

Kuitumateriaalien käyttö lasinpuhallukseen soveltuvien kipsiseosmuottien valmistuksessa

Heikki Konu

MUO-C3012 - (L01)

Materiaalitutkimus

Muotoilun laitos

Aalto yliopisto

5.4.2016

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena on hankkia tietoa kipsiseokseen lisättävien kuitumateriaalien määrän ja laadun vaikutuksesta lasinpuhallusmuotin ja puhallettavien esineiden tasoon. Kipsiseosmuottien käytöstä lasinpuhalluksessa ei ole julkaistu juurikaan kirjallista tietoa. Tutkittavat kuitumateriaalit ovat paperi, ekovilla ja kuituhamppu. Tutkimuksen on määrä selvittää mikä tutkituista kuitumateriaaleista sopii parhaiten pyörittäen puhallettavan kipsiseosmuotin sidosaineeksi ja missä suhteessa kipsin määrään se tuottaa lasinpuhallukseen parhaiten toimivan muotin.

Menetelminä olivat kipsiseosmuottien valmistus ja niihin pyörittäen puhaltaminen. Kuitumateriaalista ja kipsistä valettiin kolme muottia niin, että ne sisälsivät joko 20 (1 %), 40 (2 %) tai 60 (3 %) grammaa yhtä kuituainetta kerrallaan. Testit suoritettiin niin, että jokaiseen yhdeksästä muotista puhallettiin neljä kertaa järjestyksessä.

Tulokset muodostuvat havainnoista, joita tehdään itse puhallusprosessista, muoteista sekä puhalletuista esineistä ja niiden pinnanlaadusta. Kokonaisuudessaan kuituhamppumuotit olivat suorituskykyisimpiä, kun otetaan huomioon että lasin takertuminen muottiin myös suuremmilla kuitumäärillä oli melko vähäistä ja pinnanlaatu yleisesti hyvä. Paperiseosmuotit olivat lähes yhtä hyviä kaikilla osa-alueilla, mutta niissä kuidun suurempi määrä näkyi selvemmin lasin tarrautumisena muotin pintaan. Ekovillasta valmistetut seosmuotit toimivat lasinpuhalluksessa heikoiten.

Monet tekijät kuten muottien kosteus, höyryreikien määrä, lasin lämpötila ja puhaltajien työskentelytavat vaikuttavat jonkin verran lopputuloksiin. Näiden muuttujien vaikutusta on melko vaikea sulkea täysin pois koeasetelmasta. Kuitumateriaalien lisääminen kipsiseokseen saattaa mahdollisesti lisätä muotin kestävyyttä, mutta vaikeuttaa myös lasin pyörittämistä puhallettaessa. Kuitumateriaalin tyyppillä oli suurempi merkitys puhalluksen onnistumiseen, kuin sen määrällä.

Avainsanat: lasinpuhallus, kipsiseosmuotti, paperi, ekovilla, kuituhamppu

Kiitokset

Ammattiopisto Tavastia, lasialan koulutus

Lasinpuhaltajat Marika Kinnunen ja Manuel Diemer

Sisällys

1 Johdanto	5
2 Lasinpuhallusmuotit ja niiden valmistaminen	5
2.1 Kipsiseosmuotit lasinpuhalluksessa	6
3 Menetelmät	7
3.1 Esitutkimus	8
3.2 Muottivalut	9
3.3. Puhallustestit.....	12
4 Tulokset	13
4.1 Kokemukset lasinpuhalluksesta	13
4.2 Huomiot muoteista	14
4.3 Puhalletuista esineistä saadut tulokset	15
5 Johtopäätökset	17
Lähteet	19
Liitteet	20

1 Johdanto

Kipsi on edullinen ja helposti työstettävä muottimateriaali. Se on erinomainen vaihtoehto etenkin prototyyppien ja pienien sarjojen valmistukseen lasinpuhalluksessa, mutta sen kestävyys ei ole lähelläkään muiden muottimateriaalien tasoa. Kohtasin kipsimuotteihin liittyvät mahdollisuudet ja haasteet keväällä 2015 Muotoilun työprosessit -kurssilla, kun halusin valmistaa suunnittelemani lasikaatimen. Kyseisen esineen puhaltamiseen ei soveltunut puumuotti ja kalliin grafiittimuotin työstöön ei ollut aikaa eikä resursseja. Päädyin valmistamaan opetushenkilökunnan ohjeiden mukaan kipsimuottia, jossa osa kipsistä korvattiin paperilla. Kipsiseosmuotti hajosi muutaman puhalluskerran jälkeen, jolloin syntyi halu selvittää sopiva kuitumateriaali ja seossuhde parhaimman mahdollisen kipsimuotin valmistamiseksi.

Tarve tälle tutkimukselle ilmeni, kun kipsiseosmuottien käytöstä lasinpuhalluksessa ei löytynyt juurikaan kirjallista tietoa. Kipsimuottien valmistus Aalto-yliopiston Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulussa on perustunut opetushenkilökunnan arvioihin muottimateriaalien määrien suhteista. Muottien valmistuksessa yksi kolmasosa kipsin ohjeellisesta määrästä on korvattu paperilla tilavuuden mukaan. Tämän tutkimuksen on määrä selvittää kuitumateriaalien ihanteellinen määrä painon mukaan, jotta jatkossa muottien valmistus olisi helpompaa, niiden laatu parempi ja ohjeet seikkaperäisempiä.

