

## Rifolasi – innovaatioita kierrätyslasista



**Mirja Niemelä (toim.)**

# **Rifolasi – innovaatioita kierrätyslasista**

**Mirja Niemelä (toim.)**

**Hämeen ammattikorkeakoulu**

Rifolasi – innovaatioita kierrätyslasista

Mirja Niemelä (toim.)

painettu

ISBN 978-951-784-664-6

ISSN 1795-4231

HAMKin julkaisuja 8/2014

e-julkaisu

ISBN 978-951-784-665-3 (PDF)

ISSN 1795-424X

HAMKin e-julkaisuja 15/2014

© Hämeen ammattikorkeakoulu ja kirjoittajat

**JULKAISIJA – PUBLISHER**

Hämeen ammattikorkeakoulu

PL 230

13101 HÄMEENLINNA

puh. (03) 6461

julkaisut@hamk.fi

www.hamk.fi/julkaisut

Ulkoasu: HAMK Julkaisut

Taitto: Marjo Kilgast

Kannen kuva: Marjo Kilgast

Painopaikka: Tammerprint Oy, Tampere

Hämeenlinna, toukokuu 2014

# Sisällys

<b>Sisällys</b> .....	<b>3</b>
Mirja Niemelä	
<b>Johdanto</b> .....	<b>7</b>
Rifolasi-projektin kolme kehityslinjaa .....	8
Lasijauhe ja -murska materiaalina Rifolasi-projektissa .....	10
Lasijauhetta ja vahtolasia Uusioaines Oy:ltä .....	12
Kestävä elinkaariajattelu .....	13
Kestävä kehitys .....	13
Kestävä elinkaariajattelu – Elinkaarikartta .....	16
Lähteet	
Erkki Kaija ja Jari Vesterinen	
<b>Kierrätyslasi keraamisten tiilien ja laattojen valmistuksessa</b> .....	<b>23</b>
Kierrätyslasi keramiikan raaka-aineena .....	23
Rifolasi -hankkeen tutkimukset.....	26
Lasijauheen vaikutus poltetun tiilen ominaisuuksiin .....	27
Lasijauheen vaikutus muodonantoon suulakepuristuksessa ..	34
Vahtolasijauhe tiilimassassa .....	37
Lasijauhe kivitavaramassassa .....	40
Lasijauhe punasavivalumassassa .....	43
Yhteenveto .....	45
Lähteet	
Mirja Niemelä	
<b>Kierrätyslasi jauheen käyttö engobessa, lasitteessa ja reliefikoristeessa</b> .....	<b>51</b>
Tutkimuksen lähtökohdat .....	51
Engobe-kokeet lasijauheella.....	52
Engobe eli värjätty saviliete .....	52
Engobe-koesarjat.....	53
Ensimmäinen engobe-koesarja .....	54
Toinen engobe-koesarja .....	56
Kolmas engobe-koesarja ja koetuotteet .....	58
Lasitekokeet lasijauheella .....	60
Lasitekokeet .....	62
Lasitekokeiden tulokset .....	63
Reliefilaatan koristelu ja pinnoitus lasijauheella .....	65

Reliefikokeet lasijauheella .....	67
Ensimmäiset koelaatat – koelaatta 1 .....	69
Malliseinä 1 .....	71
Pakkasenkestävyys ja vedenimukyky.....	73
Malliseinä 2 .....	74
Kestävä elinkaariajattelu malliseinämän 1 laatalle .....	76
Yhteenveto.....	79
Lähteet	

Jari Vesterinen

<b>Vaahtolasi – kierrätyslasista rakennustuotteeksi.....</b>	<b>83</b>
Vaahtolasin ominaisuudet ja käyttökohteet .....	84
Vaahtolasin valmistus.....	87
Vaahtolasin ympäristövaikutukset.....	90
Rifolasi-hankkeen vaahtolasitutkimukset .....	91
Tavoitteet ja menetelmät .....	91
Vaahtolasin valmistaminen verstaasympäristössä .....	93
Vaahdotusagentit .....	96
Vaahtolasilaatat ja -elementit.....	100
Vaahtolasin värjääminen.....	104
Tuoteaihioiden ideoiminen ja mallintaminen.....	109
Elinkaarimallinnus .....	112
Yhteenveto.....	112
Lähteet	

Auli Rautainen

<b>Kierrätyslasimurskasta tuoteaihioksi.....</b>	<b>121</b>
Yhteistyökumppanina Envor Group Oy .....	121
Hankkeen lasimurska-osio .....	121
Lasimurskan käytön haasteita ja mahdollisuuksia.....	123
Materiaalikoheet .....	124
Lasimurskakokeet 2010 .....	124
Sulatuskokeet 2011 .....	126
Hartsikokeet .....	128
Biohartsikokeet .....	130
Tuotteiden ideointia .....	134
Elementti saunatilaan .....	134
Meluste .....	134
Väliseinä/sermi .....	135
Betoniporsaat ja betoniset puistokalusteet.....	136
Betoniset ulkovalaisimet .....	136
Betoniteos .....	138
Elinkaarimallinnus .....	142
Yhteenveto .....	142
Lähteet	



Mirja Niemelä

## Johdanto

Rifolasi-projekti (Riihimäki-Forssa-lasiprojekti) on ollut Hämeen ammattikorkeakoulun (HAMK) muotoilun koulutusohjelman Wetterhofin toteuttama Etelä-Suomen EAKR-ohjelman hanke Kanta-Hämeessä Riihimäen ja Forssan alueella. Hanke on toteutettu ajalla 1.5.2010–31.5.2014, ja se on kuulunut Innovaatiotoiminnan ja verkostoitumisen edistäminen sekä osaamisrakenteiden vahvistaminen -toimintalinjaan. Hankkeen aiheena on ollut lasijalostamisen edistäminen, kierrätyslasi-materiaalin hyödyntäminen ja kierrätyslasi-jalosteiden innovoiminen rakennettuun ympäristöön, rakentamiseen sekä maanrakennusteollisuuden käyttöön lasi- ja keramiikka-alan näkökulmista.

Rifolasi-projektin päätavoitteena on ollut rakennettuun ympäristöön tulevien lasijalosteiden innovoiminen ja tuotekehittäminen hyödyntämällä kierrätyslasiä kuten lasimurskaa ja -jauhetta. Projektin toisena tavoitteena on ollut yhteistyön kehittäminen Riihimäen ja Forssan alueella lasin kierrätys- ja uusioraaka-ainetuotantoa harjoittavien yritysten ja Hämeen ammattikorkeakoulun lasi- ja keramiikka-alan koulutuksen välillä. Kolmantena tavoitteena on yritysten tuotannon ja tuotekehitysvalmiuksien kehittäminen uusien jalosteiden tuottamiseen sekä jalosteinnovaatioiden sijoittaminen rakennettuun ympäristöön. Koekohteena jalosteinnovaatioille toimii HAMKin Hämeenlinnan Visamäen kampus.

Projektin tavoitteena on ollut myös lisätä kestävästä muotoilusta osaamista lasijalosteiden kehittämisessä. Kestävässä muotoilussa tuotteen ja sen materiaalin elinkaarta tarkastellaan vaihe vaiheelta ekologisen, sosiaalisen, taloudellisen, kulttuurisen sekä esteettisen näkökulman perusteella. Tätä tarkastelua tehdään muun muassa kestäväällä elinkaariajattelun menetelmällä (ks. luku Kestävä elinkaariajattelu).

Lasin käyttäminen materiaalina tuo etuja keramiikka- ja lasituotteiden valmistukseen. Kierrätyslasiä hyödynnetään Suomessa muun muassa vaahtolasi- ja lasivillatuotannossa, mutta se sopii myös muunlaisiin tuotteisiin kuten melurakenteisiin, tilanjakajiin, betonituotteisiin kuten penkkeihin, keramiikkaan, tiiliin tai laattoihin. Lasin käyttö tuotantoprosessissa vähentää energian tarvetta, kun se laskee esimerkiksi keraamisen polttoprosessin lämpötilaa. Se toimii myös sulattajana ja korvaa

näin jalostettuja sulatemateriaaleja. Lasi on myös potentiaalinen materiaali muotoilutyön lähtökohdaksi.

### Rifolasi-projektin kolme kehityslinjaa

Hankkeen aikana aloitettiin Rifolasi-projektissa kolme tutkimus- ja kehittämissinjaa, jotka olivat lasijauhe-, lasimurska- ja vaahtolasiosiot. Jokaisessa näissä kehitettiin lasijauheesta tai -murskasta tuotteita tai jalosteita. Yhteistyöyrityksinä hankkeessa ovat olleet muun muassa Uusioaines Oy, Envor Group Oy ja Wienerberger Oy. Projektissa on työskennellyt osa-aikaisesti HAMKin muotoilun koulutusohjelman henkilökuntaa sekä opiskelijoita. Neljän vuoden aikana on hankkeessa tehty noin viisi työvuotta. Projektipäällikkönä on toiminut yliopettaja Mirja Niemelä ja projektiassistenttina Marjo Kilgast, joka on myös toiminut projektissa valokuvaajana. Asiantuntijoina ja osioiden vastaavina hankkeessa ovat työskennelleet Jari Vesterinen, Erkki Kaija ja Auli Rautiainen sekä Annikki Rosberg (projektipäällikkö 5/2010 - 7/2011). Myös opiskelijat ovat tehneet hankkeelle työharjoitteluita, opinnäytetöitä sekä eri opintojaksoilla selvitystöitä ja materiaalikokeita.

Lasijauheosio jakautui kahteen osaan: tiilimassa- sekä engobe-, lasite- ja reliefilaattaosaan. Tiilimassaosassa selvitettiin lasijauheen vaikutusta muun muassa laatta- ja tiilimassoihin (kuva 1). Yritysyhteistyötahona oli Wienerberger Oy ja yrityksen Lappilan tiilitehdas, jonka punaiseen ja vaahtoleaan tiilimassaan lasijauhetta testattiin. Osasta vastasi keramiikan opettaja Erkki Kaija. Tiilimassaosassa toteutettiin materiaalikokeita muun muassa lisäämällä lasijauhetta eri määriä Wienerberger Oy:n Lappilan tiilitehtaan tiilimassoihin, polttamalla kokeita eri lämpötiloihin sekä tekemällä koesarjoille pakkasenkesto- ja vedenimukykytestit. Tulosten perusteella jatkettiin tiilimassan kehittämistä tavoitteena korvata osa tiilimassan raaka-aineista lasijauheella. *Kierrätyslasi keraamisten tiilien ja laattojen raaka-aineena* -luvussa on kuvattu osan vaiheet ja tulokset. Lasijauheen käyttö tiilimassassa tuo etuja muun muassa alentamalla polttolämpötilaa, ja vähentäen siten energian kulutusta. Se toimii myös sulattajana ja tiivistää tiilimassan rakennetta. Haasteena tiilimassakokeissa oli plastsisuuden väheneminen ja sen vaikutus suulakepuristamiseen.





Kuva 1. Kierrätyslasijauhetta.

Engobe-, lasite ja reliefilaattaosassa selvitettiin lasijauheen vaikutusta keramiikkatuotteiden pinnoissa ja koristelussa käytettäviin lasitteisiin ja engobeihin. Osaan kuuluu myös keraamisen laattatuotteen reliefipinnan koristelu lasilla. Osasta vastasi yliopettaja Mirja Niemelä. *Kierrätyslasi- jauheen käyttö engobessa, lasitteessa ja reliefikoristeessa -luvussa* selvitetään tarkemmin tehdyt kokeet, prosessi ja tulokset. Engobe-kokeissa käytettiin lasijauhetta yhdessä keraamisten pigmenttien kanssa. Engobe-kokeet osoittivat, että 60 prosentin lasijauhemäärällä saadaan engobesta lasitemainen pinta tuotteeseen. Engobe-kokeiden tuloksia havainnollistettiin koelaitteilla. Lasijauheen lisääminen teki engobesta lasitemaisen, mikä mahdollistaa tuotteen engobe-koistelu kertapoltolla. Tällöin säästyy energiaa ja vältetään tuotteen lasituspolton vaatimat työvaiheet. Lasijauhe tuo näin ekologista näkökulmaa tuotteeseen.

Reliefiosassa käytettiin lasijauhetta keraamisen laatan pinnassa korvaamaan lasitepintaa sekä korostamaan reliefikoristeen muotoa. Ratkaisu on esteettinen ja tuo laatalle lisäarvoa lasin heijastaessa värejä ja valoa. Tavoitteena oli käyttää lasijauhetta niin, että se toistaa reliefikuvion muodostaen toimivan pinnan laattaan. Reliefikokeiden tuloksena suunniteltiin ja valmistettiin kaksi malliseinämää osiossa kehitetyistä laatoista, toinen Riihimäelle vanhalla lasitehtaalalla ja toinen Visamäkeen HAMKin kampukselle.

Lasimurskaosiossa selvitettiin laminoidun lasimurskan höytykäyttöä. Yhteistyöyrityksenä toimi Envor Group Oy. Osioista vastasi lasin lehtori Auli Rautiainen. *Kierrätyslasimurskasta tuoteaihioksi -luvussa* on kuvattu tarkemmin osion vaiheet ja kokeet. Lasimurskaa testattiin sulattamalla sitä lasiuunissa ja valamalla sitä hartsiin. Haasteena lasimurskamateriaalissa ovat sen sisältämät muovipitoiset epäpuhtaudet, jotka estävät tyyppillisen kierrättämisen. Hartsimateriaaleista on tutkittu muun muassa ekologisen biohartsin käyttömahdollisuutta ja sen soveltuvuutta lasimuotoiluun. Osion tuloksena tehtiin betoniteos, johon on valettu erilaisia hartsijä ja uunivalu-kappaleita.

Vaahtolasiosiossa selvitettiin yritysyhteistyössä Uusioaineuksen kanssa vaahtolasin vaahdottamista ja uusia kohteita vaahtolasin käytölle. Vaahtolasi osasta vastasi keramiikan opettaja Jari Vesterinen. *Vaahtolasi - kierrätyslasista rakennustuotteeksi -luvussa* kuvataan tarkemmin osan prosessi ja kokeet sekä tulokset. Vaahtolasi on puhdistetusta kierrätyslasista valmistettu kevytkiviaines. Kiinnostavaa oli esimerkiksi vaahtolasin keveys ja värjättävyys sekä näiden näkökulmien käyttö muotoilutyössä. Vaahtolasia on myös vaahdotettu uunissa reliefipintaa vasten. Ajatuksena oli kehittää ja muotoilla keveitä akustisia paloturvallisia elementtejä. Vaahtolasi osion tuloksia tullaan hyödyntämään hankkeen aikana perustetussa Studio Aba Luostarinen -yrityksessä.

Projektin yhtenä tuloksena toteutettiin kevään 2014 aikana malliseinämiä ja -tuotteita. Ne asennettiin Hämeen ammattikorkeakoulun kampukselle Visamäkeen Hämeenlinnaan. Projektin päättyessä tulee osaaminen näkyväksi HAMK:n lasi- ja keramiikka-alankoulutuksessa moniulotteisesti. Projekti on syventänyt koulutuksen osaamista lasimateriaaliin ja rakentamiseen liittyen, jolloin hyötyjinä tulevat olemaan alan opettajat, opiskelijat sekä yrittäjät että yritykset.

## Lasijauhe ja -murska materiaalina Rifolasi-projektissa

Yksi Rifolasi-hankkeen tärkeä tekijä oli materiaali eli kierrätyslasi ja siitä jalostettu lasijauhe ja jalostamaton lasimurska. Lasia voidaan käytännöllisesti katsoen kierrättää ikuisesti, jos se on puhdasta. Epäpuhtaanaakin lasi soveltuu kierrätykseen, mutta vaatii puhdistamista tai oikean kohteen materiaalille. Karkeasti arvioituna Suomessa jää kierrättämättä lasia noin 43 000 tonnia vuosittain (Ritola ja Sares 2008, 21), ja vuoden 2007 tilaston mukaan noin 61 prosenttia lasista kierrätetään Suomessa (Uusioaine Oy A n.d.).

Kierrätyslasista valmistetaan lasivillaa eristysmateriaaliksi, lasipulloja ja -pakkauksia, tasolasia ja vaahtolasia. Uusioaineuksen mukaan lasisirun

käyttö lasituotteiden tuotannossa vähentää energiantarvetta, hiilidioksidipäästöjä, uusien, neitseellisten raaka-aineiden tarvetta ja kaatopaikkakuormitusta. Jokainen tonni lasia, jonka raaka-aineista puolet on kierrätyslasia, vaatii noin 300 kWh vähemmän energiaa kuin valmistus neitseellisistä raaka-aineista. Kun lasisirua käytetään lasituotteiden valmistuksessa 10 % enemmän, vähentää se energiankulutusta noin 5 %. Käytettäessä ainoastaan neitseellisiä materiaaleja, yhden lasitonnin valmistamisesta aiheutuu noin 315 kg hiilidioksidipäästöjä ( $\text{CO}_2$ ). Koska lasisiru ei sisällä karbonaattiyhdisteitä, raaka-aineista syntyvät  $\text{CO}_2$ -päästöt vähenevät prosessissa huomattavasti. Lisäksi jokainen tonni lasisirua vähentää neitseellisten raaka-aineiden tarvetta yli 1,2 tonnia. (Uusioaines Oy B n.d.)

Koska kierrätyslasi sisältää epäpuhtauksia tulee se puhdistaa ennen lasijauheeksi jalostamista. Haasteena kierrätyslasin puhdistamisessa ovat ei toivotut lasi-, metalli- ja keramiikkajäämät (posliini, kivitavara, savitavara), keraaminen lasi, opaalilasi, hehkulamput, kristalli, palonsuojalasi, tulenkestävä lasi ja kivet. Keraamiset lasit ovat borosilikaattilasia. Keraamista lasia ovat muun muassa keraamiset liesitasot, uuniluukkujen sisätilat ja takkaluukkujen lasit. Ne kestävät erinomaisesti lämpötilan vaihteluita ja ovat lisäksi sekä mekaanisesti että kemiallisesti kestäviä. Täten borosilikaattilasi ei myöskään sula lasisirun uudelleenkäyttäjien uuneissa kuten tavallinen soodakalkkilasi. (Uusioaines Oy C n.d.; Suomen tasolasiyhdistys Ry 2014)

Lasijauhe ja -siru valmistettuna natronkalkkilasista ovat pääosin samantyyppisiä kemialliselta analyysiltään alkuperämaasta riippumatta. Ritola ja Saresin mukaan alkalikalkkilasin, ns. natronkalkki- eli soodalasin pääkomponentit ovat seuraavat (2008, 40-41):

- kvartsihiekkä (piidioksidi) noin 75 %
- sooda (natriumkarbonaatti,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) n. 15 %
- kalkkikivi (kalsiumkarbonaatti,  $\text{CaCO}_3$ ) n. 10 %.

Näiden lisäksi lasi sisältää myös pieniä määriä kalium-, magnesium- ja alumiinioksideja. Natronkalkkilasista valmistetaan mm. tасolasia, talouslasia ja pakkauslasia. Hyvinkin pieni määrä rautaa ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) muuttaa lasin värin vihertäväksi. Tämä raudan vaikutus näkyi myös Rifola-projektin materiaalikoikeissa vihertävänä värinä muun muassa lasitekoikeissa.

### **Lasijauhetta ja vahtolasia Uusioaines Oy:ltä**

Hankkeen osiossa käytetty kierrätyslasijauhe saatiin Uusioaines Oy:ltä, joka on tehnyt keräyslasin jalostusta jo 1980-luvun alkupuolelta lähtien (Stenberg-yhtiöt) ja nimen muutoksen myötä Suomen Uusioaines Oy jatkoi toimintaa vuodesta 1995 lähtien. Huhtikuussa 2009 yhtiö lyhensi nimensä Uusioaines Oy:ksi. Yrityksellä on ajanmukainen ja tehokas lasinpuhdistuslaitos, jossa varmistetaan tasalaatuisen materiaalin toimittamisen asiakkaiden vaatimusten mukaisesti. Uusioaines Oy:n toimintajärjestelmä on sertifioitu ISO 9001 ja ISO 14001 laatu- ja ympäristöstandardien mukaan. (Uusioaines D n.d.)

Uusioaines Oy käsittelee vuodessa yli 80 000 tonnia keräyslasia, pääosin pakkaus- ja tасolasia lähinnä ikkuna- ja tuulilasina (kuva 2). Yritys on Suomen johtava keräyslasin käsittelijä, joka kerää sen asiakkailta omal-



Kuva 2. Uusioaineen kierrätyslasimateriaalia.

la kuljetuskalustollaan Forssan Jokioisilla sijaitsevalle lasinpuhdistuslaitokselle. Lasi puhdistetaan, murskataan ja lajitellaan värin mukaan. Kaikki vastaanotettu materiaali saadaan kierrätettyä sataprosenttisesti. Yritys rakensi uuden lasinpuhdistuslaitoksen vuonna 2010 ja uudisti jauhatus- ja seulontalaitoksen vuonna 2013. Uuden puhdistuslaitoksen kapasiteetti riittää koko Suomen kierrätyslasin puhdistustarpeeseen, myös vuosiksi eteenpäin. Uudella teknologialla saadaan entistä puhtaampaa lasijauhetta. Värierottelu on parantunut, lasin kosteuspitoisuus pienentynyt ja keraaminen eli lämmönkestävä lasi ja lyijylasi saadaan entistä paremmin poistettua. Uuden jauhatustekniikan ansiosta lasijauhe saadaan jauhettua asiakkaan toivomusten mukaan erilaisiin raekokokarkeuksiin. Uusioaines toimittaa puhdistettua lasisirua ja -jauhetta teollisuuden uusioraaka-aineeksi. (Uusioaines Oy D n.d.)

Uusioaines Oy aloitti vaahtolasilasimurskeen valmistuksen vuoden 2011 alussa ja se on Suomen ainoa vaahtolasia valmistava yritys. Vaahtolasitehdas sijaitsee Forssan Jokioisissa lasinpuhdistuslaitoksen välittömässä läheisyydessä. Tehtaan tuotantokapasiteetti on 150 000 m<sup>3</sup> vuodessa. Vaahtolasimurskeen kaupallinen nimike on Foamit vaahtolasi. Se valmistetaan lähes sataprosenttisesti puhdistetusta kierrätyslasista. Murske soveltuu erinomaisesti tie- ja piharakentamisen routaeristeeksi, rakennusten lämpöeristeeksi ja kevennysmateriaaliksi moniin erilaisiin rakennuskohteisiin. Vaahtolasi on palamatonta, puhdasta kierrätysmateriaalia, jolla on hyvät lämmön ja kosteuden eristävyysominaisuudet sekä hyvä puristuslujuus ja kantavuus. (Uusioaines E n.d.; Foamit vaahtolasi n.d.)

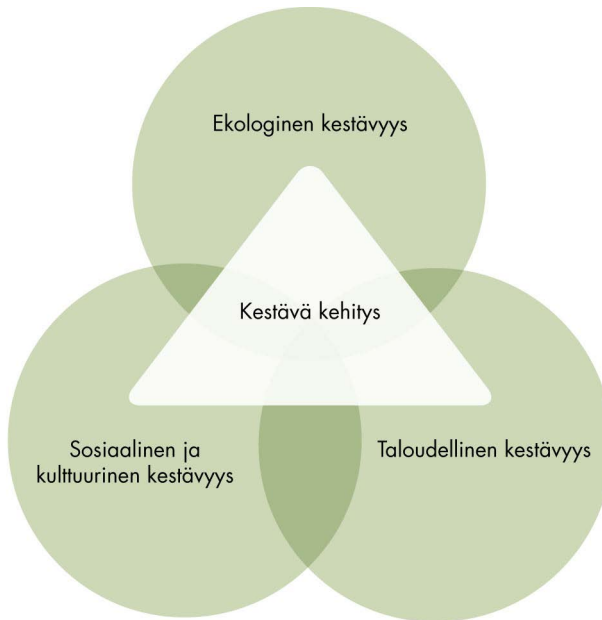
## **Kestävä elinkaariajattelu**

Rifolasi-hankkeen yhtenä tavoitteena oli kestävän muotoilun edistäminen etenkin ekologisuuden näkökulmasta. Tätä tavoitetta lähdettiin tavoittelemaan kestävällä muotoilulla ja kestävällä elinkaariajattelulla. Kestävän elinkaariajattelun peruslähtökohtana ovat kestävän kehityksen, kestävän muotoilun ja elinkaaren -käsitteiden ymmärtäminen ja operationaalistaminen.

## **Kestävä kehitys**

Vaatimukset tuotteiden ja palveluiden kestävyydelle lisääntyvät ympäristöuhkien ja ilmaston lämpenemisen myötä. Tuotteen tulee olla kestävä kehityksen mukaisesti muotoiltu, valmistettu sekä markkinoitu että

kierrätetty. Pelkästään muotoiluvaihe ei riitä takaamaan tuotteen kestävyttä vaan koko elinkaaren tulee myös olla kestävä. Muotoiluvaiheella on kuitenkin merkitystä, sillä usea ympäristövaikutus muotoillaan tuotteen jo suunnitteluvaiheessa. Tuotteen kestävyys on monitahoinen asia. Laajassa merkityksessä kestävyydellä on ekologisuuden lisäksi taloudellinen, kulttuurinen ja sosiaalinen ulottuvuus. Suomen hallituksen kestävä kehityksen ohjelmassa kestävä kehitys jaetaan kolmeen peruselementtiin (kuva 3): ekologiseen, taloudelliseen sekä sosiaaliseen ja kulttuuriseen kestävyteen (Ympäristöministeriö 1998).



Kuva 3. Kestävä kehityksen kolme peruselementtiä ovat ekologinen, taloudellinen sekä sosiaalinen ja kulttuurinen kestävyys. (Ympäristöministeriö 1998, 7.)

Kestävän kehityksen strategiaa ohjaavat seuraavat periaatteet (Suomen kestävän kehityksen toimikunta 2006):

- kestävän kehityksen taloudellisen, ekologisen, sosiaalisen ja kulttuurisen ulottuvuuden keskinäisriippuvuus
- ylisukupolvisuus ja politiikan pitkäjänteisyys
- johdonmukaisuus eri politiikkalohkojen kesken niin globaalisti, kansallisesti kuin paikallisesti
- vankka tieteellinen pohja sekä riskien ja todennäköisyyksien arviointiin perustuva lähestymistapa
- inhimillisten voimavarojen vahvistaminen tarjoamalla parempia edellytyksiä kestäviin valintoihin sekä yhdenvertaisia mahdollisuuksia yksilöiden itsensä toteuttamiseen ja vaikuttamiseen yhteiskunnassa.

Näistä ohjaavista periaatteista on huomioitava erityisesti kestävän kehityksen ulottuvuuksien keskinäisriippuvuus, joka tarkoittaa ekologisuuden, sosiaalisuuden, kulttuurisuuden ja taloudellisuuden huomioimista tuotteessa. Jos tuote on ekologinen, tulee sen myös olla eettisesti ja sosiaalisesti tuotettu. Tuotteella tulee olla kaunis elinkaari kaikissa sen vaiheissa. Kestävyys rakentuu kaikista ulottuvuuksista.

Tuotteiden ekologisuutta on tarkasteltu paljon jo 1980-luvulta lähtien. Tuolloin kirjoitettiin vihreästä muotoilusta (green design). 1990-luvulle tultaessa menetelmät ja käsitteet kehittyivät edelleen ja alettiin puhua ekologisesta muotoilusta, ekomuotoilusta (ecodesign) ja ympäristömyötäisestä muotoilusta. 1990-luvun loppupuolella kestävä muotoilun käsite vakiintui, ja 2000-luvulla kestävän muotoilun käsite sai syvyyttä. Voidaan sanoa, että se on taustakäsite usealle muotoilusuuntaukselle tai -menetelmälle (kuva 4), jotka sisältävät ekologista, eettistä, sosiaalista tai kulttuurista näkökulmaa.



Kuva 4. Kestävän muotoilun käsite suhteessa muotoilusuuntauksiin ja -menetelmiin. (Niemelä 2010.)

1990-luvun lopulla huomattiin, että ekologinen muotoilu ei ole riittävä ratkaisu tulevaisuuden tuotteiden suunnittelussa, joten mukaan oli otettava kulttuurin, eettisyyden ja sosiaalisuuden tuomat haasteet. Eettisyys ja sosiaalisuus laajentavat muotoilun ottamaan vastuuta ihmisistä, ei pelkästään tuotteesta ja ympäristöstä. Ekologisen muotoilun ympärille muodostui näin laajempi käsite - kestävä kehityksen ulottuvuuksien suuntaama kestävä muotoilu. Kestävä muotoilu tuo mukanaan haastavia kysymyksiä muotoilutyöhön, kuten ihmisten tarpeista, oikeudenmukaisuudesta, eettisyydestä, muotoilun sosiaalisista vaikutuksista ja täydellisestä luonnonvarojen tehokkuudesta.

### Kestävä elinkaariajattelu – Elinkaarikartta

Tuotteen muotoilua ohjaavia ja elinkaaren ympäristövaikutuksia arvioivia ekologisia arviointimenetelmiä ja strategioita on saatavilla kymmeniä. Näitä menetelmiä on olemassa eritasoisia vaikeita (mm. täysi elinkaariarviointi, EcoReDesign<sup>T</sup>-ohjelma, MIPS-analyysi) ja helppoja (mm. rules of thumbs ja benefit analysis -menetelmät) sekä määrällisiä että laadullisia. Menetelmien ongelmana on, että ne on usein kehitetty asiantuntijaryh-

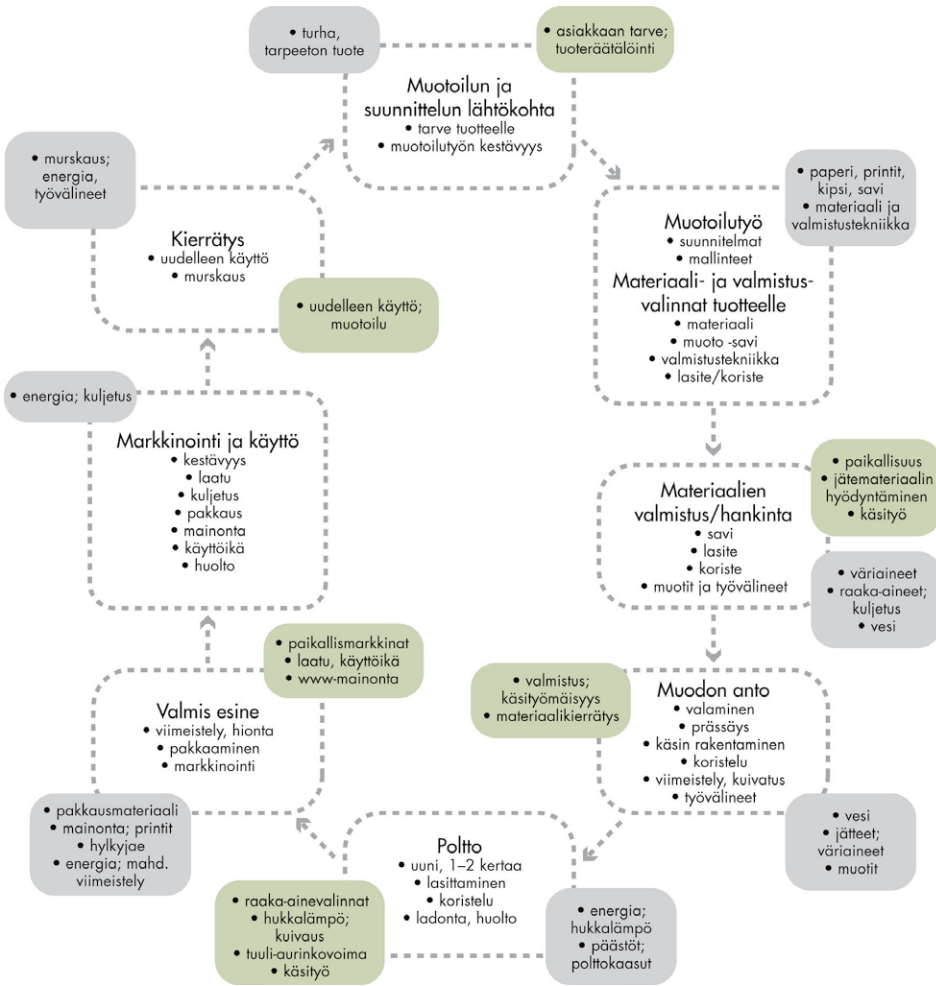


mille, suuryrityksille ja -teollisuudelle, jolloin yksittäisen muotoilijan tai pienyrityksen mahdollisuudet arvioida tuotteensa kestävyyttä kaikkine vaiheineen on työlästä ja aikaa vaativaa. Elinkaariarviota yksinkertaisempien selvitysten yhteydessä puhutaan elinkaariajattelusta. Tischnerin (2000, 14) mukaan elinkaariarviota (LCA – life cycle assesment) ei tule sekoittaa elinkaariajatteluun, sillä elinkaariarviointi on monimutkainen työväline, joka vaatii paljon aikaa ja rahaa.

