ruiskuvenytyspuhalluksessa, mutta se jäähdytetään ja lämmitetään uudelleen ennen puhallusprosessia. Tästä johtuen preformia pystytään venyttämään biaksiaalisesti eli sekä leveys- että pituussuunnassa, mikä parantaa mm. tuotteen vetolujuutta ja materiaalin kirkkautta. Tällä tekniikalla voidaan valmistaa astioita, joissa on leveä suuaukko ja joiden tuotantovolyymit ovat pienet. [17.]

Kaksivaiheinen venytyspuhallusmuovaus toimii muuten samalla tavalla kuin yksivaiheinen, mutta siinä preformit on etukäteen valmistettu ja ne toimitetaan usein eri tehtaalta. Tämä on paras tapa suurille tuotantomäärille, sillä preformin muovauslaitteilla on korkeat kustannukset ja valmiit preformit nopeuttavat ja sujuvoittavat tuotantoa. Huono puoli valmiissa preformeissa on se, että niiden laatuun ei pystytä vaikuttamaan tuotannon aikana. Kaksivaiheista venytyspuhallusmuovausta käytetään laajalti mm. PET-pullojen valmistuksessa. [8, s. 111; 17.]

2.4 Käytettävät materiaalit ja muotit

Puhallusmuovauksessa käytettävä metodi riippuu siitä, mitä materiaalia puhalluksessa käytetään ja minkälainen lopputuote halutaan. Myös se valmistetaanko preformi ja lopputuote samalla tuotantolinjalla vai joudutaanko preformit kuljettamaan erilliseen tuotantolaitokseen puhallettaviksi vaikuttaa puhallusmuovustavan valintaan.

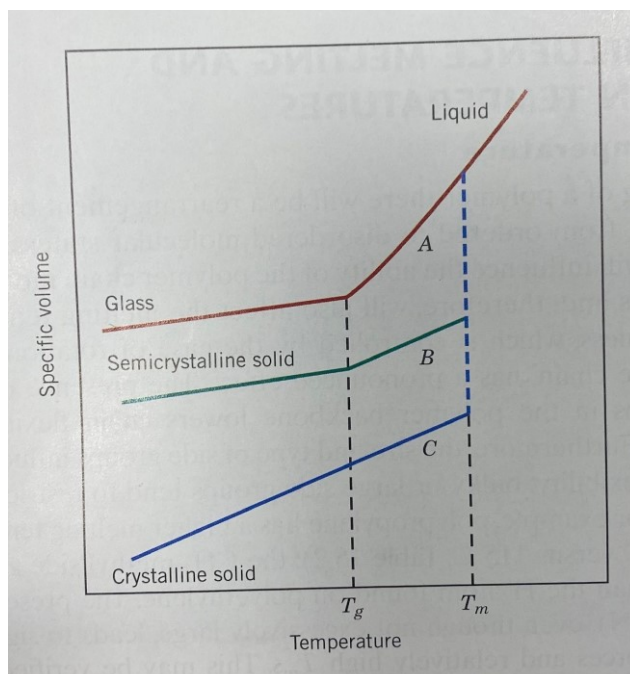
Parhaiten puhallusprosessiin sopivat materiaalit, jotka ovat sulassa muodossa viskoosisia eli sitkeitä. Puhallusmuovauksessa käytettävät materiaalit ovat termoplastisia eli lämpömuovattavia kestopuoveja. Kestomuovit koostuvat pitkistä polymeeriketjuista, ja molekyylien väliset sidokset eivät ole kemiallisia. Tästä johtuen puoveja voidaan sulattaa ja muotoilla uudelleen lukemattomia kertoja ilman, että materiaalin ominaisuudet kärsivät. Kestomuovit jaetaan kahteen pääryhmään: amorfisiin eli kiteytymättömiin ja osakiteisiin puoveihin. Kuvassa 5 on esitetty kiteisyyden erot polymeerin molekyyliarakenteissa. [5, s. 161, 302; 8, s. 86; 18.]



Kuva 5. Polymeerin kiteytymisrakenteet. Vasemmalta oikealle: kiteytynyt, osakiteinen ja amorfinen. [19.]

Kiteytynyt rakenne tarkoittaa molekyylien säännöllistä järjestäytymistä, amorfisen järjestäytymätöntä ja osakiteinen näiden yhdistelmää. Amorfiset kesto-
muovit eivät omaa tiettyä sulamispistettä, vaan ne pehmenevät vähitellen, kun niitä lämmitetään. Tätä asteittaista olomuodon muuttumista kutsutaan lasisiirtymäksi ja pehmenemisen aloituskohtaa merkitään suureella T_g . Myös osakiteisillä muoveilla tapahtuu lasisiirtymää niiden amorfisilla alueilla. Kiteisiltä alueilta ne muuttuvat sulamispisteessään suoraan nestemäisiksi. [18; 20, s. 592–593.]

Kuvassa 6 näkyy amorfisen (A), osakiteisen (B) ja kiteisen (C) materiaalin lasisiirtymän aloitus- ja sulamispisteet. Nämä on kuvattu asteikolla ominaistilavuuden eli tiheyden käänteisarvon ja lämpötilan avulla. Käyrä A kuvastaa amorfista ainetta, ja sen pehmeneminen alkaa tietyssä lämpötilassa T_g . Tällöin sen spesifinen tilavuus alkaa kasvaa ja lopulta muuttuu nestemäiseksi sulamislämpötilassa T_m . Käyrästä B voi tulkita, että kun osakiteinen aine pehmenee, sen tilavuus ei kasva yhtä paljon kuin amorfisella aineella. Tämä johtuu siitä, että vain sen amorfiset alueet pehmenevät ja loput aineesta jää kiteiseksi. [20, s. 592–593.]



Kuva 6. Amorfisen (A), osakiteisen (B) ja kiteisen (C) aineen lasisiirtymäpiste (T_g) ja sulamispiste (T_m) ominaistilavuus-lämpötila-asteikolla [20, s. 593].

Ominaisuuksiltaan amorfiset muovit ovat kirkkaita, kutistuvat vähän kiinteytyessään, mutta kestävät kemikaaleja huonosti. Osakiteiset taas kestävät hyvin kulumusta ja kemikaaleja, mutta kutistuvat paljon jähmettyessään [18].

Puhallusmuovauksessa käytettävistä muoveista yleisimpänä käytössä on polyeteenit, erityisesti HDPE (High Density Polyethylene), joka on tiheydeltään korkeaa polyetyleeninä. Virvoitusjuomateollisuudessa taas käytetään pullojen materiaalina polyeteenitereftalaattia (PET) ja sen seoksia. Muita käytettyjä muovimateriaaleja ovat polypropeeni (PP), polykarbonaatti (PC) ja polyvinyylidikloridi (PVC). HDPE on läpinäkymätöntä, jäykkää muovia ja siitä voidaan puhallusmuovauksella valmistaa mm. mehupulloja ja erilaisia kanistereita. Polyeteenitereftalaattia on olemassa kiteinen ja kiteytymätön muoto. Amorfinen PET-muovi on kirkasta, ja se sopii hyvin elintarvikepakkauksiin myrkyttömyytensä ja hajuttomuutensa takia. Suurin käyttökohde PET:illä on vesi- ja virvoitusjuomapullojen valmistuksessa. [6; 8, s. 108.]

Puhallusmuotti on metallinen kappale, joka on valmistettu berylliumista, kuparista, alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä. Muotin materiaalin valinnassa on otettava huomioon kestävyys, lämmönjohtavuus sekä käsiteltävän muovin ominaisuudet ja laatuvaatimukset. Rakenteeltaan muotti voi koostua kahdesta muotinpuoliskosta, jotka avautuvat pystysuunnassa tai kolmesta osasta niin, että kahden pystysuuntaisen muottipuoliskon lisäksi astian pohjaa varten on oma muotin osa (kuva 7). Muotin sisällä on yksi tai useampi ontelo tuotteen puhallusta varten riippuen sen muodosta. Jäähdytys ja ilmanvaihto tapahtuvat muotin sisällä kulkevan veden ja ilmanvaihtokanavien avulla. [4, s. 37.]



Kuva 7. Kolmiosainen muotti [21].

2.5 Prosessiin vaikuttavat tekijät

Prosessiolosuhteet vaikuttavat osakiteisten polymeerien, kuten polyeteenin, polypropeenin ja polyeteenitereftalaatin, mekaanisiin sekä termisiin eli lämpöominaisuuksiin. Muovin kiteytymisaste kertoo, kuinka suuri osa materiaalista on kiteytyneessä muodossa. Loppuosa polymeeristä jää amorfiseen muotoon. Mitä korkeampi kiteytymisaste on, sitä jäykempi polymeeri on ominaisuuksiltaan. [18; 22, s. 2; 23.]

Puhallusprosessiin vaikuttavat monet tekijät prosessin sisällä ja sen ympäristössä. Prosessin sisäisiä tekijöitä ovat preformin raaka-aineiden ominaisuudet, preformin lämpötila ja koko, puhalluspaine ja -nopeus, muotin lämpötila sekä tuotteen jäähdytysaika. Prosessiin ulkoisesti vaikuttavia tekijöitä ovat mm. tuotantoympäristön lämpötila ja kosteus. [24.]

Preformin valmistuksessa käytettävien raaka-aineiden ominaisuuksilla on vaikutus siihen, miten laadukas preformista tulee. Raaka-aineen viskositeetti, molekyylipaino ja molekyylipainon jakautuminen ovat näistä merkittävimpiä [25]. Preformin lämpötila prosessissa vaikuttaa suoraan sen muodon vakauteen, liitoksiin ja jäähtymisaikaan. Liian korkea lämpötila aiheuttaa preformin lujuuden heikkenemistä, jolloin seinämien muovi voi olla epätasaisesti jakautunut ja siinä saattaa ilmetä epämuodostumia. Tästä seuraa pidemmät jäähtymisajat sekä

tuotantotehokkuuden laskeminen. Matalammissa lämpötiloissa preformia on vaikeampi muovata; pituus jää liian lyhyeksi ja seinämistä tulee paksummat. [24.]

Kun muotissa olevaan preformiin puhalletaan paineilmaa, sen tehtävänä on muotoilla preformi muotin mukaiseksi ja aloittaa tuotteen jäähdytys. Käytettävän paineen suuruus on 2–7 bar, riippuen preformin materiaalista ja ominaisuuksista sekä halutun lopputuotteen koosta. Mitä suurempi lopputuote, sitä suuremmalla paineella täytyy ilmaa puhaltaa. Tärkeää on myös, että puhallus tapahtuu tasaisesti ja riittävän nopeasti tasalaatuisten tuotteiden varmistamiseksi. Liian korkeat tai matalat paineet ja nopeudet saattavat aiheuttaa lopputuotteen koon painumista tai repeämistä. [24.]

Muotin viileällä lämpötilalla nopeutetaan tuotteen jäähtymistä ja lämpötila valitaan käytettävän muovin ominaisuuksien mukaan. Liian kylmä muotti jäähdyttää tuotteen enneaikaisesti, mikä vaikeuttaa puhallusta ja muotoilua. Liian lämmin muotti taas pidentää jäähtymisaikaa ja tuotantosykliä sekä huonontaa tuotantotehokkuutta. [24.]

Kaikki ongelmat ja muutokset edellä mainituissa tekijöissä saattavat aiheuttaa ongelmia prosessin jatkovaiheissa, ja prosessia tulisi säätää olosuhteiden muuttuessa niiden vaativilla tavoilla.