Tutkimuksen tavoitteena on saada tietoa eri kipsiseossuhteiden määrän ja laadun vaikutuksesta lasinpuhallusmuotin ja puhallettavien esineiden laatuun. Tutkittavat kuitumateriaalit ovat paperi, ekovilla ja kuituhamppu. Tarkasteltavina tekijöinä ovat puhaltamisen tuntu tai pyörittämisen helppous kuhunkin muottiin, eri muottien aikaansaama esineiden pinnanlaatu, muottien kestävyys ja yleiset muottien ominaisuudet, jotka vaikuttavat lasinpuhallukseen ja lopputuloksen tasoon. Tutkimusongelma: mikä tutkituista kuitumateriaaleista sopii parhaiten kipsimuotin sidosaineeksi ja missä suhteessa kipsin määrään se tuottaa lasinpuhallukseen parhaiten toimivan muotin?

2 Lasinpuhallusmuotit ja niiden valmistaminen

Lasinpuhallusmuotteja voi valmistaa useista eri materiaaleista. Yleisimmin käytettyjä muottimateriaaleja ovat eri puulajit (esim. leppä ja omenapuu), kipsi, grafiitti sekä metallit kuten teräs, valurauta, alumiini ja messinki (Littleton 1971: 64). Kekäläisen (1992: 38) mukaan muotin valintaan vaikuttavat käytettävissä olevat raaka-aineet ja haluttu lopputulos. Lasinpuhallusmuotit viilennetään usein veden avulla ja kipsiseosmuotit päällystetään grafiittijauheella esineen helpomman muotista irrottamisen takia. Grafiittikäsitteilyä ei tehdä puumuoteille tai muille sarjatuotantoon tarkoitetuille, satoja tai tuhansia puhalluskertoja kestäville muoteille. Muottiin porataan yleensä pieniä reikiä, jotta puhalluksessa syntynyt höyry pääsee poistumaan muotista. Näin paine ei pääse muodostamaan taskuja, jotka saattaisivat aiheuttaa aaltoilua ja vääristymiä lasiesineen pintaan. (Littleton 1971: 64)

Lasinpuhallusmuotit voivat olla tyypiltään pyörittäen puhallettavia tai kiinteitä, niin sanottuja kiinni puhallettavia muotteja. Pyörittäen puhallettavassa muotissa lasia voidaan kiertää ja pyörittää muotissa puhallusprosessin aikana. Lasi painautuu muotoonsa höyrykerrosta vasten, joka muodostuu kuumen lasin ja muotin pinnan välille. Höyry myös suojaa muottia ja esinettä liian nopealta hiiltymiseltä ja parantaa puhalletun kappaleen pinnanlaatua. Pyörittäen puhallettavat muotit valmistetaan yleensä puusta tai grafiitista. Kiinni puhallettavissa muoteissa suojaavaa höyrypatjaa lasin ja muotin välille ei muodostu, joten lasi muodostaa identtisen kopion muotin sisäpuolelta. Tässä tapauksessa lasiesinettä voi joutua työstämään muottiin puhalluksen jälkeen paremman pintalaadun saavuttamiseksi. Myös moniosaisten muottien saumat jäävät usein näkyviin ja vaativat mahdollisesti jälkityöstöä. Kiinni puhallettavat muotit valmistetaan yleensä grafiitista tai teräksestä. (Flygt ym. 2011: 134)

2.1 Kipsiseosmuotit lasinpuhalluksessa

Tässä tutkimuksessa keskitytään pyörittäen puhallettaviin kipsimuotteihin ja tarkastelun kohteena on kipsiseokseen lisättävän kuituaineen vaikutus lasinpuhallusprosessiin ja sen lopputulokseen. Muottia valettaessa kipsin sekaan sekoitetaan yleensä jotain sidosainetta muotin lämpökestävyyden lisäämiseksi ja hajoamisen ehkäisemiseksi (Kekäläinen 1992). Aalto-yliopiston Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulussa kipsin sekaan on viime aikoina sekoitettu keltaista wc-paperia korvaamalla kipsin ohjeellisen määrän tilavuudesta yksi kolmasosa paperilla. Testauksia on tehty myös muilla aineilla kuten ekovillalla, molokiitilla ja lasikuidulla. Yhtenä tämän tutkimuksen tavoitteista on selvittää, onko sidosaineelle olemassa ihanteellista määrää kuivapainona mitattuna ja onko sidosaineen tarkalla määrällä merkitystä puhalluksen tuntumalle ja työstettävän esineen pinnan laadulle.

Kipsiä saadaan louhimalla sedimenttikiveä, jonka sisältämä kipsimineraali hienonnetaan, seulotaan ja kuumennetaan. Kuumennuksessa kipsistä poistuu 75 prosenttia sen sisältämästä dihydraatin kidevedestä. Puoli- eli hemihydraatiksi muuntunut kipsi pyrkii palautumaan aiempaan olomuotoonsa ja reagoi herkästi jopa ilmassa olevan veden kanssa. Kipsi muodostaa kideverkkoa ja jähmettyy, kun se joutuu tekemisiin veden kanssa. Kipsin kidevesi ja hydroitumiskyky häviää, jos sitä lämmitetään yli 160 celsiusasteen. Kyseessä olevan kipsin kalsinoitumisen takia lasimuoteissa poltettu kipsi ei enää reagoi veteen kovettumalla ja muuttuu polton jälkeen hauraammaksi. Kuiva kipsimuotti haurastuu jo yli 42 celsiusasteessa, kun kalsinoituneen kipsin sidoksellisuus rikkoontuu. Saatavilla on myös kovempia kipsilaatuja, kuten hammaslääkärien käyttämä erikoiskipsi. Näitä kipsilaatuja käytettäessä muotista tulisi kovempi ja kestävämpi, mutta ne ovat myös kalliimpia. Keraamikot ja lasitaiteilijat käyttävät yleensä peruskipsiä sen edullisen hinnan takia. (Kekäläinen 1992: 40)

