



Aki Marttila

PUHELIMEN 3D-LASINÄYTÖN VALMISTUSMENETELMIEN KARTOITUS

PUHELIMEN 3D-LASINÄYTÖN VALMISTUSMENETELMIEN KARTOITUS

Aki Marttila
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, tuotantotalous

Tekijä: Aki Marttila

Opinnäytetyön nimi: Puhelimen 3D-lasinäytön valmistusmenetelmien kartoitus

Työn ohjaaja: Helena Tolonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012

40 sivua + 1 liite

Työssä tutustuttiin Xing Xing Firstar Panel Co.:n tapaan valmistaa 3D-muotoon kosketusnäytön lasi-ikkunoita elektroniikkateollisuuden tarpeisiin. Lisäksi selvitettiin, kuinka nykyistä tuotantoa tulisi kehittää, jotta yritys pystyisi vastaamaan markkinoiden asettamiin haasteisiin. Tavoitteena oli saada kerättyä mahdollisimman kattavasti tietoa lasista materiaalina, valmistuksen vaiheista ja lasi-ikkunoiden valmistusprosessista kokonaisuutena. Tavoitteisiin kuului myös valmiin materiaalin hyödyntäminen opetus- ja perehdytystarkoitukseen.

Lasin perusraaka-aineena toimii piioksidi. Sulatetusta piioksidista valmistetaan eri lisäaineilla yleisimmin käytettyjä lasilaatuja: soodalasi, lyijylasi, borosilikaattilasi ja kvartsilasi. Tavallisimpia lasin kuumamuokkausmenetelmiä ovat puhallus, puristaminen ja float-menetelmät. Käytetyimmät lasin kylmätyöstömenetelmät ovat katkaisu, hionta ja koneistus. Kosketusnäytön lasi-ikkunoiden valmistusprosessi koostuu useista vaiheista, joista keskeisimmät vaiheet ovat koneistus, hionta, kemiallinen karkaisu ja erilaiset pinnoitukset. Prosessilla valmistetaan jopa alle yhden millimetrin paksuisia lasi-ikkunoita. Lopputuotteet päätyvät matkapuhelimiin ja muihin kannettaviin elektroniikkatuotteisiin.

Lopputuloksena valittiin kolme potentiaalisinta teknologiaa lähempään tarkasteluun. Teknologioiden tarjoamia mahdollisuuksia ja soveltuvuutta Xing Xing Firstar Panel -yhtiön tarpeeseen valmistaa 3D-lasia selvitettiin ja analysoitiin mahdollisimman laajasti. Kuumataivutustekniikka tarjoaa mahdollisuuden valmistaa lasia 3D-muodossa kohtuullisen tehokkaasti, mutta teknologian ongelmakohtina ovat valmistettavan muodon rajoittuneisuus ja jälkityöstön tarve. Kuumapuristusmenetelmällä voidaan valmistaa tehokkaasti ja tarkasti 3D-muotoista lasia varsin vapaalla muodolla. Kuumapuristusprosessilaitteet ovat kohtuullisen kalliita, minkä lisäksi tulevat myös muottikustannukset. Suulakepuristus on erittäin potentiaalinen teknologiasuunta 3D-lasin valmistuksessa. Suulakepuristusprosessin hoitaa käytännössä materiaalin toimittaja, jolloin omia laiteinvestointeja ei tarvita. Menetelmä on erittäin kustannustehokas. Materiaalitoimittajilla ei ole valikoimissaan tällä hetkellä tuotetta, joka sopisi yrityksen tuotteille sekä valmistettavaksi suulakepuristusteknologialla.

Asiasanat:

lasituotteet, teknologiateollisuus, matkapuhelimet

ALKULAUSE

Haluan kiittää XingXing Firstar Panel co. Ltd. ja erityisesti markkinointipäällikkö Johnny Pehkosta mahdollisuudesta toteuttaa opinnäytetyö yhteistyössä yrityksen kanssa. Työ antoi erinomaisen tilaisuuden tutustua lasin erilaisiin ominaisuuksiin, rakenteeseen, valmistus- ja muokausmenetelmiin sekä sovelluksiin, joissa lasia käytetään. Työn edetessä kertyi myös paljon tietoa tämän hetken teknologiateollisuudesta ja sen toiminnasta.

7.5.2012

Aki Marttila

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	8
2 OPINNÄYTETYÖN TAUSTA	9
2.1 Xing Xing Firstar Panel -yhtiön nykytila	9
2.2 Kosketusnäytön lasi-ikkunan valmistusprosessi	10
3 LASI MATERIAALINA JA SEN MUOKATTAVUUS	16
3.1 Lasi materiaalina	16
3.1.1 Soodalasi	17
3.1.2 Lyijylasi	18
3.1.3 Borosilikaattilasi	18
3.1.4 Kvartsilasi	18
3.1.5 Erikoislasiseokset	19
3.1.6 Karkaistu lasi	19
3.1.7 Lasin jännitykset	20
3.2 Valmistus- ja muokkausmenetelmät	21
3.2.1 Valmistus	21
3.2.2 Kuuman lasin muokkaus	22
3.2.3 Kylmän lasin muokkaus	25
3.3 Lasin käyttökohteet	27
4 VALMISTUSMENETELMIEN KARTOITUS	28
4.1 Potentiaaliset valmistusmenetelmät	28
4.1.1 Kuumataivutus (Hot bending)	29
4.1.2 Kuumapuristus (Hot pressing)	31
4.1.3 Suulakepuristus (Extrusio)	32
4.2 Tuotekonsepteja	32
5 POHDINTA	35
6 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	39
LIITTEET	

Liite 1 Lähtötietomuistio

SANASTO

AR -pinnoitus	Valoa läpäisevän materiaalin pintaan tehtävä kalvo. Valon aallonpituuden suodatukseen, estää heijastuksia ja parantaa läpinäkyvyyttä.
CNC	Computer Numerical Control. Tietokoneohjattu työstö, käyttäjä luo tietokoneella ohjelman, jonka mukaan työstökone suorittaa työstöliikkeet.
ASF	Anti-splinter film. Lasin rikkoutuessa lasista ei irtoa yksittäisiä paloja, vaan kalvo pitää sen yhtenäisenä. Turvallisuustekijä.
Easy-to-clean	Pinnoitusmenetelmä, joka estää likaa, kuten rasvaa, tarttumasta lasin pintaan ja pitää sen helposti puhdistettavana.
Polarisaattori	Optinen suodatin, jolla voidaan leikata tiettyjä valon aallonpituuksia ja vähentää heijastuksia tai halutesaan luoda niitä.
PVD	Physical Vapor Deposition. Pinnoitustekniikka, jossa pinnoitusaine höyrystetään alipaineessa ja saadaan se kondensoitumaan pinnoitettavan materiaalin pintaan ohueksi kalvoksi, joka kovettuu materiaalin pintaan kuumennettaessa tai plasman vaikutuksesta.

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on löytää kyvykäs ja kustannustehokas tapa tuottaa 3D-lasi-ikkunoita teknologiateollisuuden eri sovelluksiin kulloiseenkin tarpeeseen. Työn aloitushetkellä pääsääntöisesti kaikki käytettävät lasi-ikkunat kosketusnäyttösovelluksissa ovat profiililtaan 2D-laseja. Opinnäytetyön kirjoitusvaiheessa markkinoilla on esitelty vain muutamia 3D-lasien prototyyppisiä. Markkinoilla on selvä kysyntä 3D-laseille, mutta kukaan suurista valmistajista ei niitä pysty vielä massatuotannossa kustannustehokkaasti valmistamaan. (Liite 1.)

Työssä vertaillaan mahdollisimman monta soveltuvaa valmistus- ja muokkausmenetelmää ja valitaan näistä menetelmistä parhaat sovellukset massatuotannon tarpeisiin kustannukset huomioiden. Valittuja teknologioita tarkastellaan lähemmin ja niiden soveltuvuudesta tehdään yhteenveto. Työn tarkoituksena ei ole vertailla laitteistoja eikä tehdä hankintaesityksiä yritykselle.

Yhteenvedossa vertaillaan potentiaalisimpia teknologioita ja pohditaan niiden soveltuvuutta Xing Xing Firststar panel -yhtiön käyttöön. Lisäksi käydään läpi muutamia yrityksen asiakkailta tulleita tuotekonsepteja ja pohditaan niihin sopivia valmistusmenetelmiä. Työssä myös annetaan ehdotuksia mahdollisista teknologiakehityssuunnista ja otetaan kantaa nykyisen toiminnan kehittämiseen 3D-muodon valmistuksen näkökulmasta.

2 OPINNÄYTETYÖN TAUSTA

2.1 Xing Xing Firstar Panel -yhtiön nykytila

XingXing Firstar Panel Co. Ltd. on perustettu vuonna 2003. Varsinaisen liiketoiminnan yritys aloitti vuonna 2005. Ensimmäiset vuodet yritys keskittyi kehittämään ja tutkimaan, kuinka kapasitiivisia kosketusnäytön lasi-ikkunoita voidaan tuottaa tehokkaasti, tarkasti ja vähäisillä tuotantotappioilla. Tuolloin alalla ei ollut tuotantomuotoista valmistusta, joten koko prosessi jouduttiin kehittämään alusta alkaen. Pitkällisen kehitystyön tuloksena syntyi prosessi, joka täyttää tiukat teknologiateollisuuden asettamat normit ja on tehokkuudeltaan erinomainen. Päätuotteita ovat kuvan 1 mukaiset kapasitiivisten kosketusnäyttöjen lasi-ikkunat. (1.)



KUVA 1. Lumia 800 -tuote, jossa on kaareva 2.5D kosketusnäytön lasiosa (1)

Yrityksen erikoisosaaminen on keskittynyt lasin koneistukseen ja kylmämuovaukseen. Lasin pinnoituksessa on myös tehty paljon kehitystyötä ja tutkimusta. Kosketusnäyttölasiin valmistuksen voisi kuvitella olevan yksinkertaista, mutta prosessi sisältää useita vaiheita, jotka kaikki ovat välttämättömiä laadukkaan lopputuotteen kannalta. (1.)