Mitä elinkaariajattelu sitten on? Elinkaariajattelu on Tischnerin mukaan (2000, 13) ekologisen muotoilun perusnäkökulma. Se on yhtenäinen näkökulma tuotteen koko elinkaaresta ja kattaa raaka-aineiden tuotannon, tuotteen tuotannon, jakelun, käytön, kierrätyksen sekä hävittämisen. Elinkaariajattelu sisältää siis samat elementit kuin elinkaariarvio, mutta se on kevyempi tapa seurata ympäristövaikutuksia. Eva Heiskanen (2004, 135) mukaan elinkaariajattelussa pyritään keräämään tietoa tuotteen elinkaaren aikaisista ympäristöasioista riskien välttämiseksi ja parannusten aikaansaamiseksi. Elinkaariajattelu ei kuitenkaan ole ”mielessä ajattelua”, vaan se on tehtävä näkyväksi menetelmällisesti ja systemaattisesti, jotta tuotteen elinkaarta voi analysoida ja kehittää. Elinkaariajattelun voi tehdä aluksi laadullisena, jolloin vaiheet kuvataan ja määrällistä tietoa viedään elinkaareen silloin kun sitä on saatavilla.

Elinkaariajattelua voidaan toteuttaa kahdella ajattelumallilla, jotka ovat elinkaarikartta tai META-taulukointi (ks. Niemelä 2010). Elinkaarikarttamallissa tuotteen elinkaaren voi havainnollistaa konkreettisesti visualisoimalla se elinkaarikuvaksi. Elinkaarikarttaan piirretään ja sanallistetaan kaikki elinkaaren vaiheisiin liittyvät ajatukset ja pohdinnat, jotka liittyvät tuotteen ekologisuuteen, eettisyyteen ja esteettisyyteen, unohtamatta kulttuurisuutta ja taloudellisuutta. Elinkaaren mallintamisessa kannattaa käyttää värejä kuvaamaan tuotteen elinkaaren eri tasoja ja rakennetta. Elinkaarikartan visuaalinen toteuttaminen tuo esille ympäristövaikutusten pääkohtia. Mitä tarkemmin elinkaarikartan piirtää ja mitä enemmän sitä pohtii, sitä enemmän on tuotteen elinkaaresta ja sen kestävydestä sisäistänyt.

Elinkaarikarttaan mallinnetaan tuotteen elinkaareen liittyvät muotoiluvaiheet, valmistusprosessit, materiaalit, kulutetut energiat ja päästöt sekä jäte- ja kierrätysvaiheet. Kuvassa 5 on mallinnettuna studiotuotetun keraamisen käyttöesineen elinkaarikartta. Keramiikan kohdalla valmistusprosessin aikainen materiaalikäyttö, energian kulutus ja päästöt ovat tärkeitä tiedostaa jo suunnitteluvaiheessa, sillä keramiikkaa ei voi palauttaa alkuraaka-aineiksi polton jälkeen ja hylätyn tuotteen kierrättäminen materiaaliksi on haasteellista. Myös raaka-aineiden valinnat ja polttoprosessin energialähteen valinta vaikuttavat sekä ympäristövaikutuksiin että tuotteen esteettisyyteen. Esimerkiksi suomalaisen punasaven valinta tuotteiden esteettiseksi lähtökohdaksi vaikuttaa tuotteen laatuun, käyttöikään ja polton energiankulutukseen.



Kuva 5. Elinkaarikartta, johon on pohdittu studiotuotetun keraamisen käyttöesineen elinkaaren vaiheet. (Niemelä 2010.)

Toisessa elinkaariajattelumallissa, META-taulukointimenetelmässä, pohditaan tuotteen elinkaari sarakkeiden, M = materiaali, E = energia, T = päästöt ja jätteet, A = sosiaalisuus, eettisyys, muotoilunäkökulmat, mukaisesti (ks. kuva 6). Taulukoinnin etuna on, että sen avulla voidaan pohtia tuotteen koko prosessin ympäristövaikutuksia ja samanaikaisesti peilata niitä tuotteisiin liittyviin sosiaalisiin, eettisiin, kulttuurisiin, taloudellisiin, muotoilullisiin ja esteettisiin näkökulmiin omassa sarakkeessa A. Taulukko tuo esille sekä ympäristö- ja tuoteajattelua että arvoja ja ymmärrystä tuotteen elinkaaresta ja muotoilutyöstä. Esimerkiksi jos muotoilija on käyttänyt tiettyä materiaalia tai tuotantomenetelmää muotoilutyössään voi META-taulukkopohdinta osoittaa muotoilutyön linjan olevan tuotteen kestävyuden kannalta oikean tai väärän suuntainen.

META-taulukointi	Materiaali kiertö input/output	Energian käyttö input/output	Haitalliset päästöt output	Sosiaaliset, eettiset, kulttuuriset, taloudelliset, muotoilulliset ja esteettiset näkökulmat
	M	E	T	A
Tuotanto sekä materiaalien ja osien toimitus				
Sisäinen tuotanto				
Toimitus				
Käyttö				
Tuotteen poisto/kierrätys				

Kuva 6. Kuvassa on META-taulukko. Brezetin ja van Hemelin esittämä (1997) MET-taulukko on laajennettu META-taulukoksi. Taulukkoon on lisätty sarake (A). (Niemelä 2010.)

Rifolasi-hankkeessa tehtiin kestävä elinkaarimallintamista elinkaari-karttamenetelmää hyödyntämällä. Raportista löytyy kolme mallinnusta, jotka on tehty lasimurska- ja lasijauheosioiden tuoteaihoille.

## Lähteet

- Brezet, H. ja van Hemel, C. 1997. Ecodesign. A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption. UNEP, United Nations Environment Programme Industry and Environment. United Nations Publications.
- Foamit vaahtolasi n.d. Ympäristöystävällistä eristemateriaalia kierrätyslasista. Yritysesite. Uusioaines Oy.
- Heiskanen, E. 2004. Elinkaariarvioinnit ja elinkaariajattelu. Teoksessa Ympäristö ja liiketoiminta, toim. Eva Heiskanen. Gaudeamus Kirja, Helsinki.
- Niemelä, M. 2010. Kestävää muotoilua mallintamassa. Tulkitseva käsitetutkimus taideteollisen muotoilun näkökulmasta. Aalto yliopisto, Taideteollisen korkeakoulun julkaisusarja A 104. Väitöskirja.
- Ritola, J. ja Vares, S. 2008. Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina. VTT Tiedotteita – Research Notes 2458. Espoo: VTT.
- Suomen kestävän kehityksen toimikunta 2006. Kohti kestäviä valintoja -kansallisesti ja globaalisti kestävä Suomi. Valtioneuvoston kanslia.
- Tischner, Ursula 2000. Ecodesign in Practice. Teoksessa How to do Ecodesign, A Guide for Environmentally and Economically Sound Design, toim. The German Federal Environment Agency. Verlag from GmBH, Frankfurt am Main. 9-14.
- Ympäristöministeriö 1998. Hallituksen kestävän kehityksen ohjelma. Suomen ympäristö 254, Oy Edita AB, Helsinki

## Sähköiset lähteet

- Uusioaines Oy A n.d. Lasin luonto on kierto. Saatavissa: <http://www.uusioaines.com/DowebEasyCMS/?Page=Uusioaines>. Luettu 15.3.2014.
- Uusioaines Oy B n.d. Lasisirun käytön hyödyt. Saatavissa: <http://www.uusioaines.com/DowebEasyCMS/?Page=Lasisirunkaytonhyodyt>. Luettu 20.4.2014.
- Uusioaines Oy C n.d. Keraaminen lasi ja posliini eivät kuulu kiertoon. Lajitteluohjeet. Saatavissa: [http://www.uusioaines.com/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/uusioaines/lajitteluohjeet/keraaminen\\_lasi\\_info.pdf](http://www.uusioaines.com/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/uusioaines/lajitteluohjeet/keraaminen_lasi_info.pdf). Luettu 29.4.2014.

Uusioaine Oy D n.d. Yritystiedot. Saatavissa: <http://www.uusioaines.com/DowebEasyCMS/?Page=Historia>. Viitattu 28.4.2014.

Uusioaines Oy E n.d. Foamit. Saatavissa: <http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/?Page=FoamitVaahtolasi>. Viitattu 5.3.2014.

Suomen tasolasiyhdistys Ry 2014. Keraamiset lasit eivät kuulu lasinkeräykseen. Lasialan ohjeita. Saatavissa: <http://www.tasolasiyhdistys.fi/tiedostot/Keraaminen%20lasi%20ohje.pdf>. Luettu 30.5.2014.

#### Kuvat

Kuva 1. Marjo Kilgast

Kuva 2. Jari Vesterinen

Kuva 3. Niemelä 2010, grafiikka Emmi Kyytsönen

Kuva 4. Niemelä 2010, grafiikka Emmi Kyytsönen

Kuva 5. Niemelä 2010, grafiikka Emmi Kyytsönen

Kuva 6. Niemelä 2010, grafiikka Emmi Kyytsönen



Erkki Kaija ja Jari Vesterinen

## Kierrätyslasi keraamisten tiilien ja laattojen valmistuksessa

### Kierrätyslasi keramiikan raaka-aineena

Kierrätyslasin käyttöä keramiikan valmistuksessa ja teollisuuden raaka-aineena on tutkittu paljon. Pääpaino tutkimuksissa on ollut lasijauheen käytöllä tiili-, laatta- ja saniteettimassojen raaka-aineena. Suomessa aiheeseen on syvennytty ainakin kahdessa hankkeessa: Kotimaiset materiaalit ja puristustekniikka (1995) ja Kimokela - kierrätetty monitorilasi keramiikka- ja lasiteollisuuden raaka-aineeksi (2003).

Kotimaiset materiaalit ja puristustekniikka –projektissa tehtiin pieniä koesarjoja korkean polton massoista, joissa osaraaka-aineena oli kierrätyslasi. Lasijauheen osuus koetuotantomassassa oli 5 %. Kierrätyslasi edesauttoi tiiviin massan muodostumista, vähensi kokonaiskutistumaa eikä tuottanut ongelmia valmistusprosessissa. Kierrätyslasi toimi hyvin massan raaka-aineena nefeliinisyyeniitin korvaajana. (Hassi 1997, 21–26.)

Kimokela-projektissa selvitettiin kierrätetyn televisio- ja tietokone-monitorilasin käyttömahdollisuuksia keramiikan valmistuksessa. Tutkimuksissa todettiin, että monitorilasia pystytään hyödyntämään matalanpolton lasitteissa ja savimassan raaka-aineena. Lasijauheen avulla pystyttiin säätelemään massan vedenimukykyä. Massan huokoisuuden hallinta on tärkeä ominaisuus erityisesti rakennustuoteteollisuudessa. (Siikamäki & Leppänen 2003, 3, 33–34.)

Andrew S. Smithin (2005, 12) tutkimuksessa laskettiin saatavan säästöjä käyttämällä lasijauhetta tiilimassan seassa. Polttolämpötilan alentamisen myötä säästöä laskettiin kertyvän 18,7 % ja hiilidioksidipäästömaksujen (CO<sub>2</sub>-päästöt) vähenemisen myötä 15,5 %. Polttoajan laskettiin lyhentävän 3,5 % (taulukko 1).

**Taulukko 1. Tiiliteollisuudessa voidaan saavuttaa suuria säästöjä, kun lasijauhetta käytetään tiilimassan raaka-aineena (Smith 2005,13).**

Poltto		Normaali 1000 °C	970 °C poltto		950 °C poltto	
		Mitattu	Mitattu	Säästö	Mitattu	Säästö
Kulutus (maakaasua, korjaamaton arvo standardin STP:n mukaan)		m <sup>3</sup> 5 091 m <sup>3</sup>	4 418 m <sup>3</sup>	673 m <sup>3</sup> -13,2 %	4 141 m <sup>3</sup>	950 m <sup>3</sup> -18,7 %
Energia	kWh tonnia kohti	62 365 kWh	56 253 kWh	6 112 kWh	52 726 kWh	9 639 kWh
	75 tonnin kuormalla	832 kWh/t	750 kWh/t	82 kWh/t	703 kWh/t	129 kWh/t
Polttoaika	tuntia	94,24	92,24	2,00 -2,1 %	90,92	3,32 -3,5 %
Hiilidioksidipäästöt	kg CO <sub>2</sub>	11,849	10,688	1,161	10,018	1,831
EU päästökauppajärjestelmän mukainen CO <sub>2</sub> markkina-arvo	7,00 €/tonni CO <sub>2</sub>	82,94	74,82	8,13 -9,8 %	70,13	12,82 -15,5 %

Englantilaisessa saniteettikeramiikan tutkimuksessa (Hancock 2005) tarkasteltiin pullolasin käyttöä korvaavana sulatteena valumassassa ja pyrittiin löytämään teollinen käyttö muuten kaatopaikalle päätyvälle pullolasille. Tavoitteina oli pienentää tuotteen polttokustannuksia seitsemän prosenttia ja alentaa polttolämpöä 50 °C. Tutkimuksessa todettiin, että lasijauhe toimi sulattajana voimakkaammin kuin perinteinen sulattaja, nefeliinisyeniitti. Raaka-ainekustannuksissa arveltiin säästettävän myös, koska pakkauslasijauheen laskettiin olevan 40 - 50 % halvempaa kuin käytössä ollut nefeliinisyeniitti. Polttolämpötilan alenemisella arvioitiin saatavan säästöjä fluorivetyypäästöjen (HF) vähenemisestä ja sen myötä päästömaksuista. (Hancock 2005,2.)

Saniteettivalumassa muodostuu plastisista ja epäplastisista raaka-aineista, vedestä sekä pienistä määristä säätöaineita (taulukko 2). Valumassan ominaisuuksia tarkkaillaan ja tarvittaessa säädetään valmistusprosessin aikana. Nestemäinen massa kaadetaan kipsimuottiin, jossa se kovettuu tietyssä ajassa muodostaen esineelle seinämän. Ylimääräinen liete kaadetaan tai imetään pois muotista ja esineen annetaan kovettua ennen muotin avaamista. Kun esine on otettu muotista, se viimeistellään ja siihen tehdään tarpeelliset rei'itykset sekä osien liittämiset. (Hancock 2005, 6-7.)



**Taulukko 2. Saniteettituotteiden valuun tarkoitettujen testimassojen koostumuksia (Hancock 2005,7).**

Raaka-aine	Perusmassa normaali-poltossa	Lasia sis. massa normaali-poltossa	Lasia sis massa alemmassa lämmössä (-50 °C)
Pallosavi	25,0	25,0	25,0
Kaoliini	29,0	33,0	27,6
Hiekka	31,0	34,0	31,0
Lasijauho	0,0	4,0	8,4
Nefeliinisyeeniitti	15,0	4,0	8,0
Yhteensä	100,0	100,0	100,0

Valumassan säätöaineina käytetään yleensä natriumyhdisteitä, joista halvimmat ovat vesilasi ja sooda. Näitä ns. deflokkulantteja käytetään hyvin pieniä määriä, jotta valumassa saadaan juoksevaan muotoon. Lasijauhetta sisältävien massojen säätämisessä oli haasteita. Lasijauhe aiheutti laboratorioskokeissa natriumin erkanemisen valulietteen säätöaineista, eli deflokkulanteista, aiheuttaen muutoksia valulietteiden pH-arvoihin. Lietteistä saattoi sekoitettavuus hävitä kokonaan muutamassa päivässä. Ongelmaa pystyttiin jonkin verran välttämään jauhamalla lasi märkänä ja kuivaamalla se 110 °C:ssa ennen lisäämistä massaan. Märkäjauhatuksessa hieno lasi pyrki sakkautumaan niin, ettei sekoittaminen ollut mahdollista. Tätä ongelmaa korjattiin lisäämällä kaoliinisaavea ja pieni määrä kipsiä eli kalsiumsulfaattia. Tehdaskokeissa sekä normaalissa että 50 °C alempaan lämpötilaan poltettavissa massoissa lisättiin kaoliinin määrää lasin jauhatuksessa, ettei massa saostuisi ja sen käsiteltävyys pysyisi kohtuullisena valmistuksessa ja tuotannossa (taulukko 3). (Hancock 2005, 7, 17–21.)

**Taulukko 3. Saniteettituotteiden massareseptit tehtaan koetuotannossa (Hancock 2005, 17,19).**

Raaka-aine	Lasia sis. massa normaali- poltossa	Lasia sis massa alemmassa lämmössä (-50 °C)	Korjattu massa alemmassa lämmössä (-50 °C)
Pallosavi	24,9	23,7	23,7
Kaoliini	27,9	27,0	24,5 *
Hiekka	33,0	31,0	31,0
Lasijauho	4,7	8,3	10,8
Nefeliinisyeeniitti	4,0	8,0	8,0
Poltettu siru	5,5	2,0	2,0
<b>Yhteensä</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

\* sisältää jauhatuksessa käytetyn kaoliinilisäyksen

Poltossa saniteettimassa tiivistyy ja tyypillinen massan huokoisuus on alle 0,5 %. Edellä mainitulla huokoisuudella kaupallisten massojen nk. polttoväli on noin 30 °C. Tutkimuksessa todettiin, että lasia sisältävissä massoissa polttoväli oli noin 10 °C. Tämä edellyttää tarkkaa lämpötilan kontrollointia uunissa. Koetuotannossa suuressa osassa tuotteista todettiin virheitä ja hyvälaatuisten kappaleiden saanti oli 58,3 %. (Hancock 2005, 6, 17–21.)

### Rifolasi-hankkeen tutkimukset

Lasijauheen vaikutuksia tiilimassassa tutkittiin yhteistyössä Wienerberger Oy:n ja Uusioaines Oy:n kanssa. Wienerbergerillä on Suomessa kaksi tiilitehdasta, Lappilassa ja Koriolla. Molemmissa tehtaissa valmistetaan sekä punasavipohjaista punatiiltä että vaaleaa tiiltä. Tutkimuksissa käytetyt tiilimassat tulivat Lappilasta. Yhteyshenkilöinä Wienerbergerillä olivat Martti Romu, Jyrki Valtonen ja Janne Rainio. Kokeissa käytetyt lasi- ja vaahtolasijauheet olivat Uusioaineksien tuotteita. Uusioaineksella yhteyshenkilönä oli Tuomas Jääskeläinen. HAMKissa tutkimuksista vastasi Erkki Kaija. Muotoilun opiskelijoita osallistui tutkimuksiin useita: Piela Auvinen (2011–2013), Jonna Kuusisto ja Johanna Luostarinen (2012), Outi Tienaho ja Mirka Hartikainen (2012) sekä Tanja Ylitalo (2012). Osaa opiskelijoiden tutkimuksista ohjasivat Mirja Niemelä ja Jari Vesterinen. 3D-mallinnukset tehtiin Rhinoceros -mallinnusohjelmalla.

Tutkimus tiilimassaan sekoitetun lasijauheen vaikutuksesta muodonantoon ja poltetun tiilen ominaisuuksiin tehtiin neljässä vaiheessa. Esikoesarjan massakokeissa testattiin, miten lasijauho vaikuttaa massaan sulattajana (Auvinen 2011). Poltetun koepalan ominaisuuksista arvioitiin väriä sekä mitattiin vedenimukyky ja kutistuma ja näitä verrattiin Lappilan tiilitehtaan punaiseen tiilimassaan. Toisessa vaiheessa edellisiä tuloksia tarkennettiin (Auvinen 2012a). Kokeissa käytettiin sekä punaista että valkoista tiilimassaa Lappilasta. Vaiheessa kolme haettiin lasi-tiilimassaseoksista suulakepuristukseen sopivaa massakoostumusta (Auvinen 2012b). Viimeisessä vaiheessa tiililaittoja puristettiin pieni koesarja käyttäen massan raaka-aineena myös hienoa vaahtolasista murskattu vaahtolasijauhetta. Tiilimassojen ja lasijauheiden tarkat koostumukset ovat yritysten sisäistä tietoa, joten niiden reseptejä tai analyysejä ei tässä tutkimuksessa ilmoiteta.

Tiilimassojen lisäksi tutkittiin lasijauheen vaikutusta kivitavaran suulakepuristuksessa (Tienaho & Hartikainen 2013) ja lasijauheen käyttöä punasavivalumassassa (Ylitalo 2012). Valumassatutkimus oli Tanja Ylitalon ammattikorkeakoulun opinnäytetyö.

#### Lasijauheen vaikutus poltetun tiilen ominaisuuksiin

Ensimmäisten kokeiden tavoitteena oli tutkia, miten lasijauhe vaikuttaa massaan sulattajana ja millaiset ovat tämän matalapolttoisen savilasi-massan ominaisuudet. Savimassana oli Lappilan tiilitehtaan punainen tiilimassa, jonka polttolämpötila on 1030 °C. Lasijauheena oli Uusioaineksen hieno lasijauhe, raekooltaan 0 - 0,15 mm. (taulukko 4). Polton jälkeen massoista tutkittiin väri, huokoisuus, kestävyys ja kutistuma.

**Taulukko 4. Tiilisavi-lasijauhe-kokeiden massareseptit (Auvinen 2011, 2).**

	L	A	B	C	D	E
Raaka-aine	%	%	%	%	%	%
Tiilisavi	100	95	91	87	83	67
Lasijauhe (0 - 0,15 mm)	0	5	9	13	17	33
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Vesilisäys	40	40	40	40	40	40

Pienitehoisella sekoittimella massan sekoittaminen tasaiseksi oli haasteellista. Massa muuttui vetisemmäksi, mitä enemmän siinä oli lasijauhetta. Hieno lasijauhe toimi samoin kuin valusavissa käytettävät deflokkulantit, jotka muuttavat massan juoksevamaksi. Massa, jossa oli 33 % lasijauhetta, oli lietemäistä sekoittimessa, mutta oltuaan hetken liikkumatta se muuttui kovaksi ja hiekkamaiseksi. Kun massaa vaivattiin käsin, se muuttui muokkauksen vaikutuksesta takaisin lietemäiseksi. Syynä tähän oli todennäköisesti lasijauheen alkalisuus. Ilmiöstä käytetään nimitystä korkea tiksotropia, mikä tarkoittaa aineen taipumusta hyytyä ja kovettua paikallaan ollessaan ja vastaavasti notkistua sekoitettaessa.

Koepaloista osa tehtiin pienellä käsipuristimella, johon tehtiin muotosuulake, ja osa kaulittiin levyksi. Muodonantovaiheessa huomattiin, että lasijauheen osuuden kasvaessa koepalojen puristaminen vaikeutui. Tämä johtui massan epäplastisuudesta. Massaa, jossa oli 33 % lasia, oli mahdollista puristaa, koska se muuttui hetkessä kovaksi, yhtenäiseksi kakuksi. Siitä kaulittiin levy, josta leikattiin koepalat. Kauliminen aiheutti massan notkistumisen uudestaan. Massa muistutti pahimmillaan juoksuhiiekkaa ja kovimmillaan nahankuivaa savilevyä, jota pystyi vain katkaisemaan tai repimään paloiksi.

Koepalat kuivattiin ja poltettiin kahdeksassa eri lämpötilassa, välillä 740–1020 °C. Kaikki koemassat kestivät kaikki poltot sulamatta. Yli 1000 °C lämpötiloissa 17 - 33 % lasijauhetta sisältäneiden koepalojen pintaan muodostui pieniä lasisia kuplia. Poltetuille koepaloille tehtiin vedenimukokeet huokoisuuden selvittämiseksi. Kokeet tehtiin Jylhä-Vuorion (2002, 225) esittämällä tavalla, jossa punnitaan kappaleeseen imeytynyt vesimäärä. Koepalat olivat imukyvyltään lähes vakioita 900 °C:een asti ja huokoisuusaste oli samaa luokkaa kuin Lappilan tiilimassalla (taulukko 5). Tätä korkeammassa lämpötiloissa ne alkoivat voimakkaasti sintraantua. Lasijauhe toimi siis tiilimassassa sulattajana ja alensi sen sintraantumislämpötilaa.

**Taulukko 5. Verrattaessa 950 °C:ssa poltettujen koepalojen L6 ja E6 vedenimua lasin sulattava vaikutus on jo huomattavissa. Vastaavasti 1000 °C:ssa poltettujen koepalojen L7 ja E7 vedenimua tarkasteltaessa on huomattavissa lasin voimakas sulattavuus. (Auvinen 2011, 25–26.)**

POLTTOÄMPÖTILA °C									
740	780	820	860	900	940	980	1020	1015	Ohjelmoitu lämpö
Ei	Ei	Ei	869	910	952	1001	1034	1029	Mitattu lämpö*
-	-	-	+9	+10	+12	+21	+14	+14	Ero ohjelmoituun**
VEDENIMUKYKY %									
L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	Lappilan punainen
13,8	12,8	12,7	13,7	13,1	13,5	11,1	8,4	9,4	tiilimassa
A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8		Lappilan punainen
13,4	12,5	12,5	12,9	13,2	13,5	10,9	8,5		tiilimassa + 5 % lasia
B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8		Lappilan punainen
13,1	12,5	12,3	12,7	12,7	12,8	10,5	8,3		tiilimassa + 9 % lasia
C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8		Lappilan punainen
13,4	12,7	12,3	12,6	12,4	12,3	10,0	5,7		tiilimassa + 13 % lasia
D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	D 6	D 7	D 8		Lappilan punainen
13,5	12,7	12,5	12,5	12,3	12,2	9,4	5,0		tiilimassa + 17 % lasia
E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8		Lappilan punainen
13,6	11,4	11,0	11,8	11,5	8,7	3,7	1,0		tiilimassa + 33 % lasia
* Mittauksessa testirengas PTCH-ETH, sarja 051, lämpötila-alue 850 - 1100 °C									
** - (ei mittausta)									



Tutkimusta jatkettiin rajatummin edellisten kokeiden perusteella. Koemassojen ja lämpötilojen määrää supistettiin edellisistä, analyysia ja mittauksia tarkennettiin sekä muuttujien määrää rajattiin (Auvinen 2012a). Koekappaleet valmistettiin painelemalla savi käsin kipsimuottiin (kuva 1). Tavoitteena oli kehittää lasijauhe-tiilimassalle sellainen koostumus, joka olisi alemmassa lämpötilassa poltettuna ominaisuuksiltaan samanlainen verrattuna Lappilan tiilitehtaan punaiseen ja vaaleaan tiilimassaan. Lasijauheen osuus vaihteli 0–60 %:iin (taulukko 6). Punaiseen massaan lisättiin 22 % vettä, valkoiseen 20 %. Punasavikokeet poltettiin kolmeen lämpötilaan: 970 °C, 1000 °C ja 1030 °C. Valkoisen tiilimassan sintraantumislämpötila on korkeampi, joten nämä kokeet poltettiin korkeammalle: 1000 °C, 1030 °C ja 1060 °C.

Punasavimassoilla vedenimeytymisprosentti oli sama Lappilan perusmassalla (1030 °C) ja kahdella kokeella: CP/lasia 20 % (1000 °C) ja AP / lasia 5 % (1030 °C). Lämpötilan laskeminen 30 °C vaati siis lasijauhetta 20 %. Tällä lasin määrällä 1030 °C:n lämpötilassa kappaleen pintaan muodostui lasikuplia (kuva 2). Kun lasin määrä oli 40–60 %, jo 970 °C:n lämpötilassa se sulatti voimakkaasti tiilimassaa, muutti värin vihreäksi ja muoto alkoi pullistua (kuvat 3 ja 4).



Kuva 2. Yli 1000 °C:n lämpötiloissa paljon lasijauhetta sisältäneiden koekappaleiden pintaan muodostui pieniä lasisia kuplia (Auvinen 2012a, 16).



Kuva 3. Koepalat P-EP, polttolämpötila 1030 °C. Kun lasia on 60 %, kappale on vihreä ja pullistunut.



Kuva 4. Poikkileikkauskuvissa näkyy punasavimassan tiivistyminen ja lasin sulaminen lasin määrän kasvaessa ja lämpötilan noustessa. Koemassat vasemmalta: (P) ei lasia, poltto 1000 °C; (DP) lasia 40 %, poltto 1000 °C; (EP) lasia 60 %, poltto 1030 °C. (Auvinen 2012a, 12, 14.)



Vaalean tiilimassan väri ja pinta pysyvät lähes muuttumattomina kaikissa lämpötiloissa aina 20 %:n lasimäärään asti. Suurempi lasimäärä sulatti massaa ja se alkoi punasavien tapaan pullistua ja muuttua vihreäksi. Lasin määrän ollessa 60 % ja lämpötilan 1060 °C, massa oli jo kuplaista ja kiehunutta (kuva 5). Vedenimukyky muuttui massoilla nopeasti. Tehaan tuotantomassaan verrattuna samaan vedenimuun päästiin, kun lasia oli 5 % ja lämpötila 30°C alempi.