Lasinpuhalluksessa käytettävistä kipsimuoteista ei ole julkaistu kovin paljon kirjallista tietoa. Kekäläinen (1992: 39) kertoo lasin uunivalutekniikoiden yhteydessä käytettävistä kipsiä sisältävistä pâte de verre -muoteista. Kekäläisen esittämistä huomioista on kuitenkin hyötyä

myös lasinpuhallusmuotin valmistuksen suunnittelussa. Kipsin ongelma kuumatyöstössä on sen voimakas kutistuminen noin 300 celsiusasteen (°C) ylityttyä. Kutistuminen on pysyvää ja aiheuttaa kipsiin halkeilua. Halkeiluun vaikuttaa kipsin määrä suhteessa muihin aineisiin. Lundstromin (1989: 45) mukaan kipsi toimii sideaineena, mutta on myös tulenkestävä ainakin alhaisilla lämpötiloilla. Mitä enemmän kipsiä on muiden aineiden joukossa, sitä todennäköisempää on että muotti halkeilee kuumuuden vaikutuksesta. Toisaalta muiden aineiden määrän lisääminen tekee muotista hauraamman. Soveliaan seoksen löytyminen kuhunkin käyttötarkoitukseen on siis hyvin tärkeää. Muotin kovuus riippuu kipsin laadusta ja suhteesta muihin muottiaineisiin sekä vedenmäärästä seoksessa. Muotista tulee sitä kovempi, mitä enemmän kuiva-aineita lisätään veteen. (Kekäläinen 1992: 39)

Lundstrom (1989) esittelee kirjassaan erilaisia vaihtoehtoja lasinsulatukseen tarkoitettujen muottien valmistamiselle. Hän jakaa muoteissa tarvittavat ainesosat kolmeen kategoriaan: sideaineisiin (binders), tulenkestäviin (refractories) ja muuntajiin (modifiers). Lundstromin mukaan sideaineet kuten erilaiset kipsit tai sementit pitävät tulenkestävien ainesosien (esim. piidioksidi, piimaa) hiukkaset koossa. Nämä tulenkestävät aineet sietävät korkeita lämpötiloja muuttamatta muotoaan tai kemiallista koostumustaan. Muuntajia lisätään muottivaluihin kuivumisen nopeuttamiseksi, huokoisuuden lisäämiseksi tai muiden muottimateriaalien paisumisen tai supistumisen absorboimiseksi. Tällaisia aineita voivat olla muun muassa puukuidut, kaoliinisavi tai vermikuliitti. Esimerkiksi puukuidut palavat pois luoden ilma-aukkoja. Nämä aineet usein heikentävät muotin kestävyyttä ja Lundstrom kertookin niiden liiallisen käytön olevan yleisin syy muottien epäonnistumiseen. (Lundstrom 1989: 45–55)

3 Menetelmät

Tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä ovat kipsiseosmuottien valmistus ja niihin pyörittäen puhaltaminen. Ennen varsinaisten puhallusmuottien valmistamista tein esitutkimuksen, jossa selvitin suuntaa-antavasti seoksen aineiden painomäärät, koska asiasta ei löytynyt tietoa. Muotteja valmistettaessa kipsiin sekoitettiin joko paperia, ekovillaa tai kuituhamppua (kuva 1). Käytetty kipsi on Supraduro, joka on erityisesti muottivaluihin soveltuva hemihydraatti kipsi (Formula Saint-Gobain 2016).

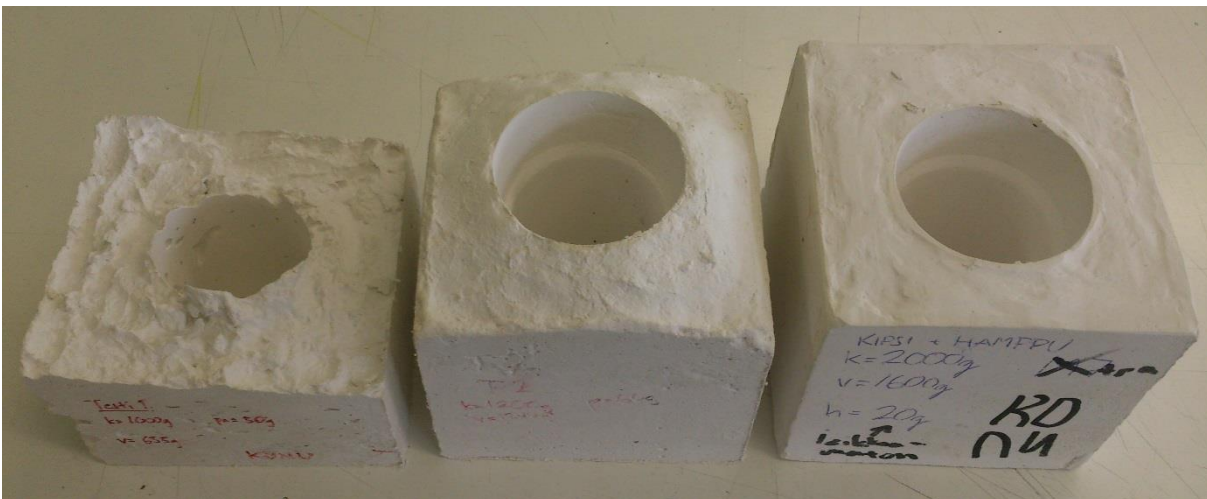
Tässä tutkimuksessa käytettiin normaalia kierrätyskuidusta valmistettua keltaista wc-paperia. Ekovilla taas on kierrätetyistä sanomalehdistä valmistettua puukuitueristettä. Lämmöneristeeksi tehty puukuitu on kuohkeaa ja hierretty pörröiseksi. Se sisältää paljon eristävää ilmaa kuiduissa itsessään sekä kuitujen väleissä. (Ekovilla 2016) Muottivaluihin käytetty kuituhamppu on mekaanisesti avattua ja leikattua luomuhamppua. Tällä tavoin käsitelty hamppu on niin sanottua raakakuitua pehmeämpää ja puhtaampaa. Mekaaninen avaaminen hajottaa kuituryppäät yksittäisiksi kuiduiksi, jotka ovat hyvin kevyitä ja joustavia. (Hamppukauppa 2016)