3 Erilaiset ravintola-astiat

Lähes 60 vuoden ajan hanaolut on pakattu metallisiin astioihin. Ensimmäiset ruostumattomasta teräksestä valmistettavat oluttynnyrit kehitettiin Iso-Britanniassa vuonna 1964 ja niitä alettiin valmistaa neljä vuotta myöhemmin. Muoviset DraughtMaster-astiat ovat ravintola-astioiden uusin sukupolvi. [26.]

3.1 Metalliset astiat

Metalliset ravintola-astiat valmistetaan ruostumattomasta teräksestä. Ruostumaton teräs ei reagoi lämpötilanvaihteluihin tai muihin ympäristövaikutuksiin kuten UV-valoon niin, että se vaikuttaisi juoman aistinvaraisiin ominaisuuksiin. Metalliasiat kierrätetään pesun ja desinfioinnin kautta uudelleen käyttöön, ja ne kestävät kierrossa jopa 30 vuotta. [27; 28.]

Euroopassa käytettävät astiat ovat yleensä 20–50 litran kokoisia [29]. Näiden lisäksi on saatavilla muun muassa viiden litran minikegejä, joita myydään päivittäistavarakaupoissa suoraan kuluttajalle. Kuvassa 8 on kaksi esimerkkiastiaa, joita Suomessa käytetään, sekä minikeg.



Kuva 8. Erilaisia metallisia ravintola-astioita [1; 30; 31].

Juoman ulossaamiseksi tarvitaan erillinen hiilidioksidipullo, ja hiilidioksidin määrää tuotteeseen on säädeltävä käsin. Liika hiilidioksidi aiheuttaa juoman kuohumista erityisesti oluissa. Kun hiilidioksidi on kosketuksissa tuotteen kanssa, se heikentää sekä tuotteen makua että säilyvyyttä. Hiilidioksidin lisäksi tarvitaan jäähdytyslaitteisto, joka pitää juoman sopivan viileänä. Hanalaitteistoja pitää myös pestä, jotta oluen ja muiden juomien laatu säilyy ja elintarvikehygieniata-
sot pysyvät korkealla. [28.]

3.2 DraughtMaster-astiat

DraughtMaster eli DM-astioiden hanajärjestelmiä on kahdenlaisia: Modular 20 ja Flex 20 (kuva 9). Flex 20 -astian mukana tulee hanajärjestelmään asennettava integroitu tuoteputki, jolloin astia ei tarvitse erillistä pesuhoitoa. Siinä on myös sisäänrakennettu jäähdytysjärjestelmä, joka säätelee lämpötilaa automaattisesti. Modular 20 -järjestelmän pesuhoito on puoliautomaattinen, eli se ilmoittaa milloin tuoteputkisto tulee puhdistaa. Modular 20 -astia on tarkoitettu suurempiin tiloihin, kuten ravintoloihin, joissa vuotuinen kulutus on yli 3 000 litraa. Joustavat Flex 20 -astiat taas ovat siirrettäviä ja hyviä pienempiin tiloihin sekä tapahtumiin. [32.]



Kuva 9. Modular 20 -järjestelmä vasemmalla ja Flex 20 oikealla [32].

Aluksi astiat valmistettiin vihreästä muovista, mutta nykyään niihin käytetään kierrätettävää, kirkasta PET-muovin seosta (kuva 10). Juoman ulossaamiseksi astiasta ei tarvita erillisiä hiilidioksidipulloja, vaan se tapahtuu puristamalla astiaa paineilman avulla. Tässä on pienemmät kustannukset verrattuna perinteisiin metallisiin astioihin, ja juoma ei ole hiilidioksidikaasun kanssa kosketuksessa. Näin juoma säilyy raikkaana kauemmin ja syntyy vähemmän hävikkiä. Kevyemmät astiat vähentävät myös kuljetuskustannuksia ja näin ollen tuotteella on pienempi hiilijalanjälki. [1; 32.]

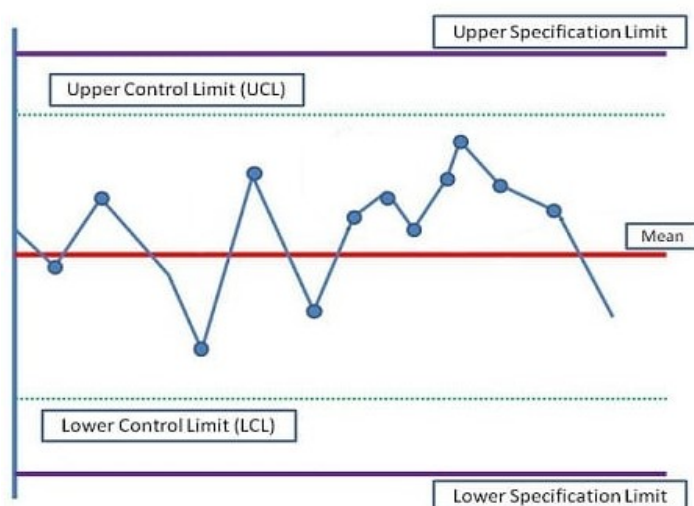


Kuva 10. DM-astiat. Vasemmalla vanha vihreästä muovista valmistettu ja oikealla nykyinen astia. [33; 34.]

4 Tilastollinen laadunohjaus

4.1 Spesifikaatio- ja valvontarajat

Lower Specification Limit (LSL) ja Upper Specification Limit (USL) ovat tuotteen suunnittelussa sen tietyille ominaisuuksille asetetut raja-arvot. Lower Control Limit (LCL) ja Upper Control Limit (UCL) ovat tilaston keskiarvon molemmilla puolilla olevat, tavallisesti kolme kertaa standardipoikkeaman päässä olevat raja-arvot, jotka kertovat prosessin vaihtelusta ja stabiiliudesta ja siten edustavat prosessin suorituskykyä. Valvontarajat suhteessa spesifikaatorajoihin on graafisesti esitettyinä kuvassa 11. [35.]



Kuva 11. Valvontarajat suhteessa spesifikaatorajoihin [36].

Mitä lähempänä LCL ja UCL ovat toisiaan, sitä stabiilimpi prosessi. Tuloksia, jotka menevät näiden rajojen yli, kutsutaan poikkeaviksi tuloksiksi (outliers). Valvontarajat lasketaan alla olevan yhtälön avulla

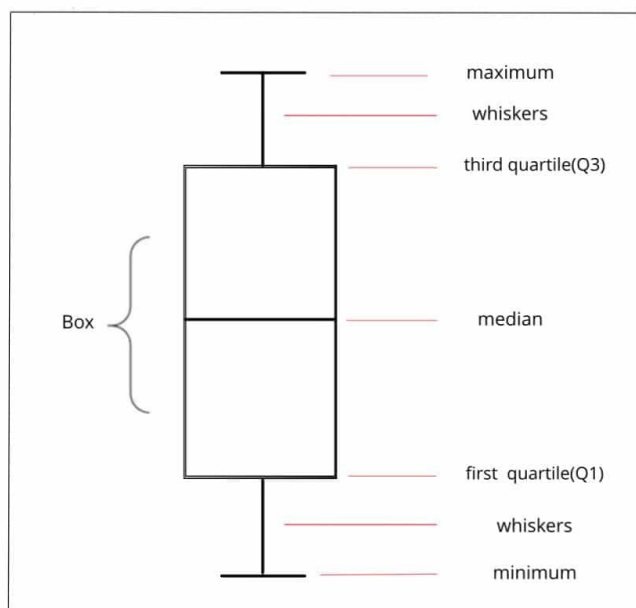
$$CL = \text{keskiarvo} \pm 3 * \hat{\sigma}$$

CL on raja-arvo (control limit)

$\hat{\sigma}$ on arvio keskihajonnasta. [35.]

4.2 Laatikko-janakuvaaja

Laatikko-janakuvaajan eli box plot -kuvaajan avulla kuvataan visuaalisesti arvojen jakaumaa. Laatikko sisältää puolet saaduista arvoista ja niiden mediaania kuvataan poikkiviivalla. Poikkiviivan sijainti laatikossa kertoo arvojen symmetriasta. Laatikon ylä- ja alapuolelle muodostuvat janat ja niiden päät kertovat minimi ja maksimiarvot. Näiden ulkopuolella olevia ääriarvoja voidaan kuvata erillisillä pisteillä. Esimerkki laatikko-jana-kuvaajasta on kuvassa 12. [37.]



Kuva 12. Esimerkki laatikko-janakuvaajasta [38].

4.3 Todennäköisyyslaskenta

Tilastollisissa tutkimuksissa tutkitaan johonkin perusjoukkoon liittyvän hypoteesin paikkansapitävyyttä. Tilastolliset testit suoritetaan perusjoukosta valitulle otokselle tai otoksille, ja niiden perusteella tehdään johtopäätöksiä koko perusjoukkoon liittyen. Tilastollisella päättelyllä voidaan arvioida, miten hyvin otoksen tuloksiin voidaan luottaa ja voidaanko niitä yleistää koko perusjoukon tuloksiksi. [39; 40, s. 165.]

Tilastolliselle testille täytyy määrittää nollahypoteesi (H_0) eli testattava väite ja vastahypoteesi (H_1). Nollahypoteesia ei voida todeta oikeaksi, vaan se joko hylätään tai ei hylätä. Vastahypoteesi taas voidaan todistaa oikeaksi tietyllä merkitsevyystasolla. Merkitsevyystaso α kuvaa hylkäämisvirheen todennäköisyyttä. Tavallisimpia merkitsevyystasoja ovat 0,05; 0,01 ja 0,001. Merkitsevyystasojen tulkinta on eriteltyinä taulukossa 1. Esim. merkitsevyystasolla 0,05 riski väärälle johtopäätökselle on 5 %. [40, s. 175–177; 41.]

Taulukko 1. Merkitsevyystasojen tulkinta [40, s. 177.].

Merkitsevyystaso	Merkitsevyys
$\alpha \leq 0,001$	tilastollisesti erittäin merkitsevä
$0,001 < \alpha \leq 0,01$	tilastollisesti merkitsevä
$0,01 < \alpha \leq 0,05$	tilastollisesti melkein merkitsevä

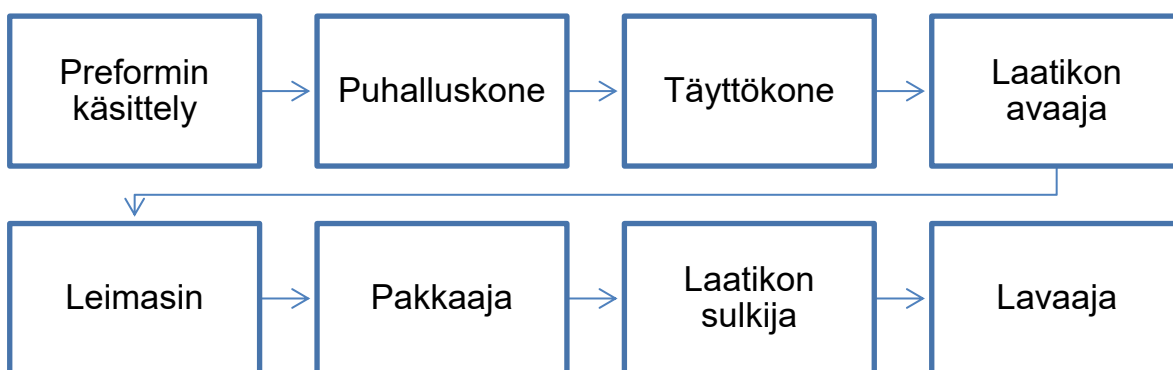
P-arvo kertoo, kuinka suurella todennäköisyydellä nollahypoteesi on väärä. Jos p-arvo on pienempi tai yhtä suuri kuin merkitsevyystaso α , data ei noudata normaalijakaumaa ja nollahypoteesi hylätään. Jos p-arvo on suurempi kuin α , nollahypoteesia ei voida hylätä, koska ei ole tarpeeksi näyttöä siitä, etteivät tulokset noudata normaalijakaumaa. Tulokset eivät ole tällöin tilastollisesti merkitseviä. [42.]