Kuva 5. Poikkileikkauksissa näkyy valkoisen massan sulaminen ja lasin kiehuminen lasijauheen määrän kasvaessa ja lämpötilan noustessa. Koemassat vasemmalta: (DV) lasia 40 %, poltto 1030°C; (EV) lasia 60 %, poltto 1030°C; (EV) lasia 60 % poltto 1060°C. (Auvinen 2012a, 24, 16.)

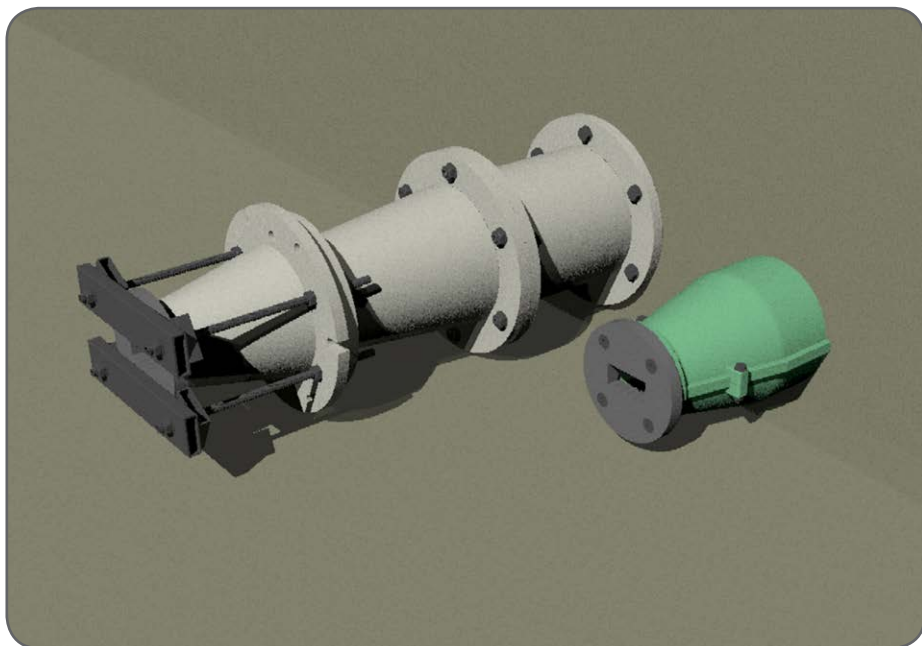
### Lasijauheen vaikutus muodonantoon suulakepuristuksessa

Tehdastuotannossa tiilien muodonanto tapahtuu suulakepuristamalla. Lasijauhe-tiilimassojen puristusominaisuuksia tutkittiin valmistamalla tiililaattoja kahdella erilaisella suulakepuristimella: Venco-tyhjiösuulakepuristimella (kuva 6) ja Gerhards MK5 -massansekoittimella. Koetiilien puristusta varten suunniteltiin ja teetettiin muotosuulake (kuva 7). Koetuotantoa varten suunniteltiin, mallinnettiin ja valmistettiin leikkuulinja, jonka avulla leikattiin puristeesta määrämittaiset koetiilet (kuva 8). Massoista suulakepuristettiin koetiiliä, jotka sisälsivät pelkästään tiilimassaa (koemassat V ja P) sekä tiiliä, jotka sisälsivät 90 % tiilisavea ja 10 % lasijauhetta (BV tai BP) (taulukko 6).

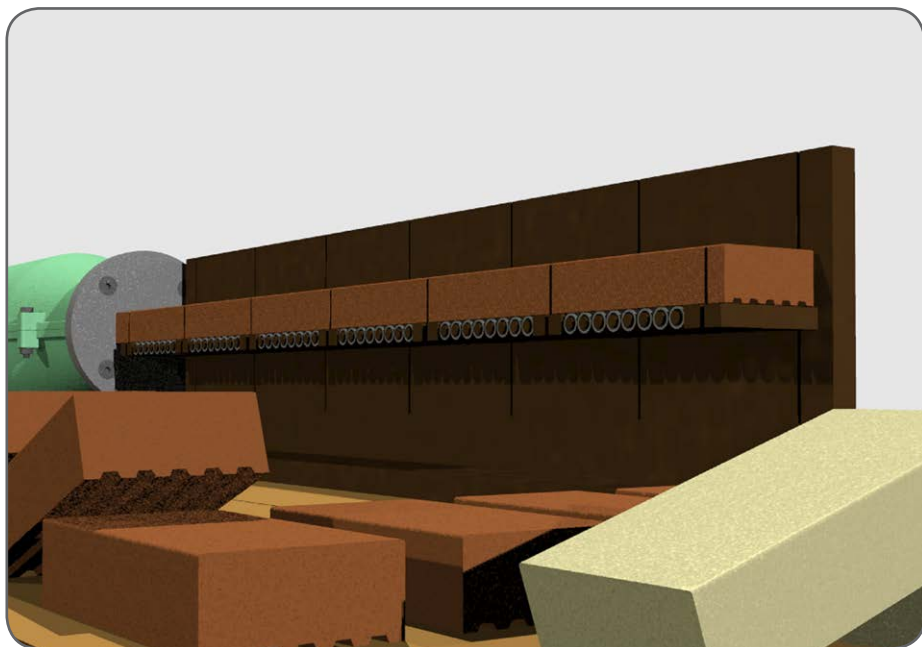
Vaaleat koemassat puristuivat suhteellisen hyvin. Laatta-aihion reunoissa esiintyi jonkin verran repeämää, mikä oletettavasti johtuu puristimen vakuumin eli tyhjiöimun puutteesta. Punaisten massojen puristaminen



Kuva 6. Venco-tyhjiösuulakepuristin, jossa ulostulevan saven halkaisija on 75 mm (3") (Auvinen 2012b, 1).



Kuva 7. Tiililaattojen puristukseen käytetyn suulakkeen ja sen kiinnitysten 3D-mallinnus, vasemmalla on Gerhads -, oikealla Venco-puristimen kiinnitys.



Kuva 8. Koetilien leikkauslinjan 3D-mallinnus.

osoittautui lähes mahdottomaksi laatta-aihion reunojen repeillessä (kuvat 9 ja 10). Tämä johtui todennäköisesti massan rakennevirheestä, vähäisestä plastisuudesta ja vakuumin puuttumisesta.

Vaaleat massat poltettiin polttolaatikoissa Lappilan tiilitehtaan uunissa: massa V lämpötilaan 1060 °C ja massa BV lämpötilaan 1030 °C. Näille koetilille teetettiin Lappilan tiilitehtaan laboratorioissa vedenimu- ja pakastetit. BV-koekappaleiden vedenimukyky oli 12,5 % ja V-koekappaleilla 18,1 %. Koekappaleet kestivät 50 kierroksen pakkaskokeen vaurioitta. (Rainio 2013.)



Kuva 9. Punaisen tiilimassan suulakepuristus ei onnistunut, koska koneesta ulos tullessaan massan reunat repeilivät pahasti. Venco-puristimessa ongelmaa yritettiin korjata oikeassa reunassa näkyvällä ohjauksellilla, mikä ei kuitenkaan auttanut repeilyyn.



Kuva 10. Isommassa ja tehokkaamassa Gerhards-puristimessa saven reunojen repeily oli vähintäänkin yhtä voimakasta kuin pienemmässä koneessa.

### Vaahtolasijauhe tiilimassassa

Puristus- ja polttokokeita jatkettiin testaamalla hienon, raekooltaan 0-1 mm vaahtolasijauheen käyttöä punaisessa tiilimassassa. Punnitusresepteissä vaahtolasin määrät vaihtelivat viidestä seitsemään painoprosenttiin. Vaahtolasilla korvattiin massassa sahanpurun osuus sekä osa hiekan määrästä. Tarkoituksena oli saavuttaa sama huokoisuus kuin tehtaan massassa. Vertailun vuoksi yhdessä reseptissä oli vaahtolasijauhe korvattu lasijauheella. Tässä koemassassa myös saven osuus oli suurempi. Näin yritettiin lisätä tiilimassan plastisuutta ja samalla puristettavuutta. Koemassojen reseptit eivät olleet tehtaan käyttämiä, vaan massan ominaisuuksia säädettiin, jotta sekoittaminen ja puristaminen onnistuisivat käytettävissä olleilla koneilla (taulukko 7). Puristuksessa käytettiin Shimpo-tyhjiösuulakepuristinta, johon teetettiin koepalasuulake. Polton jälkeen koemassoista testattiin pakkaskestävyys ja vedenimukyky Lappilan tiilitehtaan laboratoriossa.

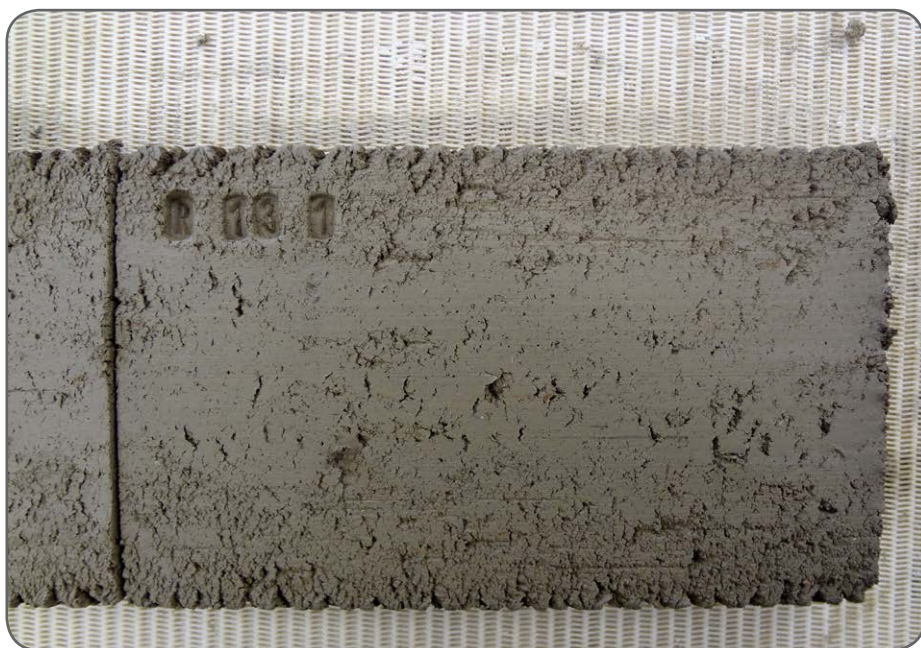
**Taulukko 7. Koemassojen punnitusreseptit.**

Raaka-aine	Massa 13.1	Massa 13.2	Massa 13.3
Tiilisavi	65,6 %	65,6 %	70,0 %
Hiekka 0 - 2 mm	25,4 %	23,4 %	19,6 %
Tiilimurske 0 - 5 mm	4,0 %	4,0 %	4,0 %
Puru 0 - 2 mm	-	-	1,4 %
Vaahtolasi 0 - 1 mm	5,0 %	7,0 %	-
Lasijauhe 0 - 0,1 mm	-	-	5,0 %
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>

Vaahtolasia sisältävät koemassat puristuivat huonosti. Laatan reunoissa esiintyi edelleen repeämää, mutta ei yhtä voimakkaasti kuin aiemmissa kokeissa (kuva 11). Repeily johtui oletettavasti massan rakenneviasta, puristimen huonosta puristustehosta sekä huonosta vakuumista. Vedenimukokeessa, mikä korreloi huokoisuutta, eri resepteillä ei ollut merkittäviä eroja. Pakkaskestävyys ei ollut yhdelläkään koemassalla hyvä. Laatan tulos kestää 50 syklin jäädytys- ja sulatuskoe. Parhaiten kesti massa 13.3, mikä osoittaa lasijauhon soveltuvan vaahtolasia paremmin massaraaka-aineeksi. Pakkaskokeessa massoilla 13.1 ja 13.2 oli huono kestävyys (taulukko 8 ja kuva 12).

**Taulukko 8. Koemassojen vedenimukyky ja pakkaskokeen tulokset.**

	Massa 13.1	Massa 13.2	Massa 13.3
Vedenimukyky % (keskiarvot)	13,1 %	13,7 %	13,6 %
<b>Pakkaskoe</b>			
Vauriot 21. syklin kohdalla	8/10 kpl	9/10 kpl	3/10 kpl



Kuva 11. Vahtolasijauhetta sisältänyt laatta puristuksen jälkeen.

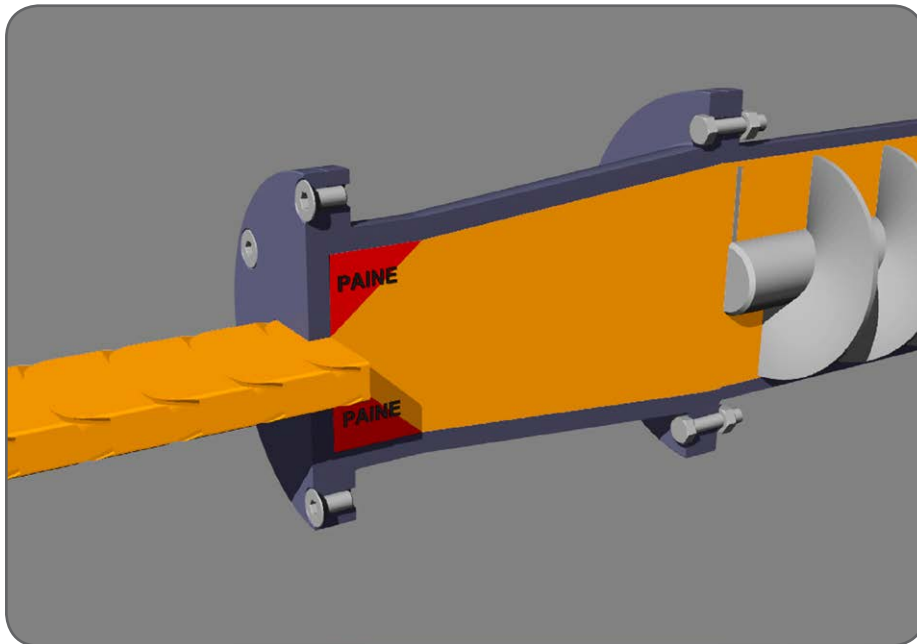


Kuva 12. Esimerkki pakkaskokeen aiheuttamasta vauriosta massassa 13.1, jossa vahtolasijauhetta oli 5 %.

Kaikki koelaatat olivat puristeina rakenteellisesti huonoja. Syynä tähän olivat mahdollisesti raaka-aineen epätasainen raekokojakauma, koneen puristuspuheen vääränlainen kartiokkuus, huono vakuumi ja epätasaisesti jakautuva paine suulakkeessa. Mallinnuskuva havainnollistaa, kuinka paine muodostui laatan ylä- ja alapinnalle (kuva 13). Suulakeaukon sivulla puristeeseen kohdistuva paine ei ollut yhtä suuri, jolloin paineen vapautuessa laatta-aihon reunat repeilivät. Massojen koneellinen muokkaus ennen puristamista ei ollut yhtä tehokasta kuin Lappilan tiilitehtaalla, joten koemassat eivät rakenteellisesti vastanneet tehtaan massaa.

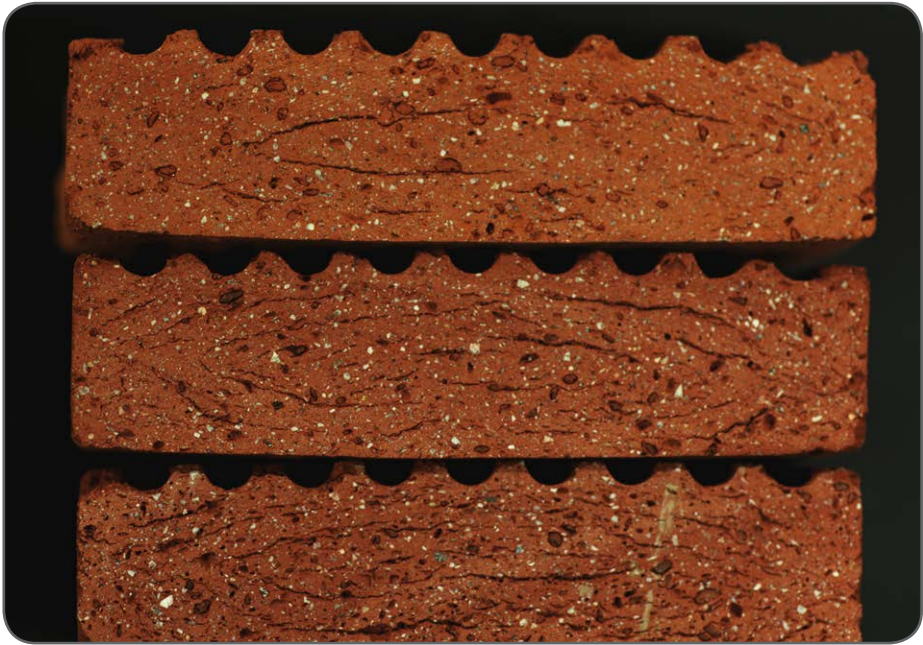
### Lasijauhe kivitavaramassassa

Lasijauheen ominaisuuksia kivitavaramassassa testattiin suulakepuristamalla laattoja ja putkia. Kivitavaramassajauheen lisäksi massoissa oli kierrätyslasijauhetta 13–15 % (taulukko 9). Polttolämpötilat olivat 1200 °C ja 1150 °C. (Tienaho ja Hartikainen 2013.)



Kuva 13. Mallinnuskuva havainnollistaa, miten paine jakaantui laatan valmistuksen kannalta epäedullisesti. Tämä oli osasyynä laattojen reunojen repeilyyn. Saven kulkua ohjaava kartiomainen suulake olisi saattanut auttaa ongelmaan.





Kuva 14. Poltettujen koemassojen sahattu poikkileikkaus osoitti, että massat eivät ole puristuneet muodonannossa riittävän tiiviiksi.

Taulukko 9. Kivitavaramassojen reseptit (Tienaho ja Hartikainen 2013).

	Massa 1	Massa 2
Kivitavaramassa WB04048	85 %	72 %
Lasijauhe (0-01 mm)	15 %	13 %
Samotti (0-0,5 mm)	-	15 %
	100 %	100 %

Massan 1 puristuksessa laattojen reunat repeilivät voimakkaasti joulu-kuusimaiseksi viuhkaksi (kuva 15). Repeily kuitenkin väheni ja loppui kokonaan, kun samaa massaa puristettiin heti uudestaan useita kertoja. Normaalisti massan plastisuus häviää, kun se menee useamman kerran koneen läpi. Koemassalle tapahtui kuitenkin päinvastoin. Poltossa 1200 °C lämpötilassa esineen pintaan nousi lasimaisia kuplia (kuva 16). Alemmassa lämpötilassa pinta oli karheampi ja lasikuplia ei ollut. Laatat taipuivat hieman enemmän kuin ilman lasia oleva kivitavara.



Kuva 15. Kivitavara-lasijauhemaasta puristettujen laattojen reunat repeilivät helposti.



Kuva 16. Laatan pintaan nousi poltossa 1200 °C lämpötilassa lasimaisia kuplia.

Seisottuaan puristimessa neljä vuorokautta lasi oli deflokkuloitunut massan niin, että käsiteltäessä se muuttui hetkessä plastisesta savesta nestemäiseksi lietteeksi. Putkimuodon suulakepuristaminen ei enää onnistunut lainkaan. Lähinnä purukumia muistuttavasta koostumuksestaan huolimatta massasta sai kaulittua savilevyjä. Massan ominaisuuksia yritettiin parantaa lisäämällä siihen samottia (taulukko 9). Deflokkuloituminen oli kuitenkin edelleen voimakasta. Suulakepuristettu massa pehmeni ja menetti muotonsa liikuteltaessa. Toisaalta tunnin kuivumisen jälkeen se oli kovettunut niin, ettei sitä saanut leikattua veitsellä. Voimakkaan käsittelyn jälkeen jo kerran kovettunut massa kuitenkin pehmeni ja menetti muotonsa. Samotin lisäys ei siis parantanut massan työstettävyyttä, vaan lasijauheen deflokkuloiva vaikutus oli edelleen voimakas ja vaikeutti muodonantoa.

### Lasijauhe punasavivalumassassa

Tanja Ylitalo (2013) tutki opinnäytetyössään lasijauheen vaikutusta punasavivalumassaan. Someron punasaven lisäksi valumassassa käytettiin 30–70 % lasijauhetta (taulukko 10). Ensimmäisessä sarjassa (massat 1.1–1.9) saatiin karkea kuva siitä, miten lasijauhe käyttäytyy avovalu-prosessissa ja poltossa. Toisessa sarjassa (massat 2.1–2.5) tarkennettiin polttolämpötilan vaikutusta ja massan toimivuutta sekä avo- että umpivalussa. Kolmannessa koesarjassa massan ominaisuuksia yritettiin parantaa liidun avulla (massat 3.1–3.2).

Runsaasti punasavea, yli 60 %, sisältäneet koemassat eivät olleet juoksevia vaan mutamaista, jähmeää lietettä. Viskositeetti ja tiksotropia olivat

**Taulukko 10. Punasavivalumassojen reseptit (Ylitalo 2013).**

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
Punasavi	70 %	65 %	60 %	55 %	50 %	45 %	40 %	35 %	30 %
Lasijauhe	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %
Dispex	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Vesi	37 %	37 %	37 %	37 %	37 %	37 %	37 %	37 %	37 %

	2.1	2.1	2.3	2.4	2.5
Punasavi	70 %	65 %	60 %	55 %	50 %
Lasijauhe	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %
Dispex	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Vesi	35 %	35 %	35 %	35 %	35 %

	3.1	3.2	3.3	3.4
Punasavi	57 %	45 %	43 %	42 %
Lasijauhe	38 %	45 %	43 %	42 %
Liitu	5 %	9 %	13 %	17 %
Dispex	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Vesi	35 %	35 %	35 %	35 %

liian korkeita valuun. Lasijauheen määrän lisääntyessä juoksevuus parani. Hienon lasiaineksen sisältämien alkalien vuoksi massat, joissa oli yli 60 % lasia, tarttuivat kipsimuottiin kiinni. Suuri lasijauheen määrä myös laski odotetusti massan sulamislämpötilaa (kuva 17).

Valaminen avovaluna onnistui hyvin, kun lasijauhetta oli punnitusreseptissä alle puolet. Kuitenkin jo 30 %:n määrä lasia sai aikaan merkittävän



Kuva 17. Koemassat, joissa lasijauheen määrä oli yli 55 %, alkoivat sulaa ja menettää muotoaan 1000 °C:n lämpötilassa (Ylitalo 2013, 15).



Kuva 18. Vasemmalla massat, joissa lasijauhetta oli 30–50 %, menettivät muotoaan 1000 °C:ssa. Sen sijaan oikealla avovalettu mukit poltettiin 950 °C:een eikä massan sulamista vielä tapahtunut. (Ylitalo 2013).

muodonmuutoksen 1000 °C:ssa (kuva 18). Umpivalussa hankaluutena oli muotin täyttyminen, kun punasaven määrä oli suuri (kuva 19). Kun taas lasin määrä oli suuri, valu jäi helposti kiinni muottiin. Suuri lasipitoisuus aiheutti myös sen, että kappale jähmettyi muottiin hitaasti eikä kestänyt muodossaan muotista irrottamisen jälkeen. Liidun lisääminen massaan ei vaikuttanut merkittävästi valuminaisuuksiin tai polttolämpötilaan. Valumassana parhaiten toimivat massat, joissa lasijauhetta oli noin 50 %.

## Yhteenveto

Rifolasi-hankkeen tiilimassaosiossa tutkittiin, miten kierrätyslasijauhe vaikuttaa keraamisten tiilien ja laattojen valmistusprosessiin ja poltetun tuotteen ominaisuuksiin. Kokeissa käytettiin sekä punasavipohjaista että valkoista tiilimassaa, kivitavaramassaa ja punasavivalumassaa. Lasijauhe savimassan osaraaka-aineena vaikutti erityisesti muodonantoon suulakepuristuksessa ja valussa sekä polttolämpötilaan ja massan sintraantumiseen.

Jo alle 10 %:n määrä lasijauhetta massassa heikensi sen plastisuutta ja vaikeutti tiilien ja laattojen suulakepuristusta. Reunojen repeily oli erityi-



Kuva 19. Umpivalumuoteissa massa ei päässyt täyttämään muuttia korkean tiksotropian vuoksi ja esineen sisään syntyi ilmatasku. Lasin määrän kasvaessa väri muuttui vihreäksi.

sen voimakasta punaisen tiilimassan kohdalla. Syynä oli toisaalta massan epätasainen rakenne ja raekokojakauma, toisaalta suulakepuristimen heikko teho ja tyhjiöimu sekä puristuspäässä epätasaisesti jakaantunut paine. Kokeissa esiin tulleita ongelmia voitaisiin todennäköisesti korjata massan raaka-ainekoostumusta säätämällä ja tehokkaammalla massan sekoittimella ja puristimella.

Lasijauhe aiheutti plastisen massan deflokkuloitumisen ja voimakkaan tiksotropian. Tämä vaikeutti muodonantoa, koska massa muuttui helposti lietemäiseksi ja jo kovettunut kappale pehmeni liikuteltaessa. Valumasassa lasin raekokojakauma osin alensi viskositeettia ja punasaven tyyppillisesti korkeaa tiksotropiaa. Valaminen onnistui parhaiten punasavimassoilla, joissa lasijauheen määrä oli noin 50 %.

Lasijauhe alensi jo pieninä, noin 10 %:n määrinä selkeästi massan polttolämpötilaa. Massa sintraantui alemmassa lämpötilassa kuin ilman lasia. Lasijauheen avulla voitiin säädellä poltetun kappaleen huokoisuutta, vedenimua ja pakkasen kestävyyttä. Lasi kuitenkin lyhensi massan polttoväliä, mikä aiheutti helposti kappaleen osittaista sulamista ja lasikuplien muodostumista esineen pintaan. Massan tiivistyminen myös heikensi sen pakkaskestävyyttä.

Käyttämällä kierrätyslasia massan raaka-aineena voidaan tuotteen polttolämpötilaa laskea ja erityisesti tiili- ja laattateollisuudessa vähentää polttoaineen kulutusta ja savukaasujen päästöjä, lyhentää polttoaikoja sekä alentaa energiakustannuksia. Kierrätyslasijauhe massan raaka-aineena mahdollistaa myös uusia tuoteinnovaatioita, joissa mm. huokoisuuden ja sulamisen aiheuttamia funktionaalisia ja esteettisiä ominaisuuksia voidaan hyödyntää (kuva 20).



Kuva 20. Tanja Ylitalon (2013) valmistamia, eri määriä lasijauhetta sisältäviä ja eri lämpötiloihin poltettuja kuusikulmisiä Heksa-laattoja, joista voidaan rakentaa esteettisesti mielenkiintoista pintaa muun muassa sisustuksiin ja julkisivuihin.

## Lähteet

Hancock, P. 2005: Use of Recycled Glass as a Flux in Vitreous China Sanitaryware. Banbury, Oxon: The Waste & Resources Action Programme.

Hassi, H. (toim.) 1997. Kotimaiset materiaalit ja puristustekniikka. Helsinki: Keramiikan tutkimusrinki Loppuraportti.

Jylhä-Vuorio, H. 2002. Keramiikan materiaalit. Taitemia 20. Kuopio: Kuopion Muotoiluakatemia, Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu.

Siikamäki, R. ja Leppänen, K. 2003. Kimokela - kierrätetty monitorilasi keramiikka- ja lasiteollisuuden raaka-aineeksi. Taideteollinen korkeakoulu. Keramiikka- ja lasiteollisuuden koulutusohjelman tutkimusjulkaisuja NO. 1, 2003. Loppuraportti.

Smith, A. S. 2005. Glass Addition Trials: York Handmade Bricks Co Ltd. Banbury, Oxon: The Waste & Resources Action Programme.

## Julkaisemattomat lähteet

Auvinen, P. 2011. Tiilimassa.lasijauho massakokeet. Massan koostumuksen tutkiminen lasijauhoa sulattajana käyttäen. Hämeen ammattikorkeakoulu. Muotoilun koulutusohjelma. Lasin ja keramiikan pääaine. Projektiraportti.

Auvinen, P. 2012a. Tiilimassaan sekoitetun lasijauheen vaikutus poltetun tiilen ominaisuuksiin. Hämeen ammattikorkeakoulu. Muotoilun koulutusohjelma. Lasin ja keramiikan pääaine. Projektiraportti.

Auvinen, P. 2012b. Tiilimassaan sekoitetun lasijauheen vaikutus poltetun tiilen ominaisuuksiin - vaihe 2. Hämeen ammattikorkeakoulu. Muotoilun koulutusohjelma. Lasin ja keramiikan pääaine. Projektiraportti.

Hartikainen, M. & Tienaho, O. 2013 Savilasiprojekti. Muotoilun koulutusohjelma. Lasin ja keramiikan pääaine. Projektiraportti.

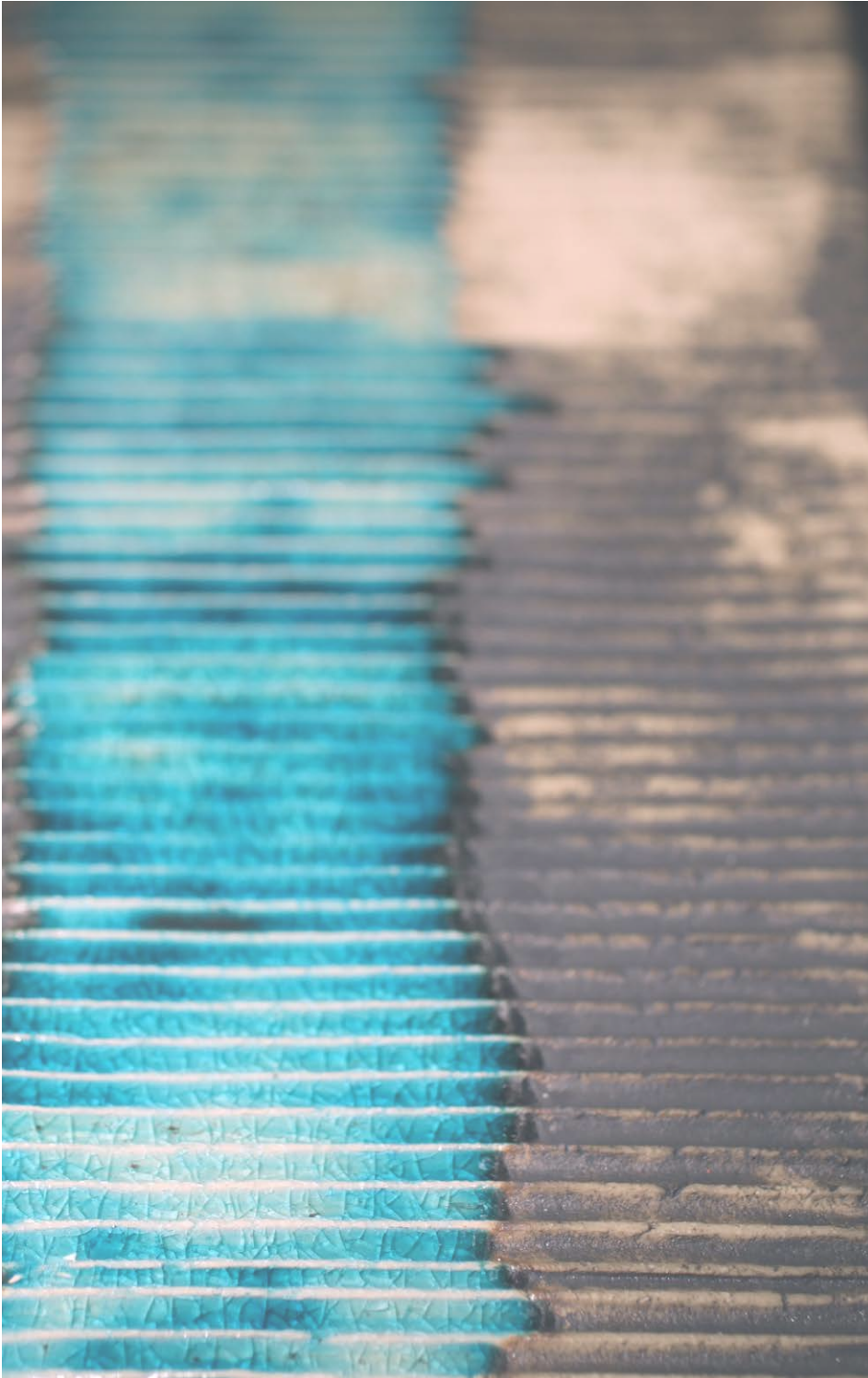


Rainio, J. 15.01.2013. Pakkaskokeet. Vastaanottaja Erkki Kaija. (sähköpostiviesti).  
Viitattu 22.4.2014.