Kuva 1. Tutkimuksessa hyödynnetyt kuitumateriaalit paperi, ekovilla ja kuituhamppu käsittelemättöminä.

3.1 Esitutkimus

Esitutkimuksen tarkoitus oli siis selvittää suuntaa-antavat kipsin, paperin ja kuitumateriaalin määrät grammoina. Ensimmäisessä testimuotissa (Kuva 2 vasemmalla) oli liian vähän kipsiä (1000 g) ja vettä (635 g) suhteessa tarvittavan muotin kokoon. Seuraava testimuotti oli parempi (Kuvassa 2 keskellä), vaikka kipsiä oli silti vielä liian vähän (1200 g). Kahden testimuotin ja aiempien kokemusten perusteella pystyi arvioimaan, että tämän kokoisen muottiin (tilavuus n. 2,4 l) tarvitaan 2000 grammaa kipsiä ja 1600 grammaa vettä. 60 grammaa paperia seoksessa vaikutti melko runsaalta, mutta vielä mahdolliselta määrältä.



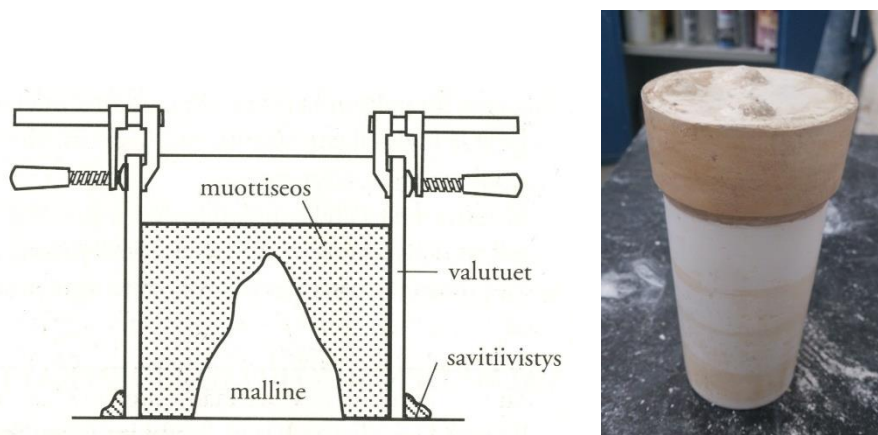
Kuva 2. Esitutkimuksessa valmistetut testimuotit.

Testimuottien ja niiden seosten juoksevuuden ja muiden ominaisuuksien pohjalta muodostui käsitys sopivista kuitumateriaalien määristä. Arvioin, että 20 (1 % käytettävän kipsin määrästä),

40 (2 %) ja 60 (3 %) grammaa voisivat olla hyvät kuitumateriaalin määrät eri muottiseoksissa. Kuvan 2 oikeanpuoleinen testimuotti sisältää leikkaamatonta kuituhamppua. Hampun kuidut olivat kuitenkin liian pitkiä ja takertuivat porakoneen sekoittimeen. Ne muodostivat myös hiustuppomaisia kasautumia muotinvalussa, eivätkä näin ollen jakautuneet kyllin tasaisesti muotin sisälle. Tämän perusteella päätin leikata kuidut varsinaisia puhallusmuotteja varten lyhemmiksi.

3.2 Muottivalut

Kipsiseosmuottien valaminen suoritettiin Kekäläisen (1992: 43–44) ohjeita seuraten. Yksiosainen muotti valmistettiin kuvan 3 mukaisesti mallineen päälle valamalla. Alustalle asetettu kipsimalline käsiteltiin sellakalla ja kipsin erotusaineella, joka koostuu mäntysuovasta ja auringonkukkaöljystä. Käsittelyn vuoksi malline ei takerru kiinni muottiin valun yhteydessä. Valutukina käytettiin riittävän korkeita, vettä imemättömiä, jäykkiä filmivanerilevyjä. Tuet asetettiin halutun muotin koon mukaan kolmen senttimetrin etäisyydelle mallineesta ja kiinnitettiin toisiinsa puristimien avulla. Alustan ja tukien sauma tiivistettiin savella.



Kuva 3. Vasemmalla havainnekuva valetun kipsimuotin tekemiseen (Kekäläinen 1992: 43) ja oikealla valuun käytetty kipsimalline.

Kuitumateriaalit liotettiin vedessä ja suurin osa vedestä puristettiin hellästi pois (kts. taulukko 1) ennen lisäämistä kipsin ja veden muodostaman seoksen joukkoon. Kuituhamppu leikattiin lyhemmiksi noin 2–4 senttimetrin pituisiksi kuiduiksi esitutkimuksessa saatujen kokemusten perusteella ja niiden joukosta poistettiin suurimmat kuvan 4 mukaiset puutikun kaltaiset hampukappaleet. Paperi ja ekovilla sekoitettiin liotuksen yhteydessä porakoneen avulla, jotta kuitumassa olisi mahdollisimman tasalaatuista.