2.2 Kosketusnäytön lasi-ikkunan valmistusprosessi

Kosketusnäytön lasiosan valmistusprosessi etenee seuraavassa järjestyksessä:

1. Raakalasi tulee ulkopuolisilta toimittajilta noin 1 000 mm x 1 200 mm arkeisissa. Automatisoidulla leikkausyksiköllä (kuva 2) leikataan kulloinkin tarvittavan kokoisia aihioita. Lasin paksuus vaihtelee 0,5 mm ja 2,0 mm välillä riippuen lasin muodosta ja asiakkaan vaatimuksista. (1.)



KUVA 2. Lasin leikkaukseen käytetty automaattinen leikkauskone (1)

2. Leikatut aihiot siirretään koneistussaliin, jossa ne kiinnitetään alipaineen avulla CNC-työstökeskuksen (kuva 3) tuotekohtaisiin kiinnittimiin koneistuksen ajaksi. Koneistus tapahtuu muotoon valmistetuilla profiilityökaluilla, jotka muodostuvat teräsrungosta ja timanttipinnoituksesta. Työkalut ovat erittäin mittatarkkoja, pitkäikäisiä ja suhteellisen edullisia. Koneistuksessa lasiin työstetään kaikki sille halutut muodot, reiät ja pyöristykset. (1.)



KUVA 3. CNC-työstökone, joita yritys omistaa noin 2 000 kappaletta (1)

3. Koneistetut kappaleet siirretään hiontaan, jossa koneistuksessa aiheutuneet naarmut, terävät särmät ja muut optiset virheet hiotaan ja lopputuloksena saadaan täysin kirkas lasi. Hiontaprosessi on myös täysin koneellinen. (Kuva 4.) Lasin kestävyys kannalta on ensiarvoisen tärkeää, ettei lasiin jää minkäänlaisia naarmuja, koska juuri näistä kohdista lasi rikkoutuu helpoiten. Hionnan jälkeen lasi on lopullisessa mitassaan. (1.)



KUVA 4. Lasin hionnassa käytettyjä koneita (1)

4. Täyttääkseen tiukat lasille asetetut lujuusvaatimukset täytyy lasia käsitellä, jotta sille saadaan halutut ominaisuudet. Ensimmäinen käsittely on lasin kemiallinen karkaisu. Karkaisuprosessissa lasi lämmitetään n. 400 °C:n lämpötilaan ja upotetaan natriumliuokseen, jossa ionivaihdon seurauksena lasin pinta kovettuu eli lasin pintaan muodostuu hallittu jännitys. Karkaisu tapahtuu automatisoiduissa karkaisu-uuneissa (kuva 5). Karkaisun jälkeen lasi puhdistetaan ultraäänipesurissa. (1.)



KUVA 5. Kemiallisessa karkaisussa käytettäviä uuneja (1)

5. Kirkkaat lasiaihiot siirretään puhdistilaan. Puhdistilan puhtausluokka on 100, joka tarkoittaa sitä, että kyseisessä tilassa on suurempia kuin 0,5 µm partikkeleita korkeintaan 100 kpl kuutiojalassa. Puhdistilassa lasiin tehdään kaikki tarvittavat pinnoitukset. Matkapuhelimissa koko näyttö ei ole kirkas, vaan lasin reunoilla on niin sanottu ”kuollut alue” ja mahdollinen logo ja muita käyttöikoneita. Kuollut alue, kuten myös logot, ikonit ja näppäimet, tehdään lasiin tulostamalla. Lasi laitetaan kiinnittimeen, jossa sen paikka määrittyy tarkasti.

Seuraavaksi lasin päälle asetetaan kalvo, jossa on aukko niillä kohdin, mistä musteen halutaan tarttuvan lasiin. Päälle levitetään muste ja kalvo poistetaan. Tulostusvaiheita voi olla viisikin peräkkäin sen mukaan, kuinka montaa eri väriä tuotteeseen tulee. Tulostuksessa käytetään täysautomatisoituja koneita (kuva 6), jossa lasi-ikkuna siirtyy automaattisesti vaiheesta toiseen. Tulostuksen jälkeen lasi kuumennetaan uunissa, jossa muste tarttuu lopullisesti lasin pintaan. (1.)



KUVA 6. Automaattinen tulostuslinja (1)

6. Seuraavassa vaiheessa suoritetaan pinnoitus PVD-menetelmällä. EVBM-laitteistossa (kuva 7) kaasuuntunut pinnoite pisaroituu pinnoitettavaan pintaan ja luo tasaisen kalvon. Prosessissa lasiin tehdään AR-pinnoitus sekä Easy-to-clean-pinnoitus. (1.)



KUVA 7. Electron Beam Vapor Deposition -laitteisto (1)

7. Printtauksen jälkeen suoritetaan laminointi. Jokaiseen lasiin laminoidaan vähintäänkin ASF-kalvo, joissakin tapauksissa myös polarisaattori-kalvo. (1.)
8. Lopuksi valmiit tuotteet tarkastetaan ja pakataan asiakkaalle lähetystä varten. (1.)

Lähes jokaisen työvaiheen välissä lasi tarkistetaan visuaalisesti, jolloin lasin pinnasta etsitään kosmeettisia virheitä. Lisäksi satunnaisotannalla massatuotannosta otetaan koekappaleita tarkistuksiin ulkomittojen, pyöristyksien ja kaarevien muotojen osalta. (1.)

Yritys on tällä hetkellä alalla toimivista yrityksistä liikevaihdoltaan ja kapasiteetiltaan kolmanneksi suurin. Markkinajohtaja on Fuji Crystal ja toiseksi suurin tekijä on Len's one. Yritys on kasvanut nykyisiin mittasuhteisiin erittäin nopeassa ajassa, mikä on tuonut mukanaan myös tietynlaisia kasvukipuja. Vastaaminen jatkuvan kysynnän kasvuun merkitsee jatkuvia investointeja ja koulutetun henkilökunnan hankkimista. Suhdanneherkällä teknologia-alalla on uskallettava ottaa riskejä. Onnistunut riskienhallinta onkin yksi yrityksen menestyksen avaintekijä.

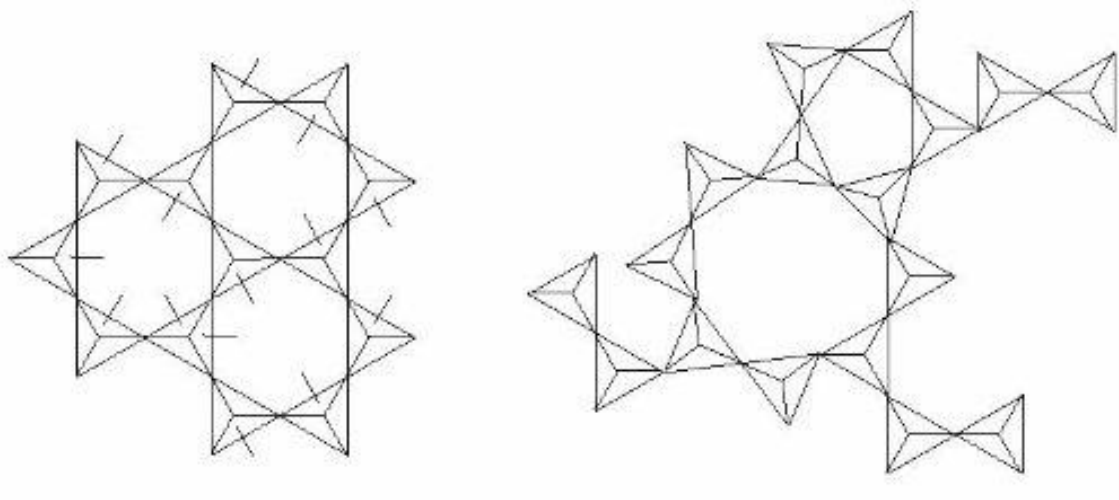
Yritys on keskittynyt valmistamaan lasinäyttöjä eri teknologiateollisuuden aloille, joissa tarvitaan lasi-ikkunoita erityyppisiin hallinta- ja käyttölaitteisiin. Tällä hetkellä merkittävimmissä asemassa yrityksen tuotekategoriassa ovat erityyppiset kosketusnäyttösovellusten lasi-ikkunat kannettavassa elektroniikassa mm. puhelimet. Yrityksellä ei ole varsinaisia omia tuotteita. Tuotanto perustuu täysin olemassa oleviin asiakastilauksiin.

3 LASI MATERIAALINA JA SEN MUOKATTAVUUS

3.1 Lasi materiaalina

Lasi muodostuu sulatettujen silikaattien jähmettyessä, jossa atomit eivät enää sulatuksen jälkeen palaudu takaisin kiteiseen muotoon. Näin syntyy yhtenäinen amorfinen, ei-kiteinen massa, jota kutsutaan lasiksi. Lasia saatetaan joskus kutsua kiinteäksi nesteeksi sen kemiallisten ominaisuuksien vuoksi. (2.)

Kaiken olemassa olevan lasin perusta on piioksidi, jossa happi- ja piiatomit muodostavat verkoston. Kvartsissa eli piidioksidissa pii, jonka valenssi on neljä, sitoutuu neljään happiatomiin ja muodostaa tetran. Kun hapen valenssi on kaksi, kukin tetran neljästä kulmasta sitoutuu vuorostaan seuraavaan piiatomiin. Näin syntyy verkkomainen rakenne. Kiteisessä kvartsissa nämä tetrat muodostavat säännöllisen 3-ulotteisen verkon. (Kuva 8.) Amorfisessa lasissa verkko ei ole asettunut säännölliseksi. (2.)



KUVA 8. Kiteinen ja amorfinen piioksidi (2)

Verkoston ominaisuuksia pyritään muokkaamaan eri lisäaineilla. Lisäaineiden ionit muodostavat poikkeuksia atomiverkoston tehden näin sidoksista löyhempiä tai tiukempia. Lasilla ei ole selvää sulamispistettä eikä se koskaan ole täysin juoksevaa. Viskositeetti pienenee hiukan lasia kuumennettaessa. (2.)