Ylitalo, T. 2012. Punasavilasi jauheen käyttö punasavivalumassassa. Hämeen ammattikorkeakoulu. Muotoilun koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

## Kuvat

- Kuva 1. Piela Auvinen
- Kuva 2. Piela Auvinen
- Kuva 3. Marjo Kilgast
- Kuva 4. Piela Auvinen
- Kuva 5. Piela Auvinen
- Kuva 6. Piela Auvinen
- Kuva 7. Erkki Kaija
- Kuva 8. Piela Auvinen
- Kuva 9. Piela Auvinen
- Kuva 10. Piela Auvinen
- Kuva 11. Erkki Kaija
- Kuva 12. Erkki Kaija
- Kuva 13. Erkki Kaija
- Kuva 14. Marjo Kilgast
- Kuva 15. Marjo Kilgast
- Kuva 16. Marjo Kilgast
- Kuva 17. Marjo Kilgast
- Kuva 18. Marjo Kilgast
- Kuva 19. Marjo Kilgast
- Kuva 20. Marjo Kilgast



Mirja Niemelä

## Kierrätyslasijauheen käyttö engobessa, lasitteessa ja reliefikoristeessa

### Tutkimuksen lähtökohdat

Tutkimuksessa testattiin lasijauheen sopivuutta sekä engoben ja lasitteen raaka-aineeksi että reliefikoristeeseen keramiikkatuotteiden näkökulmasta. Oletuksena oli muun muassa, että kierrätyslasijauhe korvaa neitseellisen raaka-aineen engobessa ja lasitteessa, ja kierrätyslasijauhe toimii reliefipinnassa muotoilullisena lähtökohtana. Engobe- ja reliefikoikeissa kierrätyslasijauhetta testattiin laattamaisessa rakennustuotteessa. Kokeissa käytettiin Uusioaines Oy:n (Uusioaines) kierrätyslasijauhetta.

Tutkimustyöstä vastasi muotoilun yliopettaja Mirja Niemelä. HAMKista työhön osallistui useita muotoilun opiskelijoita opiskelun eri vaiheissa: Piela Auvinen oli tekemässä elinkaarimallinnuksien visualisointipohjaa (2012), Eila Kunnas työsti projektipinnoissaan lasijauheelle ensimmäisen esikoesarjan (2012), Johanna Luostarinen prässäsi laattoja malliseinämiin (2013) ja Anna-Kaisa Haanaho (2013) testasi pasutteella värjätyn massan ja lasijauheen yhdistämistä. Muotoilun assistentti Marjo Kilgast oli mukana valokuvaamassa vaiheita ja koetuloksia.

## Engobe-kokeet lasijauheella

Engobe-kokeissa selvitettiin laisjauheesta useita tekijöitä:

- vaikutusta värin muodostumiseen – pigmenttien käytössä
- sulattajana toimimista
- seossuhteita – lasijauheen määrää engobessa ja lasijauheen vaikutusta engobe-pohjaan
- vaikutusta engoben käytettävyyteen ja polttoprosessiin
- ekologista näkökulmaa.

### Engobe eli värjätty saviliete

Engobeä käytetään yleensä keramiikassa raakapolttamattoman pinnan koristeluun, sillä engobe sisältää saviaineita, jotka kutistuvat polton aikana. Engobe sisältää tyypillisesti saviosan ja väriaineen. Erivärisiä savia voi myös käyttää engobeina. Yleensä engobet valmistetaan värjäämällä saviliete tai engobe-pohja värimetallioksidoilla tai pigmentillä.

Suurin osa teollisuudessa käytetyistä väreistä ovat pigmenttejä. Pigmenttejä käytetään keramiikan lisäksi mm. maaleihin, muoveihin ja painotuotteisiin. Pigmentti on määritetty seuraavasti: Se on värillinen, musta, valkoinen tai fluorisoiva orgaaninen tai epäorgaaninen aine, joka on yleensä liukenematon ja erityisesti fysikaalisesti ja kemiallisesti reagoimaton väli- ja pohja-aineeseen, joiden kanssa se joutuu tekemisiin (Lewis 1988). Tämä tarkoittaa keramiikassa, että pigmentti ei saa liueta esimerkiksi lasitteen eikä sen värisävy saa muuttua sulatteiden tai muiden raaka-aineiden vaikutuksesta. Kokeissa käytettävä lasijauhe ei saa siis vaikuttaa pigmentistä muodostuvaan väriin polttoprosessin aikana.

Engobeissa voi saviaineiden lisäksi käyttää myös erilaisia sulatteita, joilla vaikutetaan engoben sulamiseen ja värinmuodostumiseen polton aikana. Lasijauhe toimisi engobessa tällaisena sulattajana ja värinhostajana. Lasijauhe vähentää myös muiden raaka-aineiden käyttöä eli tuo näin ekologista näkökulmaa. Lasijauheen hiukkaskoolla on myös merkitys engobessa. Hiukkaskoko vaikuttaa materiaalin sulamiseen (ks. esim. Jylhä-Vuorio 2002, 206). Mitä hienompaa on lasijauhe hiukkaskooltaan, sitä paremmin se toimii poltossa sulattajana ja siten myös värinhostajana.

Keramiikassa värin muodostumiseen vaikuttavat seuraavat asiat:

- uunin polttoilmakehä ja -lämpötila
- lasite ja sen raaka-aineet
- väriaineen määrä, väriaineen lämpötilan kesto ja hiukkaskoko.

### Engobe-koesarjat

Engobe-koesarjoissa testattiin lasijauheen toimivuutta kivitavaran polttolämpötiloissa 1200 °C - 1240 °C. Lasijauhetta ei testattu matalanpolton lämpötiloissa kuten punasaven polttolämpötilassa (1000 °C). Taustalle on haettu tietoa engobe-seoksista ja lasijauheen käytöstä kirjallisuudesta (ks. esim. Siikamäki 2003). Kokeissa pigmenttiä sisältävää engobe-pohjaa on muunneltu siten, että lasijauhe korvaa osan raaka-aineita. Koesarjat poltettiin sähköuunissa neutraalissa polttoilmakehässä, lämpötila valittiin pigmenteille sopivaksi ja niitä käytettiin valmistajan suositusmäärän mukaisesti. Esimerkiksi koesarjassa 1 käytettiin FK 546 -pigmenttiä kahdeksan prosenttia, kun sitä näin oli suositettu käytettävän valmistajan mukaan (valmistajan antama maksimikäyttömäärä, jolloin väri on tummimmillaan).

Värinmuodostajaksi engobe-kokeisiin valittiin pigmentit, ja värimetallioksiedeita ei käytetty engobe-kokeissa. Engobe-koesarjan raaka-aineet pyrittiin valitsemaan vastuullisesti, paikallisesti ja ympäristöä säästä-

västi. Lainsäädäntö määrittää raaka-aineiden liukoisuutta eli sitä, miten aineet siirtyvät keraamisista tarvikkeista esimerkiksi elintarvikkeisiin (Finlex 165/2006). Suomessa mitattavia aineita käyttökeramiikassa ovat lyijy (Pb) ja kadmium (Cd). Näitä aineita ei ole koesarjoissa käytettävissä raaka-aineissa tai ne ovat pigmenttimuodossa (kapseloituina kiderakenteeseen, punainen väripigmentti).

Engobe-kokeita tehtiin kolme eri sarjaa, joista jatkettiin koetuotteisiin. Koesarjassa 1 käytettiin Uusioaineuksen lasijauhetta vuodelta 2012 ja koesarjoissa 2 ja 3 käytettiin uudempaa lasijauhelaatua vuodelta 2013. Uusi lasijauhelaatu oli hiukkaskooltaan hienompaa ja siten parempaa koesarjoihin. Sarjoihin valmistettiin koepaloja kooltaan 10 x 5 x 0.8 cm. Koepalat raakapolletettiin sarjassa 3, sillä engobe-lasijauhe-seos toimi paremmin raakapolletetulle pinnalle kuin raakapolttamattomalle. Raakapoltto tapahtui 960 °C lämpötilaan ja lasituspoltto ohjelmoitiin 1240 °C lämpötilaan. Koepaloja ei lasitettu, kuten yleensä engoben yhteydessä toimitaan, sillä oletuksena oli että, koesarja lasittuu itsellään lasijauheesta.

### **Ensimmäinen engobe-koesarja**

Ensimmäisessä engobe-koesarjassa selvitettiin lasijauheen sulattavaa vaikutusta engobessa. Pyrkimyksenä on tuottaa pintoja, joissa ei tarvitse käyttää lasitetta värinmuodostamiseen eli lasijauhe toimii sulattajana ja lasittajana engobessa.

Pigmenttinä koesarjaan valittiin tumman vihreä pigmentti (FK 546). Koesarjassa tehtiin verrokki-engobe, joka oli nk. tyypillinen engobe-pohja (X-seos, ks. taulukko 1), jotta nähtäisiin lasijauheen lisäämisen vaikutus. Seoksessa X on käytetty perusraaka-aineina kaoliinia ja pallosavea. Näiden perusraaka-aineiden lisäksi tuotiin engobeeseen lasijauhetta ja pigmenttiä. Lasijauheen määrää lisättiin koesarjassa 10 prosentin välein ja engobe-pohjaa vastaavasti vähennettiin 10 prosenttia. Pigmentin määrä pysyy samana koesarjassa. Koesarjan polttolämpötila oli 1240 °C. Koepaloja ei raakapolletettu ennen engoben laittamista. Engobe maalattiin suoraan raakalle pinnalle kahdella eri maalausvahvuudella.

Taulukko 1. Lasijauhekokeet engobe-seoksille, koesarja 1.

g	I	II	III	IV	V	X
kaoliini	20	25	30	35	40	50
pallosavi	20	25	30	35	40	50
lasijauhe	60	50	40	30	20	0
pigmentti FK546	8	8	8	8	8	8

Engoben valmistus oli seuraavanlainen (kaikki engobe-koesarjat):

- Vettä lisättiin aluksi 1,5 desilitraa 100 g kuiva-ainetta kohden
- Veden annettiin imeytyä, jonka jälkeen seulottiin 80 meshin seulalla
- Seulonnan jälkeen engobe maalattiin koepalan pintaan.

Seula oli tarkoituksella valittu harvemmaksi, jotta lasijauhetta ei jäisi suuria määriä seulaan. Kaikki koesarjat olivat aluksi vesimäärällä liian nestepitoisia eli vesimäisiä. Koe-eristä poistettiin pintavettä, jotta ne toimisivat maalattaessa. Lopullinen vesimäärä oli 1 desilitra 100 grammaa kuiva-ainetta kohden. Seulonnassa seulaan jäi hieman karkeaa lasijauhetta.

Kokeet poltettiin sähköuunissa seuraavalla poltto-ohjelmalla:

100 °C/h – 200 °C

150 °C/h – 600 °C

täydellä teholla – 1240 °C

haudutusta 10 minuuttia

Koesarja 1:n tuloksena selvisi että I-seossuhde toimi (ks. kuva 1) parhaiten sulattaen engoben lasitemaiseksi. Polttolämpötila mitattiin testirenkaililla, ja se oli 1220 °C. Tätä lasittumis- ja sulamistulosta voidaan hyödyntää esimerkiksi kertapolttoisena engobe-lasitteena. Seos voisi toimia myös matalammassa polttolämpötilassa. Kokeita jatketaan tämän seossuhteen perusteella. Muut koesarjan kokeista olivat pinnaltaan mattoja ja sulamattomia tai jopa kuplamaisia (ks. taulukko 2). Engobeiden maalattavuutta haittasi lasijauheen karkeus. Eli mitä enemmän lasijauhetta on ja mitä karkeampaa se on hiukkaskooltaan, sitä hankalammin engobe toimi maalattaessa. Myös koepalat vaikuttivat maalattavuuteen, sillä niitä ei ollut raakapoltettu, ja raakapolttamaton pinta ei imenyt engobe riittävästi. Jatkokokeisiin valittiin I-seossuhde. Kokeesta huomattiin myös, että pigmentistä muodostuva väri oli erittäin peittävä. Jatkossa voidaan pigmentin määrää seoksissa vähentää.

### Toinen engobe-koesarja

Kokeiden perusteella jatkettiin engobe-koesarjaan 2, jossa testattiin seossuhdetta I (60 % lasia, 20 % pallosavea ja 20 % kaoliinia) viidellä eri väripigmentillä. Pigmentit olivat musta K8553, keltainen K2235, vihreä FK 546, turkoosi FK 245 ja punainen FK 6904. Pigmentin määrä vähennettiin viiteen prosenttiin koesarjan 1 perusteella. Sarjan 2 kokeet tehtiin Uusioaineksen uudella lasijauhelaadulla.

Koesarjaan kuului viisi eri seossuhdetta (ks. taulukko 3). Engobet valmistettiin punnitsemalla raaka-aineet, minkä jälkeen lisättiin vesimäärä. Veden imeytyttyä sekoitettiin ja seulottiin engobe 80 meshin seulalla. Karkeampaa lasia jäi hieman seulonnassa seulaan. Koesarjassa 2 oli mukana sekä raakoja että raakapoltettuja koepaloja. Haastavaa oli engobe-seos-





Kuva 1. Engobe-koesarjan 1 kokeet (vasemmalla I-koepala ja oikealla verrokki X).

Taulukko 2. Engobe-koesarjan 1 koepalojen luonnehdinta

Kokeen tunnus	Luonnehdinta
I-koepala	Kiiltävä ja lasimainen pinta, jossa näkyy lasijauhehiukkasia, 60 % lasijauhetta. Engoben maalattavuus oli heikko ja pinta peittävä. Toimivuus polton jälkeen hyvä, sillä voisi toimia lasitteena. Lämpötila sopiva.
II-koepala	Kuiva ja karkea pinta, 50 % lasijauhetta. Engoben maalattavuus oli heikko ja pinta peittävä. Toimivuus polton jälkeen heikko – tulisiko lämpötilaa nostaa?
III-koepala	Kuiva, kuplainen ja karkea pinta, 40 % lasijauhetta. Engoben maalattavuus oli heikko ja pinta peittävä.
IV-koepala	Tasainen ja peittävä pinta, 30 % lasijauhetta. Engoben maalattavuus oli heikohkoa.
V-koepala	Tasainen ja peittävä pinta, 20 % lasijauhetta. Engoben maalattavuus oli toimivaa.
X-koepala (verrokkikoe)	Mattapintainen tyypillinen engobe.

ten maalaamisen koepalojen pintaan, sillä lasijauhe tekee engobesta karkeamman, osin vesimäisemmän ja huonosti imeytyvän raa'alle pinnalle.

**Taulukko 3. Engobe-koesarja 2 seossuhteet pigmenteille.**

g	IA	IB	IC	ID	IE
kaoliini	20	20	20	20	20
pallosavi	20	20	20	20	20
lasijauhe	60	60	60	60	60
pigmentti	5	5	5	5	5

A=K 2235, keltainen
B=FK 6904, punainen
C=FK 546, sinivihreä
D=FK 245, turkoosi
E=K 8553, musta

Koesarjan tuloksena selvisi, että pigmentit toimivat hyvin seoksissa muodostaen toimivan väripinnan (kuva 2) raakapoltetuille pinnoille. Raa'alla koepalalla pinta oli kuplainen polton jälkeen. Raakapoltetulla pinnalla engobe toimi suhteellisen hyvin muodostaen voimakkaan värin. Osassa koepaloja oli kuroumia, mikä johtui liian paksusta engobe-kerroksesta. Lopullinen polttolämpötila mitattiin testirenkailla, ja se oli 1220 °C. Kokeiden perusteella jatkettiin uudella koesarjalla 3, jossa koepalat olivat raakapoltetuja, ja mukaan otettiin kolme uutta pigmenttiä.

### **Kolmas engobe-koesarja ja koetuotteet**

Kolmannessa koesarjassa testattiin kolme pigmenttiä aiempien viiden lisäksi (taulukko 4). Pigmentit olivat violetti R 686, oranssi FK 5001 ja lehden vihreä R 522. Koesarjan seossuhteet olivat samat kuin sarjassa 2. Muutos, joka tehtiin, oli koepalojen raakapoltto. Tämä lisäsi engoben maallavuutta ja väripinnan onnistumista.



Kuva 2. Engobe-koesarjan 2 koepaloja, polttolämpötila 1220 °C (järjestys IA-IE vasemmalta oikealle).

Taulukko 4. Koesarja 3, lasijauhekokeet engobe-seoksille.

g	IA – IG seossuhteet
kaoliini	20
pallosavi	20
lasijauhe	60
pigmentti	5

A=K 2235, keltainen
B=FK 6904, punainen
C=FK 546, sinivihreä
D=FK 245, turkoosi
E=K 8553, musta
F=R 686, violetti
G=FK 5001, oranssi
H=R 522, lehdenvihreä

Kolmannen koesarjan perusteella jatkettiin koetuotteiden valmistamiseen. Koetuotteeksi valittiin reliefikokeisiin valmistettu koelaatta, jonka syvennyspintaan engobe maalattiin, ja engobella patinoitiin laatan reunaa. Koe-laatoissa engoben pinnat olivat peittäviä ja jopa maalimaisia (kuva 4).

## Lasitekokeet lasijauheella

Lasitekokeissa selvitettiin lasijauheesta seuraavia näkökulmia:

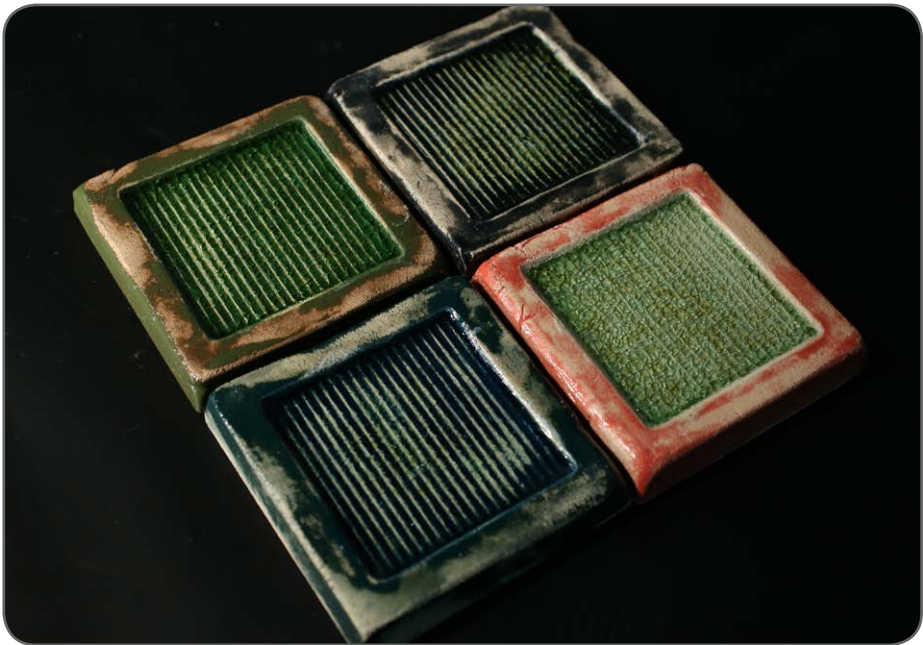
- vaikutusta lasitteeseen – väriin
- sulattajana toimimista kivitavaran polttolämpötilassa
- seossuhteita – erilaisissa lasitepohjissa
- toimintaa lasitusprosessissa
- ekologista näkökulmaa.

Mitä lasite on? Lasite on ohut ”lasikerros” keramiikkaesineen pinnalla. Lasitteet voidaan jakaa karkeasti kahteen eri ryhmään: matalan- ja korkeanpolton lasitteisiin. Matalanpolton lasitteet toimivat lämpötila-alueella n. 980 °C - 1100 °C (esim. punasavi ja savitavara) ja korkeanpolton lasitteet n. 1100 °C polttolämpötilasta ylöspäin (kivitavara, posliini) jopa yli 1300 °C:een asti. Lasitteen polttolämpötilan määrittää savi, josta tuotteen runko on tehty. Esimerkiksi punasavi on matalapolttainen savi, joka vaatii lasitteelta n. 1000 °C lämpötilan. Lasitteilla on yleensä laaja polttoväli, mikä tarkoittaa, että sama lasite voi toimia eli sulaa esimerkiksi sadan asteen lämpötila-alueella.

Lasitteet koostuvat useasta raaka-aineesta, joilla jokaisella on erilainen vaikutus lasiteseoksen toimintaan polttoprosessissa. Lasitteessa on muun muassa alkaleja ja maa-alkalien oksideja sulatus- ja säätöaineina. Kokeet suunniteltiin ajatuksella, että lasijauhe toimii kokeissa sulatusaineena. Sii-kamäen (2006, 34 ja 51:) tutkimuksessa Glass Can Be Recycled Forever korvattiin suomalainen kalimaasälpä tv- ja tietokonelaitteiden monito-reista tehdyllä lasijauheella. Tutkimuksen mukaan monitorilasin ja kali-maasälvän analyyseissä on yhteneväisyyksiä. Esimerkiksi paneelilasissa



Kuva 3. Engobe-koesarjan 3 värisävyt poltonjälkeen. Lasijauhe toimii hyvin sulattajana engobessa. Vasemmalta oikealle järjestyksessä IA - IG.



Kuva 4. Engobe-kokeita koelaatoilla, värit punainen B (alhaalla oikealla), musta E (ylhäällä oikealla), lehden vihreä H (ylhäällä vasemmalla) ja sinivihreä C (alhaalla vasemmalla). Poltto 1220 °C lämpötilassa sähköuunissa.

on SiO<sub>2</sub> määrä 58,85–65,40 prosentin välillä ja kalimaasälvässä sitä on 67,32 prosenttia. Siikamäen tutkimus osoitti, että lasijauheella voidaan korvata lasitteen raaka-aineita (ks. myös Siikamäki ja Leppänen 2003).

### Lasitekokeet

Lasitekokeet tehtiin kivitavarasavelle, joka määrittä myös lasitteen polttolämpötilaa ja raaka-aineita. Koesarjoihin valittiin viisi kivitavaralasi- tetta (verrokkilasitteet, ks. taulukko 5), joiden raaka-aineista korvattiin kalimaasälpä lasijauheella. Lasitteiden valintaan vaikuttivat niiden hyvä toimivuus lasitteena, erilaisuus toisiinsa verrattuna ja polttolämpötilan sopivuus. Lasitteet ovat valittu myös siten, että niissä on paikallisia raaka-aineita, joiden ympäristövaikutukset (kuljetus) ovat pienemmät kuin ulkomailta tuotujen raaka-aineiden. Lasitteiden raaka-aineissa ei myöskään ollut ympäristölle haitallisia aineita kuten raskasmetalleja. Lasijauhe ensimmäisessä lasitekoesarjassa oli vuoden 2012 erästä. Kokeisiin valitut verrokkilasitteet olivat seuraavat: V2 (Hortling 2000), P12 (Pajunen 1989), P30 (Salmenhaara 1983) ja KXX5 (Hortling 1991).

**Taulukko 5. Luonnehdinnat verrokkilasitteista.**

Lasite	Luonnehdinta
V2	Himmeä, sopii väreille, 1230 – 1260 °C.
P12	Himmeä, läpikuultavahko lasite, 1250 °C, posliinilasite, ilmeisesti korkeammalle poltettuna kiiltävä.
P30	Kiiltävä, maitomainen paksuna, taittaa värit, kaunis engobeilla, 1230 – 1240 °C.
KXX5	Kiiltävä, läpikuultava, hyvä pigmenteille, poltto n. 1250 °C.

**Taulukko 6. Lasitekoesarja 1, lasijauheella korvataan kalimaasälpä lasitteissa.**

Seossuhteet painoprosenteina / g	V2	VX	P12	PX	P30	P30X	KXX5	KXX5X
Liitu	16	16	5	5	20	20	18	18
Kalimaasälpä, FFF	48		70		30		45	
Lasijauhe		48		70		30		45
Kvartsi, FFQ	24	24	10	10	30	30	25	25
Kaoliini, standard porcelain	4	4	5	5			6	6
Sinkkioksidi					10	10	6	6
Punasavi, Kultelan tiiliputki Oy					10	10		
Dolomiitti	8	8						

Lasitekokeet valmistettiin punnitsemalla raaka-aineet, jonka jälkeen lisättiin vesi. Veden annettiin imeytyä lasitteeseen, lasite sekoitettiin ja seulottiin 80 meshin seulalla. Seoksien vedenmäärä oli vakio. Koepalan koko oli 5 x 10 x 0.8 cm. Koepalat lasitettiin kaatamalla kaksi eri vahvuutta lasitetta koepalan pintaan. Koepalat poltettiin 1240 °C lämpötilaan sähköuunissa, ja haudutusta oli 10 minuuttia. Lopullinen lämpötila testirenkailta mitattuna oli 1220 °C.

### Lasitekokeiden tulokset

Lasitteiden valmistus (veden lisäys, seulonta ja lasittaminen) oli osin haastavaa, sillä lasijauheen karkeus aiheutti hankaluuksia lasitteen seulonnassa ja lasittamisessa. Väritään lasitekoe-erät olivat lasite-vesi-seoksessa vihertäviä, mikä johtui lasin väristä. Oletettavasti tämä vihreä sävy näkyy polton jälkeen. Osin lasite-vesi-seos oli myös harmahtava, mikä aiheutui oletettavasti kierrätyslasin sisältämästä epäpuhtauksista. Veden lisäämisen jälkeen lasijauhe vajosi lasiteastian pohjalle, mikä vaikeutti koepalojen lasittamista. Koe-erien myllytys olisi jauhanut lasitteen tasajakoisemmaksi ja toimivammaksi, mutta siihen ei lähdetty, sillä ekologisesti myllytys ei ole järkevää sähköä, vettä ja laitteita kuluttavana toimenpiteenä. Jatkossa sopivalla lisäaineella voidaan lasijauheen vajoaminen lasiteseoksen pohjalle estää.

Tässä vaiheessa lasitekokeita saatiin uusi erä lasijauhetta Uusioainekselta. Lasijauheen ollessa parempaa sekä jauhatukseltaan että laadultaan päätettiin tehdä sama lasitekoesarja 1 uudestaan uudella lasijauhelaadulla. Koesarjan toimivimman tuloksen antoi lasite VX (kuva 5 ja taulukko 7). Lasitekokeet päätettiin kuitenkin lopettaa, sillä lasijauhe olisi vaatinut jatkoystämistä kuten myllyttämistä. Tämä ei ole järkevää ekologisuu- den näkökulmasta. Myös lasitteiden vihertävät värissävyt ja mattamainen laikukas pinta vaikuttivat päätökseen.



Kuva 5. Lasitekoesarjan yksityiskohta (lämpötila 1240 °C). Kokeet vasemmalta oikealle VX-, PX-, P30X -ja KXX5X-lasitteet.



**Taulukko 7. Lasitekoesarjan 1 tulokset ja luonnehdinnat lasitteista.**

Lasite	Luonnehdinta – vertailu verrokkilasitteisiin
PX	Lasite on himmeä, hieman vihertävä ja karkea pinnaltaan verrattuna mattaan peittävään P12-lasitteeseen. Lasittaminen oli hankalaa lasijauheen karkeuden vuoksi.
VX	Lasite on himmeä, tasaisempi pinnaltaan kuin P12 X -lasite. Lasite on suhteellisen toimiva lasite himmeäksi lasitteeksi. Verrokki lasite V2 on kiiltävä. Lasite V2 X olisi hyvä kohde jatkotutkimuksiin. Seoksessa on 48 % lasijauhetta. Lasittaminen oli hankalaa lasijauheen karkeuden vuoksi.
P30X	Lasite on osin ruskean laikukas pinnaltaan kun vertaa verrokkiin P30-lasitteeseen. Lasittaminen oli hankalaa lasijauheen karkeuden vuoksi. Koepalassa on kiiltävä kraklaamaton lasitepinta.
KXX5X	Lasite on himmeä sisältäen valkoista utumaisuutta, karkea pinnaltaan. Verrokki KXX5 on kiiltävä pinnaltaan. Lasittaminen oli hankalaa lasijauheen karkeuden vuoksi.

## Reliefilaatan koristelu ja pinnoitus lasijauheella

Reliefikokeissa lähdettiin lasijauheesta selvittämään seuraavia seikkoja:

- vaikutusta värin muodostumiseen – oksidipatinoiden ja pasutteen yhteydessä
- käyttöä laattamaisessa pinnassa
- määrää reliefin pinnalla
- sapluunan käyttöä lasijauheen levittämisessä
- toimimista laatan valmistusprosessissa
- laattamaisen malliseinämän suunnittelua ja valmistusta
- ekologista näkökulmaa
- kestäväää elinkaariajattelua – elinkaaren mallintamista.