Esitutkimusvaiheessa tehtyyn veden määrän arvioon vaikutti muun muassa veden käyttäytyminen valettaessa. Jos muottiseoksessa on liikaa vettä, muotista tulee liian pehmeä ja seos vuotaa helpommin valutukien välistä. Liian vähäisen veden seurauksena seoksesta tulee paksua, jolloin se ei levity tasaisesti, sisältää helposti enemmän ilmakuplia ja ei vala välttämättä kyllin tarkkaa muottia. Päädyttiin siihen, että sopiva määrä vettä kaikkiin muottiseoksiin on 1600

g ja kipsin määrä 2000 g, jotta eri muottien kuitupitoisuuden vertailu keskenään olisi johdonmukaisempaa.






Kuva 4. Kuituhampun seasta ennen liottamista poistetut suuremmat kappaleet (vas.) ja oikealla hampun leikkaaminen lyhyemmiksi kuiduiksi.

Muottiseoksen valmistuksessa kipsi ripotellaan veteen ja sen annetaan imeytyä muutaman minuutin ajan, kunnes pintavesi on kirkastunut. Seokseen lisättiin liotettu ja melko kuivaksi puristeltu kuitumateriaali. Sen jälkeen massaa sekoitetaan parin minuutin ajan niin, että seos muuttuu paksun kermamaiseksi (kuva 5) ja muotti valetaan. Seos kaadetaan muottitukien sisäpuolelle mallineen päälle ja ilmakuplien poistamiseksi alustaa ravistellaan varovaisesti. Valutuet ja malline poistetaan muotin jäähmetyttyä.



Kuva 5. Muottiseosmassa sekoitetaan porakoneella (vas.) ja puristimilla yhteen kiinnitettyjen valutukien väliin valettu kipsiseosmuotti.

Taulukko 1. Kuituseosmuottien sisältämät kuitumateriaalit, niiden määrät ja suhteelliset osuudet tarvittavaan kipsimäärään nähden. Kuvissa aineet liotettuna ja leikattuna (kuituhamppu).

	Paperi 	Ekovilla 	Kuituhamppu 
20 g (1%)	muotti 1	muotti 4	muotti 7
40 g (2%)	muotti 2	muotti 5	muotti 8
60 g (3%)	muotti 3	muotti 6	muotti 9

Kuitumateriaalien määrät kussakin muotissa voidaan laskea suhteessa ainesosien ohjeellisiin määriin (kts. Liite 1). Esimerkiksi jos muotin tilavuuden perusteella on saatu kipsin ohjeelliseksi määräksi 2400 grammaa, siitä korvataan painon mukaan yksi kuudesosa kuitumateriaalilla. Muottiin tarvittava kipsimäärä on siis ohjeellinen kipsimäärä kertaa $\frac{5}{6}$. Esitutkimuksen perusteella arvioitiin muottiin tarvittava prosenttimäärä kuitua, joka esimerkiksi muotti 1:ssä on 1 %. Kertomalla tarvittava kipsimäärä (2000 g) halutulla kuitupitoisuudella (0,01) saadaan tietää kuitumateriaalin määrä (20 g).

Kaavio 1. Kipsiseosmuottiin tarvittavan kuitumateriaalin määrän laskeminen.

$$\text{ohjeellinen kipsimäärä} \times \frac{5}{6} \times \text{haluttu \%määrä kuitua} = \text{kuitumateriaalin määrä}$$

Kaavio 2. Esimerkki muotti 1:n kuituainemäärän laskemisesta.

$$2400 \text{ g} \times \frac{5}{6} \times 0,01 = 20 \text{ g}$$

3.3. Puhallustestit

Lasinpuhallustestit kipsiseosmuotteihin suorittivat Ammattiopisto Tavastian lasialan koulutuksen puhaltajat Marika Kinnunen ja Manuel Diemer. Testit suoritettiin niin, että kuhunkin yhdeksästä muotista (taulukko 1) puhallettiin neljä kertaa järjestyksessä. Marika Kinnunen suoritti aina kaksi ensimmäistä puhallusta ja Manuel Diemer kaksi jälkimmäistä. Kaikkiaan puhallettuja esineitä kertyi siis 36 kappaletta. Lopuksi Diemer halusi vielä puhaltaa kerran kahteen parhaiksi kokemiinsa muotteihin, selvittääkseen kumpi muoteista oli tuntumaltaan paras.



Kuva 6. Lasinpuhallustestien suorittamista Ammattiopisto Tavastian lasialan koulutuksen tiloissa Nuutajärven lasitehtaan Vanhassa hytissä.

Kuten edellä on mainittu, kipsiseosmuottien pintaan suihkutetaan yleensä grafiittijauhetta lasikappaleen pyörittämisen helpottamiseksi ja tarttumisen ehkäisemiseksi. Näin ei nyt kuitenkaan toimittu, jotta saataisiin mahdollisimman paljon tietoa itse muottien rakenteen vaikutuksesta puhallettavien esineiden laatuun. Myös puhalluksen vaikutus muotin pintaan ja sen palamisen tutkimisesta saadaan tällä tavoin enemmän hyödyllistä tietoa. Muotteihin porattiin reikiä höyryn poistumisen helpottamiseksi ennen puhallusprosessin aloittamista, mutta niitä lisättiin myös tarvittaessa puhallusten välissä.

4 Tulokset

Tulokset muodostuvat havainnoista, joita tehdään itse puhallusprosessista, muoteista sekä puhalletuista esineistä ja niiden pinnanlaadusta.