Lasi on perusolomuodossaan huoneenlämmössä kovaa ja haurasta ja se läpäisee valoa, mutta vain vähän ultraviolettisäteilyä. Kiinteässä olomuodossaan lasi ei johda sähköä, mutta ennen jähmettymistään lasin ollessa vielä pehmeää johdattaa se erittäin hyvin sähköä. Lasi on myös erittäin huono lämmönjohde, ja siksi valmistettava lasi on jäähdytettävä hitaasti, jottei lasiin jää jännityksiä.

Lasin perusominaisuuksia ovat seuraavat (2):

- Lasi on erittäin kovaa. Lasi kestää jatkuvaa mekaanista kulutusta ja naarmuuntumista. Kovuus tekee lasista myös hankalan ja hitaan työstettävän.
- Lasilla on suuri puristuslujuus, mutta heikko taivutuslujuus. Tästä syystä taivutettaessa lasi murtuu helposti. Lasin taivutuslujuutta voidaan parantaa seostamalla lasia ja lasin jälkikäsitteilyillä. Lasin paksuudella on myös suuri merkitys lasin taivutuksen keston.
- Lasilla on suuri pintajännitys, joka saa lasin liekkikiillottumaan ja terävät särmät pyöristymään lämmitettäessä.
- Lasi sietää erinomaisesti kemiallisia aineita, minkä vuoksi sitä käytetään usein hankalasti varastoitavien kemiallisten aineiden säilytykseen.
- Peruslasi voidaan jaotella sen koostumuksen mukaan seuraaviin ryhmiin: soodalasi, lyijylasi, borosilikaattilasi ja kvartsilasi.

3.1.1 Soodalasi

Koostumus on piidioksidi (SiO_2), n. 70 - 75 %, natriumoksidi (Na_2O), n. 10 -15 % ja kalsiumoksidi (CaO), n. 8 - 14 %. Sooda-kalkkilasi on tavanomaisin käytössä oleva lasityyppi. Soodan lisääminen seokseen alentaa lasin sulamispistettä ja vähentää näin muovaukseen vaadittavaa energiantarvetta. Soodan lisäämisen haittavaikutuksena lasi muuttuu vesiliukoiseksi. Kalkilla lasi saadaan jälleen veden liukenemattomaksi. Soodalasin valmistuskustannukset ovat erittäin alhaiset, ja siksi sitä käytetään usein myös kertakäyttötuotteissa. Yleisimpiä tuotteita ovat pullot ja ikkunalasit. (3; 4.)

Soodalasin lämpöalue, jossa lasi on kuumamuokattavissa, on hyvin kapea, mikä asettaa käsittelylaitteistolle omia vaatimuksiaan. Sooda-kalkkilasin pintaan

muodostuu valmistusvaiheessa myös helposti kiteymää, joka näkyy sameutena valmiissa kappaleessa. Tätä kutsutaan devitrifioitumiseksi. (3; 4.)

3.1.2 Lyijylasi

Tyypillisesti lyijylasi sisältää 16 - 35 mol% lyijyä. Nykyisin lyijylasin alarajapitoisuutena pidetään 24 %:a. Lyijylasin raaka-aineet ovat samat kuin soodalsin, mutta lyijylasissa lyijy korvaa kalkin. (5.)

Lyijylasia kutsutaan myös lyijykristalliksi, koska tämä lasityyppi on erittäin kirkasta ja visuaalisesti näyttävää. Lyijylasilla on hyvät optiset ominaisuudet, jotka johtuvat lasimassan suuremmasta tiheydestä, koska lyijyn atomipaino on viisinkertainen kalkkiin verrattuna. Lyijyoksidin lisääminen nostaa valon taitekerrointa ja alentaa lämpöaluetta sekä parantaa lasin juoksevuutta. Lyijylasia käytetään yleisimmin taidelasina ja optisina linsseinä. (5.)

3.1.3 Borosilikaattilasi

Soodakalkkilasiin lisäämällä boorioksidia saadaan borosilikaattilasia. Syntyvän lasimassan tavanomainen koostumus on 70 % piitä (SiO_2), 10 % boorioksidia (B_2O_3), 8 % natriumoksidia (Na_2O), 6 % kaliumoksidia (K_2O) ja 1 % kalkkia (CaO). (6.)

Borosilikaattilasin ominaisuuksia ovat sen erityisen hyvä lämmönkestävyys muihin lasilaatuihin verrattuna, suurempi lujuus ja erinomainen kemiallinen kestävyys. Borosilikaattilasi kestää hyvin lämmön vaihteluita eli lämpöshokkeja, ja tästä syystä jännityksen poisto on tästä lasityypistä helpompaa ja nopeampaa kuin muilla. Borosilikaattilasi tunnetaan paremmin kauppanimillä pyrex ja simax. Kemiallisen ja termisen kestävyuden vuoksi borosilikaattilasia käytetään laajalti erityyppisten laboratoriovälineiden raaka-aineena, mutta sitä käytetään myös talouslasina, mm. kahvinkeitin kannuina. (6.)

3.1.4 Kvartsilasi

Sulatettu kvartsilasi

Sulatettu kvartsi syntyy nimensä mukaisesti sulattamalla puhtaita kvartsikiteitä yli 2 000 °C:n lämpötilassa. Kvartsikiteistä valmistettu lasi on seoksen puhtau-

den takia optisilta ja termisiltä ominaisuuksiltaan muita lasilaatuja parempaa. Sulatettu kvartsilasi kestää myös hyvin lämpöshokkeja. Tätä lasilaatua voidaan löytää myös vapaana luonnosta, sillä suuri paine ja lämpötila voivat muodostaa kvartsiittia. Sulatettu kvartsilasi läpäisee myös enemmän UV-valoa kuin muut lasityypit. Sulatettua kvartsilasia käytetään linsseissä, optiikoissa, laboratorio-laitteissa ja puolijohdekomponenteissa, esimerkiksi valokuidussa. (3; 7.)

Sulatettu piioksidi

Sulatetun piioksidin raaka-aineena on erittäin puhdas piihiekkä. Sulatetusta piioksidista syntyvä lasi ei ole kirkasta vaan himmeää tai läpikuultavaa. Lasi on erittäin puhdasta, ja sen UV-valon siirtokyky on hyvä. Termisiltä ominaisuuksiltaan sulatettu piioksidityyppinen kvartsilasi on erinomainen. Sitä käytetäänkin monilla teollisuuden aloilla korkean lämpötilan prosesseissa muottina tai muottien pinnoitteena mm. teräksen ja lasin valmistuksessa. (7.)

3.1.5 Erikoislasiseokset

Peruslasien lisäksi markkinoilla on lukematon määrä tuote- tai olosuhdekohtaisia lasilaatuja, joissa peruslasilaatua on jalostettu lisäämällä lasimassaan valmistusvaiheessa erilaisia lisäaineita, jotka tuovat lasille kulloinkin haluttuja ominaisuuksia. Muokattavia ominaisuuksia ovat mm. kovuus, sitkeys, juoksevuus, karkenevuus ja lämmönkesto. (7.)

Kosketusnäytön lasimateriaaleja on myös kehitetty ja jatkojalostettu. Peruslasina kosketusnäyttösovelluksissa käytetään soodalasia. Soodalasi on itsessään halpaa, mutta toisaalta sen kestävyysominaisuudet ovat melko vaatimattomat. Lasin valmistajat ovatkin kehittäneet kosketusnäyttösovelluksiin omia lasilaatujaan. Paljon käytetty lasi on alumiinisilikaattilasi. Valmistajat ovat brändänneet ko. lasilaatua eri markkinointinimillä, kuten Asahi Dragontail ja Corning Gorilla 2318. Alumiinisilikaattilasin ominaisuuksia ovat parempi kestävyys ja kovuus.

3.1.6 Karkaistu lasi

Karkaistu lasi tai turvalasi on lasityyppi, jossa peruslasina on aiemmin käsitelty soodalasi. Kemiallisen käsittelyn tai lämpökäsittelyn avulla saavutetaan lasiin hallittuja jännityksiä, jonka seurauksena lasi saavuttaa 4 - 5 kertaa suuremman

lujuuden kuin tavallinen soodalasi. Karkaistun lasin ominaisuus on, että hajo- tessaan se murenee hyvin pieniin paloihin, jotka eivät ole teräväsärmäisiä. Kar- kaistua lasia ei voida karkaisun jälkeen enää työstää tai leikata, mutta karkaisu voidaan poistaa hallitulla jännityksenpoistolla. Karkaistua lasia käytetään mm. ajoneuvoteollisuudessa, rakennuksissa ja sukelluslaitteistoissa. (3; 4.)

3.1.7 Lasin jännitykset

Lasin valmistuksessa kiteytyneeseen kiinteään lasiin jää verkostoon sisäisiä jännityksiä. Lasiin voi muodostua monentyyppisiä jännityksiä, joiden hallinta ja tiedostaminen on kestävän lasin valmistuksen edellytys. Lasin haurauden vuok- si näkymättömät, staattiset voimat voivat rikkoa lasin rakenteen ennen aikaises- ti. Lasiin muodostuvat jännitykset jaetaan seuraavissa esiteltyihin lajeihin:

Pintajännitys

Molekyylien väliset sidosvoimat muodostavat pintakerrokseen sidoksia, joka saa nesteen pinnan käyttäytymään kuin elastinen kalvo. Nesteen sisällä mole- kyyleihin vaikuttavat viereisten molekyylien vetovoimat, jotka tasoittavat jänni- tystä. Pintakerroksessa vastakkaisella puolella ei ole sidosvoimia, joten sidos- voimat jäävät yksipuoliseksi aiheuttaen näin sisäänpäin vetävän voiman mole- kyyleihin.