Lasin ja keramiikan yhdistelmiä esiintyy keramiikkatuotteissa. Yleensä lasia on joko tuotteen massassa tai sitä on sulatettu keraamisen muodon pintaan, johon se muodostaa ohuemman tai vahvemman lasikerroksen. Tässä osiossa selvitetään lasijauheen käyttämistä ja sulattamista keraamisen tuotteen pinnassa. Tällainen lasikerros voimistaa pinnan muotoa ja värin näkymistä sekä valon heijastumista, ja on siten mielenkiintoinen lähtökohta tutkimukselle ja muotoilutyölle (kuva 6). Etuna ovat lasin tuoma estetiikka kuten krakleet, vivahteikkaus ja valon heijastuminen sekä värinmuodostuskyky. Lasikerros esineen pinnassa tuo myös haasteita tuotteeseen. Ongelmana tällaisessa koristeessa ja pinnassa on lasikerroksen säröily ja mahdollinen jännite lasin ja keramiikkarungon välissä. Usein lasi on lisätty karkeampana murskana tuotteen pintaan silmämääräisesti ennen polttoa, mikä vaikeuttaa tuotteen toistamista samanlaisena, kun lasinmäärää ei ole punnittu. Raaka-aineena tällaisissa tuotteissa on käytetty kierrätyslasimurskaa.

Reliefikokeissa selvitettiin toimivaa ja toistettavaa lasinmäärää reliefikoristeeseen, jotta jännite olisi hallittavissa massan ja lasin välillä sekä lasi toistaisi reliefikoristeen hyvin peittämättä sitä. Koesarjaan suunniteltiin kolme laattamuotoa, joissa oli viivamainen reliefipinta. Laattamainen muoto valikoitui, koska tuotteen pinnan tulee olla suora, jotta sulava lasi pysyy pinnalla polton edetessä. Laattamuotoon päädyttiin myös siksi, että se on rakennustuote, jonka monistaminen onnistuu teollisesti prässäämällä.



Kuva 6. Reliefikuva sinisellä lasimurskalla ja kuparipatinalla pinnoitettuna.

Kokeisiin suunniteltiin myös väriaineiden käyttö, sillä reliefikoristeen korostaminen väriaineella tuo tuotteeseen muotoilupotentiaalia. Kokeisiin otettiin väriaineiksi värimetallioksidit ja niistä tehdyt patinaseokset. Tyypillisesti patinoinnissa värimetallioksidi levitetään tuotteenpintaan vain osittain, jolloin pinnasta tulee elävä ja moniulotteinen. Perinteisessä patinaohjeessa puhdasta oksidia maalataan raakapoltettuun pintaan, jolloin oksidi kuivaa pölymäiseksi pinnaksi. Tätä työtapaa ei haluttu kokeisiin, sillä oksidipöly on haitallista hengitettynä. Siksi patinaseoksia muutettiin niin, että oksidin määrä minimoitiin ja patinaseokseen tuotiin sitovaa savimaista raaka-ainetta, mikä estää pölyämisen patinointivaiheessa. Oksideja käytettiin kokeissa harkiten, sillä niiden ympäristövaikutukset ovat erilaiset kuin pigmenteillä.

### Reliefikokeet lasijauheella

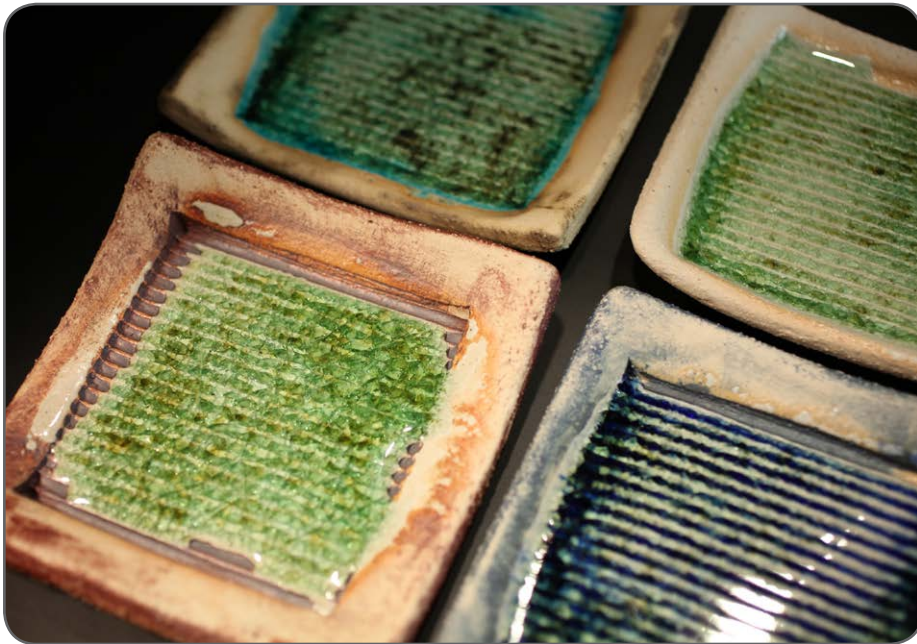
Ensimmäisinä kokeina tehtiin pienet reliefipintaiset koevadit Cerama 280 -savesta, joilla testattiin patinan ja lasin sopivuutta reliefipinnassa sekä lasijauheen määrää suhteessa koevadin pinta-alaan. Lasijauhetta käytettiin  $0,25 \text{ g/cm}^2$ . Kokeissa selvitettiin myös lasin käyttäytymistä tuotteen pinnalla polton aikana. Taulukossa 8 on selvitetty patinoiden seossuhteet ja raaka-aineet. Koevadit poltettiin  $1230 \text{ }^\circ\text{C}$  lämpötilaan sähköuunissa.

**Taulukko 8. Patinaohjeet kolmella oksidilla, polttolämpötila  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  -  $1250 \text{ }^\circ\text{C}$ .**

Patinaohje	1	2	3
Pallosavi (hyplas 64)	80	95	80
Kuparioksidi	20		
Kobolttioksidi		5	
Rautaoksidi			20

Patina	Luonnehdinta
1	vihertävä, rusehtava
2	sinertävä, tumman sininen
3	ruskea, punaruskea

Tuloksena koevadeista voidaan todeta (kuva 7), että lasijauhe toimi riittävän hyvin, ja muodostaa hyvän pinnan reliefin kanssa toistaen patinoiden värit kaunisti. Esimerkiksi rautapatinan väri on koevadin reunalla lämpimän ruskea ja reliefiosassa vihreä. Tämä on mielenkiintoinen muotoilulähtökohta. Ilman patinaa lasijauhe muodosti hennon vihreän värin reliefipintaan. Tämä johtui lasijauheen sisältämistä väriaineista. Lasi määrä oli hieman matala koevadeissa, sillä laatoissa oli selkeästi kuroumia. Kuroumien muodostumiseen vaikutti myös patinaseoksen pölymäinen pinta ja vahvuus pinnalla. Tästä syystä jatkokokeissa lisättiin lasijauheen määrää neliösentiä kohden, jotta kuroutuminen vältettäisiin ja lasi peittäisi reliefipinnan hyvin.



Kuva 7. Ensimmäiset kokeet poltettuina, koevadeissa kierrätyslasijauhetta ja patinaa (vasen alakulma rautapatina 3, oikea alakulma kobolttipatina 3, ylävasen kuparipatina 1 ja yläoikealla koevadissa pelkkä lasijauhe.

### Ensimmäiset koelaatat – koelaatta 1

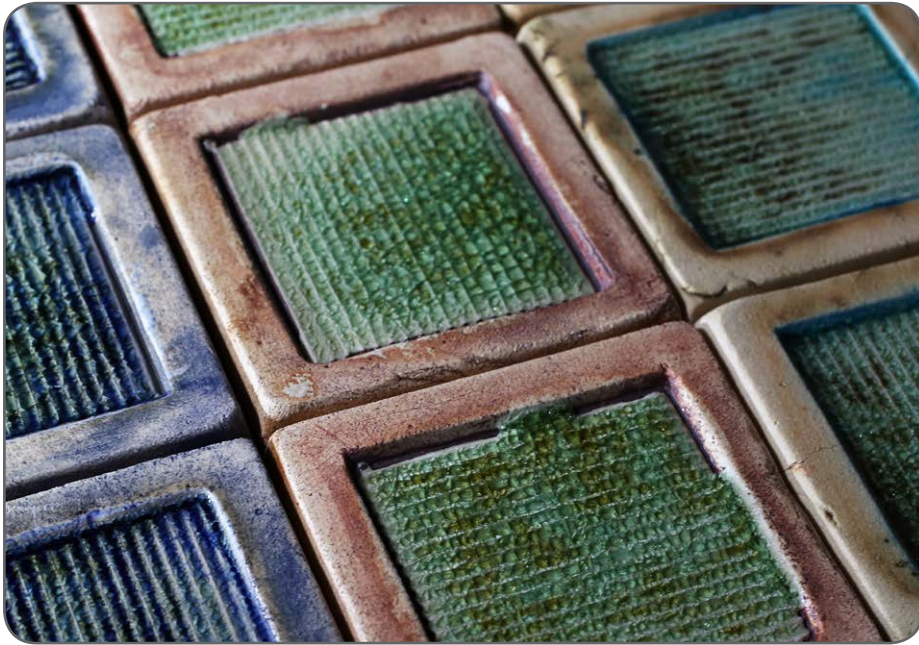
Koekatien jälkeen jatkettiin koelaattojen suunnitteluun ja valmistamiseen. Seuraaviin kokeisiin valmistettiin kaksi koelaattaa kooltaan 12 x 12 cm (poltettu koko), joiden reliefipinnan pinta-ala oli sama mutta syvyys eri. Koesarjassa täytettiin koelaatat jälleen tietyllä lasijauhemäärällä neliösentiä kohden. Koelaatan pinta-ala määritettiin ja lasijauhetta käytettiin 0,31 g/cm<sup>2</sup> (25 g lasijauhetta laatalle). Koelaatat tehtiin säänkestävästä Valentine E/S 70 -arkkitehtisavesta. Patinan käyttöä jatkettiin reliefipinnassa. Samoilla koelaatoilla tehtiin myös engobe-koesarjan koetuotteet (ks. kuva 4) sekä kokeiltiin pasutetta sisältävän kahden patinan toimivuutta reliefipinnassa (taulukko 9). Patinaseoksen suunnittelussa käytettiin taustatietona pasutteelle tehtyjä aiempia tutkimuksia (Niemelä 1999; Niemelä 2010), joissa pasute värjäsi keraamisen massan toimivasti 20 prosentin määrällä. Pasutekokeessa haluttiin selvittää pasutteen muodostama väri lasijauheelle ja sen toimivuus laattamaisessa tuotteessa. Pasute on Yara Suomi Oy:n (entinen Kemira Growhow Oy) Siilinjärven tehtaan rikkihappotuotannon rautapitoinen sivutuote, joka on väriltään viininpunaista ja mineraalikoostumukseltaan hematiittia sisältäen rautaoksidia Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> melkein 96 % (ks. Niemelä 2010, 186; Niemelä 1999).

**Taulukko 9. Pasutteen käyttömäärät patinaseoksessa.**

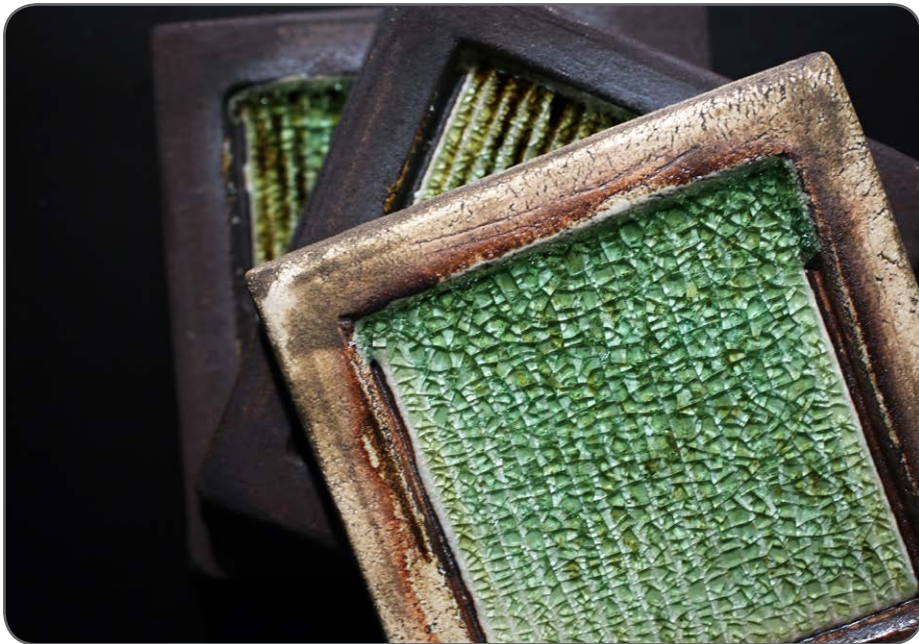
Patinaohje paino-%	1	2
Pallosavi (hyplas 64)	50	80
Pasute	50	20

Koelaattojen koejärjestelyt olivat samanlaiset kuin koekatien yhteydessä tehdyt. Koelaatat patinoitiin raakapolton jälkeen. Patinoinnin jälkeen punnittiin ja levitettiin lasijauhe laatan syvennykseen. Kun lasijauhe oli polttamatonta se täytti koelaatan syvennyksen, mikä laittoi miettimään sen pysymistä polttoprosessissa laatan pinnalla. Lasijauhe pysyi kuitenkin syvennyksessä ja suli toimivaksi pinnaksi reliefin päälle.

Kokeet onnistuivat sekä pinnoiltaan että väreiltään ja patina-lasijauheyhdistelmät toimivat hyvin koelaatoissa (kuva 8). Pasutekokeet toimivat myös, joskin pasutteen muodostama väri oli tummahko, kun sitä oli 50 prosenttia patinassa (kuva 9). Pasutteen käyttäminen patinana oli hie-man haasteellista. Se sisälsi karkeutta, mikä haittasi sekä maalattavuutta että patinoimista. Pasute vaatisi jatkotyöstämistä kuten seulontaa tai myllytystä. Jatkossa voisi pasutteella värjätä sekä laatan rungon että reliefipintaa.



Kuva 8. Patinakokeet lasijauheella. Vasemmalla kobolttipatina, keskellä rautapatina ja oikealla kuparipatina lasijauheella.

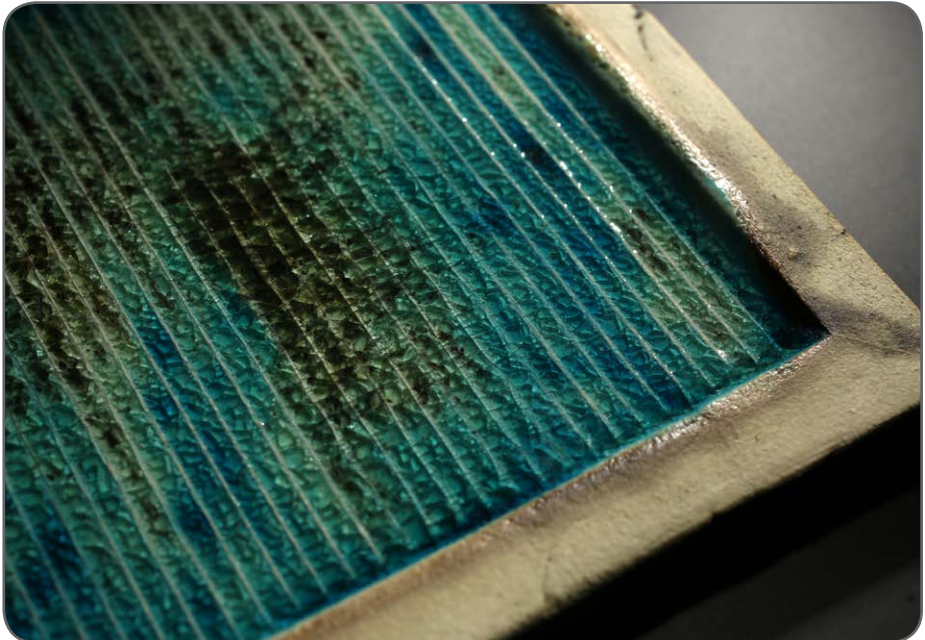


Kuva 9. Pasutekokeet lasijauheella. Päällimmäisenä pasutepatina, jossa on pasutetta 20 prosenttia, alimmaisena 50 prosenttia pasutetta sisältämä patina.

### Malliseinämä 1

Koelaattojen onnistuttua jatkettiin koetuotteiden kehittämiseen. Reliefilaatoista haluttiin tehdä malliseinämä, joka ilmentäisi lasijauheen ja reliefipinnan käyttöä rakennustuotteessa. Suunnittelun lähtökohtana oli muotoilla laatta, josta voidaan muodostaa seinäpintaa (malliseinämä) koekohteeseen. Laattamuodossa oli edelleen syvennys lasille, joilla lasin sulamista ja valumista hallittiin polton aikana (ks. kuva 10). Laatta valmistetaan prässäämällä muottiin, eli työskentely vaati mallineen valmistamisen ja siitä muottien monistamisen. Laatan patinaseokseksi valittiin kuparia sisältävä patina numero 1.

Malliseinämän laatat valmistettiin Valentine E/S 70 -arkkitehtisavesta (kokonaiskutistuma 6 % ja polttoväli 1180 °C - 1260 °C). Laatat raakapolletettiin 900 °C lämpötilaan, ”lasituspolletettiin” 1240 °C lämpötilaan sähköuunissa, ja haudutusta oli 5 minuuttia. Lasijauhetta laatoissa oli 90 grammaa eli 0,3 g/cm<sup>2</sup>. Laattoja monistettiin sarja, josta suunniteltiin ja toteutettiin malliseinämät Riihimäen vanhan lasitehtaan kahteen wetilaan (kuva 11). Tilat ovat Kiinteistö Oy Riihimäen Lasi Oy:n hallinnoimia (A. Ahlström Kiinteistöt Oy:n tytäryhtiö).



Kuva 10. Yksityiskohta malliseinämän laatasta, värinä kuparipatina.



Kuva 11. Yksityiskohta malliseinämästä Riihimäen lasitehtaan kohteessa.



### Pakkasenkestävyys ja vedenimukyky

Tutkimuksessa tehtiin valituille laatoille pakkasenkestävyyskokeet kesän 2013 aikana yhteistyöyritys Wienerberger Oy:n Lappilan tiilitehtaan laboratoriossa. Tieto kiinnosti, sillä Suomen sääolosuhteet vaativat rakennustuotteilta pakkasenkestoa, jos niitä käytetään ulkona. Laatat oli tehty säänkestävästä arkkitehtisavesta, ja lisäksi tarvittiin tieto, pysyisikö kraklannut lasipinta laatan pinnalla. Tämä kertoisi lasin ja massan välisestä sidoksesta. Kokeessa oli sekä pienempää laattakokoa että malliseinämän 1 laattoja (taulukko 10). Testissä kappaleet kävivät läpi 30 sulatus-jäädäytys-sykliä.

Tuloksena kokeesta voidaan todeta että, lasi pysyi rapautumatta laatan pinnalla vaikka oli kraklannutta. Vedenimukyky erän 1 ja erän 2 laatoissa oli 2,5 ja 5 prosentin välillä, mikä johtuu siitä, että laatat polttoerässä 2 on poltettu korkeampaan lämpötilaan kuin erän 1 laatat (taulukko 10). Pakkasen kesto on ollut hyvä kaikilla laatoilla, vaikka yhdessä on

**Taulukko 10. Pakkastestit laatoille.**

Laattamalli	Kappalemäärä	Vedenimukyky	Pakkaskoe
Malliseinä 1 laatat:			
Erä 1 (polttolämpötila 1230°C)	1	5	ei muutoksia
Erä 2 (polttolämpötila 1250 °C)	2	2,5 ja 3,2	ei muutoksia

Koelaatta 1:	Kappalemäärä	Vedenimukyky	Pakkaskoe
A - Kuparipatinalla	4	3,8 (keskiarvo)	yhdellä laattalla pieni halkeama, muissa ei muutoksia. Halkeamaa epäillään ennen testiä tulleeeksi.
B - Rautapatinalla	5	3,4 (keskiarvo)	ei muutoksia
C - Kobolttipatinalla	5	3,5 (keskiarvo)	ei muutoksia

maininta pieni halkeama. Halkeamaa epäillään polton aikaiseksi halkeamaksi, joka on jäänyt huomaamatta ennen pakkaskoetta.

## Malliseinä 2

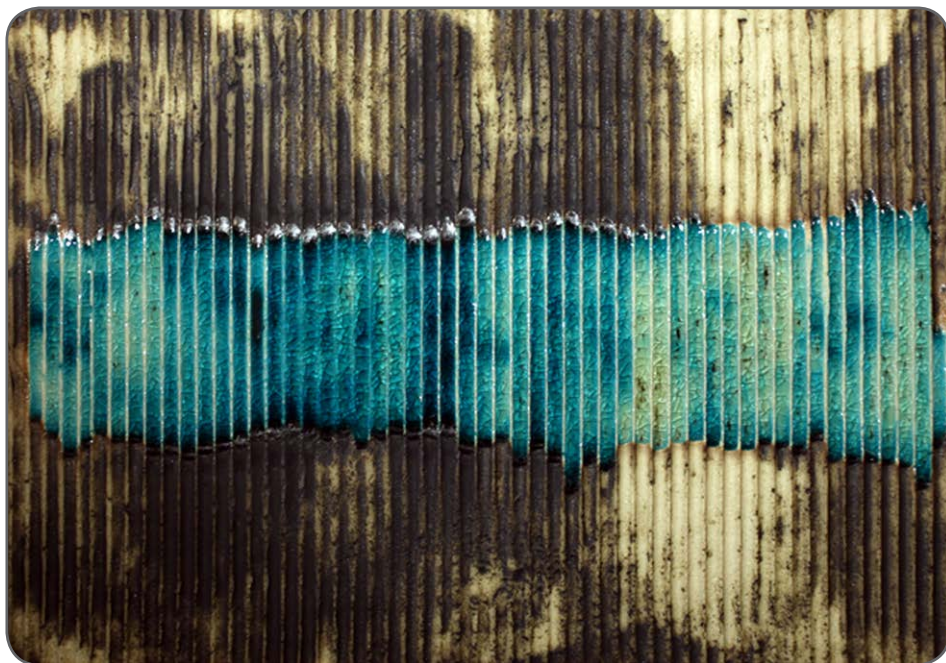
Kun malliseinämän 1 laatat oli suunniteltu ja valmistettu, tuloksena selvisi, että lasi toimi hyvin reliefipinnalla. Uutena ideana lähdettiin testaamaan, pysyisikö lasijauhe reunuksettomassa laatassa. Kokeeseen tehtiin kolmas laattamuoto ja siitä muotit. Laatassa on pintana raitamaista reliefiä ilman laattaa kiertävää reunusta. Lasijauheen lisäämistä pinnalle kokeiltiin myös uudella tavalla, sapluunaa käyttämällä. Lasijauhe vedettiin metalliterällä sapluunan avulla pintaan, jolloin sitä ei tarvinnut punnita ja työskentely oli nopeampaa ja sujuvampaa. Uuteen laattaan tehtiin kahta erilaista reliefipinnan sapluunakoristelua lasijauheella: pyöreämuotoista ja suorakaidetta (kuvat 12 ja 13). Laatalle kokeiltiin myös lasijauheen levittämistä ilman sapluunaa koko laatan pinnalle. Tällä selvitettiin, pysyisikö lasi laatan pinnalla valumatta reunan yli poltossa.

Tuloksena selvisi, että lasijauhe määrällä 0,15 - 019 g/cm<sup>2</sup> pysyi hyvin laatan pinnalla poltossa ja suli kauniiksi pinnaksi. Käytännössä lasin lisääminen sapluunan avulla oli toimivaa, ja se joudutti myös prosessia, kun lasia ei tarvinnut punnita. Polton jälkeen lasi oli sulanut kauniiksi pinnaksi, joskin sapluunakuvion reunat olivat epätarkat. Tulos oli toimiva, ja sen perusteella lähdettiin suunnittelemaan ja toteuttamaan toista malliseinämää.

Malliseinämää varten prässättiin laattoja, joita koristeltiin usealla erilaisella sapluunakoristeella. Polton jälkeen niistä sommiteltiin malliseinä, joka asennettiin Hämeen ammattikorkeakoulun Visamäen kampukselle (kuva 14).



Kuva 12. Reliefilaatta, jossa on pyöreämuotoinen sapluunakoriste.



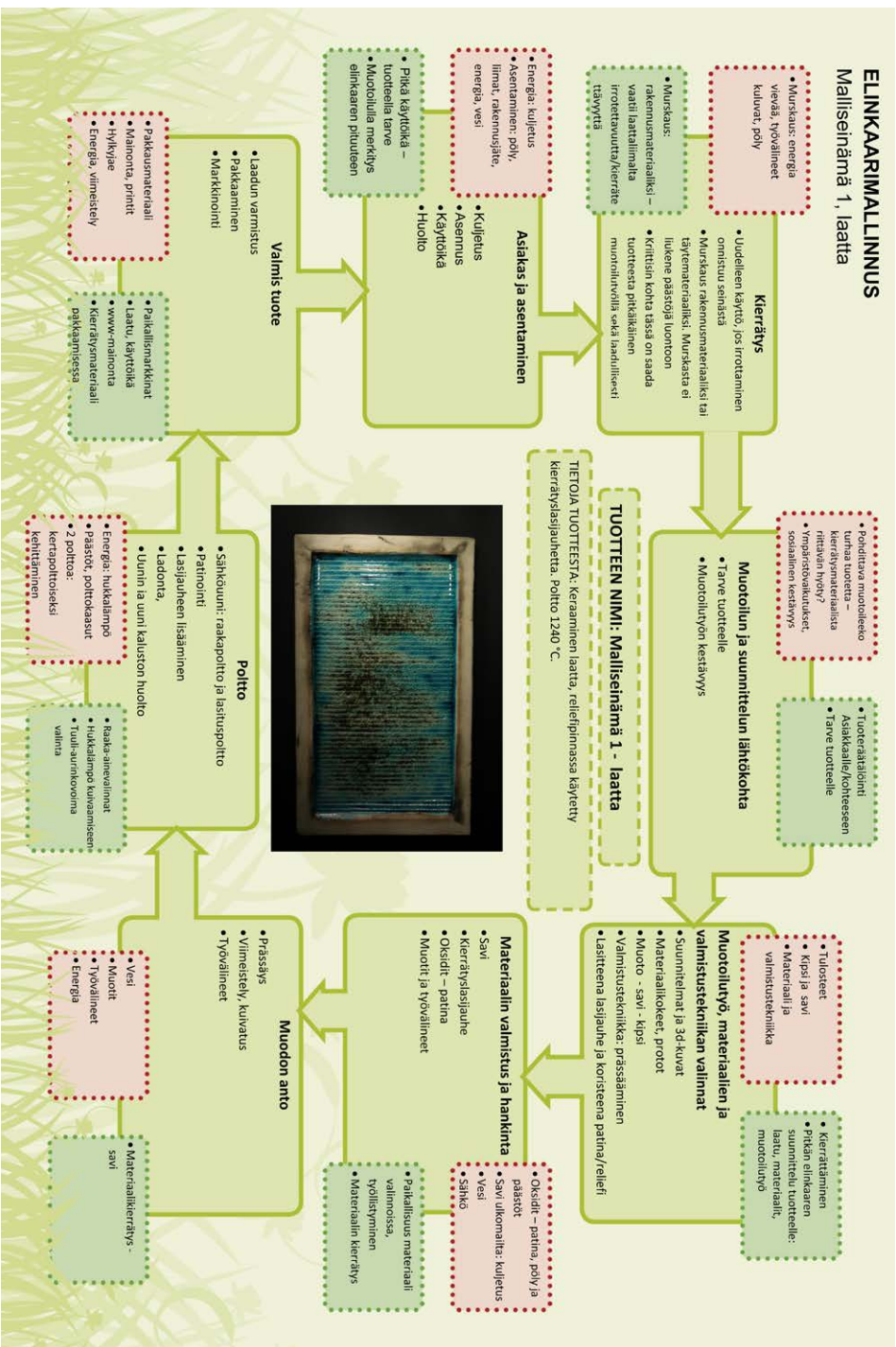
Kuva 13. Suorakaiteen muotoinen sapluunakoriste reliefipinnalla.



Kuva 14. Malliseinämä 2, yksityiskohta seinämän sommittelusta.

### **Kestävä elinkaariajattelu malliseinämän 1 laatalle**

Yksi Rifolasi-hankkeen kantavista ajatuksista ovat olleet ympäristövaikutukset ja niiden arvioiminen tuoteaihioiden kohdalla. Yksi tapa arvioida tuotteen elinkaarevaikutuksia on kestävä elinkaariajattelu elinkaarimallinnuksen avulla. Kestävässä elinkaariajattelussa tuotteen elinkaaren aikaiset vaikutukset pohditaan kestävä kehityksen ulottuvuuksien mukaisesti (ks. Niemelä 2010). Tässä osiossa päädyttiin tekemään kestävä elinkaariajattelu malliseinämän 1 laatalle (kuva 15). Laatta on kooltaan 27,5 x 16,5 cm, painoltaan 900 - 950 g, ja siinä on lasia 90 g. Lasijauheella korvataan lasitepinta laatasta. Laatan käyttökohteena olisivat seinäpinnat rakennuskohteissa, joissa halutaan näyttävyyttä ja ilmettä seinälle.



Kuva 15. Kestävä elinkaariajattelu malliseinämän 1 laatalle.

Tuloksena laatalle tehdystä elinkaariajattelusta selvisi, että laatan päästöt sekä energian ja materiaalin kulutus tapahtuvat pääosin tuotteen suunnittelu- ja valmistusprosessissa. Energian kulutusta on myös materiaalien kuten kierrätyslasijauheen tuotantovaiheessa. Toisena tuloksena voidaan todeta, että elinkaareissa on kohtia, joissa ympäristövaikutuksia voidaan vähentää alkuvaiheen valinnoilla. Elinkaaren ympäristövaikutuksiin vaikuttavat positiivisesti tuotteen laatu, aikaa kestävä muotoilu, pitkä käyttöikä, raaka-aineiden/materiaalien valinta, valmistusmenetelmä, paikallisuus sekä materiaalissa että markkinoinnissa, paperiton markkinointi (www-sivuilla), pakkaaminen kierrätysmateriaaliin sekä tuotteen loppukierrätys tuotteena tai murskana. Tuotteen elinkaaren ei tarvitse päättyä kaatopaikalla, vaan kestävän ajattelun mukaisesti tuote tulee muotoilla kehdestä-kehtoon -ajatuksella kuten McDonough ja Braungart ilmaisevat (2002, 92 - 115). Ajattelussa poisheitettävän tuotteen materiaali kiertää uuteen tuotteeseen tai tuote kiertää uudelleen käyttöön.

Kierrätyslasin käyttäminen luo tuotteelle myös positiivista kierrätysimagoa. Se korvaa lasiteraaka-aineiden käytön eli vähentää lasitteen osalta neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Lasin tuoma värien kirjo luo muotoilupotentiaalia ja siten pitkäikäisiä tuotteita. Lasijauheesta, energiaa ja materiaalia säästävistä prosesseista saadaan vahva imago tuotteelle. Tuotteen muodon ja koristeen voi räätälöidä myös asiakkaan tarpeen mukaisesti tuotannon ollessa joustava, jolloin saadaan pitkäikäisiä tuotteita. Lasijauhe toimii tuotannossa ja laatan pinnalla. Lasijauhetta sisältävän tuotteen valmistus- ja polttoprosessista tulee pääsääntöisesti samat päästöt kuin vastaavan tuotteen prosessista (pöly, polttokaasut).