4.1 Kokemukset lasinpuhalluksesta

Muotteihin puhallettiin siis numerojärjestyksessä, aloittaen kipsipaperiseoksista. Muotti 1 (paperia 20 g) tuntui aluksi puhallettaessa hyvältä, mutta lopussa tarttui helpommin lasiin kiinni sen jäähtyessä. Neljäs puhallus kyseiseen muottiin tuotti parhaimman lasikappaleen, kun esine vietti vähemmän aikaa muotissa, eikä ehtinyt jäähtyä tai takertua kiinni. Muotti 2 tarttui hieman kiinni ensimmäisen ja toisen puhalluksen aikana, minkä jälkeen se kastettiin veteen. Tämän jälkeen muotti toimi paremmin, mutta Diemerin mukaan puhaltajien erilaiset puhallustyylytkin voivat vaikuttaa asiaan. Muotin pinta paloi ja musteni huomattavasti enemmän kuin ensimmäisessä muotissa, mikä johtuu suuremmasta paperimäärästä (40 g) muottiseoksessa. Kinnusen mukaan pinnan palaminen on hyvä seikka, sillä se eristää muottimateriaalin lasista ja pinnasta tulee laadukkaampi. Eniten paperia (60 g) sisältävä muotti 3 oli paperiseosmuoteista vaikeimmin puhallettava. Lasia oli vaikein pyörittää sen sisällä ja se hiilti eniten. Muotin kastelusta huolimatta puhallusprosessi ei helpottunut. Paperia on ilmeisesti tässä muottiseoksessa liian paljon.

Ekovillaa sisältäviin muotteihin puhallettaessa lasin pyörittäminen oli hyvin vaikeaa. Jopa vähiten ekovillaa (20 g) sisältänyt muotti 4 oli haastavampi kuin paperiseosmuotit. Muotit 5 ja 6 olivat suuremman kuitumateriaalimäärän takia yhä haastavampia puhallusominaisuuksiltaan. Lasin pyörittävän muuttaminen enemmän voimaa hyödyntäväksi ja lasin vieminen muottiin viileämpänä helpottivat hieman prosessia, mutta kokonaisuudessaan ekovillamuotit olivat paperimuotteja huonompia puhallustuntuman puolesta. Lisäksi muotti 4 halkesi heti ensimmäisellä puhalluskerrallaan, joten sen sisältämä kuituaineksen määrä saattoi olla liian vähäinen. Toisaalta muotin kosteus ja esimerkiksi lasin lämpötila voivat vaikuttaa myös asiaan.

Ensimmäiset kommentit kuituhamppua sisältävästä muotti 7:stä olivat, että se toimii huomattavasti paremmin kuin ekovillamuotit. Diemerin mielestä lasi pyörii parhaiten kaikista muoteista tähän asti, eikä muotti ole tahmean tuntuinen, ja se sopii hyvin ainakin hänen puhallustyyliilleen. Kinnusen mukaan muotti 8 toimi vielä paremmin kuin edellinen, Diemerin mielestä kyseinen muotti oli tahmeampi. Tämä kuvastaa hyvin myös puhaltajien ja heidän puhallustapojensa eroavaisuuksia, jotka luonnollisesti vaikuttavat itse prosessiin ja sen lopputuloksiin. Puhaltajat eivät kokeneet, että eri kuitupitoisuuksia omaavilla hampuseosmuoteilla olisi ollut kovin huomattavaa eroa keskenään. Kinnunen toteaa muotin 9 kohdalla, että kun lasi pyörii paremmin muotissa, kipsiäkin irtoaa kappaleen yläosaan vähemmän ja pinnan laatu on parempi.

Testien jälkeen puhaltajat totesivat, että vaikeimmin puhallettavat ja pyöritettävät muotit olivat ne, jotka sisältävät ekovillaa. Kuituhamppua sisältävät muotit olivat kaiken kaikkiaan parhaiten toimivia puhallusprosessissa. Eri muottien välillä oli todennäköisesti kosteuseroja, kun ne olivat valmistuneet eri aikaan ja näin ollen myös osa niistä oli saanut kuivua kauemmin kuin muut. Puhaltajat arvelevat tämän vaikuttavan jonkin verran muiden tekijöiden ohella lasin pyörittämisen helppouteen. Diemer halusi vielä puhaltaa kahteen parhaaksi kokemaansa muottiin. Nämä olivat muotit 2 (paperi 40 g) ja 7 (kuituhamppu 20 g). Näiden lisäpuhallusten perusteella vaikutti siltä, että muotit ovat aikalailla yhtä hyviä tuntumaltaan. Tällä kertaa muotti 2 tuntui pyörivän ehkä hivenen helpommin.

4.2 Huomiot muoteista

Lasinpuhalluskokeiden jälkeen kipsiseosmuoteista voi saada hyödyllistä tietoa niiden kunnon ja pinnan palamisen perusteella. Paperia sisältäneissä muoteissa (kuva 7) ja niiden lasia koskettaneiden pintojen palamisessa näkyy selviä eroja. Vähiten paperia sisältävän muotti 1:n pinta ei ole hiiltynyt yhtä paljon kuin muiden paperiseosmuottien. Muotti 2 on hiiltynyt tasaisimmin, muotin 3 pinnassa taas näkyy epätasaisempi palaminen, mikä johtuu todennäköisesti suuremmasta kuitupitoisuudesta ja sen aiheuttamasta kuitujen pakkautumisesta tiettyihin kohtiin muottia.



Kuva 7. Paperikipsiseosmuotit puhallustestien jälkeen.