Pintajännitystä voidaan käyttää hyväksi lasin muokkaamisessa seuraavasti:

1. Leikkaamisessa lasin pintajännityksessä muodostuva kalvo rikotaan lasiveitsellä, jolloin lasi taittuu helposti ja tarkasti leikkuujäljen kohdal- ta.
2. Lasia kuumennettaessa ensimmäisenä terävät laidat pyöristyvät.
3. Pintajännitys ohjaa myös lasin paksuutta. Lämmitettäessä paksu lasi pyrkii sulamaan ohueksi levyksi, mutta tietyssä pisteessä pintajänni- tys voittaa painovoiman ja laajeneminen pysähtyy. Ohuen lasin koh- dalla pintajännitys pyrkii vetämään tasomaista lasia kokoon. Lasin pin- tajännityksen ja painovoiman tasapainossa sula lasi on noin 6 mm paksua.
4. Liekkikiillotuksessa ilmaa vasten olevat molekyylit vetävät pehmeän lasin pinnan sileäksi.

Lämpöjännitykset

Ohuessa lasissa lämpöjännityksiä syntyy silloin, kun lasin sisä- ja ulkopinnan lämpötilaerot nousevat liian suuriksi. Lasin sisäpinnan kuumentuessa nopeammin kuin ulkopinta, laajenee myös sisäpinta ulkopintaa enemmän. Kun ulkopinta ei anna riittävästi periksi, rikkoo sisäpinnan laajeneminen rakenteen halkaisten lasin. Tätä reaktiota kutsutaan lämpöshokiksi. 450–520 °C asteen välillä muuttuu lasi joustavaksi ja näin myös lämpöshokin vaara poistuu. (2.)

Lämpölaajeneminen tulee huomioida myös muottimateriaalien valinnassa, sillä osa muottimateriaaleista laajenee enemmän ja toiset vähemmän kuin itse lasi. Väärä muottimateriaalin valinta voi johtaa valmiin kappaleen rikkoutumisen muottiin jäähtytysvaiheessa. (2.)

Paksussa lasissa lämpöjännitykset ilmenevät toisella tapaa. Paksua lasia jäähdytettäessä jäähtyy ja kovettuu pinta nopeammin kuin sisus. Sisäosan jäähtyessä kovettuneen pinnan alla muodostuu pintakerrokseen sisustaa kohti vetojännitys. Tämä jännitys voi nousta niin suureksi, että se pystyy rikkomaan lasin räjähdysenomaisesti, jopa vuosien jälkeen valmistuksesta. Valmistusvaiheessa lasiin muodostuneita jännityksiä voidaan poistaa valmiista tuotteista hehkuttamalla lasi lämpötilaan, jossa jännitykset poistuvat, mutta lasi pitää muotonsa ja suorittamalla tämän jälkeen hidas jäähdytys. (2.)

Karkaistu lasi eroaa muista laseista lämpöjännityksien suhteen. Karkaistuun lasiin muodostetaan tarkoituksella pintaan hallittu jännitys jäähdyttämällä kuuma pinta nopeasti ilmasuihkulla. Tämä luo lasin pintaan erittäin kovan jännityksen, joka kovettaa lasin kuitenkin sitä rikkomatta. (8.)

3.2 Valmistus- ja muokkausmenetelmät

3.2.1 Valmistus

Kaikki lasi valmistetaan samalla tavalla. Aluksi valitaan lasiin haluttavat puhtaat sekä tasalaatuiset ainesosat ja mitataan halutut raaka-aineet oikeassa suhteessa. Valitut materiaalit sekoitetaan keskenään mänkiksi mänkkimyllyssä homogeeniseksi seokseksi. Lasin ollessa pehmeää, mukaan lisätään mahdollinen *siru*, mikäli mukaan halutaan lisätä kierrätyslasiä sekä muita mahdollisia lisäai-

neita kuten mm. väriaineet. Lasin väri tulee mänkkiin sekoiteittavista rautametal-leista. Taulukossa 1 on esitelty lasin värjäämisessä käytettyjä aineita. (8.)

TAULUKKO 1. Eri materiaalien vaikutus lasin väriin (8)

väri	Metalli	kommentti
Valiva, syvä sininen	koboltti	
sininen	kupari	
vihreä	kromi	Aventuriinissa on myös metallisia kromihiukkasia
Vihreä	rauta	kirkas lasi näyttää usein hieman vihertävältä rautajäämien takia
lila	mangaani	käytetään usein kompensoimaan raudan aiheutamaa vihreyttä
punainen	kupari	
punainen	kulta	
Keltainen	kadmium	erittäin myrkyllien oksidina
keltainen	hopea	värjää hyvin pieninä pitoisuuksina. Mm hopeasaven polttaminen voi jättää uunilevyyn värjäävän jäljen
musta	>rauta	

Aineiden sekoittamisen jälkeen seos siirretään lasiuuniin, jossa mänkki sulaa n.1 300 - 1 550 °C lämpötilassa herkkäliikkeiseksi massaksi. Massaa ryhdytään sulamisen jälkeen jäähdyttämään hitaasti työlämpötilaan, jolloin valkohehkuinen herkkäliikkeinen massa muuttuu sitkeämmäksi keltahehkuseksi massaksi, jol-loin saavutetaan muovaukseen soveltuva viskositeetti. (8.)

3.2.2 Kuuman lasin muokkaus

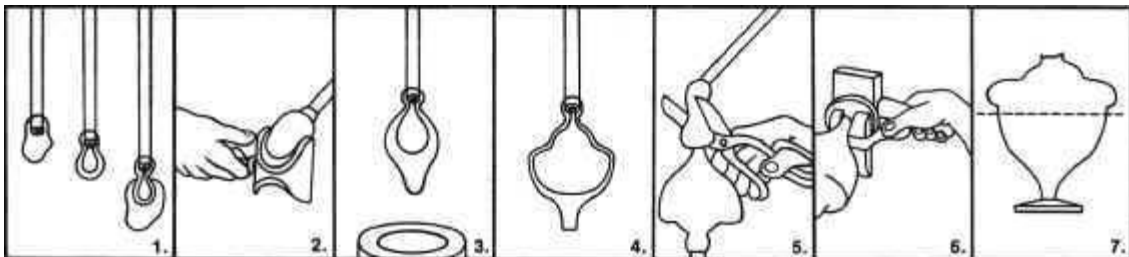
Puhaltaminen

Luultavasti vanhin ja eniten käytetty lasinmuovausmenetelmä on lasin puhalta-minen. Menetelmä on erittäin tehokas ja soveltuu massatuotantoon erinomai-sesti, mutta tarkkuus ja seinämävahvuudet eivät tee puhaltamisesta potentiaa-lista prosessia näytön valmistukseen. Lasin puhaltaminen toteutetaan joko suu-puhalluksena tai koneellisena puhalluksena. Suupuhallus soveltuu yksittäiskap-paleiden tuotantoon ja taidelasin valmistukseen. Suupuhalluksessa puhalluspil-lin päähän otetaan lasimassaa, jonka sisälle lasinpuhaltaja puhaltaa ilmakuplan ja muovaa kappaletta ennen kuin lasi jähmettyy. (Kuva 9.) Mitä enemmän ilmaa kuplaan puhalletaan, sen suuremmaksi kupla lasin sisällä muodostuu. Sulassa olomuodossa oleva lasi on erittäin sitkeää, mikä mahdollistaa pienestä määrä-

tä sulaa lasia puhallettavan isonkin esineen ja näin saavutetaan myös erittäin ohuet seinämät valmiiseen tuotteeseen. (8.)

Sarjatuotannossa sula lasimassa puhalletaan muotin sisään, jolloin lasimassa leviää muotin pinnalle. Puhallettu lasi jäädytetään muotissaan, jolloin se saa muotonsa. Puhallettu lasi vaatii jälkityöstöä: ylimääräisen lasin ja purseiden poiston ja terävien särmien hionnan sekä mahdollisen liekkikiillotuksen. (8.)

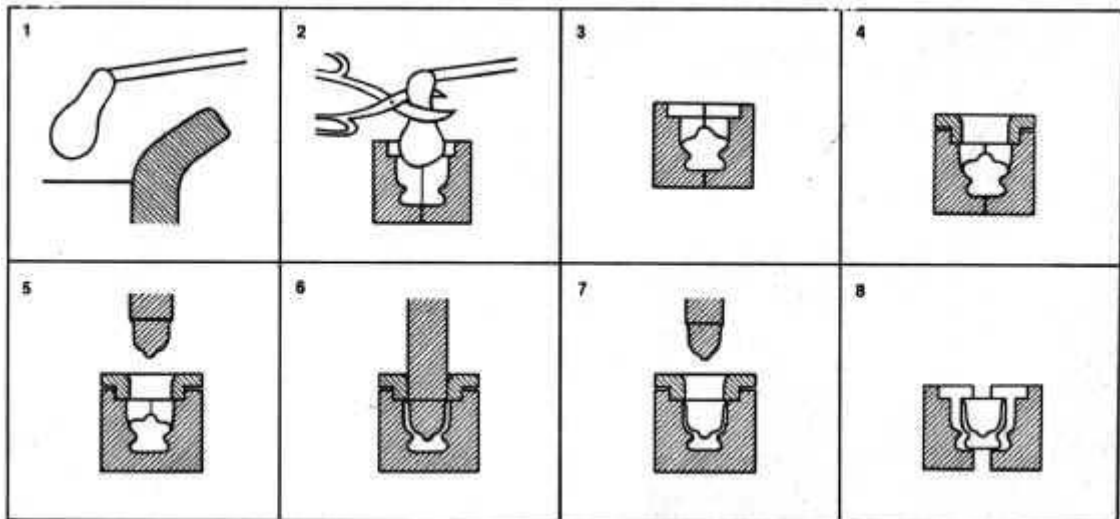
Koneellisessa puhalluksessa, kuten lasipullojen valmistuksessa, sulamateriaali johdetaan alkumuottiin, jossa muodostuvat pullon suuosa ja runkoaihio. Lopputuotissa aihion sisälle johdetaan paineilmaa, joka saa lasin leviämään muotin pinnalle lopulliseen muotoonsa. Esimerkiksi lasipullojen puhallusprosessi on erittäin pitkälle automatisoitu, joka vaatii lasimassalta termistä ja laadullista stabiilisuutta, jotta lopputuotteiden laatu pysyisi hyvänä. Tehokkailla automaatioprosesseilla voidaan saavuttaa 10 000–15 000 kappaleen vuorokausikapasiteetti ja kaksoismuotteja käyttämällä kaksinkertaistettua valmistusmäärää. (8.)