Tuotteen elinkaaren kestävästä mallintamisesta ilmeni, että ekologisuus, esteettisyys ja eettisyys ovat myös tuotteen elinkaareissa. Tuotteen kestävyttä kuvastaa mm. miten materiaalit on valittu ja miten tuote on valmistettu. Jos tuotantoprosessi on hoidettu kestävän kehityksen ulottuvuuksia toteuttaen, tuote on myös prosessiltaan kaunis. Tuotteen kaunis ulkomuoto ei kuvasta ainoastaan kestävyyttä. Kauneuden on oltava myös tuotteen elinkaareissa.

## Yhteenveto

Tutkimuksen tuloksena saatiin tietoa ja näkökulmia lasijauheen käyttämiselle. Engobe-kokeet osoittivat, että lasijauhetta voidaan käyttää raaka-aineena engobe-pohjassa. Lasijauhe sulattaa ebgojen lasitemaiseksi, kun sitä on 60 prosenttia engobepohjassa. Lasijauhe toimi myös väripigmenttien kanssa. Koesarjojen perusteella pigmenteistä muodostuvat värit olivat peittäviä ja jopa maalimaisia. Engobe-seosten käytettävyys oli kuitenkin haasteellista, sillä lasijauhe oli hiukkaskooltaan liian karkeaa engobekäyttöön. Engobe-kokeiden perusteella tutkimusta voitaisiin jatkaa keratapolttoisten väriラスitteiden suuntaan, jolloin lasijauhetta tulisi työstää hiukkaskooltaan hienommaksi. Reliefipinnalla käytettynä tällaiset lasitteet olisivat hyvä pohja muotoilutyölle.

Lasitekokeet toivat eteen haasteita, sillä lasijauheen puhtauden ja raekoon tulisi olla riittäviä lasitteen raaka-aineena käytettäessä. Koelasitteet olivat väriltään hennon vihertäviä ja pinnaltaan mattamaisia. Lasitekokeita jatkettaessa tulisi lämpötilaa nostaa sulamisen varmistamiseksi ja tehdä lisää kokeita uusilla seossuhteilla. Lasijauhe ei myöskään sellaisenaan toimi lasitteen raaka-aineena. Se oli karkeaa lasiteraaka-aineeksi, mikä vaikeutti lasittamista käytännössä. Hiukkaskoon tulisi olla lähempänä lasiteissa käytettävien materiaalien hiukkaskokoa.

Reliefikokeet koettiin onnistuneimmiksi. Lasijauhe toimi reliefipinnassa toistaen oksidipatinoiden värejä ja pintaa kiinnostavasti. Lasimäärästä saatiin myös käsitys reliefipinnalla käytettäessä. Kaiken kaikkiaan lasijauhe toimi hyvin reliefipinnalla. Sapluunan käyttäminen lasijauheen levittämisessä joudutti prosessia, ja se olisi myös siirrettävissä teolliseksi toimintatavaksi. Malliseinämiä kautta saatiin käsitys reliefilaattojen visuaalisesta ilmeestä ja muotoilullisesta potentiaalista rakennustuotteeksi.

Ekologisesta näkökulmasta lasijauhe sisältää potentiaalia keramiikan raaka-aineeksi. Lasin sisältämät epäpuhtaudet ja väri eivät näy tuotteessa, ja ne voidaan oikealla suunnittelulla muotoilla osaksi tuotetta. Lasijauhetta käyttämällä voidaan myös tehdä pitkäikäisiä tuotteita, mikä on tärkeä tekijä tuotteen elinkaareissa ja kestävyuden näkökulmassa. Pitkäikäisyys tarkoittaa materiaali- ja tuotantotiedon ja muotoiluosaamisen yhdistämistä suunnittelutyössä.

## Lähteet

- Finlex 165/2006. **Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus** elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista keraamisista tarvikkeista. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060165>. Luettu 10.3.2014.
- Hortling A. 1991. Keramiikkataiteen materiaalioppi I-II, KXX- ja KX-lasitusarjat, 1200, 1250 ja 1300 °C. Taideteollinen korkeakoulu, keramiikka- ja lasitaitteenlaitos, 2. Opetusmoniste.
- Hortling, A. 2000. Materiaaliopetus, lasitetutkimusprojekti, opisk. Viktoria Pettersson. Taideteollinen korkeakoulu, keramiikka ja lasisuunnittelun osasto. Opetusmoniste.
- Jylhä-Vuorio, H. 2002. Keramiikan materiaalit. Kuopion muotoiluakatemia. Taiteita 20, Kuopio.
- Lewis, P. A. 1988. Pigment Handbook. Ed. Peter A. Lewis, Second Edition, Vol. 1, Properties and Economics. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- McDonough, W. ja Braungart, M. 2002. Cradel to Cradel. Remaking the Way We Make Things. North Point Press, New York.
- Niemelä, M. 1999. Väriä keramiikkaan, Teollisen tuotannon jätteiden ja sivutuotteiden hyödyntäminen keramiikan väriaineina. Taideteollinen korkeakoulu, Keramiikka- ja lasisuunnittelun osasto, Helsinki. Lisensiaatintyö.
- Niemelä, M. 2010. Kestävää muotoilua mallintamassa. Tulkitseva käsitetutkimus taideteollisen muotoilun näkökulmasta. Aalto yliopisto, Taideteollisen korkeakoulun julkaisusarja A 104. Väitöskirja.
- Pajunen T. 1989. Materiaalioppi II -luento 9.3.1989. P-lasitesarja. K. Salmenhaaran tutkimus: Savet ja lasitukset 1969. Taideteollinen korkeakoulu, keramiikka- ja lasitaitteenlaitos.
- Salmenhaara, K. 1983. Keramiikka. Massat, lasitukset ja työtavat. Otava, Keuruu.
- Siikamäki, R. ja Leppänen, K. 2003. Kimokela – kierrätetty monitorilasi keramiikka- ja lasiteollisuuden raaka-aineeksi. Keramiikka- ja lasitaitteen koulutusohjelman tutkimusjulkaisu no 1, 2003. Taideteollinen korkeakoulu, Helsinki. Loppuraportti.



Siikamäki, R. 2006. Glass Can Be Recycle Forever, Utilisation of End-of-Life Cathode Ray Tube Glasses in Ceramic and Glass Industry. Taideteollinen korkeakoulu, Helsinki. Väitöskirja.

### **Kuvat**

Kuva 1. Marjo Kilgast

Kuva 2. Marjo Kilgast

Kuva 3. Marjo Kilgast

Kuva 4. Marjo Kilgast

Kuva 5. Marjo Kilgast

Kuva 6. Marjo Kilgast

Kuva 7. Marjo Kilgast

Kuva 8. Marjo Kilgast

Kuva 9. Marjo Kilgast

Kuva 10. Marjo Kilgast

Kuva 11. Marjo Kilgast

Kuva 12. Marjo Kilgast

Kuva 13. Marjo Kilgast

Kuva 14. Marjo Kilgast

Kuva 15. Mirja Niemelä, grafiikka: Piela Auvinen



Jari Vesterinen

## Vaahtolasi – kierrätyslasista rakennustuotteeksi

Vaahtolasi on kaasukuplia täynnä olevaa lasimateriaalia, joka muistuttaa enemmän kevyttä, kovettunutta vaahtoa kuin perinteistä lasia. Valmistusprosessissa hienoksi jauhettuun lasisiruun eli lasijauheeseen sekoitetaan vaahdotusaine, nk. vaahdotusagentti. Uunin lämpökäsittelyssä agentti kaasuuntuu ja kuplat jäävät pehmenneen lasirakenteen sisään. Kaasukuplat laajenevat ja seoksen tilavuus kasvaa eli lasi vaahdotuu. Lasin jäähtyessä kuplat eivät pääse pois jähmettyneen lasimassan sisältä ja tuloksena on vaahtolasia. Toisin sanoen vaahtolasi on materiaalia, jossa on suuri määrä tasalaatuisia ja tasaisesti jakaantuneita suljettuja kaasukuplia, joita erottaa toisistaan hyvin ohut lasiseinä (kuva 1).



Kuva 1. Vaahtolasissa vaahtomainen lasiaines on täynnä pieniä ilmakuplia. Uusioaines Oy:n vaahtolasimurske.

## Vaahtolasin ominaisuudet ja käyttökohteet

Vaahtolasi on kevyt rakennusmateriaali, joka sopii sekä lämmön että äänen eristämiseen. Lämmöneristeenä sillä on monia erinomaisia ominaisuuksia verrattuna lasi- ja mineraalivillaan tai orgaanisiin eristemateriaaleihin, kuten styrofoamiin. Vaahtolasi on veden ja höyryn kestävä eikä se pala. Se on mittansa pitävää, omaa hyvän puristuslujuuden ja torjuu tuhoeläimiä ja mikrobeja. Se ei myöskään sisällä CFC-yhdisteitä (kloorifluorihiili) eikä reagoi valtaosaan teollisia kemikaaleja. Vaahtolasi soveltuu ominaisuuksiensa puolesta moniin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Ekologiset ja taloudelliset näkökulmat huomioiden se on yksi parhaita eristemateriaaleja. Ohessa on teollisesti eristeeksi valmistetun vaahtolasin muutamia teknisiä ominaisuuksia: (Steiner 2006, 20.)

tiheys	110–175 kg/m <sup>3</sup>
lämmönjohtavuus	0,04–0,045 W/mK
puristuslujuus	0,5–1,6 N/mm <sup>2</sup>
lämpökapasiteetti	0,84 kJ/kgK

Vaahtolasia voidaan valmistaa yhtenäisinä levy- tai muotokappaleina, murskeena tai pellettinä. Tasomaisia levytuotteita käytetään lähinnä routa- ja lämpöeristeenä, muotoeristeitä muun muassa putkien ja kaarevien pintojen eristeenä. Vaahtolasimursketta, kooltaan tyypillisesti 10–60 mm, käytetään maavaraisessa eristämisessä monenlaisessa ulkorakentamisessa. Vaahtolasia käytetään pellettinä harkkojen, paneelien ja muotoeristeiden raaka-aineeksi. Lisäksi vaahtolasia voidaan käyttää eristävän kevytbetonin valmistukseen korvaamalla osa betonin runkoaineesta vaahtolasipelletillä tai vaihtoehtoisesti vaahtolasimurskeella. Vaahtolasituotteet soveltuvat hyvin eristeiksi betonirakenteisiin, kunnallisteknisiin eristettäviin rakenteisiin sekä tunneli- ja väylärakenteisiin. (Ritola & Sares 2008, 43.)

Vaahtolasi on kevyt, eristävä materiaali, jossa on noin 8 % huokoista lasia ja noin 92 % ilmaa. Ritolan ja Sareksen (2006) selvityksen mukaan materiaalin tiheys on tyypillisesti noin 200–300 kg/m<sup>3</sup> ja kuivan materiaalin lämmönjohtavuus noin 0,1 W/mK. Kostean materiaalin (kosteus > 50 pai-

no- %) lämmönjohtavuus on noin 0,2 W/mK. Vaahtolasimurskeen muoto ja pintahuokoisuus antavat materiaalille hyvät nk. geotekniset ominaisuudet, esimerkiksi suuren kitkakulman 36–45°. Huokosten suuri suhteellinen osuus antaa pienen tiheyden ja hyvän eristyskyvyn. Sen vuoksi vaahtolasimurske soveltuu hyvin kevenne- ja eristerakenteeksi, routasuojauksiin, kapillaarikerrokseksi katkaisemaan kapillaarista vedenousua ja tärinän vaimentajaksi muun muassa teiden, pihojen, urheilupaikkojen ja talonrakennuksen maanvaraisessa eristämisessä. Se toimii hyvin myös paaluperustuksissa eristys- ja kuivatusrakenteina sekä routa- ja paloeristerakenteena tunneleissa ja kalliotiloissa. Suuren puristuslujuuden ja suuren kitkakulman ansiosta sitä käytetään kaivantotäytteenä ja liukuvan maan stabiloinnissa kevennemateriaalina. (Ritola & Sares 2008, 32–33).

Uusionaines Oy on ainoa Suomessa vaahtolasituotteita valmistava yritys. Yrityksen valmistama Foamit-vaahtolasimurske soveltuu erinomaisesti tie- ja piharakentamisen routaeristeeksi, rakennusten lämpöeristeeksi ja kevennysmateriaaliksi moniin erilaisiin rakennuskohteisiin (kuva 2). Se on palamatonta, puhdasta kierrätysmateriaalia, jolla on hyvät lämmön ja kosteuden eristävyysominaisuudet sekä hyvä puristuslujuus ja kantavuus. Foamit -vaahtolasimurskeen tiheys on 185–190 kg/m<sup>3</sup> ja lämmönjohtavuus 0,1–0,2 W/mK. (Foamit vaahtolasi n.d.)



Kuva 2. Uusionaines Oy:n vaahtolasimursketta.

Vaahtolasin ja erityisesti vaahtolasimurskeen valmistajia on Euroopassa useissa maissa, ainakin Suomessa, Norjassa, Ruotsissa, Belgiassa, Saksassa, Sveitsissä, Tšekissä ja Unkarissa. Yhtenäisiä vaahtolaselementtejä valmistaa sen sijaan harvempi yritys. Pittsburgh Corning Europe N.V. -yritys valmistaa vaahtolasista yhtenäisiä eristelevyjä ja -elementtejä (kuva 3). Yrityksen vaahtolasituotteiden yhteinen tuotenimi on FOAMGLAS®, jota Euroopassa valmistetaan ainakin Belgiassa, Saksassa ja Tšekissä. Tuotenimi kattaa ainoastaan muototuotteita putkieristeistä muotolevyihin ja harkkoihin ja niitä käytetään hyvin monenlaisissa kohteissa tie-, tunneli- ja talorakentamisessa (Ritola & Sares 2008, 25).

Pittsburgh Corningin tuotteet on vaahtoutuksen jälkeen työstetty haluttuun muotoon. Tuotevalikoima on runsas ja eri käyttökohteisiin voidaan valita eristyskyvyltään ja puristuslujuudeltaan haluttu tuote. Yksityiskohtaista tuotetietoa on myös suomeksi (kts. mm. FOAM-GLAS® T4+ ja FOAMGLAS® W+F). Julkisivujen ja sisätilojen eristysratkaisuihin yrityksellä on useita tuotteita ja kattavat ohjeistukset niiden käyttöön (kts. Insulation system for Facades 2010 ja Interior insulation systems Foamglas Building 2010). Raaka-aineista kierrätyslasiin osuus on noin 66 % (Ecological assessment n.d.). Yrityksellä on myös kattava tuotteiden ympäristöselvitys (Environmental Product Declaration 2008).



Kuva 3. Pittsburgh Corningin Foamglas-vahtolasituotteita (Foamglas® insulation n.d.).

## Vahtolasin valmistus

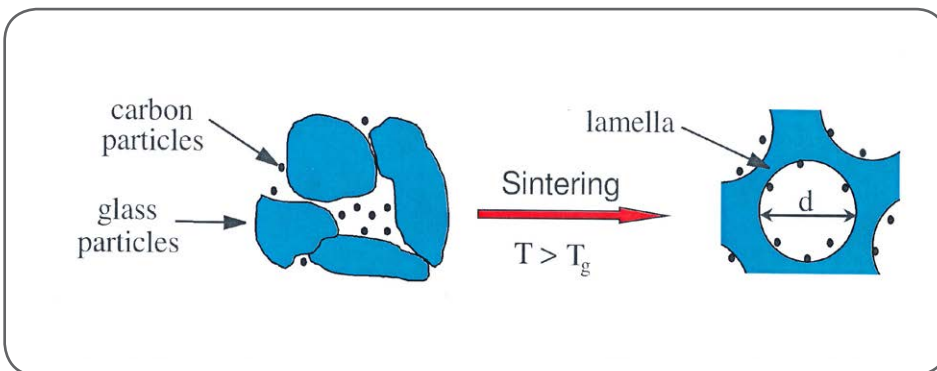
Vahtolasituotannon etuna on, että valmistukseen voidaan käyttää hyvin erilaisia lasilaatuja, myös sellaisia joita muussa tuotannossa on vaikea hyödyntää. Tuomas Jääskeläisen (henkilökohtainen tiedonanto 5.5.2014) mukaan vahtolasin valmistukseen soveltuvat puhdistettu pakkaus- ja tasolasi, mutta epäpuhtaita lasilaatuja, kuten lyijyä sisältäviä kuvaputkia ja loisteputkia ei tuotannossa käytettä. Pienet määrät epäpuhtauksia, esim. keraamiset aineet, eivät aiheuta vahtolasin valmistusprosessissa ongelmia. Tämä mahdollistaa lasin kierrätyksen lisäämisen ilman suuria lisäinvestointeja keräys- ja lajittelujärjestelmän kehittämiseen. (Ritola & Sares 2008, 9; Jääskeläinen, henkilökohtainen tiedonanto 5.5.2014.)

Vahtolasin valmistukseen soveltuu keräyslasi, joka lajitellaan, puhdistetaan ja murskataan jauheeksi. Jauhettu lasi kuumennetaan uunissa, jossa se paisuu vaahdotusagentin avulla noin nelin- viisinkertaiseksi alkuperäisestä tilavuudestaan. Tuotantoprosessissa, 700–900 °C:n lämpötilassa, lasijauheen partikkelit pehmenevät, sulavat yhteen ja muodostavat viskoosin nesteen. Vaahdotusagentti muodostaa puolestaan poltossa hajotessaan kaasua, joka muodostaa lasirakenteeseen kuplia. Vahtolasin valmistuksessa kuumennusvaiheen hallinta on yksi tärkeimmistä tekijöistä. Lasilla tulee olla riittävän suuri viskositeetti, eli lasin on oltava riittävän jäykkäliikkeistä, jotta kaasukuplat eivät pääse nousemaan sulaneen lasin läpi, vaan jäävät lasimassan sisään. Jos lämpötila on liian korkea, kuplat kohoavat pintaan ja vaahdotettu materiaali sortuu. Liian nopea kuumennus loppuvaiheessa voi aiheuttaa muodostuneiden vahtolasikuplien murtumisen. Liian hidaskuumennus voi johtaa kaasun liian aikaiseen vapautumiseen vaahdotusagentista. Tällöin lasin viskositeetti ei vielä ole riittävän alhainen, jotta vaahdottuminen ja lasin laajeneminen olisi mahdollista. Tuotannossa lasijauhe sekoitetaan vaahdotusagentin kanssa ja ne yhdessä muodostavat syötteen vaahdotusuuniin. (Ritola & Vares 2008, 22.)

Vahtolasia ja vahtolasituotteita valmistetaan lähinnä kolmella erilaisella menetelmällä: Jatkuvatoimisessa tasouunissa, ns. tunneliuunissa, valmistetaan tasolevyä, joka uunista ulos tullessaan jäähtyy nopeasti ja lämpöshokin vaikutuksesta murtuu pienemmiksi palasiksi. Näin valmistetaan vahtolasimursketta, jota voidaan edelleen murskata ja seuloa haluttuun karkeuteen, tyypillisesti raekokoon 10–50 mm. Vahtolasirouhetta käytetään routa- ja kosteuseristeenä erilaisissa rakennuskohteissa. Toisena menetelmänä on hidastaa jäähtytystä hallitusti, jolloin saadaan aikaiseksi yhtenäisiä vahtolasikappaleita. Vahtolasilevyjä, -blokkeja ja -elementtejä voidaan valmistaa joko jatkuvatoimisissa tunneliuuneissa tai kertaladottavissa uuneissa, nk. annosprosessina. Tuotteet voidaan vaahdottaa muoteissa tai tasolevynä, jotka molemmat yleensä leikataan polton jälkeen haluttuun muotoon. Näin voidaan valmis-

taa mm. routa- ja lämpöeristelevyjä ja putkieristeitä. Kolmantena valmistusmenetelmänä on pelletointi, jossa jatkuvatoiminen pyörivä vaakauuni tuottaa vaahtolasipellettejä. Pelleteistä voidaan valmistaa mm. harkkoja, paneeleita ja muotoeristeitä. (Ritola & Vares 2008, 23.)

Yksi tehokkaimmista vaahtolasin tuotantomenetelmistä, erityisesti eriste- ja rakennusmateriaalien valmistuksessa, on sekoittaa kuivana lasijauhe ja pieni määrä jauhemaista vaahdotusagenttia (engl. powder process). Sekoituksen jälkeisessä lämpökäsittelyssä tapahtuu lasin sintraantumisen ja vaahdottuminen. Sintraantumisvaiheessa lasi pehmenee ja siihen muodostuu pieniä, suljettuja kuplia (kuva 4). Sooda-kalkki-kvartsi-lasille vaahdotuslämpötila on välillä 750–1100°C, jolloin tapahtuu vaahdotuskaasun muodostuminen ja kuplien laajentuminen. Vaahtolasin valmistuksen ymmärtämisen ja hallinnan kannalta on erityisen oleellista ymmärtää, mitä vaahdottumisreaktiossa tapahtuu eri lämpötiloissa, eri lasimateriaaleja ja erilaisia vaahdotusagentteja käytettäessä. Vaahdottumisreaktio voidaan jakaa kahteen pääprosessiin, kemialliseen ja fysikaaliseen. Kemiallinen prosessi on vaahdotuskaasun muodostuminen jo sintraantuneessa jauhemaaisessa lasimassassa. Lasissa tapahtuu agentin vaikutuksesta kemiallinen reaktio, joka saa kuplat kasvamaan ja lasin vaahdottumaan. Toinen prosessi on fysikaalinen kuplien laajentuminen. Kun lämpötila nousee ja kaasua muodostuu kemiallisessa reaktiossa, lasi-agenttiseoksessa pienten, suljettujen kuplien sisällä paine kasvaa ja kuplien koko kasvaa. Vaahtolasin muodostuminen vaatii sen, että kaasun paine kuplien sisällä kasvaa lämpötilan nousun tai kemiallisen kaasun muodostumisreaktion vuoksi. Vaahdottuminen tapahtuu, kun sisäinen kaasun paine ylittää ulkoisen kuplan pintajännityksen aikaan saaman voiman. (Steiner 2006, 91–93.)



Kuva 4. Kuplan muodostuminen lasi-hiili-seoksen sintraantuessa vaahtolasin valmistuksessa. Lasipartikkelit (glass particles) sintraantuvat yhteen ja hiili (carbon particles) jää suljettujen huokosten sisään ja kaasuntuessaan laajentaa kuplaa pehmeässä lasimassassa. (Steiner 2006, 120.)



Vaahdotusagentteina voidaan käyttää useita erilaisia raaka-aineita ja kemiallisia yhdisteitä. Ritola & Vares (2008, 22) mainitsevat esimerkkeinä kalsiumsulfaatin ( $\text{CaSO}_4$ ) ja kalsiumkarbonaatin ( $\text{CaCO}_3$ ). Steiner (2006) jakaa vaahdotusagentit kahteen ryhmään. Ensimmäisen muodostavat neutraalit vaahdotusagentit, kuten kalsiumkarbonaatti ( $\text{CaCO}_3$ ), jotka muodostavat kaasua hajotessaan lämpötilan vaikutuksesta. Toisen ryhmän muodostavat pelkistyneet vaahdotusagentit, jotka muodostavat kaasua kemiallisen reaktion seurauksena. Tällaisia agentteja ovat muun muassa hiili (C) ja hiiltä sisältävät piikarbidi (SiC), grafiitti ja noki (engl. soot). Vaahdotusagentti vaikuttaa merkittävästi vaahdotusprosessiin, muun muassa tarvittavaan lämpötilaan ja vapautuvan kaasun määrään. (Steiner 2006, 95–97.)

Steinerin (2006) mukaan vaahdotusagentin määrä kuivassa lasijauheessa on teollisuudessa yleensä 0,2–0,6 painoprosenttia. Seossuhteeseen ja kaasun muodostumiseen vaikuttaa se, mitä agenttia käytetään ja mikä on agentin partikkelikoko. Vaahdotuskokeissa hiilijauheen määrä on ollut 2 painoprosenttia. Piikarbidi vaatii vaahdotusprosessissa 100–200 °C korkeamman lämpötilan verrattuna hiileen ja grafiittiin. Tämä johtuu siitä, että piikarbidi reagoi hapen kanssa heikommin verrattuna hiileen samassa lämpötilassa. Myös lasijauheen raekoko vaikuttaa syntyvän vaahtolasin ominaisuuksiin. Hienompi lasijauhe saa aikaan kuplien tasaisemman jakaantumisen lasimassassa ja ohuimmat kuplien väliset seinämät. (Steiner 2006, 97–98, 155, 176–177.)

Pittsburgh Corning käyttää vaahtolasituotteiden valmistukseen kierrätyslasiä noin 68 %. Vaahtolasin koostumus on:

kierrätyslasi	68,6 %
maasälpä	21,8 %
natriumkarbonaatti	3,9 %
rautaoksidi	2,3 %
mangaanioksidi	2,2 %
hiili	0,5 %
natriumsulfaatti	0,5 %
natriumnitraatti	0,2 %

Valmistusprosessissa raaka-aineet sekoitetaan ja sulatetaan 1250°C:n lämpötilassa yhtenäiseksi lasimassaksi, joka jauhetaan hienoksi jauheeksi. Osa hienonnetusta kierrätyslasista sekoitetaan lasijauheeseen ilman erillistä sulatusta. Lasijauhe vaahdotetaan kaukaloissa, jotka on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Erotusaineena muotissa käytetään saven ja alumiinioksidin seosta. Vaahdotus tapahtuu 850 °C:ssa, minkä jälkeen vaahtolasikappaleet jäädytetään jäähdytysuuneissa jännitysten tasaamiseksi ja halkeilun välttämiseksi. Jäähdytyksen jälkeen tuotteet leikataan muotoonsa ja pakataan. (Environmental Product Declaration n.d., 6-7.)

### Vaahtolasin ympäristövaikutukset

Lasia voidaan hyödyntää uuden lasituotteen valmistuksessa lähes rajattomasti. Koska vaahtolasi on lähes sataprosenttisesti lasia, se voidaan edelleen kierrättää lasinvalmistuksen raaka-aineeksi. Esimerkiksi Uusioainoksen tehtaalla vaahdotettu lasi voidaan käyttää uuden lasijauheen valmistukseen ja jälleen uuden vaahtolasin tuotantoon.

Hyödyntämällä lasijätettä voidaan vähentää luonnon raaka-aineiden käyttöä ja valmistuksessa käytettyä energiamäärää. Lasijätteen hyötykäytön vaikutusta vaahtolasituotteisiin ja ympäristöön voidaan arvioida ns. elinkaariarviointi (LCA) -menetelmän avulla. Menetelmä käsittelee resurssien käyttöä ja haitallisten päästöjen vaikutusta ympäristöön johtuen raaka-aineiden hankinnasta, tuotantoprosesseista, kuljetuksista, asennuksista, rakentamisesta ja rakennuksen huollosta, loppusijoituksesta, uusio- tai toistokäytöstä. Tuotteen ympäristövaikutusten selvityksen tulokset voidaan ilmoittaa rakennustuotteen ympäristöselosteena, jossa eritellään energian käyttö, päästöt ilmaan ja veteen sekä luonnon resurssien käyttö tuotteelle, joka on valmiina tehtaan portilla. (Ritola & Sares 2008, 45.)

Ritola ja Sares (2008) ovat tutkineet vaahtolasin ympäristövaikutuksia. Ne riippuvat pitkälti tuotteen valmistusprosessista. Vaahtolasin elinkaareissa valmistusvaihe voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin: jätelasin keräys, lasin puhdistus, murskaus ja jauhatus, lasijauheen ja lisäaineiden sekoitus ja vaahtolasin vaahdotus uunissa. Vaahtolasin valmistuksessa lasimassan sulatus tapahtuu korkeassa lämpötilassa, joten sulatuksen energiankulutus ja siihen käytetty tekniikka ja polttoaine vaikuttavat ympäristövaikutusten suuruuteen. Valmistuksen jälkeen elinkaaren ympäristövaikutuksia pitää tutkia käyttökohteessa. Vaahtolasituotteiden ympäristökelpoisuutta on tutkittu erityisesti Ruotsissa ja Norjassa. Norjassa valmistettaville vaahtolasituotteille on määritetty ympäristökelpoisuus ja raja-arvot väylärakenteissa tiettyjen pitoisuuksien, mm. raskasmetallien suhteen. Ruotsissa tehdyn ympäristövaikutusanalyysin (Pettersson 2004) mukaan vaahtolasimurskeella tien kevennysmateriaalina olisi vähiten hai-

tallisia ympäristövaikutuksia tutkituista vaihtoehdoista (Lecasora, norjalainen @HASOPOR-vahtolasi ja kumirouhe). Ainoastaan ekologisessa toksisuudessa eli myrkyllisyydessä ja energiankulutuksessa vaahtolasilla on huonommat arvot kuin jommallakummalla muulla tutkitulla materiaalilla. Ekologinen toksisuus saa tutkimuksen mukaan paremmat arvot, jos tierakenteessa käytetään Lecasoraa, ja energiankulutus vähennee, jos kevennysmateriaalina käytetään kumirouhetta. (Ritola & Sares 2008, 39–48.)

Pittsburgh Corning vertailee eri eristemateriaalien valmistuksessa käytettäviä energiamääriä. Sen mukaan vaahtolasin valmistaminen kuluttaa selvästi vähemmän energiaa ( $550 \text{ kW/m}^3$ ) kuin vertailun muut materiaalit, mineraaliviljat ( $600\text{--}700 \text{ kW/m}^3$ ) ja polyuretaani- ja polystyreenieristeet ( $1300\text{--}1650 \text{ kW/m}^3$ ). Myös hiilidioksidi-, rikki- ja typpipäästöt ovat vertailussa vaahtolasin valmistuksessa pienimmät. Vaahtolasin etuna on lisäksi se, että tuotteen eristysominaisuudet eivät ajan kuluessa muutu, kuten tapahtuu monilla muilla eristemateriaaleilla. (Ecological assessment n.d.) Yrityksen vaahtolasituotteissa on kierrätyslasia 66–69 % ja valmistusprosessissa raaka-aineet sulatetaan korkeassa  $1250^\circ\text{C}$ :n lämpötila yhtenäiseksi lasimassaksi (Environmental Product Declaration n.d., 6). Kokonaan kierrätyslasista valmistetussa vaahtolasissa prosessin lämpötilat ovat huomattavasti matalammat, mikä lisää niiden ympäristöystävällisyyttä ainakin energian kulutuksen ja päästöjen osalta.