Ekovillaa sisältävissä muoteissa (kuva 8) on nähtävissä palamisen suhteen samankaltainen trendi kuin edellisissä muoteissa. Tosin näissä eniten ekovillakuitua sisältävä muotti 6 näyttää hiiltyneen suhteellisesti enemmän kuin muut. Muottiin 4 ilmestyi halkeama heti ensimmäisessä puhalluskokeessa. Paperimuoteissa hiiltymisen jäljet olivat tasaisempia kuin ekovillaa sisältävissä, joissa palojäljet ovat pistemäisiä.



Kuva 8. Ekovillaa sisältäneissä muoteissa on nähtävissä pillkukkaita hiiltymisjälkiä.

Hamppuseosmuoteissa (kuva 9) hiiltyneet kuidut erottuvat viivamaisina jälkinä muotin pinnassa. Eniten hiiltymistä näkyy hieman yllättäen muotissa 8, eikä eniten kuitua sisältävässä muotissa 9. Tosin tämä voi johtua siitä, että muottiin 8 puhallettiin yhden kerran enemmän. Kuituhamppu näyttää kestäväen puhalluksen hyvin suuremmallakin pitoisuudella, kun muotti 9 on hiiltynyt todella vähän verrattuna muihin 60 grammaa kuitua sisältäviin muotteihin. Kokonaisuudessaan kuituhamppumuotit näyttävät hiiltyneen puhalluskokeissa vähiten, tosin palamisjäljet ovat epätasaisempia kuin paperiseoksissa.



Kuva 9. Kuituhamppumuotit hiiltyivät vähiten käytetyistä muoteista.

4.3 Puhalletuista esineistä saadut tulokset

Eri kipsiseosmuotteihin puhalletuissa juomalaseissa on havaittavissa jonkin verran eroavaisuuksia. Lasiesineiden kohdalla havainnoinnin kohteena ovat niiden pinnanlaatu ja tasaisuus, kipsijäämien määrä ja levennyskohdan terävyyden jäljentyminen esineen muotoon. Alla oleviin kuviin on valikoitunut kullekin muotille laadultaan tyypillisiä esineitä, joita

puhalluksen seurauksena on syntynyt. Kuvissa olevien lasien numeroissa ensimmäinen kertoo muotin numeron ja pisteen jälkeinen monesko puhallus on kyseessä.



Kuva 10. Esimerkkejä paperikipsimuotteihin puhalletuista juomalaseista.

Paperiseosmuotteihin puhallettujen lasien alaosassa näkyy selvästi jonkin verran aaltoilua, mikä selittyy höyryreikien liian vähäisellä määrällä. Seuraaviin muotteihin porattiin lisää reikiä, joten kyseistä ongelmaa ei niissä enää esiinny. Kohta, jossa muotti muuttuu terävästi leveämmäksi, on jäljentynyt vaihtelevasti paperiseosmuotteihin puhallettuihin laseihin. Joissakin lasissa (esim. kuvassa 10 oleva lasi 3.3) kulma on melko terävä, kun taas joissain (esim. 2.4) kulma on jäänyt hyvin loivaksi. Esineessä 1.1 on nähtävissä todella mielenkiintoisia lasin takertumisen aiheuttamia kiertymisjälkiä. Eniten kipsijäämiä oli muotti 3:een puhalletuissa lasissa. Sama muotti oli myös lasinpuhalluskokeissa tahmaisimman tuntuinen lasia pyöritettäessä, mikä kertoo kipsin tarttumisesta esineen pintaan.



Kuva 11. Muutama ekovillaseosmuottiin puhallettu lasiesine.

Ekovillaa sisältävät muotit olivat tahmeimpia lasinpuhallusprosessissa ja se näkyy myös niihin puhallettujen lasien pinnasta (kuva 11). Näissä esineissä on selvästi eniten kipsin takertumisen jättämiä rantuja ja useissa esineissä levennyksen muoto ei ole lainkaan terävä. Eniten jälkiä oli muottiin 5 puhalletuissa esineissä.



Kuva 12. Kuituhamppumuotteihin puhallettuja esineitä.

Kuituhamppumuotteihin puhalletuissa esineissä levennyksen terävyys on näkyvissä parhaiten. Joidenkin esineiden pinnassa (kuvassa 12 lasi 8.4) näkyy tietynlaista epätasaisuutta, mitkä saattavat olla hampukuitujen jättämiä jälkiä. Tosin tätä ilmiötä ei esiinny kaikissa laseissa. Muottiin 8 puhalletuissa laseissa oli eniten kipsijäämiä. Yleisesti näyttää siltä, että mitä enemmän muotissa on kuitumateriaalia, sitä enemmän muotti tahmaa ja sitä enemmän lasiesineeseen jää kipsin aiheuttamia jälkiä. Tämä pätee kaikissa muottiseoksissa, mutta kuituhampua sisältävissä kipsin takertuminen on vähäisempää suuremmilla kuitumäärilläkin.

5 Johtopäätökset

Lasinpuhalluskokeet sekä muottien ja lasiesineiden havainnoinnin kautta saadut tutkimustulokset osoittavat, että ekovillasta valmistetut seosmuotit toimivat lasinpuhalluksessa heikoiten. Ne olivat pyörittäen puhallettaessa tahmeita ja niihin puhallettujen esineiden laatu oli huonoin. Kokonaisuudessaan kuituhamppumuotit olivat suorituskykyisimpiä, kun otetaan huomioon että lasin takertuminen muottiin suuremmilla kuitumäärillä oli melko vähäistä ja pinnanlaatu yleisesti hyvä. Tosin paperiseosmuotit olivat lähes yhtä hyviä kaikilla osa-alueilla, mutta niissä kuidun suurempi määrä näkyi selvemmin lasin takertumisena muotin pintaan. Monet tekijät kuten muottien kosteus, höyryreikien määrä, lasin lämpötila ja puhaltajien työskentelytavat vaikuttavat jonkin verran lopputuloksiin. Näiden muuttujien vaikutusta on melko vaikea sulkea täysin pois koeasetelmasta. Vaikka ekovilla ei vaikuttanut parhaalta

mahdolliselta pyörittäen puhallettavien muottien raaka-aineelta, tämä tutkimus ei sulje pois sen käyttöä esimerkiksi kiinni puhallettavien muottien ainesosana.