Normaalilla todennäköisyyskuvaajalla (normal probability plot) tarkastellaan noudattaako jokin joukko normaalijakaumaa. Mikäli datan pisteitä piirrettäessä ne osuvat suoraan linjaan, tulokset noudattavat normaalijakaumaa. Suoran ulkopuolella olevat tulokset ovat poikkeamia (outliers). [43.]

5 Laadunvalvonta valmistuslinjalla

5.1 DraughtMaster-tuotantolinja

DraughtMaster-tuotantolinja koostuu preformin käsittelypisteestä, puhalluskoneesta, täyttökoneesta, laatikon avaajasta, leimasimesta, pakkaajasta, laatikon sulkijasta ja lavaajasta (kuva 13).



Kuva 13. DraughtMaster-tuotantolinjan prosessin vaiheet.

Prosessi alkaa preformin käsittelystä, jossa preformikontti laitetaan kippilaitteeseen, joka vähitellen kaataa preformeja astiaan. Astiasta ne kulkeutuvat puhalluskoneelle kuljetinta pitkin. Puhalluskoneella preformit esilämmitetään noin 108 °C:seen, puhalletaan muotoon paineilmalla ja jäähdytetään. Täyttökoneelle astiat siirtyvät ilmakuljettimen kautta ja siellä ne täytetään juomalla ja korkitetaan. Tästä ne siirtyvät leimauspisteelle, jossa astiaan liimataan tuoteselostetarra. Pakkaajalle tulee valmiita pahvilaatikoita laatikon avaajalta, joka liimaa ja kokoaa ne. Pakkaaja nostaa astiat laatikoihin, minkä jälkeen ne siirtyvät vaa'alle punnittavaksi. Mikäli painoraja ylittyy tai alittuu, astia hylätään ja se siirtyy erilliselle hylkyradalle. Hyväksytyt painoiset astiat jatkavat matkaa laatikon sulkijalle, joka liimaa kannen kiinni ja leimaa laatikkoon tuotetiedot. Viimeisellä työpisteellä eli lavaajalla laatikot siirretään lavoille, lavat kääritään kelmulla ja liimataan ja ne siirtyvät varastoon odottamaan kuljetusta.

5.2 Spesifikaatiot ja mittaustulosten kirjaus

Spesifikaatiot ovat tuotevaatimuksia tai tuotteen avainominaisuuksia. Ne ovat ennalta määritettyjä, mitattavissa olevia suureita ja niihin liittyviä arvoja. Spesifikaatiot voidaan ilmoittaa esimerkiksi vaihteluvälinä [44, s. 75].

Kaikki laatumittausten tulokset kirjataan yhteiseen MES-tuotannonohjausjärjestelmään (Manufacturing Execution System), jonka avulla voidaan seurata mm. miten tulokset vaihtelevat eri vuorojen ja mittaajien kesken, kuinka suuri osa kirjatuista tuloksista on virheellisiä, ja miten esimerkiksi vuodenaikojen ja lämpötilojen vaihtelu vaikuttaa tuloksiin.

Järjestelmässä näkyy spesifikaatioiden raja-arvot ja tulosta kirjatessa järjestelmä kertoo, onko tuote hyväksyttävissä rajoissa vai ei. Mikäli tuotteen mittaustulokset alittavat tai ylittävät sallitut arvot, järjestelmä ilmoittaa poikkeamasta, ja tulee mittausta suorittaa uudelleen. Jos tulos ei ole tämänkään jälkeen hyväksyttävissä rajoissa, lähtömateriaalin eli preformien laatu tulisi tarkastaa ja puhallusprosessin parametreja säätää mahdollisuuksien mukaan.

5.3 Laatumittaukset, laitteistot ja niiden mittausvarmuus

Astioiden mittoja testataan ja mitataan eri menetelmillä. Tyhjästä astiasta tarkastetaan seinämän paksuus kolmesta kohtaa, kaularenaan paksuus, suuaukon halkaisija ja kierteet sekä astian muoto. Nämä mittaukset suoritetaan joka päivä tunnin välein, jotta mahdolliset spesifikaatiopoikkeamat huomataan ja niihin pystytään reagoimaan. Astia, jossa ilmenee poikkeama, ei ole niin kestävä, ja se voi tuottaa ongelmia prosessin edetessä. Astiaa tarkastellaan myös visuaalisesti, jolloin voidaan havaita muutokset astian värissä ja läpinäkyvyydessä sekä mahdolliset pinnan virheet kuten ilmakuplat, naarmut tai painaumat.

Näiden jokapäiväisten mittausten lisäksi harvemmin tehtäviä testejä ovat halkeamis- ja laajentumistestit. Halkeamistestissä (burst test) selvitetään, kuinka suuren paineen täysi astia kestää. Laajentumistestissä (expansion test) täytetään

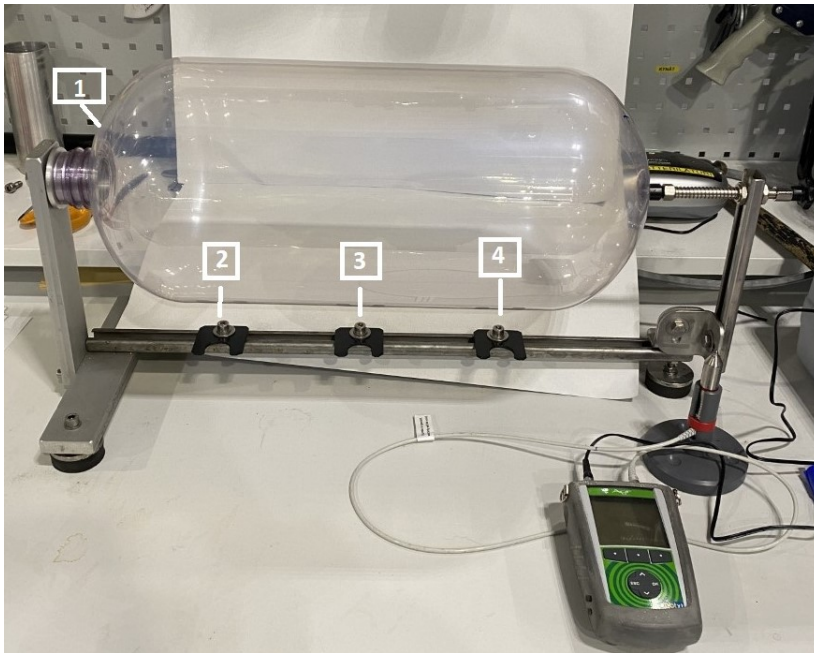
astiaa altistetaan vaihteleville lämpötiloille lämmityskaapissa ja tutkitaan sen prosentuaalista lämpölaajenemista.

Astioiden seinämän paksuuden mittaukseen käytetään Agr MBTtxt -mittauslaitetta (kuva 14), joka on tarkoitettu lasi-, alumiini- ja muovimateriaalien mittaukseen. Eri kokoisten metallisten kuulien ja sähkömagneettisen anturin avulla laitteella pystytään mittaamaan jopa 9 mm:n paksuisia materiaaleja. Laitteen toiminta perustuu Hallin ilmiöön, jossa johtimen tai puolijohtimen ollessa kohtisuorassa magneettikenttään sen elektronien kulkusuunta muuttuu. Tämän ilmiön avulla määritetään anturin ja kuulun välinen etäisyys. [45; 46.]



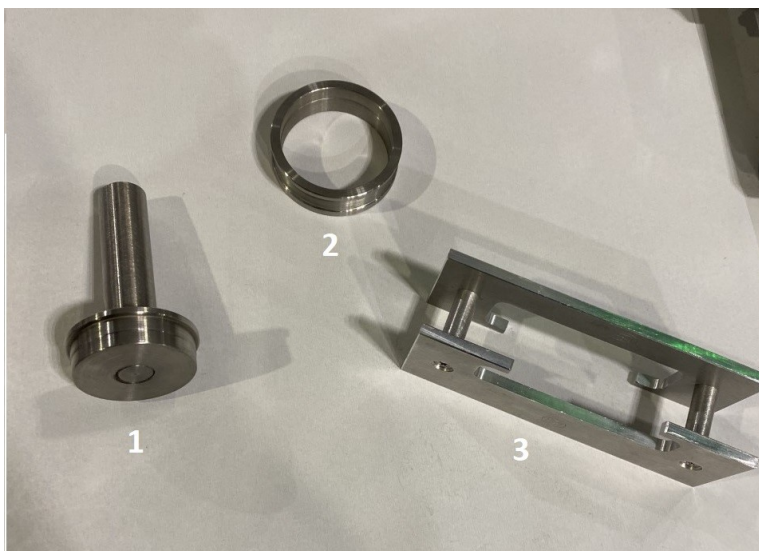
Kuva 14. Agr MBTtxt -paksuudenmittauslaite [45].

Seinämän paksuutta mitataan astian neljästä kohdasta, jotka on merkitty kuvassa 15 numeroilla 1–4. Mittauslaitteen metallinen kuula laitetaan astian sisälle ja astia kiinnitetään kuvassa 15 näkyvään mittaustelineeseen, jossa sitä pyöritetään hitaasti ja paksuus mitataan kuulun ja magneettisen anturin avulla. Mittari antaa tuloksen mikrometreissä ja kertoo astian seinämän ohuimman ja paksuimman kohdan. Astioiden seinämän paksuuden spesifikaatorajat ovat 0,30–0,37 mm ja kaularenkaan rajat 1,20–1,60 mm. Tulokset mitataan tuhannesosan tarkkuudella, mutta järjestelmään kirjatessa ne pyöristyvät sadannesosan tarkkuuteen.



Kuva 15. Seinämän paksuuden mittaus.

Astian suuaukon halkaisijaa ja kierteitä mitataan metallisilla apuvälineillä eli tulkilla (kuva 16), jotka kertovat mahdollisista poikkeamista.



Kuva 16. Astian suuaukon sisähalkaisija tarkistetaan tulkilla 1, ulkohalkaisija tulkilla 2 ja suuaukon kierteet tulkilla 3.

Myös astian muoto ja halkaisija testataan muottiin sovittamalla (kuva 17). Astian kokoon pystytään vaikuttamaan säätämällä arvoja puhalluskoneesta, mutta jos preformin suuaukossa on virhe sen tullessa materiaalitoimittajalta, siihen ei pystytä vaikuttamaan prosessia säätämällä.



Kuva 17. Astian sovitus muottiin.

Mittaustuloksiin vaikuttavat mm. vaihtelevat mittaustekniikat ja osaaminen operaattoreiden joukossa, kiire, näppäilyvirheet, tuotantohallin lämpötila ja kosteus sekä preformin laatu ja säilytysolosuhteet.