Valmistajien antamien selvitysten mukaan vaahtolasituotteista ei lopullisessa käyttö- tai asennuskohteessaan ole ympäristöhaittoja. Vaahtolasista ei liukene maahan eikä ilmaan myrkyllisiä tai haitallisia yhdisteitä. (Environmental Product Declaration n.d., 10; FOAMIT® -vaahtolasi 2013; Foamit. Säästää luontoa n.d.)

## Rifolasi-hankkeen vaahtolasitutkimukset

### Tavoitteet ja menetelmät

Rifolasi-hankkeessa vaahtolasin tutkimus keskittyi toisaalta erilaisten vaahtodusagenttien tutkimiseen ja toisaalta uusien vaahtolasituotteiden ideointiin ja kehittämiseen. Näiden lisäksi tavoitteena oli tehdä vaahtolasituotteille linkaarimallinnusta.

Vaahtodusagenttien tutkimuksen tavoitteena oli löytää uusia materiaaleja vaahtolasin tuotantoon. Tavoitteena oli löytää vaahtodusagentteja, joiden avulla vaahtolasituotannon polttolämpötilaa saadaan laskettua. Alhaisempi polttolämpötila vähentää energiantarvetta, polttoainekustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä. Työtä tehtiin kiinteässä yhteistyössä Uu-

sioaines Oy:n vaahtolasitehtaan kanssa. Käytännössä tavoitteena oli testata erilaisia raaka-aineita, jotka vaahdottavat lasijauheen vaahtolasiksi. Tähän liittyi lasin ja agentin suhteiden eli punnitusreseptien ja erilaisen polttolämpötilojen ja polttokäyrien testauksia. Kokeet tehtiin HAMK:n Muotoilun koulutusohjelman lasi- ja keramiikkaverstaan tiloissa Hämeenlinnan Visamäessä. Muutamia lupaavia tuloksia koeajettiin Uusioaineksen vaahtolasitehtaalla Forssassa. Agenttikokeiden numeeriset arvot on tarkoitettu vain yrityksen omaan käyttöön eivätkä ne ole julkisia. Sen vuoksi tässä julkaisussa ei esitetä tarkkoja vaahtolasin reseptejä eikä polttolämpötiloja.

Vaahtolasikokeissa käytettiin samaa Uusioaineksen lasijauhetta kuin tehtaassa tuotannossa. Aluksi lasijauhe oli karkeampaa, vuoden 2013 alusta hienompaa, raekooltaan 0-100 µm. Kokeiden punnitseminen tapahtui tehtaaseen verrattuna hyvin pienissä erissä, 0,1-5 kg. Raaka-aineiden sekoitus tapahtui käsin ravistellen muovipussissa, lasipurkissa tai ämpärissä. Syötteen paksuuden säätäminen, eli käytännössä kerta-annoksen laittaminen muottiin tai uunilevyille, tapahtui käsivaraisesti. Muottina tai alustana käytettiin keraamista kuituvillaa tai -levyä, muotoon taivutettuja metallisia ohutlevyjä ja keraamisia, raakapoltettuja, kulho- tai vuokamaisia muotteja. Poltoissa käytettiin pääasiassa sähkökäyttöisiä lasi- ja keramiikkauuneja, muutamassa koepoltossa pientä, tilavuudeltaan 80 litraista, nestekaasukäyttöistä uunia. Koeolosuhteet HAMK:n tiloissa poikkesivat huomattavasti vaahtolasitehtaan tuotantoympäristöstä. Lasijauhe on tehtaalla samaa kuin kokeissa, mutta sekoitus tapahtuu tehokkaassa sekoittimessa eli mikserissä, annostelu automaattisen syöttölaitteen avulla ja poltto kaasukäyttöisessä, jatkuvatoimisessa tunneliuunissa.

Tuoteideoinnissa tavoitteena oli kehittää uusia tuoteinnovaatioita ja mahdollisesti synnyttää uusia yrityksiä toteuttamaan näitä tuoteaihioita. Työssä etsittiin ratkaisuja yhtenäisten vaahtolasilaattojen ja -elementtien valmistukseen ja näiden kappaleiden teknisten ja esteettisten ominaisuuksien, erityisesti värin ja pinnan muotojen, hallitsemiseen. Tarkoituksena oli sekä valmistaa koekappaleita ja pieni malliseinämä että mallintaa kuvina uusia tuoteinnovaatioita mahdollisessa käyttöympäristössään. Käytännössä työ oli koepolttojen tekemistä erilaisissa muottirakenteissa, erilaisilla seossuhteilla ja erilaisilla uuneilla ja polttokäyrillä. Mallinnustyö tehtiin Rhinoceros 3D-mallinnusohjelmalla.

Tutkimustyöstä vastasi muotoilun opettaja Jari Vesterinen. Uusioainekselta tutkimustyössä oli tiiviisti mukana laatupäällikkö Tuomas Jääskeläinen. HAMKista työhön osallistui useita muotoilun opiskelijoita opiskelun eri vaiheissa: Agentteja, värjäystä ja muodonantoa tutkivat opiskelijat Tanja Ylitalo (2011), Elina Kallioinen (2012), Ilse Lindqvist (2012), Jonna Kuusisto (2013) ja Johanna Luostarinen (2013). Lisäksi Johanna Luostarinen teki vaahtolasituotteiden tuotekehityksestä opinnäytetyönsä (2014). Tuoteideoiden mallinnusta tekivät opiskelijat Piela Auvinen (2012) ja Ilse

Lindqvist (2012). Lisäksi tutkimustyöhön osallistui keramiikan opettaja Erkki Kaija (vaahtolasipoltot kaasuuunissa, 2012) ja muotoilun assistentti Marjo Kilgast.

### **Vaahtolasin valmistaminen verstasympäristössä**

Vaahdotusagenttikokeissa selvitettiin ensimmäisenä, miten koulun verstaaloissa saadaan valmistettua rakenteeltaan samanlaista vaahtolasia kuin tehtaan tuotannossa. Haasteena olivat alusta asti polttaminen, eli vaahtolasin vaahdottaminen uunissa, ja vaahtolasin valmistusmateriaalien, lasijauheen ja vaahdotusagenttien, sekoittaminen.

Uusioaineksen vaahtolasitehdas aloitti toimintansa vuoden 2011 alussa, joten tutkimuksen alkaessa prosessi oli uusi myös yritykselle. Alkuvaiheessa, vuonna 2011, koululla tehdyissä kokeissa testattiin vaahdotusta eri uuneissa ja varioitiin lähinnä huippulämpötilaa ja poltto-ohjelmaa. Lasimateriaalina oli alusta asti sama lasijauhe kuin tehtaan tuotannossa. Vaahdotusagentit ja seossuhteet olivat aluksi kokeissa samat kuin tehtaalla käyttöön otetut. Koekappaleet olivat alussa pieniä, tyypillisesti 70 x 70 mm, ja ne vaahdotettiin keraamisesta kuitulevystä tehtyihin pieniin suorakulmisiin muotteihin.

Ensimmäiset koesarjat osoittivat, että vaahtolasin aikaansaaminen koulun verstasympäristössä on suhteellisen helppoa, mutta vaahtolasin ominaisuuksien hallinta ja tehtaan tuotetta vastaavan vaahtolasikappaleen tekeminen on haasteellista. Tehtaan tuotannossa vaahtolasin kuplakoko on hyvin pieni ja kuplien jakaantuminen massassa hyvin tasaista, mutta suuremmat kappaleet murtuvat helposti pienemmäksi. Koemassojen rakenne oli sattumanvarainen, kuplan koko pääsääntöisesti suuri ja kuplien jakautuminen epätasaista (kuva5). Koekappaleet olivat kovapintaisia ja hitaan jäähdätyksen ansiosta ne pysyivät pääosin yhtenäisinä ja kestivät hyvin käsittelyä. Erot tehtaan tuotannon ja kokeiden välillä johtuivat erityisesti poltosta mutta myös jauheen ja agenttien sekoittamisesta ja seoksen annostelusta. Selkeä tulos oli, että korkeampi huippulämpötila sai aikaan suuremman kuplakoon, mutta lämpötilan löytäminen halutun kuplakoon ja kuplatiheyden aikaansaamiseksi oli vaikeaa. Ongelmana olivat myös ilmataskut, vaahtolasin pohjan pullistuminen ylöspäin, jota ei tehtaalla esiinny. Yksikään alkuvaiheen koevaahdotuksista ei vastannut tehtaan kappaleita. (Ylitalo 2011, 42–43.)

Uusioaineksen vaahtolasitehtaalla uunit ovat jatkuvatoimisia, kaasukäyttöisiä tunneliuuneja. Tehtaalla vaahtolasin läpimenoaika uunissa on noin 45 minuuttia. Uunista ulos tullessaan vaahtolasin lämpötila on noin 500 °C, mistä syystä se lämpöshokin vaikutuksesta rikkoontuu pienemmiksi

palasiksi. Lasi- ja keramiikkaverstaan tiloissa poltoissa käytettiin sähkökäyttöisiä villarakenteisia lasin lämpökäsittelyuuneja ja raskaampirakenteisia keramiikkauuneja, joissa eristemateriaalina ovat keraamiset eristys-tiilet. Molemmissa uunityypeissä sekä lämpötilan nousu että lasku on huomattavasti hitaampi kuin tehtaalla. Koepoltot kestivät lämpötilan laskuvaihe mukaan lukien lyhyimmilläänkin 4-6 tuntia, pääosin lähes 20 tuntia. Polttokäyrä oli tästä johtuen hyvin erilainen kokeissa kuin tehtaalla tuotannossa. Verstaan uunit eivät lämpiä yhtä tasaisesti kuin tehtaalla uunit, jossa lämpötilaa voidaan hallita tarkasti useilla eri polttimilla. Myöskään lämpötilan mittaaminen ei kokeissa ollut tarkkaa johtuen termoelementtien sijainnista uunissa ja ohjelmointikeskusten tarkan kalibroinnin puutteesta. Eri uuneilla lämpötilat vaihtelivat, vaikka säätölaitteeseen syötetty poltto-ohjelma olisi ollut sama.

Tehtaalla materiaalien sekoitus tapahtuu kuivana ilman vettä tehokkaassa mikserissä. Sekoituksen jälkeen lasijauheseos siirtyy syöttölaitteelle, joka annostelee automaattisesti halutun paksuisen uuniin menevän syötteen. Koulun tiloissa sekoitus tapahtui käsin aluksi vesiseoksena muovipussissa ja alkukokeiden jälkeen kuivana jauheena ämpärissä. Huono sekoitus saattoi jättää koe-erät epätasaisiksi, millä oli vaikutusta vaahdotustulokseen.



Kuva 5. Kokeissa vaahdotus kuplakoko vaihteli ja koekappaleiden pohjaan tuli helposti voimakkaita pullistumia (Ylitalo 2011).

Muutamia vaahdotuskokeita tehtiin nestekaasukäyttöisessä kaasuuunissa. Kokeilla tavoiteltiin tehtaan polttoa vastaavaa nopeaa vaahdotusprosessia ja tutkittiin sen vaikutusta vaahtolasin ominaisuuksiin. Polttolämpötilat vaihtelivat 700-900°C:n välillä ja polton kestot olivat 30–80 minuuttia. Koe-erät vaahdotuivat huonosti nopeissa poltoissa, mutta 80 minuutin poltoissa vaahtolasin vaahtoutuminen oli lähellä tehtaan tuotetta. Vaahtoutuminen oli tässäkin tapauksessa edelleen epätasaista, pohjalta tiiviimpää ja huonommin vaahdottunutta (kuva 6). Oikean ladonnan ja poltto-ohjelman etsiminen olisi vaatinut lisää koe-ajoja. Koska vaahtolasitutkimus keskittyi eri agenttien testauksiin eikä tehtaan tuotannon simulointiin, kaasupolttoja ei jatkettu. (Kaija & Lindqvist 2012.)



Kuva 6. Kaasu-uunissa poltettu vaahtolasikoe (Kaija & Lindqvist 2012).

### Vaahdotusagentit

Vaahdotuskokeissa testattiin useita erilaisia vaahdotusagentteja. Mukana oli sekä kalsiumkarbonaattia sisältäviä raaka-aineita, jotka muodostavat kaasua hajotessaan lämpötilan vaikutuksesta, että erilaisia hiiltä sisältäviä raaka-aineita, jotka muodostavat kaasua kemiallisen reaktion seurauksena (Steiner 2006, 95–97). Lisäksi testattiin muutamia muita agentteja ja niiden yhdistelmiä sekä teollisesti vaahtolasituotantoon kehitettyjä yhdisteitä, joiden koostumusta valmistaja ei ilmoittanut. Agenttikokeiden suunnittelu tehtiin yhdessä Uusioaineuksen Tuomas Jääskeläisen kanssa. Lämpötila kokeissa vaihteli välillä 750–990 °C.

Kalsiumkarbonaattia sisältäneet agentit vaahdottivat lasin selvästi matalammassa lämpötilassa kuin hiiltä sisältäneet seokset. Näissä, väriltään vihertävissä koekappaleissa kuplakoko oli kuitenkin pääosin suurempi ja pinta usein tiivis, jopa lasittunut. Huokosten rakenne oli avoin eli vesi pääsi tunkeutumaan rakenteen sisään (kuvat 7 ja 8). Tämä tuli esiin sahattaessa kappaleita ja yön yli vedessä pidettynä kappaleiden painon nousu oli huomattava. Kosteissa ja maavaraisissa käyttökohteissa käytettävän vaahtolasin huokosten rakenne pitää olla suljettu, jotta vesi ei imeydy rakenteen sisään. Muutamien koevaahdotusten tiheydet ja puristuslujuudet mitattiin Uusioaineuksen tehtaalla. Suuri ja avoin kuplarakenne sai ai-



Kuva 7.

Kalsiumkarbonaattia sisältäneellä agentilla vaahdotettu kappale, jossa kuplakoko on suuri ja kuplan rakenne avoin. Kappale on polton jälkeen sahattu muotoonsa. (Kallioinen 2012.)





Kuva 8. Mikroskooppikuva avoimesta vaahtolasirakenteesta.

kaan sen, että koekappaleiden puristuslujuus oli selvästi huonompi kuin tuotannossa olevan murskeen (Jääskeläinen, sähköpostiviesti 25.5.2012).

Agenttikokeissa tutkittiin myös useita kahden raaka-aineen yhdistelmiä ja saman raaka-aineen, muun muassa piikarbidin, eri valmistajan tuotteita. Vaahdotuksen kannalta merkittävää on myös agentin raekoko: Pienempi hiukkaskoko vaahdottaa tasaisemmin. Tätä oletusta ei kuitenkaan pystytty kokeissa todentamaan. Eri agenttien yhdistelmillä pyrittiin alentamaan lasimassan sintraantumislämpötilaa ja sitä kautta alentamaan polttolämpötilaa. Haasteeksi muodostui oikeiden seossuhteiden ja lämpötilojen löytäminen. Teollisesti valmistetut vaahdotusagenttituotteet osoittautuvat varmatoimisiksi. Niistä löytyi agenteja, joiden avulla valmiin vaahtolasin ominaisuudet olivat lähellä tuotannossa olevaa tuotetta.

Eri agenttien välillä ei havaittu merkittävää eroa vaahtolasin lämpöshokin kestossa. Kappaleet kestivät hyvin yhtenäisinä, kun jäähditys oli hidas aina 150 °C:een asti. Vastaavasti kaikki vaahtolasiseokset rikkoutuivat, jos uuni avattiin 300-500 °C:n välillä. Suuria eroja eri vaahdotajien ja lämpötilojen välillä oli vaahdottumiskorkeudessa, eli siinä kuinka paljon uuniin menevä syöte laajenee polton aikana. Osa koekappaleista ei vaahdottunut juuri lainkaan, vaan kappale muistutti enemmän tiivistä, keraamista laattaa kuin vaahtolasia. Osa koe-eristä vaahdottui pulle-

aksi leipämäiseksi muodoksi, parhaimmillaan noin kolmin- tai nelinkertaiseksi alkuperäisestä paksuudestaan (kuva 9). Vaahdottumisen hallitseminen oli vaikeaa ja kullekin agentille sopivan polttoprosessin löytäminen vaati useita koepolttoja.

Lupaavia, mahdollisesti tuotantoonkin sopivia agenteja löytyi. Kokeiden tulosten perusteella Uusioaineuksen tehtaalla tehtiin koeajo 8.8.2012. Päivän aikana yritettiin löytää lasijauhe-agenttiseokselle tuotantouuniin sopiva lämpötila, jolla sekä vaahtolasin kuplakoko että vaahdottumiskorkeus saatiin halutunlaiseksi. Päivän aikana vaahtolasia ajettiin useita tonneja. Vaikka koeajossa syntynyt vaahtolasimurske poikkesi ominaisuuksiltaan normaalituotannon Foamit-murskeesta, uudelle tuotteelle saattaa vielä löytyä käyttökohteita. Koeajosta saatiin hyvää tietoa tehdastuotannon ja koeympäristön eroista ja yhteensovittamisesta (kuvat 10, 11 ja 12).



Kuva 9. Agenttikokeissa tutkittiin muun muassa vaahdottumiskorkeutta, valmiin vaahtolasin korkeutta verrattuna syötteen korkeuteen ennen polttoa. Osa koekappaleista vaahdotui pulleaksi leipämäiseksi muodoksi, osa muistutti enemmän tiivistä, keraamista laatua kuin vaahtolasia. (Vesterinen 2014.)



Kuva 10. Utta vaahdotusagenttia testattiin koeajossa Uusioaineksen tehtaalla. Kuvassa vaahtolasimassaa on tulossa ulos uunista.



Kuva 11. Koeajossa tehtaalla vaahtolasin pinta oli aluksi täynnä pieniä pullistumia, osin liian korkean lämpötilan vuoksi.



Kuva 12. Koeajossa vaahtolasin kuplakoko oli suurempi ja epätasaisempi kuin normaalissa tuotannossa.

### Vaahtolasilaatat ja -elementit

Samaan aikaan vaahtotusagenttikokeiden kanssa tehtiin kokeita yhtenäisten vaahtolasikappaleiden aikaansaamiseksi. Vaahtolasilaatta tai -elementti vaati hitaan jäähdetyksen voimakasta lämpöshokkia välttämällä, jotta kappale ei rikkoontunut polton jälkeen. Tämä oli verstaan uuneissa helppo toteuttaa, koska uunit jäähtyivät riittävän hitaasti ilman erillistä jäähdetyksen ohjelmointia. Haasteena sen sijaan oli sopivien muottiratkaisujen löytäminen ja vaahtotusprosessin hallitseminen. Alusta asti hankaluutena oli muodonannon hallitseminen niin, että vaahtoutunut lasi täytti tasaisesti halutun muotin eikä sen ylä- tai alapintaan muodostunut epämääräisiä kuoppia ja möykkyjä (kuvat 13 ja 14).

Vaahtotusprosessissa polton aikana lasimassa sintraantuessaan aluksi kutistuu. Tämä tapahtuu juuri ennen vaahtottumista, joka puolestaan laajentaa seoksen tilavuuden, yleensä 2-4-kertaiseksi. Kokeissa vaahtottumisen aiheuttama työntövoima oli niin voimakas, että kevyet muotin osat, jotka eivät olleet kiinni toisissaan tai tuettuna painavalla massalla, esimerkiksi uunilevyllä, erkanivat toisistaan. Vaahtolasikappaleen koko ja muoto eivät näin vastanneet haluttua. Toisaalta jos kiinteässä muotissa ei ollut selvää päästöä, muutaman asteen viistettä, kappale jäi kiinni



Kuva 13. Vahtolasilaattojen ongelmana olivat epämääräiset pullistumat, mikä vaikeutti tarkan muodon ja reliefipinnan valmistamista (Vesterinen 2014).



Kuva 14. Pullistaman syytä oli monissa poltoissa vahtolasiseoksen epätasainen lämpeneminen sintraantumisen ja vaahdottumisen aikana (Vesterinen 2014).

eikä irronnut muotista yhtenäisenä. Valmis vaahtolasi ei joutanut vaan voimakkaan käsittelyn seurauksena murtui.

Laattakokeissa muottina käytettiin lähinnä keraamisista uunilevyistä koottuja rakenteita ja keraamisia, savesta rakennettuja ja raakapoltettuja muotteja. Kaikki muottipinnat käsiteltiin Bullseye Shelf Primer -erotusaineella, joka toimi hyvin. Metallisia, ohutlevyistä taivutettuja muottirakenteita kokeiltiin alkuvaiheessa, mutta niiden ongelmana oli metallipinnan hilseily ja hilseen kiinnitarttuminen vaahtolasin pintaan. Erotusaineen käyttö hiekkapuhalletun pellin pinnassa toimi hyvin, mutta koheet tällä tekniikalla jäivät muutamaan polttoon. Tarkan muodon vaahdottamiseksi keraamiset, raakapoltetut muotit toimivat parhaiten. Savesta oli mahdollista muotoilla erityyppisiä reliefipintoja ja rakentaa erilaisia muottirakenteita. Yhtenäiset vuokamaiset muotit, joissa kuviointia oli joko ylä- tai alapinnalla jäljensivät kuvion hyvin. Ongelmat olivat samat kuin agenttikokeissa: vaahdottumisen hallitseminen ja saman tuloksen toistaminen niin, ettei epämääräisiä pullistumia synny.

Vaahtolasi tarttui poltossa tiukasti kiinni muihin materiaaleihin, mikäli erotusainetta ei käytetty. Tämä avasi mahdollisuuden jo poltossa yhdistää vaahtolasi kiinteästi muun muassa lasin ja keramiikan kanssa. Tällä yhteensulatustekniikalla saatiin aikaan muun muassa keraamisia laattoja ja elementtejä, joiden pinnassa, välissä tai sisällä oli vaahtolasiker-



Kuva 15. Vaahtolasi vaahdottui ja tarttui tiiviisti kiinni punasavesta valmistettuun ja poltettuun keramiikkalaattaan. Kuvassa vaahtolasi on värjätty keraamisilla pigmenteillä. (Kallioinen 2012.)

ros (kuvat 15 ja 16). Muutamat kokeet osoittivat, että vaahtolasi kiinnittyi hyvin myös float-lasin pintaan (kuva 17). Kokeiden tulokset olivat mielenkiintoisia, mutta vaativat vielä lisäkokeita ja myös käyttömahdollisuuksien miettimistä. (Kallioinen 2012.)

Agentteja tutkittaessa osa testikappaleista jäi vaahdottomatta. Näin syntyi keraamista laattaa muistuttava tiivis ja kova lasimateriaali, jolla ei enää ollut eristäviä ominaisuuksia, ja jota ei enää varsinaisesti voitu kutsua vaahtolasiksi. Nämä olivat koesarjassa epäonnistuneita polttoja, mutta tiivistä, läpinäkymättömää ja kestävästä lasilaatasta voisi kehittää keraamista laattaa vastaavan tuotteen.

Kolmelle vaahtolasikappaleelle tehtiin pakkaskoe Wienerberger Oy:n Lappilan tiilitehtaalla kesäkuussa 2013. Tarkoitus oli selvittää yhtenäisten kappaleiden pakkasen kestävyyttä sekä huokoisuutta ja vedenimukykyä. Testissä kappaleet kävivät läpi 30 sulatus-jääditys-sykliä. Vedenimimitauksessa ne upotettiin 24 tunniksi veteen ja mitattiin veden imeytyminen. Kaikki kolme koekappaletta oli valmistettu samalla agentilla lähes samanlaisessa poltossa. Erona oli avointen huokoisten määrä, käytännössä sahatun tai hiotun pinta-alan koko. Vaahtolasikappaleet kestivät testissä hyvin. Vedenimu oli suhteessa avoimiin pintoihin: Täysin yhtenäi-



Kuva 16. Värijätty vaahtolasi vaahdotettuna keraamisiin kuppimuotoihin. (Kallioinen 2012).



Kuva 17. Vaahtolasi vaahdotettuna ja yhteensulatettuna kahden float-lasin väliin ja lasin päälle (Kallioinen 2012).

nen sahaamaton kappale oli tiivis ja imi vettä vain 0,4 %. Kappale 1, jonka yksi pinta oli sahattu, imi vettä 6,8 %, ja siinä todettiin ainoa, yksi pieni, silmin havaittava halkeama. Kappaleen, jossa avoimia pintoja oli kolme, vedenimu oli 14,5 %.

Vaahtolasista voitiin valmistaa yhtenäisiä elementtejä, joissa käytettiin kolmeulotteista, reliefimäistä pinnan kuviointia (kuva 18). Vaahtolasi toisti erilaisten muottimateriaalien pintakuvioita hyvin, mutta ongelmana oli tasaisen laadun aikaan saaminen. Tulokseen vaikuttivat dramaattisesti monet tekijät: muotin koko ja materiaali, pintakuvion syvyys ja terävyys, vaahtolasisyötteen annostelu muottiin, vaahdotusagentin laatu ja määrä sekä uunin lämpötila ja poltto-ohjelma. Muuttujia oli niin paljon, että tuotantoon sopivan valmistusmenetelmän etsiminen vaatii vielä lisätutkimuksia.

### Vaahtolasin värjääminen

Vaahtolasi on tyypillisesti väriltään harmaata tai vihertävää. Vaahtolasia voidaan kuitenkin myös värjätä. Tutkimuksissa värjäämiseen kehoitettiin keraamisia väripigmenttejä sekä värimetallioksiedeja ja -karbonaatteja, kuten rauta-, kupari-, kromi- ja mangaaniyhdisteitä. Osa väriaineista





Kuva 18. Vahtolasilaattoja koottuna koeseinämäksi. (Vesterinen 2014).

toimi myös vaahdotusagenttina, kuten hiiltä sisältävät karbonaatit. Väriaineet sekoitettiin punnituksen yhteydessä lasijauheen ja agentin kanssa. Vahtolasi värjättiin joko kokonaan tai erivärisiä kerroksia annosteltiin päällekkäin. Polton aikana värikerrokset eivät sekoittuneet keskenään. Väriaineen määrä oli koko vahtolasierän painosta 2-10 %, riippuen siitä, kuinka voimakasta väriä haluttiin (kuva 19 ja 20).



Kuva 19. Vahtolasin värjäämistä kokeiltiin eri värimetalliyhdisteillä ja keraamisilla väripigmenteillä. Kuplakoko oli osassa kokeita suuri ja rakenne heikko. Vasemmalla on keltaisella rautaoksidilla, oikealla sinisellä pigmentillä värjäytyt koekappaleet. (Ylitalo 2011.)



Kuva 20. Eriväriset kerrokset eivät vaahdotuksessa sekoittuneet. Päälimmäinen värikerros ei tässä lämpötilassa vaahdotunut lainkaan, vaan muodosti sintraantuneen, lasitemaisen pintakerroksen. (Kallioinen 2012.)

Sekä keraamiset väripigmentit että värimetalliyhdisteet värjäisivät vaahtolasia voimakkaasti. Haasteena kuitenkin oli, että väriaineet vaikuttivat agentin toimintaan ja koko kappaleen vaahtoutumiseen. Muun muassa kromioksidi ja kromia sisältävät pigmentit eivät vaahtottuneet juuri lainkaan. Kromi siis esti vaahtoutumisen ainakin käytetyissä lämpötiloissa. Osa karbonaateista muodosti käytetyissä lämpötiloissa hyvin suurta kuplakokoa. Muun muassa kobolttikarbonaatti muodosti suurikuplaista, voimakkaan sinistä vaahtolasia. Keraamiset pigmentit toimivat melko varmasti ja värin voimakkuutta ja sävyä oli helppo muunnella (kuvat 21, 22 ja 23).

Vaikka värjääminen lisää huomattavasti vaahtolasituotteen hintaa, värjäyksen tulokset olivat lupaavia ajatellen erilaisia kohteita, joissa vaahtolasilla tavoitellaan visuaalista vaikutusta. Maanvaraisena eristeenä tai täyteaineena murskeen värillä ei ole merkitystä, mutta arkkitehtuurisina, näkyvinä elementteinä sisustamisessa ja rakentamisessa väri on ratkaiseva tekijä.



Kuva 21. Uunilevyn ja muotin suoja-aine jäi helposti kiinni väripigmenteillä värjättyihin kappaleisiin valkoisina läikkinä tai härmänä, joka ei pesemällä lähtenyt pois. (Vesterinen 2014.)



Kuva 22. Keraamisilla väripigmenteillä saatiin luotua vahtolasille laaja väriskaala, jota voidaan hyödyntää mm. sisustus ja julkisivutuotteissa. (Luostarinen 2014.)



Kuva 23. Väriäyksen haasteena oli väriaineiden vaikutus vaahdotukseen, mikä kuvassa näkyy pienenä kuplakokona ja matalana vaahdotumiskorkeutena. (Luostarinen 2014.)

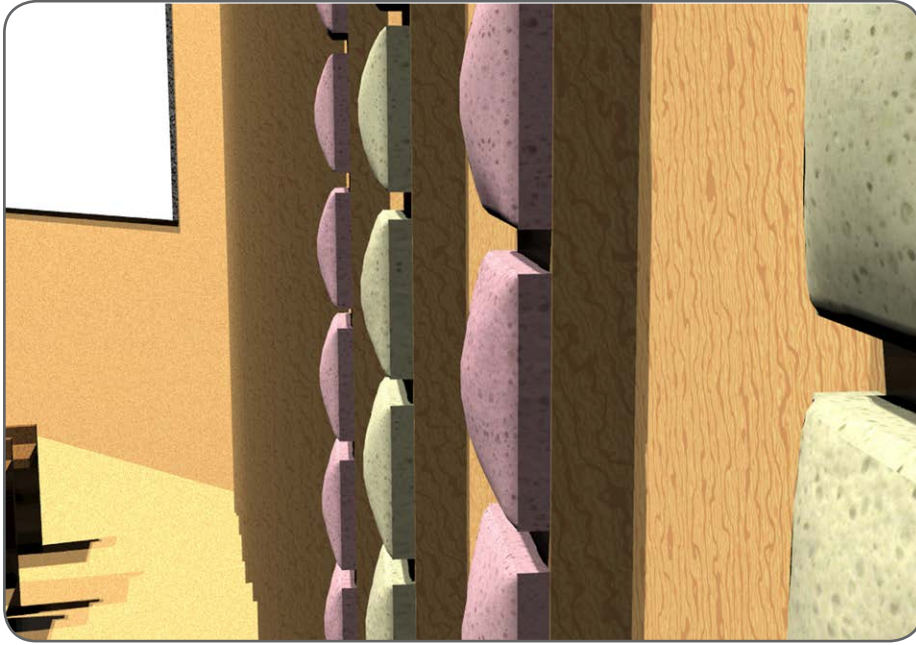
### Tuoteaihioiden ideoiminen ja mallintaminen

Markkinoilla olevat vaahtolasituotteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: Hienoa vaahtolasimurua käytetään eriste- ja täytemateriaalina muun muassa kevytharkkojen valmistuksessa. Vaahtolasimurske toimii eristeenä ja täyteaineena monenlaisissa maanvaraisissa yhdyskunta- ja talonrakennuskohteissa. Yhtenäisiä vaahtolasilaattoja ja -elementtejä käytetään rakennusten ja muun muassa putkien eristeenä. Kaikille näille on yhteistä se, että itse vaahtolasi ei loppukäyttäjälle näy, vaan se on aina toisen materiaalin peitossa, yleensä maan tai rakennuksen pintamateriaalien alla.