Kuitumateriaalien lisääminen kipsiseokseen saattaa mahdollisesti lisätä muotin kestävyyttä, mutta vaikeuttaa myös lasin pyörittämistä puhallettaessa. Tämä tuli ilmi erityisesti ekovillaseosmuottien kohdalla, kun vähiten kuitumateriaalia sisältänyt muotti halkesi hieman puhallusprosessissa. Myös muiden kuitumateriaalien kohdalla oli huomattavissa samankaltaisia piirteitä, kun lasin takertuminen muottiin lisääntyi kuitupitoisuuden kasvaessa. Kuitumateriaalin tyyppillä oli kuitenkin suurempi merkitys puhalluksen onnistumiseen, kuin sen määrällä. Mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe olisikin kokeilla, kuinka monta puhalluskertaa erityyppiset muotit kestävät. Etenkin kuituhamppumuottien kestävyuden tutkiminen kiinnostaisi, koska hamppu vaikutti lupaavalta uudelta muottimateriaalilta.

Lundstromin esittelemät ohjeet lasinsulatusmuottien valmistamiselle nostivat esille yhden mahdollisen jatkotutkimuksen aiheen. Hän toi esille kolme ainesosakategoriaa, joita kyseisten muottien valmistuksessa tulisi hyödyntää. Tämän tutkimuksen muoteissa käytettiin sideainetta (kipsi) ja muuntajaa (kuitumateriaali), muttei tulenkestävää ainetta (esim. molokiitti, hiekka, piidioksidi). Olisikin mahdollisesti hyödyllistä tutkia näiden kaikkien kolmen eri ainestyyppin käyttöä kipsiseosmuoteissa yhtä aikaa, koska ainakin lasinsulatuksessa niiden kemialliset ja tulenkesto-ominaisuudet tukevat toisiaan. Toisaalta ei ole varmaa toimivatko samanlaiset ominaisuudet näille eri tarkoituksiin hyödynnettävillä muoteilla, kun tulenkestävät aineet saattavat lisätä lasin takertumista muottiin.

Lasin muottiin takertumisen ja kiertymisen hyödyntäminen ja tämän ”virheen” käyttö suunnittelussa on mielestäni asia, jota kannattaisi myös tutkia. Ensimmäiseen paperiseosmuottiin puhalletussa (esine 1.1) tämä ilmiö näkyy parhaiten. Olisi mahdollista esimerkiksi valaa muotit kerroksittain siten, että lasi takertuisi enemmän kiinni osaan kerroksista. Tällöin lasi voisi kiertyä ja muodostaa uusia mielenkiintoisia muotoja. Tätä tehokeinoa voisi käyttää hyväksi valaisimien suunnittelussa tai muissa ainutlaatuisten lasiesineiden valmistuksessa.

Lähteet

- Ekovilla. (2016). *Hyvän elämän eristeratkaisut*. 2.4.2016.
<http://www.ekovilla.com/fileadmin/user_upload/dokumentit/Ekovilla_yleisesite0615-web.pdf>
- Flygt, E., Falk, T., Fredriksson, H., Holmer, G., Johansson, L.G., Lang, M. & Sundberg P. (2011). *An Introduction to Glass: Craft, Technology and Art*. 3rd ed. Glafo, Växjö.
- Formula Saint-Gobain. (2016). *Plaster, Supraduro*. 1.4.2016.
<<http://www.saintgobainformula.com/Products/Plaster/Supraduro>>
- Hamppukauppa. (2016). *Hamppukuitu käsitöihin ja askarteluun*. 2.4.2016.
<<http://www.hamppukauppa.fi/product/14/hamppukuitu-kasitoihin-10-litraa>>
- Kekäläinen, P. (1992). *Esineitä lasimurskasta. Pâte de verre -lasinvalmistustekniikka*. Valtion painatuskeskus, Helsinki.
- Littleton, H. K. (1971). *Glassblowing: a search for form*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Lundstrom, B. (1989). *Glass Casting and Moldmaking. Glass Fusing Book Three*. Vitreous Publications.

Liitteet

Liite 1. Kipsimuotin valmistuksen ohjeelliset ainemäärät

PLASTER WATER	
KIPSIÄ	VETTÄ
100	66,667
200	133,33
● 300	200
400	266,67
500	333,33
● 600	400
700	466,67
800	533,33
● 900	600
1000	666,67
1100	733,33
● 1200	800
1300	866,67
1400	933,33
● 1500	1000
1600	1066,7
1700	1133,3
● 1800	1200
1900	1266,7
2000	1333,3
● 2100	1400
2200	1466,7
2300	1533,3
● 2400	1600
2500	1666,7
2600	1733,3
● 2700	1800
2800	1866,7
2900	1933,3
● 3000	2000
3100	2066,7
3200	2133,3
● 3300	2200
3400	2266,7
3500	2333,3
● 3600	2400
3700	2466,7
3800	2533,3
● 3900	2600

Handwritten notes on the paper include "450 →" next to the 400/266,67 row, a small drawing of a plaster mold, and the vertical text "Kipsi muotti" written next to the drawing.