KUVA 9. Lasinpuhalluksen vaiheet (8)

Puristaminen

Puristelasin valmistus on tehokas automaatioprosessi. Prosessissa automaattikoneet annostelevat muottiin juuri oikean määrän sulaa lasimassaa, jonka jälkeen mäntä puristaa lasin teräsmuotissa haluttuun muotoon. Kappale irrotetaan muotista ja siirretään liekkikiillotukseen, jossa muotista mahdollisesti jääneet epätasaisuudet kiillottuvat lasin pinnalta. (Kuva 10.) Puristamalla valmistetaan talous- ja pakkauslasia sekä optisia linsejä.(8.)



KUVA 10. Puristelasin valmistuksen vaiheet (8)

Vetäminen

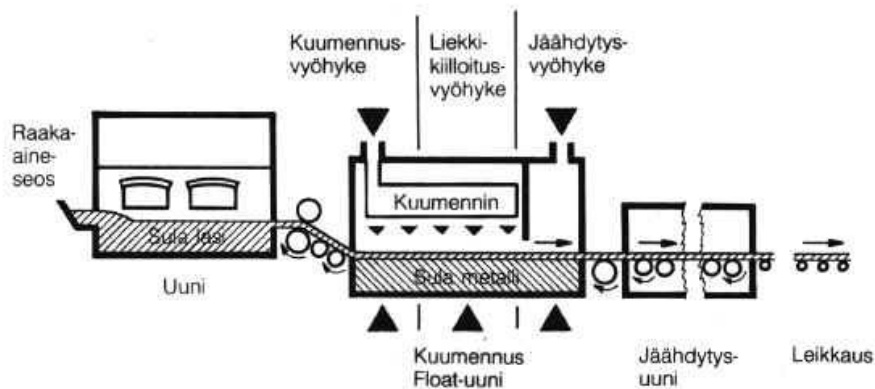
Vetäminen on jatkuva automaatioprosessi, jossa vetokoneet nostavat sulatusuuniin liitetystä vetoaltaasta lasimassaa jatkuvana levynä. Vetonopeus määrää lasin pitouden. Valmistettavan lasin paksuus vetomenetelmällä on 2 - 12 mm. (8.)

Vedettyä lasia käytetään mm. ikkuna-, julkisivu- ja varmuuslasina. Float-menetelmä on korvannut tämän lasinvalmistusmenetelmän tehokkaampana tuotantotapana. (8.)

Float-menetelmä

Float-menetelmässä sula lasimassa johdetaan sulatusuunista ilmatiiviiseen tilaan, sulan tinan päälle, johon se leviää tasaiseksi kerrokseksi. (Kuva 11.) Seuraavaksi lasi johdetaan jäähdytystunneliin, jossa levy jäähdytetään hitaasti n. 60 °C leikkuulämpötilaan. Lopuksi lasi tarkastetaan ja katkotaan sopivan kokosiin aihioihin. (8.)

Float-lasin valmistus



KUVA 11. Float-lasin valmistus (8)

Valssaaminen

Valssaamisessa sula lasiainees johdetaan ammeuunista suoraan telojen väliin, jotka muovaavat lasista halutun vahvuista levyä. Jäähdytys tapahtuu jäähdytysuunissa, lopuksi suoritetaan leikkaus. Valssausmenetelmällä valmistetaan turvalasia, jonka sisällä on metallinen lanka- tai verkkorakenne. (8.)

3.2.3 Kylmän lasin muokkaus

Lasille ominainen kovuus ja hauraus tekevät lasista haastavan materiaalin käsiteltäväksi huonelämpötilassa. Lasiin voidaan soveltaa kuitenkin monia niitä muokkausmenetelmiä, joita on kehitetty käytettäväksi koville metalleille, keraameille tai kivelle. (8.)

Koneistaminen

Lasia voidaan koneistaa normaaleilla metallintyöstökoneilla käyttäen lasin työstöön tarkoitettuja työkaluja. Työstökoneelta vaaditaan kuitenkin erityistä tukevuutta ja tarkkuutta. Lasin työstössä käytetäänkin pääsääntöisesti CNC-ohjattuja työstökoneita, joilla työstöparametrit saadaan pidettyä koko työstön ajan vakioina. Käytössä olevia työstökoneita ovat 3 – 5-akseliset pysty- tai vaakakaraiset työstökeskukset ja lankasahat. (8.)

CNC-työstökoneissa lasin työstöön käytetyt työkalut eroavat huomattavasti metallille tarkoitetuista työkaluista. Työkalut muodostuvat metallisesta rungosta, joka on pinnoitettu timanttipinnoitteella. Käytettävät työstöarvot ovat oleellisesti metallintyöstössä käytettäviä arvoja pienemmät. Yrityksen tuotekirjo on varsin

laaja, joten samanlaisia tuotteita valmistetaan tietty erä. Seuraava valmistettava tuote on muotoilultaan aivan erityyppinen, minkä vuoksi työkalut tehdään kulloinkin valmistettavaa tuotetta varten. Tuotekohtaiset työkalut antavat myös mahdollisuuksia optimoida työstöajat mahdollisimman lyhyiksi. Samaan terä-runkoon voidaan sisällyttää rouhinta- ja viimeistelytyökalu, tai yhdessä työkalussa voi olla useita erisuuruisia viisteitä tai pyöristyksiä.

Hionta

Lasin hionta tapahtuu lasia kovemmallalla materiaalilla, joka poistaa lasin pinnasta hyvin vähän ainetta ja samalla kiillottaa pinnan. Hiontamateriaalina käytetään mm. teollisuustimanttia. Hionta suoritetaan hionta-aineella, joka sisältää hiovia partikkeleita ja vettä. Hionta-ainetta hierotaan lasin pintaan harjamaisella pyörivällä työkalulla. Hionta poistaa lasista kaikki hiontapinnalla olevat epätasaisuudet ja optiset virheet. Hionta on kohtuullisen hidasta, ja jotta lasista saadaan täysin kirkas, joudutaan jokainen laita hiomaan erikseen. Hionta voidaan suorittaa käsin tai koneellisesti.

Katkaisu

Lasin katkaisu tapahtuu yleisimmin mekaanisesti. Lasin pintajännitys rikotaan siihen sopivalla terällä, jonka jälkeen lasi voidaan katkaista taivuttamalla leikkauksijäljen kohdalta. Lasin reunat ovat leikkauksen jälkeen erittäin terävät. Terävät särmät ovat alttiita murtumille, mikä voi johtaa koko lasikappaleen hajoamiseen. Terävät särmät voidaan poistaa hiomalla, mikä lisää lasin kestävyyttä. Lasia voidaan leikata myös laserilla ja vesileikkurilla.

Muut menetelmät

Lasin muokkaukseen on käytettävissä myös muita menetelmiä, jotka pääosin ovat hitaita yksittäistuotteille suunnattuja muokkauskeinoja. Tällaisia ovat esimerkiksi:

Absortio laser, jossa kiinteää ainetta haihdutetaan pois tarkalla lasersäteen hallinnalla. Absortion avulla voidaan myös esimerkiksi paksun lasikappaleen sisälle kaivertaa kuvio.

Lasin muokkauksessa voidaan hyödyntää myös nanoteknologiaa. Nanotekniikan avulla voidaan mm. luoda lesti, jolla lasin pintaan painetaan nanokuviointi, joka muuttaa lasin valonläpäisykykyä kuten lasiin integroitu AR-pinnoitus.

3.3 Lasin käyttökohteet

Lasia käytetään pääasiallisesti pakkaus- ja rakennusmateriaalina ja näiden tarpeisiin on kehitetty tehokkaat menetelmät suursarjatuotantoon. Toisessa ääripäässä on taidelasi, jonka valmistusmäärä on yksittäisistä tuotteista korkeintaan muutamiin kymmeneen. Opinnäytetyön pääpainopiste on teknologiateollisuuden tarpeissa ja tarkemmin ottaen lasia tarkastellaan näyttömateriaalina. Seuraavassa on käyty läpi, miksi lasia käytetään ja miksi sen käyttö tulee yleistymään eri teknisissä sovelluksissa näytön materiaalina.

Lasin käyttö teknologiateollisuudessa

Lasi on syrjäyttämässä markkinoilla muovin näyttömateriaalina, erityisesti mobiililaitteissa. Trendi johtuu hyvin pitkälti kosketusnäyttöjen räjähdysmäisestä kasvusta mobiilituotteiden sektorilla. Aiemmin näytölle asetetut vaatimukset liittyvät lähinnä visuaalisuuteen, hetkelliseen mekaaniseen rasitukseen ja keveyteen. Kosketusnäyttöjen mukanaan tuomat haasteet ja vaatimukset ovat osoittaneet, ettei muovi pysty kilpailemaan lasin rinnalla tärkeissä ominaisuuksissa, kuten jatkuva kulutuskestävyys, optiset ominaisuudet ja mekaaninen kestävyys. Lisäksi juuri kosketusnäyttösovelluksessa lasi mahdollistaa paljon tarkemman ja fyysisesti ohuemman toteutuksen kuin muovi. Lasia käytetään myös elektroniikkakomponenteissa.