6 Tulokset ja niiden tarkastelu

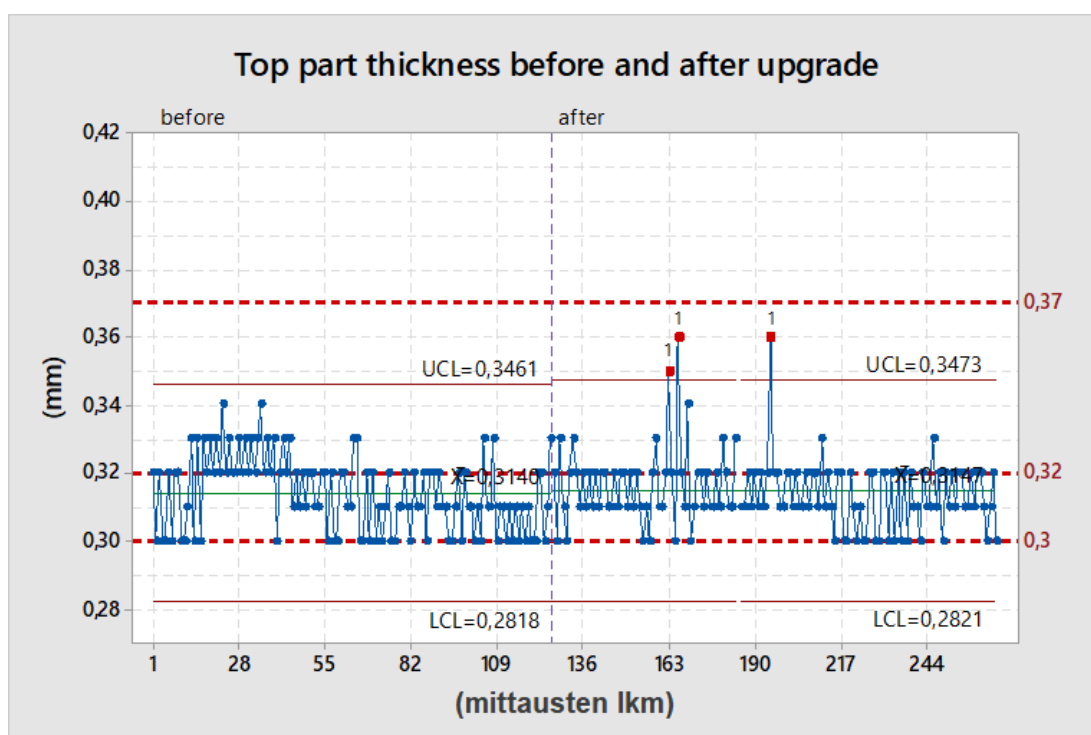
Työssä tutkittiin astioiden seinämän paksuusmittauksien tuloksia aikavälillä tammi–maaliskuu 2022. Operaattoreiden kirjaama mittausdata kerättiin MES-järjestelmästä, ja sitä analysoitiin tutkimalla keskiarvoja, materiaalin jakautumista ja todennäköisyyttä siitä, noudattavatko tulokset normaalijakaumaa. Astian seinämän ylä-, keski- ja alaosaa sekä kaularengasta tarkasteltiin erikseen. Tulosten tarkastelussa huomioitiin myös puhalluskoneelle helmikuussa tehty mekaaninen laitepäivitys. Päivityksellä pyrittiin parantamaan materiaalin jakautumista niin, että astian keskiosasta saataisiin siirrettyä materiaalia ylä- ja alaosaan.

Mittausdataa tarkastellessa huomattiin, että mittaukset osuivat suurimmaksi osaksi spesifikaatioiden ylä- ja alarajoille. Yksi mahdollinen syy näille tuloksille voi olla vääränlaiset mittaustavat, mittaustaitojen puute tai kirjausten oikeellisuus. Ilman uusintamittauksia ei kuitenkaan pystytä todistamaan varmasti, mistä nämä tulokset johtuvat. Astian seinämän paksuuden spesifikaatorajat olivat 0,30–0,37 mm ja suurin osa tuloksista osui tälle välille ja poikkeamia oli harvoin. Tämä tarkoittaa, että virheellisiä astioita ei kirjausten mukaan tuotettaisi lähes ollenkaan. Normaalissa prosessissa tapahtuu kuitenkin muutoksia mm. materiaaleissa, tuotanto-olosuhteissa ja laitteiden toiminnassa, ja näin ollen syntyy tuotteita, jotka ovat spesifikaatorajojen ulkopuolella.

Operaattoreiden oikein raportointia ja mittausosaamista pyritään uusien ohjeiden ja opastamisen avulla parantamaan niin, että mittaukset voitaisiin harventaa neljän tunnin välein suoritettaviksi. Tähän tavoitteeseen päästään, jos pystytään osoittamaan tarpeeksi pitkällä aikavälillä prosessin stabiilius luotettavien tuloksien ja datamäärän avulla. Myös alempaa spesifikaatorajaa ja näin ollen astian alinta mahdollista seinämän paksuutta haluttaisiin nostaa 0,32 mm:iin, jotta astioista saataisiin kestävämpiä ja materiaali jakauma olisi tasaisempi.

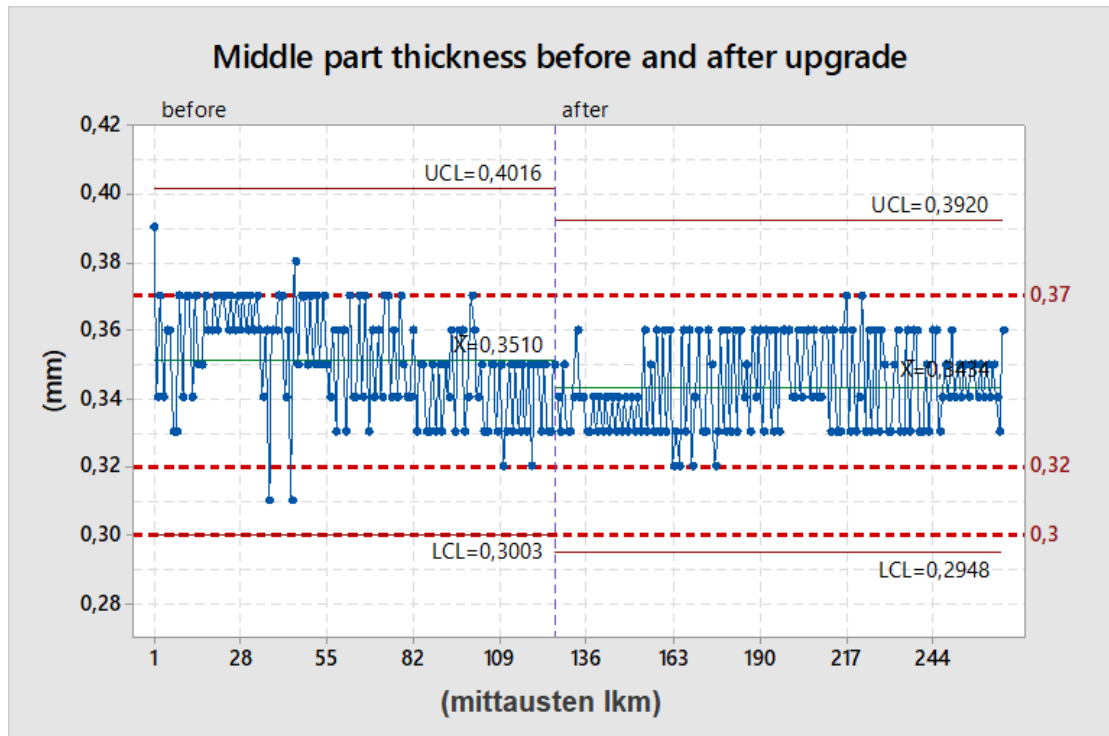
6.1 Seinämien paksuusmittaukset

Kuvassa 18 näkyy astian yläosan seinämästä suoritettut paksuusmittaukset. Kuvasta huomataan, että yläosa on paksuudeltaan spesifikaation alarajalla, mutta yksikään mittaustulos ei ole kirjausten perusteella alittanut LSL:ää eli alempaa spesifikaatorajaa (0,30 mm). Tulosten keskiarvo ennen päivitystä oli 0,31 mm ja sen jälkeen 0,32 mm. Tämä pieni muutos johtuu luultavasti kolmesta UCL:n ylittämästä, poikkeavasta tuloksesta eli parannusta prosessissa ei ole havaittavissa. UCL- ja LCL-rajat eivät muuttuneet päivityksen myötä.



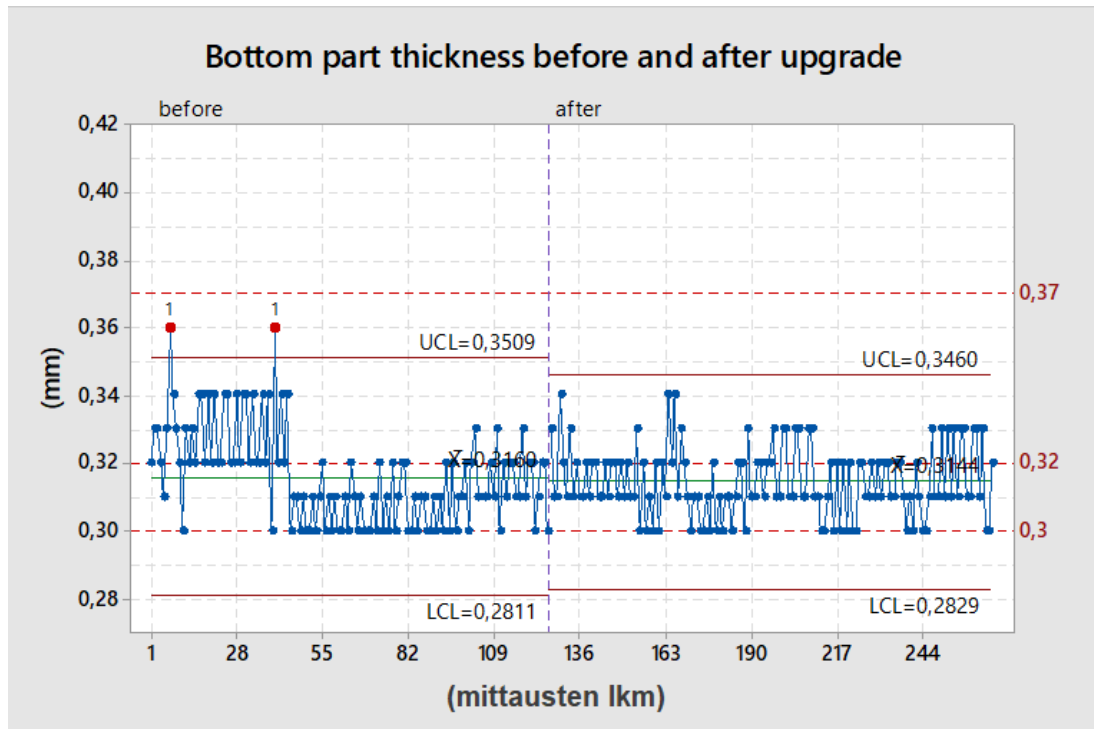
Kuva 18. Astian seinämän yläosan paksuudet tammi–maaliskuussa tehdyissä mittauksissa (before: ennen laitepäivitystä, after: laitepäivityksen jälkeen). Pystyakselilla on paksuudet millimetreinä ja vaaka-akselilla mittausten lukumäärä.

Astian seinämän keskiosasta tehdyt mittaukset näkyvät kuvassa 19. Keskiarvo oli ennen päivitystä 0,35 mm ja päivityksen jälkeen 0,34 mm. UCL-arvo laski päivityksen jälkeen sadasosan verran eli huomattavaa parannusta näissäkään tuloksissa ei ole. Näissäkään arvoissa ei ole raportoitu spesifikaatioiden ulkopuolelle meneviä tuloksia.



Kuva 19. Astian seinämän keskiosan paksuudet tammi–maaliskuussa tehdyissä mittauksissa (before: ennen laitepäivitystä, after: laitepäivityksen jälkeen).

Astian alaosaan mitatut paksuudet näkyvät kuvassa 20. Pohjan paksuudet olivat samaa luokkaa kuin yläosassa eli spesifikaation alarajoilla. Keskiarvot vastasivat myös yläosan tuloksia. Näissäkin mittauksissa on saatu tammikuussa paksumpia tuloksia, ja tämän jälkeen on tapahtunut notkahdus alaspäin. Alkuvuodesta tulleet kaksi UCL:n ylittävää poikkeamatulosta ovat luultavasti mittausvirheitä. Mittakuulan ja anturin välissä on voinut olla likaa, tai astiaa on pyöritetty mittaustelineessä liian nopeasti niin, että kuula on lähtenyt keskipakovoiman takia pois paikaltaan.

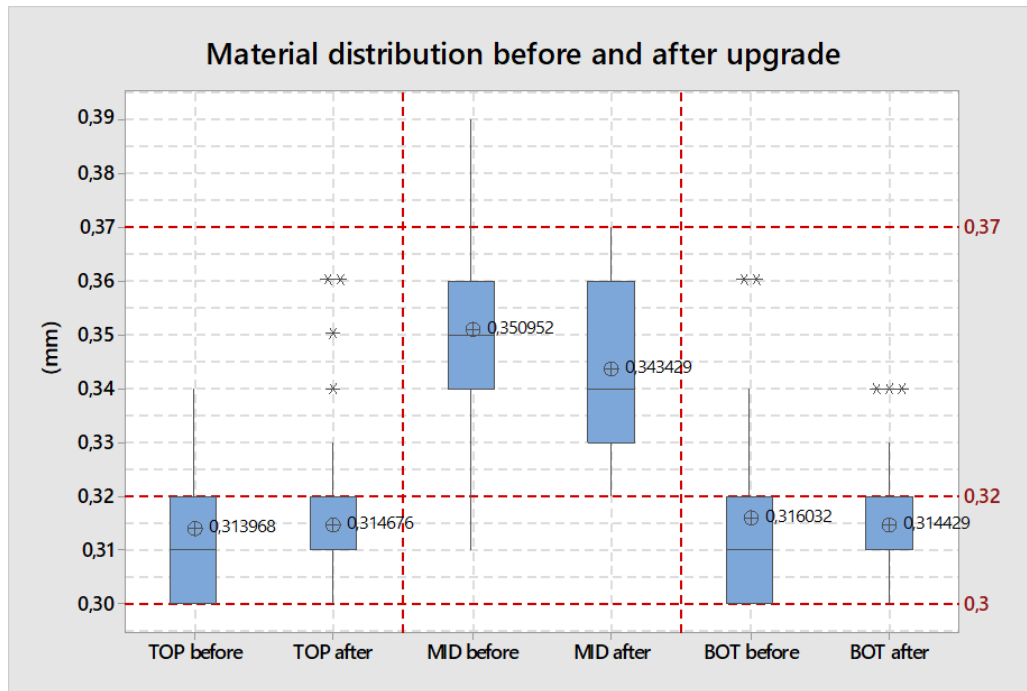


Kuva 20. Astian seinämän alaosan paksuudet tammi–maaliskuussa tehdyissä mittauksissa (before: ennen laitepäivitystä, after: laitepäivityksen jälkeen).

Kaikkia kolmea kuvaajaa tarkastellessa huomataan, että mittausten alussa tuloksissa oli enemmän hajontaa ja tulokset olivat keskimäärin paksumpia.

6.2 Seinämien materiaalijakauma

Suuri osa materiaalista on keskittynyt astian keskiosaan ja kaularenkaaseen. Puhalluskoneen päivityksen kautta tätä jakaumaa yritettiin tasata niin, että keskiosan materiaalia saataisiin levitettyä astian ylä- ja alaosaan. Kuvassa 21 on kuvattu astioiden seinämien paksuudet laatikko-jana-kuvaajan avulla, jolloin nähdään paremmin niiden materiaalijakauma. Ylä- ja alaosan materiaalijakaumat näyttävät parantuneen hieman, mikä näkyi myös aikaisemmissä kuvaajissa. Keskiosan materiaali oli ennen päivitystä jakautunut symmetrisemmin, koska päivityksen jälkeen tulosten mediaani (poikkiviiva) on lähempänä alarajaa kuin keskiarvoa. Keskiosan materiaalijakaumaa ja tulosten hajontaa tulisi saada pienennettyä ja tasattua, jotta prosessi paranisi.

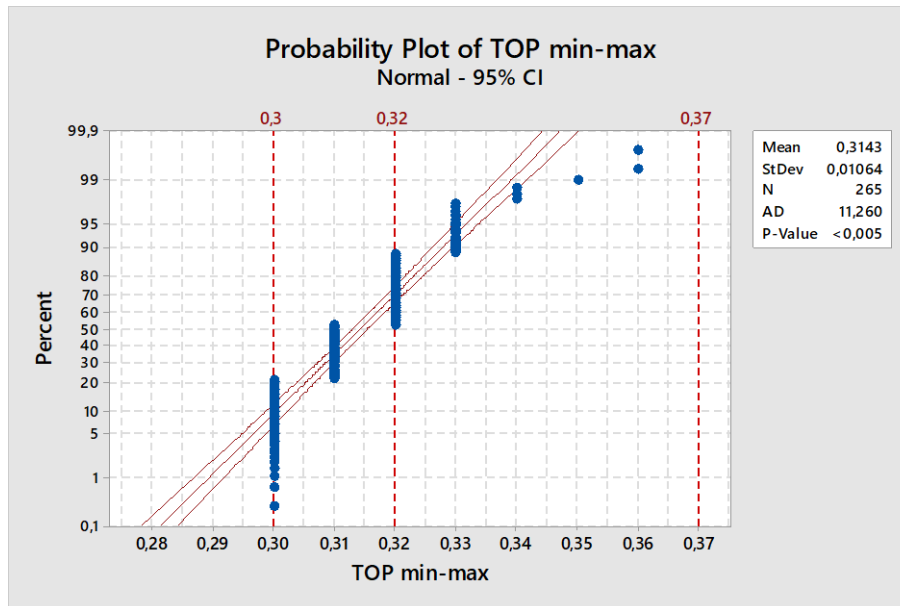


Kuva 21. Astian seinämän materiaali jakaumat ennen ja jälkeen päivityksen.

6.3 Seinämien paksuuksien todennäköisyysjakaumat

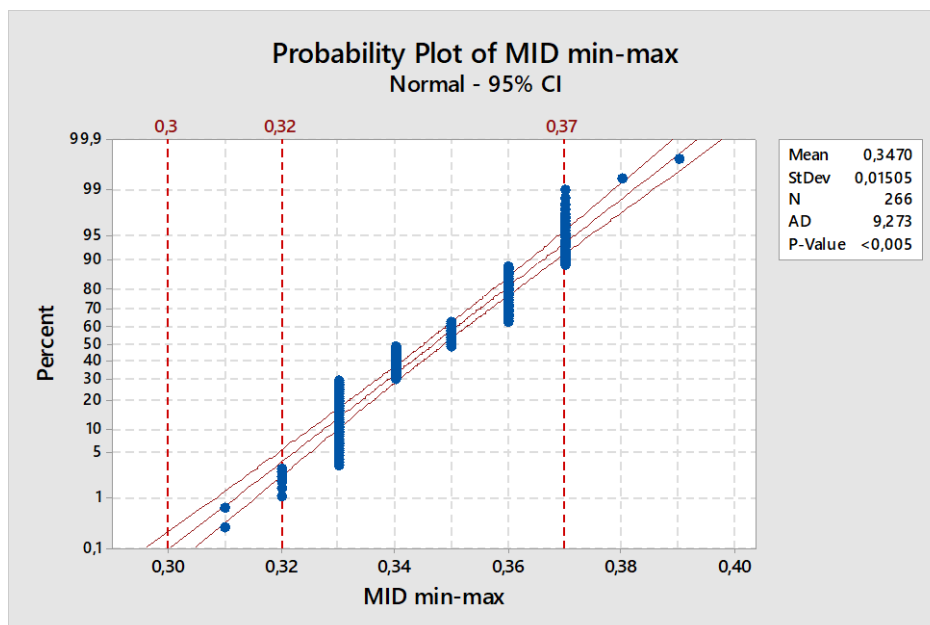
Kuvassa 22 on esitetty yläosan mittauksista tehty todennäköisyysjakauma luottamustasolla 95 %. Nollahypoteesina on, että arvot noudattavat normaalijakaumaa ja tämän vastahypoteesina, että ne eivät noudata normaalijakaumaa. Luottamusvälin ollessa 95 % merkitsevyystaso α on 0,05. P-arvo on <0,005 eli se on pienempi kuin merkitsevyystaso, jolloin tulokset ovat tilastollisesti merkitseviä. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että tulokset eivät noudata normaalijakaumaa ja nollahypoteesi hylätään.

Ideaalissa tilanteessa mittausdata olisi tasaisesti jakautunut suoralle, mutta kuvaajan perusteella tulokset ovat ryhmittyneet tiettyihin pisteisiin. Osittain ryhmittymät johtuvat siitä, että arvot pyöristyvät sadasosan tarkkuudelle. Kuitenkin yli 20 % mittaustuloksista on asettunut LSL-arvon kohdalle, eikä tätä arvoa alittavia tuloksia ole. Jos otettaisiin käyttöön uusi ja tavoiteltu spesifikaation alaraja (0,32), olisi todennäköisyyskuvaajan (kuva 21) mukaan lähes 90 % tuloksista tässä pisteessä tai sen alle ja loput 10 % vain vähän yli.



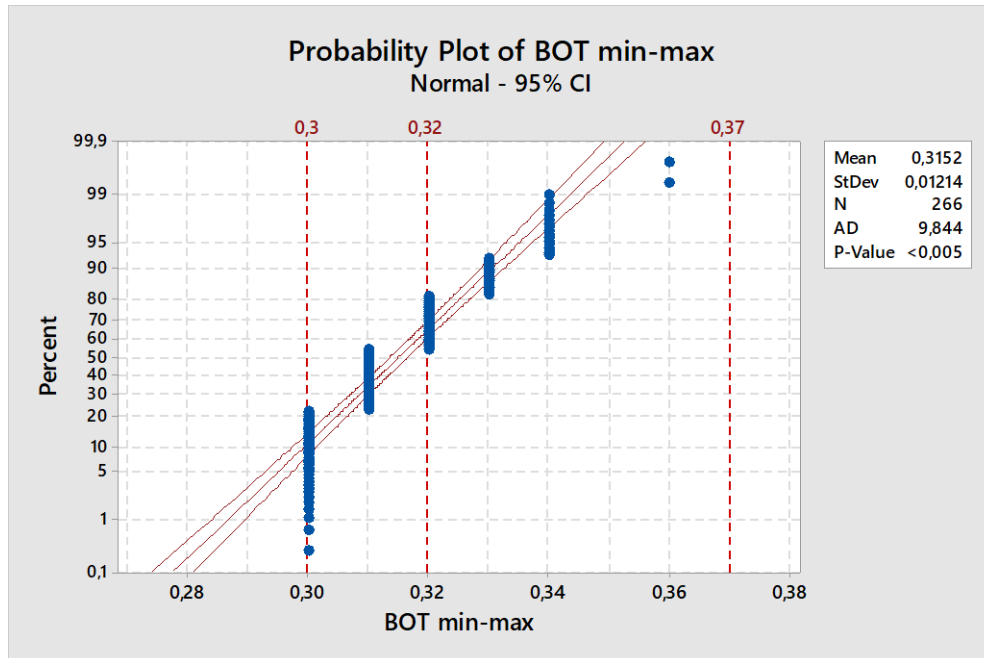
Kuva 22. Astian seinämän yläosan todennäköisyysjakauma. Pystyakselilla on tulosten prosenttimäärä ja vaaka-askelilla seinämän paksuus.