4 VALMISTUSMENETELMIEN KARTOITUS

4.1 Potentiaaliset valmistusmenetelmät

Yrityksen tähänastisen toiminnan aikana lasin muokkausmenetelmät ovat rajoittuneet ”kylmälle” lasiaihiolle tehtäviin muokkauksiin lähinnä materiaalia poistavilla tekniikoilla. Suunniteltaessa kustannustehokasta tapaa valmistaa lasiikkunoita 3D-muotoon eivät materiaalia poistavat menetelmät ole kilpailukykyisiä suuren materiaalihukan ja tarvittavan työstöajan takia. 3D-muotoa materiaalia poistavilla menetelmillä tehtäessä materiaalin kestävyys nousee esiin. Valmiin tuotteen paksuuden lähennellessä 1 mm voi pienikin ulkopuolinen raskaus rikkoa käsittelemättömän, karheapintaisen lasin. Näistä syistä johtuen on etsittävä vaihtoehtoisia menetelmiä, joilla lasia voidaan muovata tehokkaasti ja hyvällä saannolla.

Keskeisimmiksi tutkimuskohteiksi lasin muovaamiseksi 3D-muotoon nousivatkin erilaiset kuumamuokkausmenetelmät, joista yrityksessä oli suhteellisen vähän aikaisempaa kokemusta. Kuumamuokkauksen etuna on, ettei materiaalia poisteta, jolloin ei myöskään synny materiaalihukkaa. Kaikki investoitu materiaali jatkaa valmistusprosessin jälkeen asiakkaalle. Valmistusaika suhteessa materiaalia poistaviin menetelmiin on huomattavasti lyhyempi. Kuumamuovaus asettaa kuitenkin paljon haasteita valmistukselle.

Lasi on erittäin herkkä materiaali lämmönvaihteluille, mikä tekee sen lämpömuokkauksesta haasteellista ja tarkkaa. Jokaiselle lasilaadulle ilmoitetaan valmistajan toimesta keskeisimmät käsittelylämpötilat. Transformation temperature eli lasittumislämpötila on lämpötila, jossa kiinteä lasi alkaa muuttua muotoaan joko omasta massastaan tai ulkoisesta rasituksesta palaamatta enää alkuperäiseen muotoonsa. Valmistajat ilmoittavat myös lämpötilat, jossa materiaali saavuttaa standardissa määritellyt viskositeetin. Standardissa ISO 7884-1 on kerrottu kullekin lasilaadulle määritellyt viskositeetit/lämpötilat ja kuinka nämä to-dennetaan.

4.1.1 Kuumataivutus (Hot bending)

Xing Xing Firstar Panel on tehty tutkimusta kuumataivutuksesta (Hot bending) ja prosessilla onkin saavutettu hyviä tuloksia. Prosessissa oikeaan kokoon koneistettu aihio asetetaan keraamisen muotin päälle ja lasiaihion päälle paino. Muotti, aihio ja paino lämmitetään vaiheittain n. 750 celsiusasteen lämpötilaan tarkoitukseen sopivassa sähköuunissa, jossa lasiaihio pehmenee ja hakeutuu alla olevan muotin muotoon painovoiman vaikutuksesta. Lisäpainon tarkoituksena on nopeuttaa prosessia. Kuumennuksen jälkeen lasi jäähdytetään hitaasti hehkutuslämpötilaan, jossa jännitysten annetaan tasaantua materiaalista riippuvan ajan. Lopuksi lasin annetaan jäähtyä huoneilmassa normaaliin käyttölämpötilaansa. Kuumataivutukseen on olemassa massatuotantoon erinomaisesti soveltuvia laitteita. (Kuva 12.)

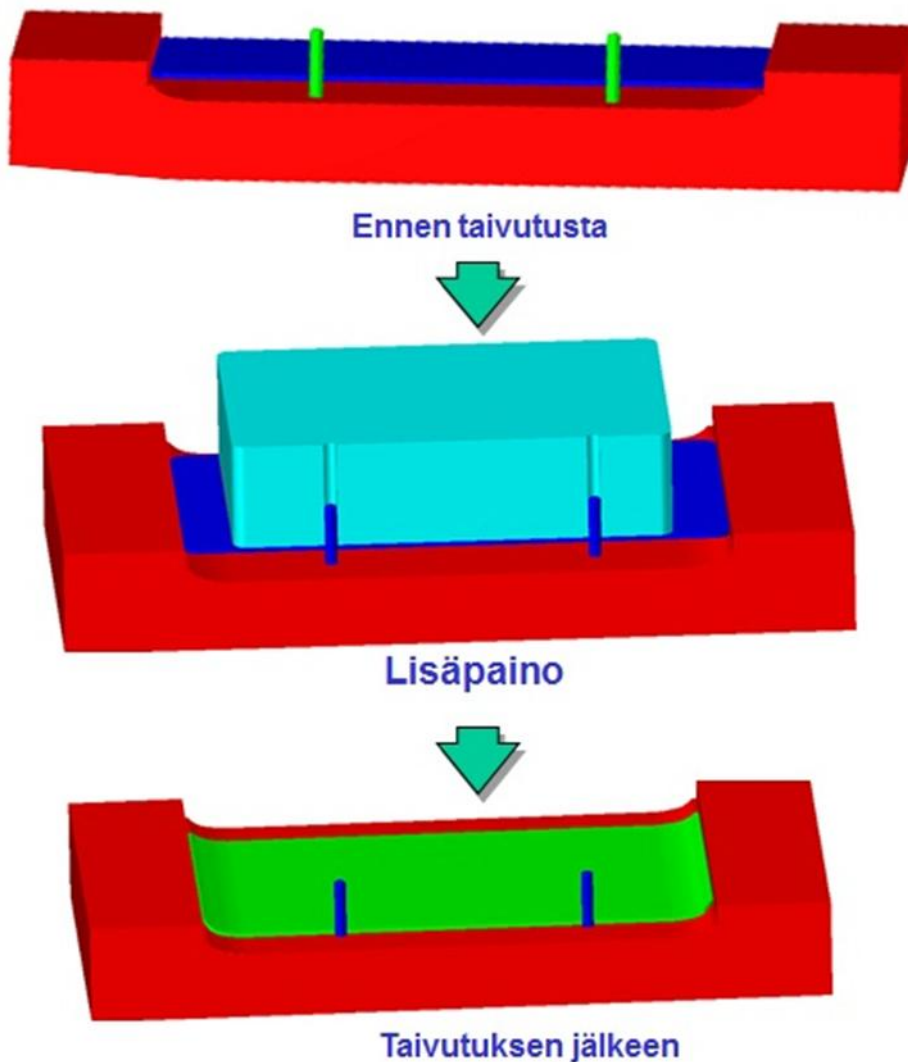


KUVA 12. Karuselli tyyppinen kuumataivutusuuni (1)

Kuumataivutuksen ongelmia ovat mittatarkkuuden säilyttäminen koko prosessin ajan ja lisäksi prosessilla saavutetaan vain kourumaisia ja kaarimaisia muotoja. Kuumataivutuksessa tarvittavat koneet ja laitteet ovat edullisia ja helppokäyttöisiä, mikä mahdollistaa nopean siirtymisen sarjavalmistukseen. Lämpökäsitte-

lyyn riittää normaali lämpökäsittelyuuni, jonka lämmötuottokyky on noin 1 000 °C, ja kuumennus ja jäähditys voidaan hoitaa ohjelmallisesti.

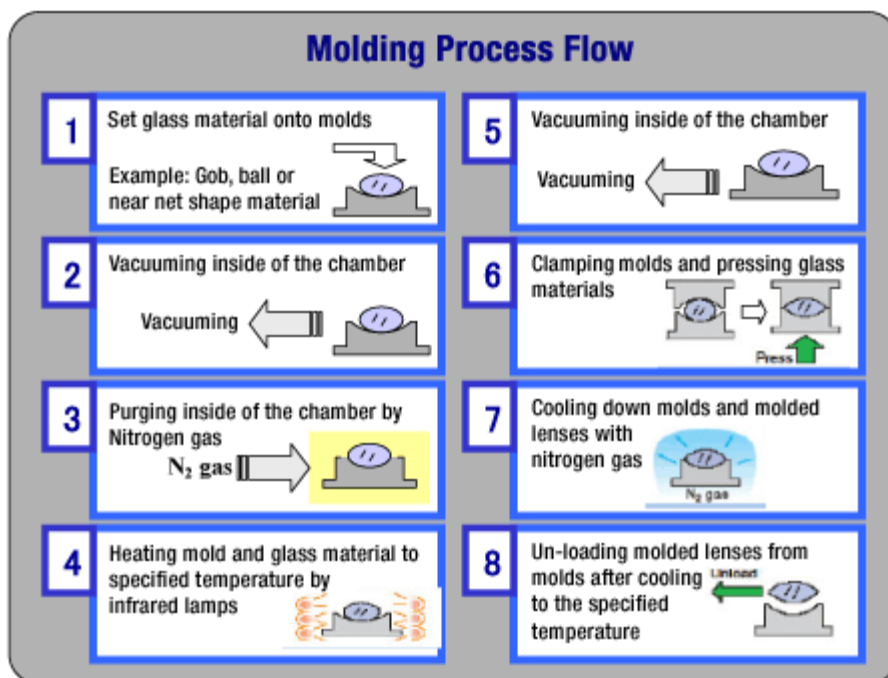
Kuumataivutuksessa käytettävät muotit valmistetaan keraamisista materiaaleista suuren lämmönkeston vuoksi. On myös tehty tutkimuksia mahdollisesti muotiaihioksi sopivan teräslaadun löytämiseksi. Teräs toimisi muottimateriaalina keraamia paremmin kulutuskestävyytensä ja helpomman työstettävyytensä takia. Muotit ovat yksinkertaisia ja muoto on suoraan halutun kappaleen negatiivi. (Kuva 13.)