Astian keskiosasta (kuva 23) saatu p-arvo on sama kuin yläosassa, joten nämäkin tulokset ovat tilastollisesti merkitseviä. Keskiosassa on havaittavissa enemmän hajontaa, mutta silti suurin osa tuloksista kertyy muutamaan pisteeseen. Noin 10 % tuloksista on kertynyt USL:n eli spesifikaation ylärajan kohdalle.



Kuva 23. Astian seinämän keskiosan todennäköisyysjakauma.

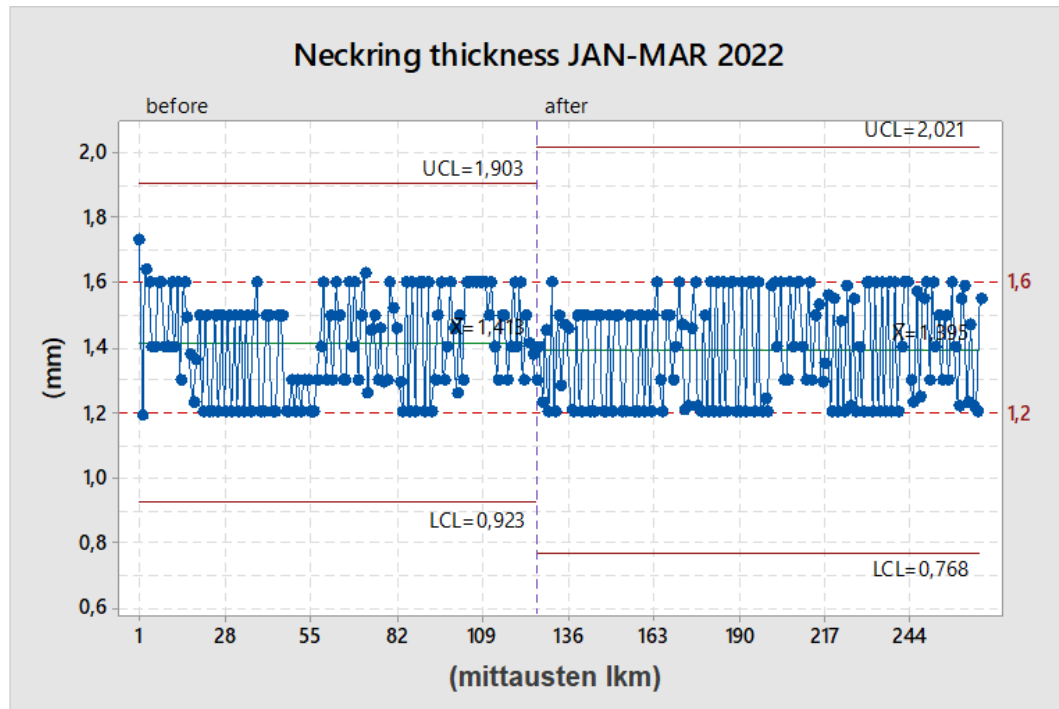
Kuvassa 24 näkyvät pohjan mittausten todennäköisyyskuvaaja, jonka tulokset ovat samat kuin kahdessa aikaisemmassa kuvaajassa. Yli 20 % tuloksista on kertynyt spesifikaation alarajalle eikä poikkeamia ole.



Kuva 24. Astian seinämän alaosan todennäköisyysjakauma.

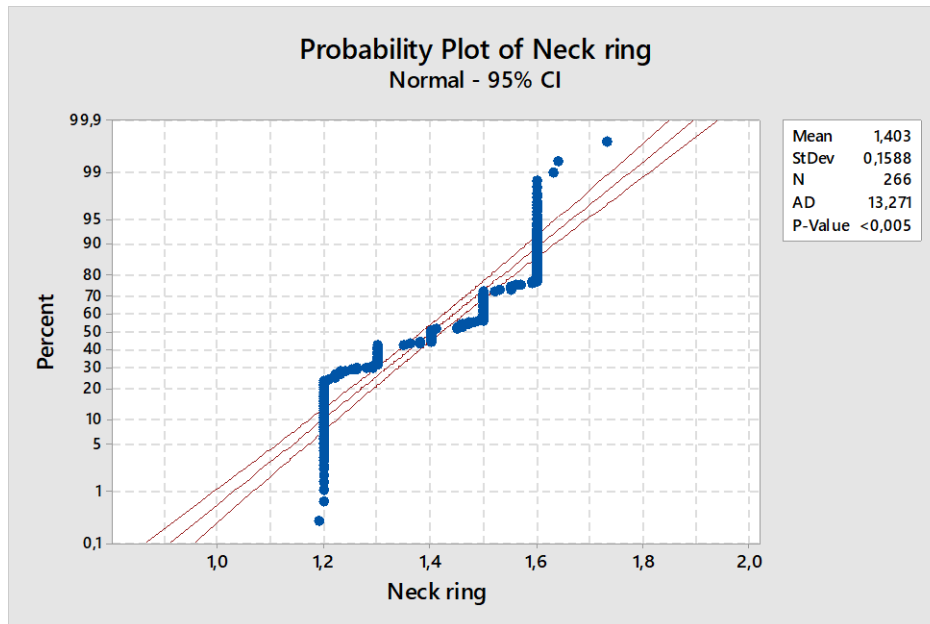
6.4 Kaularenkaan paksuusmittaukset ja todennäköisyysjakauma

Kaularenkaalla ei ole varsinaisesti spesifikaatiovaatimuksia, vaikka sille on rajoiksi määritetty 1,20–1,60 mm. Kaulan paksuus antaa suuntaa ja indikaatiota sille, kuinka paljon ylimääräistä materiaalia kaulaan jää. Kuvassa 25 näkyvät kaularenkaan mittaukset päivitystä ennen ja sen jälkeen. Tulokset pysyvät spesifikaatorajojen sisällä.



Kuva 25. Kaularenkaasta mitatut paksuudet tammi–maaliskuussa (before: ennen laitepäivitystä, after: laitepäivityksen jälkeen).

Kuvassa 26 on kaularenkaan mittauksista tehty todennäköisyysjakauma, jossa tuloksien virheellinen raportointi näkyy. Tulokset ryhmittyvät spesifikaatorajoihin lähes poikkeuksetta ja p-arvo on pienempi kuin merkitsevyystaso, joten tulokset ovat tilastollisesti merkitseviä. Kaularenkaan mittaus on epätarkkaa, sillä se tehdään pitämällä pulloa käsin pystyssä, jolloin pienikin liike muuttaa tulosta. Tuloksissa on siis suuri mittausepävarmuus, jonka takia kaularenkaan tuloksia käytetäänkin vain materiaaliylijakauman indikaattorina.



Kuva 26. Kaularenkaan paksuuden todennäköisyysjakauma.

Kuvaajien tarkastelu herättää kysymyksiä siitä, miksi poikkeamia ei tule lähes ollenkaan. Puhalluskoneen päivitykselläkään tuloksia ei saatu parannettua riittävästi, joten tätä ongelmaa täytyy yrittää korjata uusien mittaus- ja kirjausohjeiden avulla ja opastamalla oikeanlaiseen raportointiin. Oikeat mittaustavat on tärkeä osata, sillä kyseessä on tuotteen elintarviketurvallisuus. Jos materiaali on liian ohut astian seinämässä, vaikka se on järjestelmään kirjattu hyvänä, on vaara, että astia räjähtää käytön aikana. Tämä on myös työturvallisuusriski kaikille astioiden kanssa työskenteleville.

6.5 Koulutus ja ohjeistus

Nykyisissä mittaus- ja raportointitavoissa oli parannettavaa erityisesti tarkkuudessa, joten ohjeet täytyi päivittää. Aikaisemmassa työohjeessa kalibroinnin hyviä tuloksia ei ollut määritetty, eikä ohjeessa ollut kerrottu miten astiaa tuli mitataustelineessä pyörittää seinämän tai kaularenkaan mittauksen aikana. Tämä saattoi vaikuttaa mitaustuloksiin, joten mitaamisen tueksi kirjoitettiin päivitetty versio nykyisistä mittausohjeista niin, että ohjeita noudattamalla jokainen linjalla

työskentelevä operaattori pystyy mittaamaan astian oikealla tavalla ja raportoimaan tulokset järjestelmään. Mittausohjeet löytyvät työstä liitteestä 1.

Operaattoreita ei tämän työn aikana erikseen koulutettu mittaamaan astioita uusien ohjeiden avulla. Jos mittaustulokset eivät parane uusien ohjeiden jälkeen, voidaan tulevaisuudessa mahdollisesti järjestää koulutuksia.

7 Johtopäätökset

Työssä tutkittiin linjalla tehtyjä astian paksuusmittauksia vuoden 2022 tammi–maaliskuun ajalta ja näistä havaittiin, että mittauksissa tapahtuu mahdollisia raportointi- ja tarkkuusvirheitä. Oikeanlaisia mittauksia varten kirjoitettiin työohje, joka on operaattoreiden saatavilla sekä paperisena että sähköisenä versiona, ja sitä voidaan tulevaisuudessa käyttää myös opastettaessa uusia operaattoreita linjalle.

Puhalluskoneen päivityksen jälkeen saatiin selville, että tämänhetkisellä koneella ei saada muokattua puhallusreseptiä sellaiseksi, että materiaali jakautuisi paremmin astiassa. Mikäli kaularenkaan materiaalia haluttaisiin levittää, preformin lämmitystä täytyisi muokata niin, että esimerkiksi kaulaan kohdistettaisiin erilliset lämpölamput. Tulevaisuudessa preformin muokkaamisella (valmistajan ja/tai materiaalin vaihdolla) voitaisiin myös yrittää materiaalijakauman parantamista.

Tulevaisuudessa voitaisiin myös miettiä spesifikaatorajoja uudelleen. Ne pitäisi muuttaa sellaisiksi, että jokaisessa seinämän kolmessa mittauspisteessä olisi omat ala- ja ylärajat, toisin kuin tällä hetkellä olevat yhteiset rajat. Astian ala- ja yläosassa seinämät ovat aina huomattavasti ohuempia kuin keskiosassa. Suuri osa materiaalista on jakautunut keskiosan lisäksi kaulaan. Näiden huomioiden ja tulosten tarkastelun perusteella uudet spesifikaatorajat voisivat olla ala- ja yläosalle esimerkiksi 0,32–0,34 ja keskiosalle 0,34–0,37. Tämä tarkoittaa materiaalijakaumakuvaajan perusteella sitä, että tällä hetkellä tuotettavien astioiden seinämät ovat sekä astian ylä- että alaosassa liian ohuita.

Tutkimusta jatketaan työn jälkeen niin, että jokaisen linjalla työskentelevän tulee lukea päivitetyt ohjeet ja kuitata kun ne on luettu. Mittausten seuraamista jatketaan ohjeiden päivityksen jälkeen, jolloin nähdään, oliko niistä konkreettista apua vai olisiko mahdolliselle koulutukselle tarvetta.

Lähteet

- 1 Miksi DraughtMaster. Verkkoaineisto. DraughtMaster. <<https://www.DraughtMaster.com/fi-fi/miksi-DraughtMaster/>>. Luettu 3.12.2021.
- 2 Sinebrychoff lyhyesti. Verkkoaineisto. Sinebrychoff. <<https://www.sinebrychoff.fi/yhtio/lyhyesti/>>. Luettu 12.1.2022.
- 3 100 % uusiutuvalla energialla. Verkkoaineisto. Sinebrychoff. <<https://www.sinebrychoff.fi/vastuu/tekojamme/100-uusiutuvalla-energi-alla/>>. Luettu 12.1.2022.
- 4 Chanda, Manas & Roy, Salil K. 2009. Plastics Fabrication and Recycling. Boca Raton: CRC Press.
- 5 Seppälä, Jukka. 2008. Polymeeriteknologian perusteet. Helsinki: Haka-paino Oy.
- 6 Järvinen, Pasi. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy.
- 7 Extrusion blow molding. Verkkoaineisto. Merck Group. <<https://www.merckgroup.com/en/expertise/effect-pigments/solutions/plastics/extrusion-blow-molding.html>>. Luettu 30.10.2021.
- 8 Järvi-Kääriäinen, Terhen & Ollila, Margareetta (toim.). 2007. Toimiva pak-kaus. Helsinki: Hakapaino Oy.
- 9 Extrusion. Verkkoaineisto. Silgan Plastics. <<https://www.silganplas-tics.com/capabilities-technologies/extrusion>>. Luettu 17.10.2021.
- 10 What is extrusion blow molding? 2015. Verkkoaineisto. Oberk. <<https://www.oberk.com/packaging-crash-course/what-is-extrusion-blow-molding>>. 19.10.2015. Luettu 1.11.2021.
- 11 Surface treatment processes: Flame treatment. 2017. Verkkoaineisto. BTG Labs. <<https://www.btglabs.com/blog/materials-science/surface-treat-ment-processes-flame-treatment>>. Luettu 1.11.2021.
- 12 Plastic co-extrusion. Verkkoaineisto. ThomasNet. <<https://www.thomas-net.com/articles/plastics-rubber/plastic-coextrusion/>>. Luettu 1.11.2021.
- 13 Injection Blow Molding. O. Berk. Verkkoaineisto. <<https://www.oberk.com/packaging-crash-course/IBM>>. Luettu 1.11.2021.

- 14 Belcher, Samuel L. 2007. Practical guide to Injection Blow Molding. E-kirja. CRC Press.
- 15 Injection stretch blow molding. O. Berk. Verkkoaineisto. <<https://www.oberk.com/packaging-crash-course/ISBM>>. Luettu 30.10.2021.
- 16 Injection stretch blow molding. Verkkoaineisto. Merck Group. <<https://www.merckgroup.com/en/expertise/effect-pigments/solutions/plastics/injection-stretch-blow-molding.html>>. Luettu 30.10.2021.
- 17 Quick Question Monday: What is Stretch Blow Molding. O. Berk. Verkkoaineisto <<https://www.oberk.com/packaging-crash-course/stretch-blow-molding-101>>. Luettu 8.2.2022.
- 18 Muovien jaottelusta. Verkkoaineisto. Plasthouse. <<https://plasthouse.fi/muovit/mita-muovit-on/>>. Luettu 29.11.2021.
- 19 Auerbach, Alejandro. 2021. Thermoplastics for AM: Semi-Crystalline vs Amorphous. Verkkoaineisto. Aniwaa. <<https://www.aniwaa.com/in-sight/am-materials/am-thermoplastics-semi-crystalline-vs-amorphous/>>. 10.12.2021. Luettu 16.2.2022.
- 20 Callister, William D. & Rethwisch, David G. 2011. Materials Science and Engineering. 8th ed. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- 21 Muottivalmistus. Verkkoaineisto. MK Trade. <<https://mktrade.fi/muottivalmistus/>>. Luettu 16.2.2022.
- 22 Grommes, D; Bruch, O; Geilen, J. 2016. Investigation of the influencing factors on the process-dependent elasticity modulus in extrusion blow molded plastic containers for material modelling in the finite element simulation. AIP Conference Proceedings. Vol. 1779.
- 23 Crystallinity/Degree of Crystallinity. Verkkoaineisto. Netzsch. <<https://www.netzsch-thermal-analysis.com/en/contract-testing/glossary/crystallinity-degree-of-crystallinity/>>. Luettu 29.11.2021.
- 24 The Main Influencing Factors and Control Methods in the Blow Molding Process. 2020. Verkkoaineisto. Yankang. <<https://www.yankang-machine.com/blow-molding-process/>>. 8.9.2020. Luettu 29.11.2021.
- 25 5 factors affecting the quality of the extrusion blow molding parison. 2020. Verkkoaineisto. Yankang. <<https://www.yankangmachine.com/quality-of-the-extrusion-blow-molding-parison/>>. 4.9.2020. Luettu 29.11.2021.

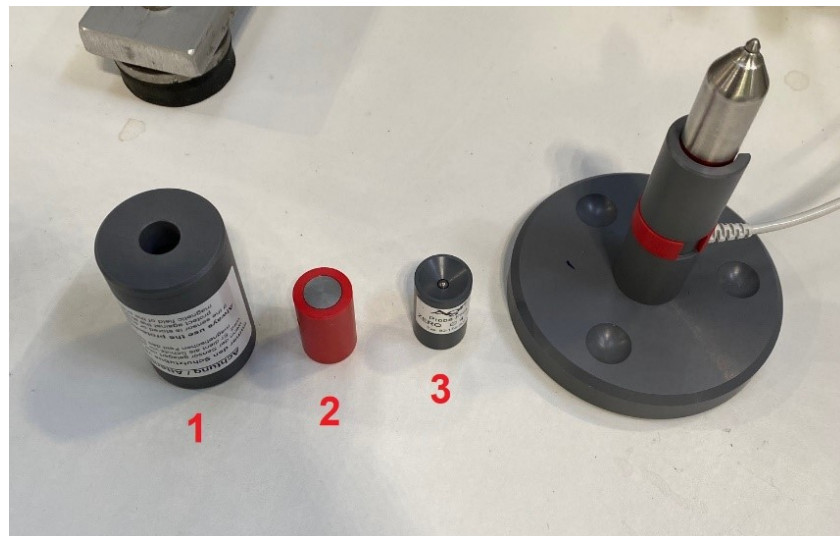
- 26 Blefa – Stainless steel keg manufacturer with a 120-year history. Verkkoaineisto. Blefakegs. <<https://www.blefakegs.com/about-blefa/news-press-releases/article/june-2016-blefa-stainless-steel-keg-manufacturer-with-a-120-year-history/>>. Luettu 10.3.2022.
- 27 The Euro Keg: Worthy of your beverage. Verkkoaineisto. Thielmann. <https://www.thielmann.com/en/products/kegs/euro-keg?gclid=EAlaIQobChMI-9DPuqCq9gIVDdd3Ch3rXAGSEAAAYASAAEglwA_D_BwE>. Luettu 3.3.2022.
- 28 DraughtMaster – hanaoluen vallankumous. Verkkoaineisto. Sinebrychoff. <<https://www.sinebrychoff.fi/asiakkaamme/DraughtMaster/>>. Luettu 3.3.2022.
- 29 KEG: Beer barrels. Verkkoaineisto. Czech Brewery System. <<https://eshop.czechminibreweries.com/product-category/fbk/keg/>>. Luettu 2.3.2022.
- 30 Karhu III tynnyri. Verkkoaineisto. Viinikartta. <<https://www.viinikartta.fi/olut/Karhu%20III%20tynnyri/959618>>. Luettu 2.3.2022.
- 31 Budweiser Czech Premium Lager Beer. Verkkoaineisto. Spiritbox. <<https://spritbox.com/suomi/oluet/5-litraa-olutta-tynnyri/budweiser-czech-premium-lager-beer-partyfass-5-vol-500cl.html>>. Luettu 10.3.2022.
- 32 Kuinka se toimii. Verkkoaineisto. DraughtMaster. <<https://www.DraughtMaster.com/fi-fi/kuinka-se-toimii/>>. Luettu 3.12.2021.
- 33 Mikkola, Timo. 2018. DraughtMaster – hanaoluen uusi sukupolvi. Verkkoaineisto. Sinebrychoff. <<https://sinebrychoff-asiakas.fi/DraughtMaster-hanaoluen-uusi-sukupolvi/>>. 23.04.2018. Luettu 2.3.2022.
- 34 DraughtMaster-astioiden pantillinen kierrätys alkaa - astia muuttuu kirkkaaksi. Verkkoaineisto. Sinebrychoff. <<https://www.sinebrychoff.fi/asiakkaamme/DraughtMaster/DraughtMaster-astioiden-pantillinen-kierratys-alkaa-astia-muuttuu-kirkkaaksi/>>. Luettu 2.3.2022.
- 35 The complete guide to understanding control charts. Verkkoaineisto. ISixSigma. <<https://www.isixsigma.com/tools-templates/control-charts/a-guide-to-control-charts/>>. Luettu 3.2.2022.
- 36 Control Chart versus Run Chart. Verkkoaineisto. PM Study Circle. <<https://pmstudycircle.com/control-chart-versus-run-chart/>>. Luettu 21.4.2022.

- 37 Laatikko-janakuvio. Verkkoaineisto. Tilastokoulu. <https://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?page_type=sisalto&course_id=tkoulu_tilaj&lesson_id=2&subject_id=21>. Luettu 24.3.2022
- 38 Box and whiskers plot. Verkkoaineisto. AI Aspirant <<https://aiaspirant.com/box-plot/>>. Luettu 24.3.2022.
- 39 Mellin, Ilkka. 2005. Johdatus tilastotieteeseen. Verkkoaineisto. TKK. <<http://math.tkk.fi/opetus/sovtoda/luennot/vanhat/TILTE100.pdf>>. Luettu 24.3.2022.
- 40 Holopainen, Martti; Pulkkinen, Pekka. 2013. Tilastolliset menetelmät. 5.–8. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- 41 Tilastollinen merkitsevyys. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/meta/kas/til_merkitsevy.html>. Luettu 24.3.2022.
- 42 Interpret all statistics for a probability plot with normal fit. Verkkoaineisto. Minitab. <<https://support.minitab.com/en-us/minitab-express/1/help-and-how-to/graphs/probability-plot/interpret-the-results/all-statistics/probability-plot-with-normal-fit/>>. Luettu 24.3.2022.
- 43 Normal Probability Plot. Verkkoaineisto. Engineering Statistics Handbook. <<https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/normprpl.htm>>. Luettu 24.3.2022.
- 44 Hietikko, Esa. 2021. Tuotekehitystoiminta. 4. neljäs painos. Helsinki: Books on Demand.
- 45 MBT 7200xt/7400xt. Verkkoaineisto. Agr International. <<https://www.agrintl.com/product/mbt-7200xt-7400xt-copy/>>. Luettu 20.1.2022.
- 46 Vähämartti, Pasi. 2005. Hallin ilmiö. Verkkoaineisto. Vähämartti. <<http://www.vahamartti.fi/filut/koulu/fysiikka/FL1E2A1.pdf>>. 14.9.2005. Luettu 26.1.2022.