KUVA 13. Kuumataivutusprosessin eteneminen uunissa (1)

4.1.2 Kuumapuristus (Hot pressing)

Toinen varteenotettava kuumamuokkausmenetelmä lasille on kuumapuristus (Hot pressing). Kuumapuristusprosessi etenee hyvin pitkälti samoin kuin kuumataivutusprosessi, mutta ko. prosessissa aihioon kohdistetaan lämmön lisäksi suuri paine. Aihio voi olla paksumpi kuin valmis tuote, sillä paineen ja lämmön vaikutuksesta lasi saadaan juoksevaan tilaan, jolloin se hakeutuu muotin muotoihin ja aihio ohenee haluttuun mittaan. Jotta ko. menetelmä saadaan mahdollisimman tehokkaaksi ja lopputuloksesta hyvälaatuinen, on prosessiympäristön oltava oikeanlainen. Yleensä tämä tarkoittaa reaktioherkän hapen poistamista ja/tai sen korvaamista stabiilimmalla kaasulla. Kuumennuksen jälkeen muottipuoliskojen välissä olevaan lasiin kohdistetaan suuri voima, jopa 40 kN. Valmis tuote jäähdytetään kaasulla, mikä edistää lämmön siirtymistä. Jäähdytyksen jälkeen tuote on valmis seuraavaan työvaiheeseen. (Kuva 14.)



KUVA 14. Kuumapuristuksen prosessivaiheet (9)

kuumapuristuksessa tarvittava laitteisto on huomattavasti kalliimpi ja muoteilta vaaditaan suurempaa kestävyyttä verrattuna kuumataivutukseen. Laitteisto on hyvin pitkälti automatisoitu prosessin tasalaatuisuuden takaamiseksi. Lasille sopivia laitteita ei myöskään toimita kovin moni valmistaja, mikä tekee laitevertailusta hankalaa.

4.1.3 Suulakepuristus (Extrusio)

Suulakepuristuksessa kuumennettu pehmeä materiaali pakotetaan halutun muotoisen suuttimen läpi, jolloin saadaan pitkä, suuttimen profiilin muotoinen tanko (kuva 15). Esimerkiksi alumiinilistat ja -profiilit on valmistettu suulakepuristusmenetelmällä. Lasi materiaalina asettaa suulakepuristuksen toteutukselle suurimmat haasteet, koska tarvittava valmistuslämpötila on hyvin korkea. Lämmönvaihtelut valmistuksen aikana eivät saisi olla suuria, jotta lasiin ei synny odottamattomia jännityksiä.



KUVA 15. Suulakepuristuksella valmistettuja lasiprofiileja (10)

4.2 Tuotekonsepteja

3D tuo lasin muotoiluun täysin uusia ulottuvuuksia ja mahdollisuuksia. Ne lisäävät tuotteiden asiakkaalle tuomaa arvoa ja tekevät näin ollen tuotteista myyvämpiä perinteisten tuotteiden rinnalla. Lasinäytön mahdollinen valmistus 3D-muotoon onkin herättänyt kiinnostusta asiakkaiden keskuudessa ja tuonut uusia asiakkaita tiedustelemaan mahdollisesta saatavuudesta. Markkinoiden kysyntään täytyy reagoida nopeasti ja siksi tuotekehityksen on ensiarvoisen tärkeää tutkia kaikkia mahdollisuuksia ja pyrkiä löytämään parhaat suuntaviivat tulevaisuuden varalle, jotta yritys olisi jatkossakin kilpailukykyinen ja pystyisi vastaamaan asiakkaiden muuttuviin ja yksilöllisiin tarpeisiin.

Pidimme yhdessä Xing Xing Firstar Panel -yhtiön asiakkaan kanssa työpajan, jossa etsimme alalla pitkään toimineiden henkilöiden johdolla uusia suuntaviivo-

ja mobiilituotteiden osalta. Tarkoituksena oli miettiä, millaisia muotoja ja mahdollisuuksia 3D-lasi voisi tuoda mukanaan ja millaiset muodot sopisivat asiakkaan muuhun tuotekategoriaan. Lähtökohtana oli unohtaa valmistettavuus ja keskittyä muotoiluun. Konkreettisesti työpajan ideoiden pohjalta luotiin 3D-mallit CAD-ohjelmistolla ja näiden ympärille ryhdyttiin etsimään sopivaa valmistusteknologiaa.

Työpaja synnytti paljon toteutuskelpoisia ja potentiaalisia muotoratkaisuja. Lisäksi esille nousi monia sellaisia ideoita, jotka eivät liittyneet lasin muotoon, vaan lasiin integroitaviin teknologiaratkaisuihin, joista varmasti tulevaisuudessa kuullaan. Seuraavassa on esitelty muutamia työpajan ideoita.

Kuvassa 16 oleva lasi on poikkileikkausprofiililtaan U:n mallinen. (kuva 16) Materiaalin paksuus on 1.0 mm ja valmistustavaksi mallille kaavailtiin kuumataivutusta. Aihio asetetaan sopivan vasteen päälle ja annetaan lämmön vaikutuksesta kiertyä vasteen ympäri, jolloin ”helmat” roikkuvat suorana alaspäin.



KUVA 16. Tuotekonsepti U-profiilista

Toinen työpajan monista ideoista oli poikkileikkaukseltaan symmetrinen kappale. Kuvan 17 putkimaisen kappaleen ideana oli toteutettavuus suulakepuristusmenetelmällä. Materiaalivahvuudeksi kaavailtiin 0,8 – 1,2 mm, riippuen valmistettavuudesta. Ideana oli, että samaa profiilia voitaisiin puristaa useiden metrien

mittainen putki, josta leikkaamalla ja vähäisellä jälkityöstöllä saavutettaisiin valmis tuote.



KUVA 17. Putkimainen malli

Työpajassa syntyneiden ideoiden valmistettavuutta ryhdyttiin kartoittamaan, jotta jokaiselle konseptille löytyisi optimi valmistusmenetelmä, jolla saavutettaisiin mahdollisimman suuri, molemmin puolinen hyöty. Kartoitus vaati perehtymistä eri valmistusmenetelmiin, tarjolla olevien laitteiden kapasiteettiin ja kykyyn taipua valmistamaan visioituja kappaleita. Tärkeimpinä arviointikriteereinä olivat kyvykkyys massatuotantoon ja investointikustannukset.

5 POHDINTA

Potentiaalisia lasinmuokkausmenetelmiä on paljon, mutta vain harvat ovat sovellettavissa itsessään mobiililaitteiden lasinäytön valmistukseen. Markkinoilla on olemassa olevia laitteistoja ja prosesseja lasin muokkaukseen, mutta kun vaatimuksiin lisätään mobiiliteknologian asettamat toleranssit, massat, mitat ja kestävyysvaatimukset, on tarjolla olevia laitteita hyvin niukasti. Ryhdyttäessä tutkimaan laitteistoja ja prosesseja yksittäisinä kokonaisuuksina on selvitettävä kulloinkin kyseessä olevan teknologian kyvykkyys massatuotantoon. Laitteistojen tutkiminen ja testaaminen ei tämän opinnäytetyön puitteissa ole mahdollista, joten ei voida suositella jotain tiettyä laitteistoa yritykselle. Prosessien kyvykkyysmassatuotannossa pystytään kuitenkin antamaan joitakin ehdotuksia.

Suulakepuristus olisi varmastikin kaikista tuotantomenetelmistä kustannustehokkain ja massatuotantoajattelun mukainen valmistusmenetelmä. Suulakepuristus vaatii paljon tietotaitoa lasin olemuksesta ja käsittelystä, sekä tietoa raakalasin valmistuksesta. Yritys ei ole kiinnostunut laajentamaan tuotesektoriaan raakalasin tuotantoon, vaan kaikki lasi halutaan hankkia alihankkijoilta valmiina aihioina perehtymättä itse raakalasin valmistukseen. Lisäksi raakalasin valmistus vaatisi suuria laite- ja tilainvestointeja, joihin yritys ei ole kykeneväinen eikä tämä myöskään olisi strategisesti järkevää. Edellä mainituista syistä suulakepuristusprosessin hankinta yritykselle ei tule kysymykseen. Lasitoimittajilla on olemassa oleva tieto ja taito lasin valmistuksesta, joten ainoaksi vaihtoehdoksi jää keskustella alihankkijoiden kanssa kyvykkydestään toimittaa suulakepuristettua lasia halutulla profiililla.

Tuotantovaiheessa pitkistä profiilista leikataan sopivan kokoisia aihioita jatkokäsittelyä varten. Tämänhetkinen tilanne on se, ettei kukaan suurista lasinvalmistajista pysty tarjoamaan tällaista palvelua, jossa kosketusnäyttösovelluksiin käytettävää lasia voitaisiin suulakepuristaa halutulla profiililla. Ongelmana toimittajien mukaan ovat ohuissa lasi-ikkunoissa käytettävän lasilaadun korkeat valmistuslämpötilat, jotka eivät ole yhteensopivia suulakepuristusprosessin lämpötilojen kanssa. Nykyisin suulakepuristuksella valmistettavat lasit ovat materiaaliltaan borosilikaattilasia, joka on stabiilimpaa lämpötilavaihteluille ja val-

mistuslämpötilat ovat alhaisemmat kuin esimerkiksi soodallasilla. Materiaalivalmistajat ovat huomanneet, että 3D-lasille on kasvavaa kysyntää, ja ovat omien sanojensa mukaan kehittämässä prosessia ja materiaalia niin, että lähitulevaisuudessa suulakepuristettua lasia olisi saatavilla.

Tarkkaa takarajaa kehitystyölle ei pystytty määrittelemään, joten prosessin sovellettavuus käytännössä tuotteiden valmistukseen tulee viemään vielä vuosia. Markkinoille tullessaan on suulakepuristus erittäin potentiaalinen ja kilpailukykyinen prosessi. Suulakepuristuksella valmistettavien profiilien tulo materiaalitoimittajien tuotekirjoon on vain ajan kysymys. Mielestäni olisi järkevää yrityksen suunnalta ryhtyä jo varhaisessa vaiheessa tutkimaan, kuinka esimerkiksi aiemmin käsitelty putkimainen muoto olisi kiillotettavissa, pinnoitettavissa ja printattavissa. Demoaihioita voitaisiin luoda esimerkiksi liittämällä kaksi kuumapuristuksella valmistettua kourumaista kappaletta yhteen.