Astian seinämän ja kaulan paksuuden mittausohje

Kalibrointi

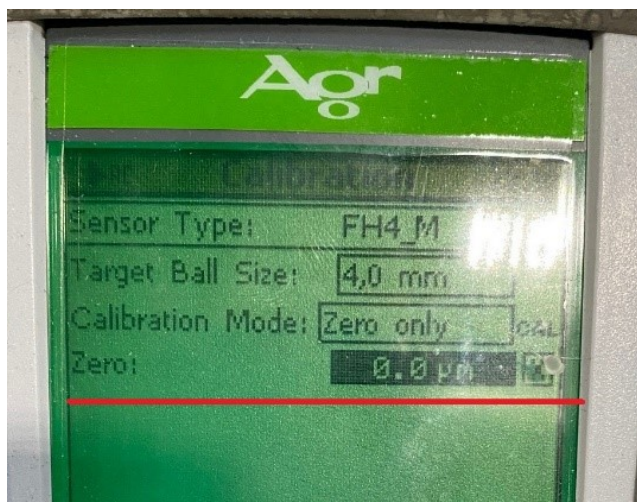
1. Kalibroi mittauslaite joka kerta kun käynnistät sen. Ota mittausanturin päältä pois magneettisuoja (1) ja punainen suoja (2). Käytä laitteen kalibrointiin kalibrointipäätä ja 4 mm:n kuulaa (3).



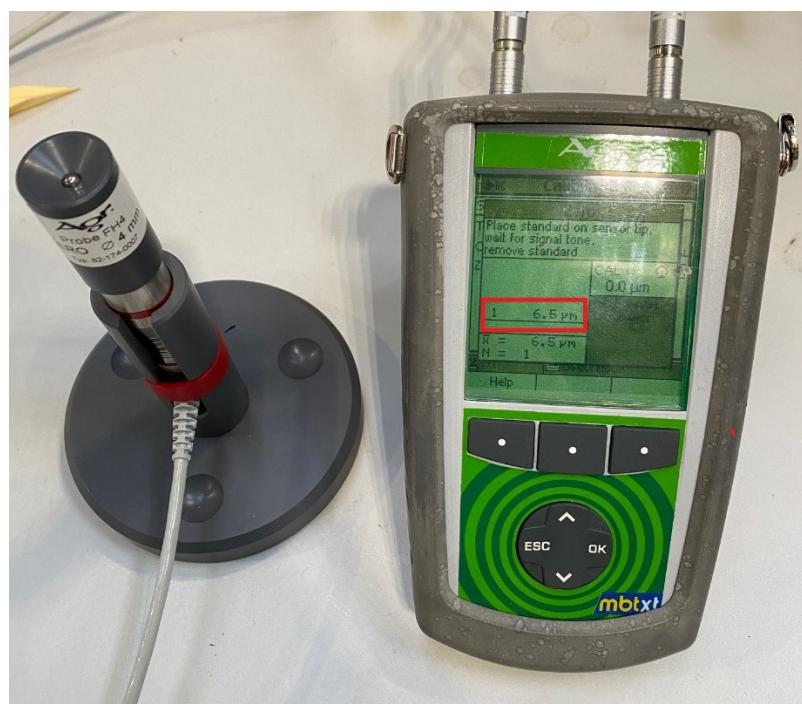
2. Käynnistä laite vasemmalla sivulla olevasta virtanäppäimestä.
3. Valitse näytöltä Calibration ja paina OK.



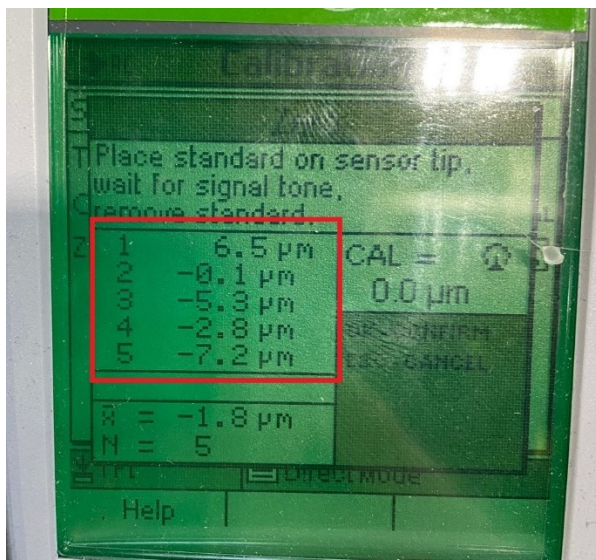
- Mene nuolinäppäinten avulla alimmalle riville (Zero) ja paina OK.



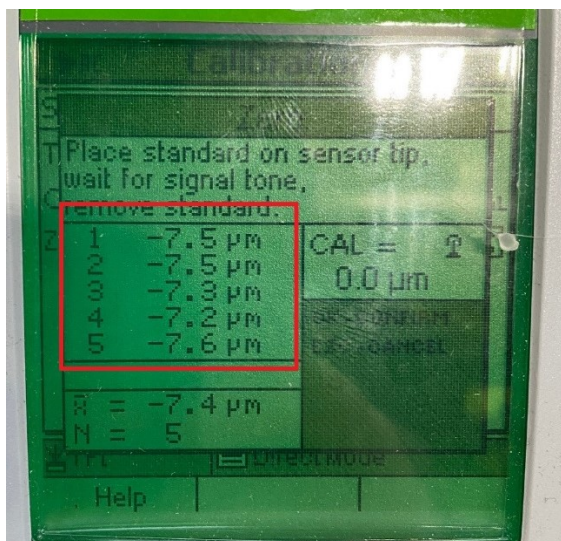
- Kalibroi laite asettamalla kalibrointipää magneettianturin päälle ja odota, kunnes näytöllä näkyy tulos. Toista 5 kertaa.



6. Jos tulokset heittelevät useita mikrometrejä (esimerkki kuvassa), varmista ettei kalibroitipäässä ole likaa ja suorita kalibrointi uudestaan.



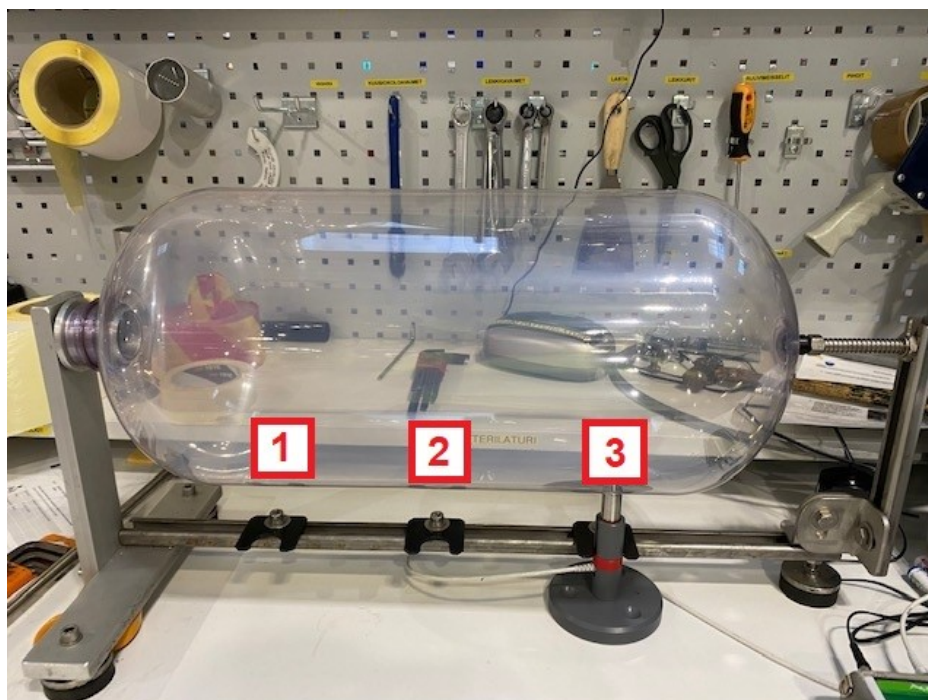
Hyvät tulokset (lukemat yhden mikrometrin sisällä toisistaan):



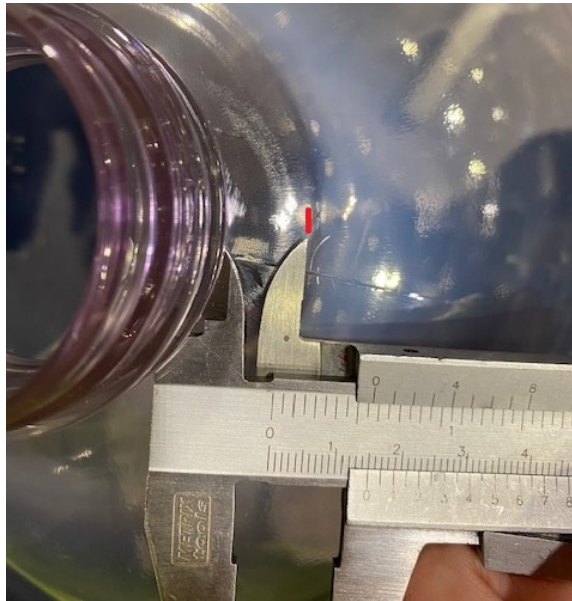
7. Kun saat hyvät tulokset, paina ensin OK ja sitten ESC. Laite on valmis mittaukseen.

Mittauksen suorittaminen

1. Poista kalibrointipää anturin päältä, laita 4 mm:n kuula pullon sisään ja aseta pullo mittaustelineeseen kuvan osoittamalla tavalla. Varmista, että pullo menee kunnolla telineeseen kiinni. Etsi magneettianturin avulla kuula ja siirrä anturi haluttuun mittauspisteeseen (1, 2, 3).



2. Ennen mittauksen suorittamista paina laitteen ESC-näppäintä.
3. Pyöritä pulloa **hitaasti** yksi kierros ympäri ja ota laitteesta min- ja max-arvot ylös. Mittaa tulos jokaisesta kohdasta 1–3 ja paina joka kerta ennen pullon pyörittämistä ESC-näppäintä. Mikäli pulloa pyörittää liian nopeasti, voi kuula karata ja tulos vääristyä.
4. Mittaa seuraavaksi kaularenkaan paksuus. Ota pullo pois mittatelineestä, mittaa n. 1,5 cm:n etäisyys pullon kaulasta ja merkitse kohta tussilla. Mittaus suoritetaan kahdesta kohdasta.



5. Vie kuula magneettipäällä merkattuun kohtaan niin, että pullo on pystysuorassa suu aukko alaspäin. Varmista, että anturi ja kuula ovat kohtisuorassa, jotta saadaan mahdollisimman tarkka mittaustulos. Paina ensin ESC ja lue sitten tulos näytöltä.
6. Kirjaa kaikki tulokset MES:iin.
7. Lopuksi sammuta laite painamalla virtanäppäimestä ja laita anturin suojukset paikalleen ja kuula takaisin kalibroitipäähän.