Kuumataivutus on Firstar Panel -yhtiössä käytössä. Prosessin käytöstä löytyy jo kokemusta ja kuumataivutuksella on myös saavutettu hyviä tuloksia. Haasteellisinta prosessissa on saada tuotteet tasalaatuisiksi sekä aihion paikoittaminen muottiin, jotta kukin tuote olisi taivutettu juuri oikeasta kohdasta. Paikoitusongelmiin on etsitty ratkaisua mm. esikoneistamalla aihioihin ohjaintapeille paikat, jolloin lasi paikoittuu muotissa oikein.

Yritys on tehnyt investointipäätöksen tuotantotehokkaan kuumataivutuslaitteiston hankinnasta. Laitteisto on paljon nykyistä lähinnä prototyyppisarjoja varten hankittua laitteistoa tehokkaampi ja paremmin sopiva massatuotantoon. Tämän tuotantomuodon etuja ovat nopeus ja laiteinvestoinnit eivät ole kovin suuret. Prosessin heikkoutena on muodon rajoittuneisuus: pienet kulmapyöristykset ovat vaikeita toteuttaa, profiili ei voi olla umpinainen eikä profiilin muoto voi myöskään olla kovin syvä. Kustannuksia prosessiin lisäävät muotti-investoinnit. Jokaiselle tuotteelle täytyy valmistuttaa oma muotti ja esimerkiksi yksi hankitusta koneista vaatii yli 30 muottia. Nykyisin käytetyt keraamiset muotit ovat kohtuullisen edullisia, mutta eivät kovin pitkäikäisiä. Metalliset muotit ovat kalliimpia valmistaa, mutta kestävät pitkään. Todennäköisesti kuumataivutus on vain välivaihe lasin muokkaamisessa 3D-muotoon, sillä viimeistään suulakepuristuksen

yleistyminen tulee ohittamaan tämän teknologian kustannustehokkuudessa ja tarkkuudessa.

Kuumapuristusta ei ole lasi-ikkuna toimintasektorilla käytetty juuri ollenkaan. Tämä teknologia tarjoaa mahdollisuudet valmistaa sellaisia lasimuotoja, joihin muut prosessit eivät ole kykeneviä. Esimerkiksi kosketusnäyttölasi-ikkunoissa käytettävä perusmateriaali ei sovellu puhallettavaksi, todennäköistä on, että lähes pullomaiselle tuotteelle tulee olemaan kysyntää. Kuumapuristuksella voidaan valmistaa kappaleita erittäin hyvällä pinnanlaadulla ja tarkkuudella, jolloin jälkityöstö on hyvin vähäistä. Rajoituksena on prosessin tarvitsema laitteisto, jonka kapasiteetti löytämilläni koneilla rajoittuu 150 mm halkaisijaltaan olevaan muotin kokoon. Toisaalta suurin osa nykyisin valmistettavista kappaleista on tätä kokoa pienempiä.

Kuumapuristuksen hintaa nostavat tarvittavat muotit, joilta ko. teknologiassa vaaditaan suuren lämmönkeston lisäksi myös puristuslujuutta. Kuumapuristustekniikkaa on käytetty pitkään linssien valmistuksessa. Tekniikkaan pitäisikin tutustua paremmin lähestymällä linssien valmistajia ja keskustella suurempien kappaleiden valmistettavuudesta ko. teknologialla. Yrityksen kotikaupungissa samalla kampusalueella sijaitsee yritys, jonka päätuotteita ovat linssit ja objektiivit. Kuumapuristustekniikan osalta järkevää olisikin tehdä yhteistyötä yritysten välillä ja etsiä mahdollisia valmistusmenetelmiä linssien valmistuksen saralta.

3D-muotoista lasia voidaan valmistaa myös koneistamalla. Paksusta lasiaihios- ta ryhdytään poistamaan materiaalia eri puolilta, jolloin jäljellä on haluttu muoto. Tämä menetelmä ei ole potentiaalinen etsittäessä valmistustekniikoita massa- tuotantoon kustannustehokkaaseen hintaan, sillä koneistamalla toteutetut lasi- ikkunat ovat hinnaltaan kohtuuttoman kalliita pitkän koneistusajan takia. Lisäksi materiaalihukka on suuri.

6 YHTEENVETO

Lähtökohtana oli vertailla lasin valmistustekniikoita ja löytää kyvykäs ja kustannustehokas tapa tuottaa 3D-lasi-ikkunoita teknologiateollisuuden eri sovelluksiin kulloiseenkin tarpeeseen. Tavoitteena oli myös perehtyä lasiin materiaalina ja yhteistyöyrityksen tapaan valmistaa lasi-ikkunoita. Työ toteutettiin teknologiakartoituksena, jossa vertailtiin yleisimpiä lasin valmistuksessa käytettäviä teknologioita ja selvitettiin markkinoilla olevaa laitekantaa. Työn aikana ei tehty laitevertailua eikä myöskään tuloksena ole hankintaehdotuksia. Teknologiakartoituksessa otettiin huomioon yrityksen nykyinen tilanne ja tapa valmistaa lasia, jotta olemassa oleva laitekanta olisi hyödynnettävissä uusissa prosessivaiheissa. Työ on erillinen tutkimuskokonaisuus, ja tarkoituksena oli tukea yrityksen sisäistä päätöksentekoa 3D-lasin kehitykselle.

Työn suorittamiseen liittyi paljon haasteita. Yksi suurimmista haasteista työn suorittamiselle oli toimialan lyhyt olemassaoloaika. Painettua tai kirjoitettua tietoa lasinäyttöjen valmistuksesta ei juuri ollut saatavilla. Perehtyminen lasinäyttöjen valmistukseen vaati paljon keskustelua yrityksen henkilöstön ja asiakkaiden kanssa. Vierailu yrityksen tuotantopisteessä helpotti suuresti ymmärtämään valmistuksen eri vaiheita ja tarpeellisuutta. Etsittäessä tuoreelle teknologia-alalle uutta valmistustekniikkaa jouduttiin tutkimus aloittamaan käytännössä tyhjästä. Lasi on materiaalina hyvin vanhaa, ja sen muokkaukseen on aikojen saatossa kehitetty useita erilaisia sovelluksia. Tutkimus käynnistyikin selvittämällä muilla teknologiasektoreilla lasin valmistukseen käytettäviä valmistusmenetelmiä ja -laitteistoja ja pohtimalla niiden soveltuvuutta yrityksen valmistamille tuotteille.

Työn tulokset olivat järkeviä, ja kerätyn tiedon perusteella voitiin valita kolme erillistä teknologiaa, jotka olisivat yrityksen toimintastrategian mukaisia ja joihin perehtymiseen olisi kannattavaa sijoittaa resursseja. Potentiaalisia kehityssuuntia 3D-lasin valmistukselle ovat suulakepuristus, kuumataivutus ja kuumapuristus. Jokaisessa teknologiassa on omia vahvuuksiaan ja heikkouksiaan, mutta koska ala on hyvin asiakassidonnainen, määräävät tulevat asiakastarpeet hyvin pitkälti, mikä esitellyistä teknologioista on yrityksen valitsema kehityssuunta.

LÄHTEET

1. Company Presentation. 2011. PowerPoint-diasarja. Xing Xing Firststar Panel Co. Ltd.
2. Levanto, Lauri 2007. Lasin uunisulatus, Turhaa tietoa - Hauska tietää. Saatavissa: <http://lauri.lsd.dk/lasi/turhaa/mitalasion.php>. Hakupäivä 10.1.2012.
3. Levanto, Lauri 2007. Lasin uunisulatus, Lasityypit. Saatavissa: <http://lauri.lsd.dk/lasi/mater/lasityypit.php>. Hakupäivä 11.1.2012.
4. Soda-lime glass. Wikipedia. 2011. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Soda-lime_glass. Hakupäivä 11.1.2012.
5. Lead glass. Wikipedia. 2011. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Lead_glass. Hakupäivä 11.1.2012.
6. Borosilicate glass. Wikipedia. 2011. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Borosilicate_glass. Hakupäivä 11.1.2012.
7. Fused quartz. Wikipedia. 2011. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Fused_quartz. Hakupäivä 11.1.2012.
8. Pihkala, Juhani 2006. Lasinvalmistus. Saatavissa: <http://prosessiteknikka.kpedu.fi/doc-html/lasi.html>. Hakupäivä 20.1.2012.
9. GMP –series. Toshiba machines. 2012. Saatavissa: <http://www.toshiba-machine.co.jp/en/product/nano/lineup/gmp/shiyo.html>. Hakupäivä 5.4.2012.
10. Conturax. Schott. 2012. Saatavissa: http://www.schott.com/tubing/english/special_glass/conturax_pro.html. Hakupäivä 11.2.2012.

11. DIN-ISO 7884-1. 1998. Glass. Viscosity and viscometric fixed points.
Part1: Principles for determining viscosity and viscometric fixed points.
Berlin: Deutsches Institut für Normung.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä: Aki Marttila

Tilaaaja: Zhejiang Firstar Panel Technology Co., Ltd.

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot:

Johnny Pehkonen, Global Marketing Manager

Työn nimi	Puhelimen 3D lasinäytön valmistusmenetelmien kartoitus
Työnkuvaus	<ol style="list-style-type: none">1. Suunitella 3D referssi puhelimen lasi ikkunaan2. Kartoittaa teknologiat valmistukselle<ul style="list-style-type: none">- Valmistettavuus valituilla teknologioilla A ja B- Valmistettavuus kohdat3. Raportointi ja kehityskohteet
Työn tavoitteet	<p>Vertailla ja testata eri teknologioita, jolla puhelimen näytön lasiosa voidaan valmistaa riittävän tarkasti ja kustannustehokkaasti.</p> <p>Arvioida valitun teknologian soveltuvuutta suursarja tuotantoon.</p> <p>Luoda prototyyppi valitulla teknologialla.</p>

Tavoiteaikataulu Työ valmis 31.4.2012