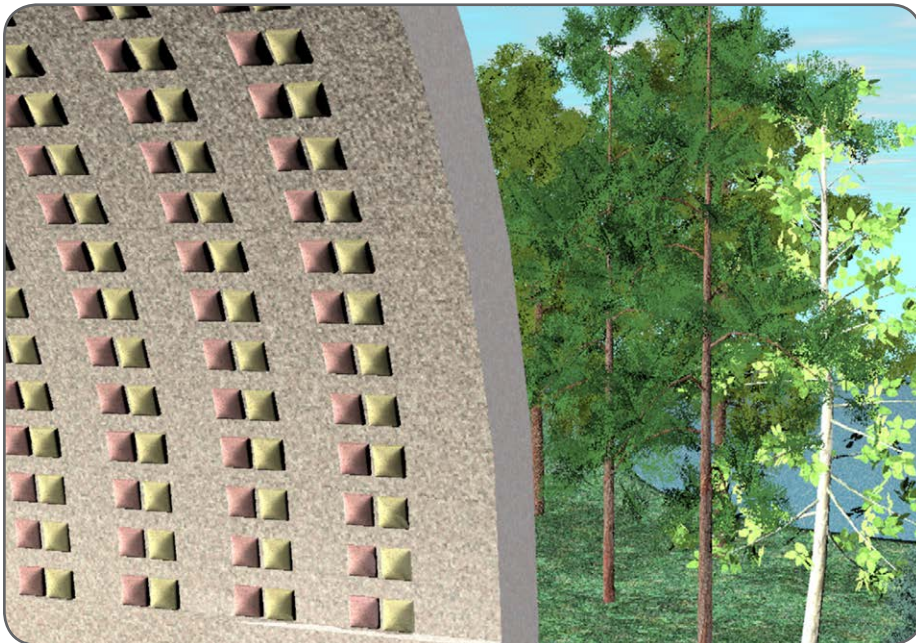
Jo vaahtolasitutkimusten alkuvaiheessa uusien tuoteaihioiden ideoiminen keskittyi tuotteisiin, joissa myös vaahtolasin esteettiset mahdollisuudet otetaan huomioon. Yhtenäiset elementit tai laatat voivat toimia visuaalisesti mielenkiintoisena rakennusmateriaalina, koska vaahtolasin pintakuviointia ja väriä voidaan muunnella kohteen mukaan. Samaan aikaan tuote voi toimia muun muassa akustisena elementtinä. Tämä on ollut lähtökohtana mallinuksissa, joissa vaahtolasia on käytetty sisätilojen sisustuksessa, muun muassa auditorio- tai konserttisalin seinäpinnassa (kuvat 24 ja 25).



Kuva 24. Tuoteidean visualisointi, jossa vaahtolasilaatat on sijoitettu auditorion seinään.



Kuva 25. Yksityiskohta vaahtolasilaatoista akustisena elementtinä auditorion seinässä.



Kuva 26. Vaahtolasilaattoja tunnelin sisäseinässä.

Vaahtolasin hyvän kosteuden- ja lämmöneristyskyvyn vuoksi se on hyvä materiaali niin julkisivuissa kuin maanalaisissa rakenteissa. Näissäkin kohteissa esteettiset ominaisuudet voidaan yhdistää funktionaalisiin. Luolarakenteiden sisäpinnasta saadaan samaan aikaan esteettisesti mielenkiintoinen, akustisesti toimiva, kaikua vaimentava, sekä kylmyyttä ja kosteutta eristävä (kuva 26). Julkisivuissa vaahtolasielementit tuovat arkkitehtuuriin täysin uusia muotoilullisia mahdollisuuksia, koska värin ja pintarakenteen lisäksi elementtien muotoa voidaan muuntaa lähes rajattomasti.

Rifolasi-hankkeen aikana yhteistyöyritykset ovat kehittäneet myös toisentyypisiä tuoteideoita. Vaahdotusagenttikokeet ovat luoneet näkymiä käyttökohteista, joissa esteettisyyden sijaan etusijalla ovat tuotteen erityisvaatimukset, esimerkiksi kovuus tai pehmeys. Nämä tuoteideat ovat vielä osin kehitysasteella ja yritysten tuotekehityskohteina, mutta muuttamat niistä ovat varsin lupaavia tuoteinnovaatioita.

## Elinkaarimallinnus

Elinkaarimallinnus tehtiin vaahtolasilaatalle, joka on tarkoitettu rakennusten julkisivumateriaaliksi. Vastaavaa tuotetta ei ole markkinoilla, mutta tuoteideoinnissa ja -mallinnuksessa tämän tyyppisiä innovaatioita kehiteltiin. Elinkaarimallinnuksessa pohdittiin tuotteen elinkaaren aikana mahdollisesti ilmeneviä riskejä, haasteita, uhkia ja heikkouksia, ja toisaalta etuja, vahvuuksia ja mahdollisuuksia. Mallinnuksessa painopiste oli erityisesti ekologisuudessa, jota pohdittiin muotoiluprosessin ja tuotteen suunnittelun ja valmistuksen näkökulmasta (kuva 27).

## Yhteenveto

Vaahtolasituotteita valmistetaan tyypillisesti suurissa tuotantolaitoksissa, tehdasmittakaavassa. Vaahtolasin valmistus oli kuitenkin verrattain yksinkertaista myös piensarjatuotannossa verstaamisessa ympäristössä. Haasteena oli vaahdotusprosessin hallitseminen ja tuotteen ominaisuuksien säätäminen käyttötarkoitusta vastaavaksi. Haasteena olivat kuplakoon vaihtelut, mikä aiheutti joko liian tiiviin tai liian huokoisen rakenteen. Liian tiivis rakenne oli kestävä, mutta sen eristyskyky oli huono. Liian huokoisen kappaleen puristuslujuus puolestaan heikkeni. Lisäksi avoin kuplarakenne lisäsi merkittävästi kappaleiden vedenimukykyä. Yhtenäisten laattojen vaahdottamisessa ongelmana olivat polton aikana tapahtuneet pullistumat, mikä vaikeutti erittäin paljon muodonantoa ja tuloksen toistettavuutta.

Vaahtolasin ominaisuuksiin vaikuttivat erityisesti vaahdotusagentin laatu ja määrä, vaahdotuslämpötila, lämpötilan tasaisuus uunissa ja polttokäyrä. Vaahdotusprosessin teoreettinen ymmärtäminen auttoi polton hallinnassa. Ominaisuuksiin vaikuttivat lisäksi lasijauheen raekokojakauma, lasi-agentti-seoksen sekoittaminen ja annosteleminen sekä yhtenäisten kappaleiden tekemisessä muotin suunnittelu ja toteutus. Eri vaahdotusagenteilla tehdyt kokeet vaativat vielä lisätutkimuksia, jotta saavutetaan tuotanto- ja markkinointikelpoisia tuotteita. Lisäksi erityisesti rakennustuotteet vaativat teknisten ominaisuuksien testausta.

Uusia vaahtolasituotteita ideoitiin erityisesti sisustukseen ja rakentamiseen liittyen. Esteettisesti ja funktionaalisesti lupaavia tuloksia olivat yhtenäisten vaahtolasilattojen valmistaminen ilman polton jälkeistä muotoon leikkaamista, vaahtolasin värjääminen keraamisilla väripigmenteillä ja yhdistäminen poltossa keramiikan tai lasin pintaan. Tietävästi mitään näistä ei käytetä teollisessa mittakaavassa eikä markkinoilta tällaisia tuotteita löydy. Tuoteinnovaatioita mallinnettiin 3D-mallinnusohjelmalla, mikä antoi käsitystä tuotteesta sen lopullisessa käyttöympäristös-





sä. Vaahtolasin ympäristövaikutuksia pohdittiin kirjallisuuteen ja yritysten tuote- ja ympäristöselosteisiin tutustumalla sekä tekemällä vaahtolasilaatalle elinkaarimallinnus.

Rifolasi-hankkeen aikana tehtiin tiivistä yhteistyötä Uusioaines Oy:n kanssa. HAMKissa tehtyjen kokeiden perusteella vaahtolasitehtaan tuotannossa otettiin käyttöön uusia vaahdotusagentteja, minkä johdosta tuotantouunien polttolämpötilaa laskettiin. Se myös edesauttoi yritystä uusien tuotteiden kehittämisessä. Tuotannossa polttolämpötilan lasku tuo kustannussäästöjä polttoaineen kulutuksessa ja vähentää savukaasupäästöjä. HAMKissa vaahtolasituotteiden tuotekehityksestä tehtiin yksi opinäytetyö, mihin liittyen syntyi yksi uusi, vaahtolasitutkimusta jatkava ja hyödyntävä yritys, Studio Aba Luostarinen (kuva28).

Uusille vaahtolasituotteille, kuten julkisivu- ja sisustuslaatoille ja -elementeille, saattaisi olla kysyntää. Vaahtolasi on ominaisuuksiltaan ainutlaatuinen ja sen esteettisiä ja funktionaalisia ominaisuuksia voidaan muokata runsaasti vastaamaan erilaisia käyttötarkoituksia ja -kohteita. Tämä vaatii lisää tuotekehitystyötä, tuotteiden testausta ja markkinointia sekä ennen kaikkea rohkeita yrityksiä ja yrittäjiä, jotka yhteistyössä arkkitehtien, rakentajien ja teollisuuden kanssa toteuttavat uusia vaahtolasiratkaisuja.



Kuva 28. Tuotekehitysvaiheessa olevia vaahtolaselementtejä sisustus- ja rakennuskäyttöön (Luostarinen 2014).

## Lähteet

- Foamit vaahtolasi. Ympäristöystävällistä eristemateriaalia kierrätyslasista. Yritysesite. Uusioaines Oy.
- Lasin luonto on kierto. Uusioaines Oy. Yritysesite.
- Pettersson, A. 2004. Miljösystemanalys för alternativa lättfyllnad i vägar. Examarbete. TRITA-KET – IM 2004:9. Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan.
- Ritola, J. & Vares, S. 2008. Keräyslasin hyötykäyttö vaahtolasituotteina. VTT Tiedotteita – Research Notes 2458. Espoo: VTT.
- Steiner, A. C. 2006. Foam glass production from vitrified municipal waste fly ash. Eindhoven: Eindhoven University Press.

## Sähköiset lähteet

- Ecological assessment n.d. Viitattu 28.3.2014. [http://www.fi.foamglas.com/tuotteet/ympaeristoe\\_ja\\_ekologia/Ecobalance.pdf](http://www.fi.foamglas.com/tuotteet/ympaeristoe_ja_ekologia/Ecobalance.pdf). Viitattu
- Environmental Product Declaration according to ISO 140253008. Foamglas-slabs and Foamglas-elements. Declaration code EPD-PCE-2008111-E. Pittsburgh Corning Europe NV. Institut Bauen und Umwelt 2008. Viitattu 28.3.2014. [http://www.foamglas.co.uk/building/documentation/EPD\\_doc\\_EN.PDF](http://www.foamglas.co.uk/building/documentation/EPD_doc_EN.PDF)
- Foamglas® insulation. Viitattu 14.4.2014. <http://ca.brockwhite.com/op45c1963/foamglas-insulation/>
- FOAMGLAS® T4+. Tuotetietosivu . Viitattu 28.3.2014. [http://www.fi.foamglas.com/tuotteet/tuotevalikoima/foamglas-laatta/PDS\\_Laatta T4+\\_fi.pdf](http://www.fi.foamglas.com/tuotteet/tuotevalikoima/foamglas-laatta/PDS_Laatta T4+_fi.pdf).
- FOAMGLAS® W+F . Tuotetietosivu. Viitattu 28.3.2014. [http://www.fi.foamglas.com/tuotteet/tuotevalikoima/foamglas-laatta/PDS\\_Laatta W+F\\_fi.pdf](http://www.fi.foamglas.com/tuotteet/tuotevalikoima/foamglas-laatta/PDS_Laatta W+F_fi.pdf).
- Foamit. Säästää luontoa. Ympäristö. Viitattu 12.4.2014. <http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/?Page=FoamitYmparisto>
- FOAMIT® -vaahtolasi 2013. Kulkeutumisriskin tarkasteluja pohjavesialueilla. Riskinarviointiraportti. Uusioaines Oy. Viitattu 12.4.2014. [http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/?Page=FoamitYmparisto/Vaahtolasin\\_kulkeutumisriskinarvio\\_25\\_3\\_2013.pdf](http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/?Page=FoamitYmparisto/Vaahtolasin_kulkeutumisriskinarvio_25_3_2013.pdf)

Interior insulation systems Foamglas Building. April 2010. Viitattu 28.3.2014.  
[http://www.foamglas.co.uk/building/documentation/Interior\\_insulation\\_systems.pdf](http://www.foamglas.co.uk/building/documentation/Interior_insulation_systems.pdf)

Insulation system for Facades. Foamglas Building. Foamglas Building. April 2010.  
 Viitattu 28.3.2014. [http://www.foamglas.co.uk/building/documentation/Systems\\_for\\_facades.pdf](http://www.foamglas.co.uk/building/documentation/Systems_for_facades.pdf)

### **Julkaisemattomat lähteet**

Jääskeläinen, T. 25.5.2012. Vaahtolasi - puristuslujuustesti. Vastaanottaja Jari Vesterinen ja Marjo Kilgast. (sähköpostiviesti). Viitattu 11.4.2014.

Kaija, E. & Lindqvist, I. 2012. Vaahtolasi. Koepoltot Kaasu-uuni TG-80. Hämeen ammattikorkeakoulu. Muotoilun koulutusohjelma. Lasin ja keramiikan pääaine. Projektiraportti.

Kallioinen, E. 2012. Yritysyhteistyöprojekti. Hämeen ammattikorkeakoulu. Muotoilun koulutusohjelma. Lasin ja keramiikan pääaine. Projektiraportti.

Kärkkönen, E. 2012. Glass normaalityöte. Tammikuussa 2013 saapuneen 1000 kg lasijauheen analyysi. Uusioaines Oy. Hiukkasjakauma-analyysi 9.10.2012.

Luostarinen, J. 2014. Vaahtolasielementtien tuotekehitys. Hämeen ammattikorkeakoulu, Muotoilun koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Vesterinen, J. 2014. Vaahtolasikokeet. Hämeen ammattikorkeakoulu. Muotoilun koulutusohjelma. Lasin ja keramiikan pääaine. Rifolasi-hankkeen tutkimusraportti.

Ylitalo, T. 2011. Vaahtolasikokeet. Hämeen ammattikorkeakoulu. Muotoilun koulutusohjelma. Lasin ja keramiikan pääaine. Projektiraportti.

### **Henkilökohtaiset tiedonannot**

Jääskeläinen, T. 2014. Laatupäällikkö. Uusioaines Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 5.5.2014

## Kuvat

Kuva 1. Marjo Kilgast

Kuva 2. Jari Vesterinen

Kuva 3. Foamglas® insulation n.d. Viitattu 28.3.2014. [http://www.foamglas.co.uk/building/documentation/EPD\\_doc\\_EN.PDF](http://www.foamglas.co.uk/building/documentation/EPD_doc_EN.PDF)

Kuva 4. Steiner, A. C. 2006. Foam glass production from vitrified municipal waste fly ash. Eindhoven: Eindhoven University Press.

Kuva 5. Marjo Kilgast

Kuva 6. Marjo Kilgast

Kuva 7. Marjo Kilgast

Kuva 8. Marjo Kilgast

Kuva 9. Marjo Kilgast

Kuva 10. Jari Vesterinen

Kuva 11. Marjo Kilgast

Kuva 12. Marjo Kilgast

Kuva 13. Marjo Kilgast

Kuva 14. Marjo Kilgast

Kuva 15. Marjo Kilgast

Kuva 16. Marjo Kilgast

Kuva 17. Marjo Kilgast

Kuva 18. Marjo Kilgast

Kuva 19. Marjo Kilgast

Kuva 20. Marjo Kilgast

Kuva 21. Marjo Kilgast

Kuva 22. Marjo Kilgast

Kuva 23. Marjo Kilgast

Kuva 24. Ilse Lindqvist

Kuva 25. Piela Auvinen

Kuva 26. Piela Auvinen

Kuva 27. Jari Vesterinen, grafiikka: Piela Auvinen

Kuva 28. Marjo Kilgast



Auli Rautiainen

## Kierrätyslasimurskasta tuoteaihioksi

### Yhteistyökumppanina Envor Group Oy

Hankkeen lasimurska-osiossa tutkittiin Envor Recycling Oy:n (osa Envor Group Oy:tä) kierrätyslasijätteen (pullo- ja purkki/sekajäte) ja tuulilasi-jätteen uusiokäyttömahdollisuuksia. Tasolasi (float-lasi) jätettiin hankkeen ulkopuolelle, sillä sitä Envor Group Oy myy lasivillateollisuudelle eli kyseistä tasolasia yritys pystyy kierrättämään. Lasivillatuotteiden raaka-aineesta keskimäärin 60–80 % on kierrätyslasia (VTT 2014). Envor Recycling Oy on ollut edelläkävijä tasolasin kierrätyksessä Suomessa, sillä yrityksen lasinkierrätys Suomessa alkoi jo 1970-luvulla yhteistyössä nimenomaan lasivillateollisuuden kanssa (Envor Group Oy 2013). Envor Oy:llä ei itsellään ollut ehdotuksia tai toiveita, mitä tuotteita hankkeessa voitaisiin heidän kierrätyslasistaan kehittää. Hankkeen alkuvaiheessa yrityksen yhteyshenkilöinä toimi laatupäällikkö Anu Sivonen ja myöhemmin työnjohtaja Mikko Nieminen.

### Hankkeen lasimurska-osio

Hankkeen ensimmäisen kahden vuoden aikana 2009–2011 projektityöntekijät Annikki Rosberg, Erkki Kaija ja Susan Heikkilä toimivat hankkeessa mukana olleiden lasi- ja keramiikkaopiskelijoiden ohjaajana materiaalitutkimuksissa. Näitä materiaalitutkimuksia oli hankkeen alkupuoliskon aikana tehdyt sulatuskokeet ja hartsikokeilut. Opiskelijoista mukana olivat HAMKin Muotoilun koulutusohjelman lasin ja keramiikan opiskelijat 2008-aloitusryhmästä ja Maria Sandberg. HAMKin Valkeakosken Tuotantotalouden koulutusohjelman opiskelijat Emma Hoikkala, Nina Lehtimäki, Eetu Puustinen, Annakaisa Kiilo, Ville Paasonen, Jarmo Kumpula.

Syksyllä 2011 osioon tuli projektityöntekijäksi ja vastaavaksi Auli Rautiainen ja opiskelijoista mukana oli Ilse Lindqvist. Ilse Lindqvistin teki biohartsikokeita ja kokeili biohartsikierrätyslasimurskavalujen, kierrätyslasipullojen ja lasimurskan yhdistämistä tuotteessa.



Kaikki Envor Recycling Oy:ltä hankkeeseen saatu lasimurska oli puhdistamatonta pullo- ja purkkijätettä sekä puhdistamatonta kalvolaminoitua tuulilasijätettä. Envor Recycling Oy:n lasijäte säilytetään taivasalla, joten mukana oli etikettien lisäksi myös hiekkaa ja muita ympäristöstä tulleita epäpuhtauksia. Tuulilasijätteessä oli mukana myös pvb-kalvoa ja lämmittinkalvoa (kuva 1). Pvb-kalvolaminoinnilla tuulilasiin saadaan lain vaatimat turvaominaisuudet. Tällä hetkellä Envor Oy ei ole käytössä menetelmiä, joilla pvb-kalvo irrotettaisiin tuulilasista.

Teknologian tutkimuskeskuksen VTT:n vuoden 2007 raportin numero 2402 mukaan lasia voidaan käyttää lukuisia kertoja uuden lasin valmistukseen laadun silti heikkenemättä. Lasia kierrättämällä pystytään säästämään luonnonvaroja ja kalliita raaka-aineita. Kierrätyslasia käytettäessä tarvitaan vähemmän soodaa, joka on tuontitavaraa ja lasin kallein ainesosa. Myös lasin sulatukseen tarvittavaa energiaa säästyy, sillä kierrätettävä lasi sulaa helpommin kuin lasihiekka, sillä se on jo kertaalleen sulatettu. (Mroueh, Ajanko-Laurikko, Arnold, Laiho, Wihersaari, Savolainen, Dahlbo ja Korhonen 2007, 33.)



Kuva 1. Envor Oy:n puhdistamatonta tuulilasijätettä.

### Lasimurskan käytön haasteita ja mahdollisuuksia

Hankkeen alussa tehtiin lasimurskalla sulatuskokeita, mutta myöhemässä vaiheessa lasinsulatus tekniikkana suljettiin pois mm. ekologisista syistä. Lasinsulatuksessa lasimurskan jatkokäsittely aiheutti lisäkustannuksia niin ajan, laitteiden kuin palkkakustannuksienkin osalta, koska kierrätyslasimurska täytyi sekä lajitella että pestä käsin. Myös lasiuunien sähkönkulutuksesta syntyi kustannuksia.

Lasinsulatus tapahtuu yleensä yli 800 asteen lämpötilassa ja sulatusprosessin pituus riippuu mm. valmiin lasituotteen paksuudesta. Kymmenen senttimetrin paksuiselle lasille suositellaan jo useamman vuorokauden mittaista poltto-ohjelmaa HAMK:n lasiuunien kaltaisilla laitteilla. Hitaalla poltto-ohjelmalla vältetään lasin sisälle syntyviä jännitteitä, jotka saattaisivat johtaa lasituotteen särkymiseen myöhemmässä vaiheessa. Myös Taideteollisen Korkeakoulun tutkimusjulkaisussa ”Kierrätyslasituotteen valmistus sintraamalla” (Kekäläinen & Rajala 1995) oli jo tutkittu 700–800 asteessa sintrattua lasia.

Vartenotettava ongelma sulatuksessa on myös lasin nk. yhteensopivuus. Eri puolilta maailmaa Suomeen tuodun lasimateriaalin, esimerkiksi viinipullojen, kemiallinen koostumus saattaa poiketa toisistaan ja näinollen niistä sulatettu uusi lasituote voi sisältää eri lämpölaajenemiskertoimen omaavaa lasia. Eri lasilaatujen sekoittuminen keskenään sulatusprosessissa voi aiheuttaa jännitteitä valmiissa lasiesineissä ja aiheuttaa niiden rikkoutumista joko polton jäähdytysvaiheessa tai polton jälkeen.

Suomessa ei teollisesti valmisteta 100 % kierrätyslasisia sisustustuotteita sulatustekniikalla, mutta muualla maailmassa on markkinoilla erikokoisia, -värisiä ja -mallisia sisustuslaattoja ja -tiliä. Samoin ulkomailla valmistetaan kierrätyslasista myös työtasoja ja lavuaareja. Kyseisten kierrätyslasituotteiden valmistuksessa käytettävän lasin kemiallisesta koostumuksesta ei ole saatavilla tietoa. Voidaan kuitenkin olettaa, että kierrätyslasituotteiden valmistajat voivat taata lasin tasalaatuisuuden ja valmistusmateriaalin yhteensopivuuden hankkimalla sitä esimerkiksi samasta lasitehtaasta.

Markkinoilla on myös paljon lattialaattoja ja esimerkiksi keittiön työtasoja, joissa kierrätyslasia käytetään murskattuna sidosaineiden joukossa (kuva 2). Hiomalla ja kiillottamalla valmis lattia tai työtaso saadaan tuotteisiin tiivis ja helpohoitoinen pinta.

Suomessa on yrityksiä kuten Lasilinkki Oy ja Nglass Oy, joiden tuotevalikoimissa löytyy esimerkiksi valaisevia sisustuselementtejä ja suihkuseiniä, jotka on valmistettu laminoimalla lämmön avulla lasimurskaa flo-

at-lasille (kuva 3). Lasimurska on mm. yritysten omasta toiminnasta syntyvää float-lasijätettä.

## Materiaalikoheet

### Lasimurskakokeet 2010

Ensimmäiset lasimurskakokeet suoritti lasin ja keramiikan opiskelijaryhmä. Silikonimuotissa lämmitettiin kalvolaminoitua tuulilasimurskaa. 250 asteessa sulatettu muoviamies ei kuitenkaan riittänyt lasimurskaa koossapitäväksi sidosaineeksi ja se myös tummui epämiellyttävän näköiseksi ja aiheutti hajuhaittoja ja todennäköisesti myös myrkyllisiä kaasuja. Näin ollen muoviamiestä sisältävän lasin sulattamisesta luovuttiin.

Opiskelijaryhmä teki myös hankkeen ensimmäiset uunivalut. Envor Oy:ltä saatu sekalasimurska pestiin käsin ja sirukokoa pienennettiin vielä vasaaran voimin. Lasi myös lajiteltiin käsin värin mukaan: kirkas, vaalean vihreä ja tummemman vihreä. Uunivaluissa testattiin myös float-lasimurskaa. Uunivaluissa kokeiltiin eri muottimateriaaleja, ja muotteja valmistet-



Kuva 2. Keittiön työtasojen koostumus on noin 80 % -90 % kierrätyslasia ja loput sidosaineta. (Vetrazzo n.d.)



Kuva 3. Valaiseva sisustuselementti Kimallus, laminoitua kierrätyslasia. (Nglass n.d.)

tiin keramiikasta, kipsi-molokiittiseoksesta, keraamisesta kuitulevystä ja metallista. Kipsi-molokiittimuotissa aineiden määrä oli 80 % kipsiä ja 20 % molokiittia. Sulatuslämpötilat olivat 820–850 asteen välillä ja haudutusajat tavoitelämmössä 4-6 tuntia. Sulatuslämpötilat eivät riittäneet sulattamaan lasia tasaiseksi massaksi vaan kaikissa kokeissa lasissa näkyi vielä lasimurskan muodot.

Tuloksista todetaan, että metallimuottia käytettäessä kannattaa suosia ruostumatonta terästä, joka ei hilseilyt sulatuskokeissa käytetyissä lämpötiloissa. Muottiaines vaikutti jonkin verran lasin sulamiseen, mutta koska sulatuskokeissa käytettiin niin lasi- kuin keramiikkauuneja, täsmällisempää tietoa ei saatu. Silmämääräisesti tarkasteltuna valmiissa koepaloissa ja niistä saatuissa osissa ei näkynyt suurempia jännitteitä. Todettiin kuitenkin, ettei voida täysin taata, että koekappaleissa ei olisi jännitteitä.

Sama opiskelijaryhmä teki myös kokeita valamalla lasimurskaa betonin ja kipsin sekaan. Lasia sekoitettiin betonin joukkoon 20 %, 30 % ja 50 % betonin painosta. Rakenteen tarkistamista varten valmiit betonivalut sahattiin ja pinnat hiottiin (kuva 4). Vaikka valuvaiheessa betonia tärytettiin, siihen jäi paljon kuplia. Tuloksena todettiin, että olisi hyvä teettää



Kuva 4. Betonin sekaan valettua kierrätyslasimurskaa.

puristuslujuudesta, ja että erilaisia muottityyppejä ja kuviointitekniikoita voisi myös kokeilla. Käyttökohteiksi voisivat soveltua sisustus, julkisivut ja pihanrakennus.

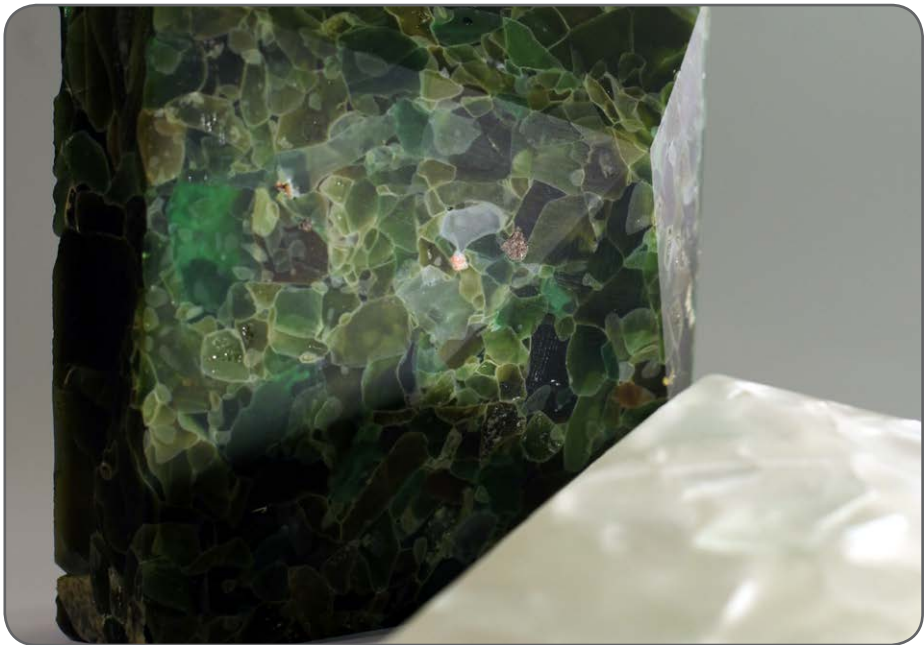
Kipsi-lasikokeissa lasia sekoitettiin normaaliin kipsiin ja kovakipsiin 25 % ja 50 % kipsiseoksen määrästä. Kipsistä valettiin muutaman senttimetrin paksuisia laattoja. Tuloksissa todettiin, lasimurska painonsa vuoksi sijoittui enimmäkseen muottien pohjalle ja haurastutti näin valmiin kipsilevyn rakennetta. Ilman jatkokehittelyä ei tällaiselle tuotteelle suositeltu mitään käyttökohdetta.

### Sulatuskokeet 2011

Opiskelija Tanja Ylitalo teki suunnitelman kierrätyslasista valmistetusta teoksesta HAMKin Riihimäen kampukselle rakenteilla olleen uudisrakennuksen yhteyteen. Ideana oli, että teoksessa voitaisiin käyttää kierrätyslaattoja, jotka valmistettaisiin Envor Group Oy:n kierrätyslasista. Projektin tarkoituksena oli myös jatkaa edellisen opiskelijaryhmän työtä. (Sandberg 2011.)

Uunivalutekniikassa kipsistä ja molokiitista valmistettu muotti täytetään lasimurskalla, jonka jälkeen muotti lämmitetään lasilaadusta, valmiin lasituotteen paksuudesta ja halutusta sulamisasteesta riippuen sopivaan tavoitelämpötilaan. Laattojen suunnittelussa ja valmistuksessa ei otettu huomioon mahdollisia turvallisuus – ja mittastandardeja, koska niiden ensisijainen tarkoitus oli esitellä uunivaletun lasilaatan esteettisiä ominaisuuksia ja visuaalista ilmettä. Opiskelija Maria Sandberg suunnitteli laatan yhdessä opiskelijaTanja Ylitalon ja projektityöntekijä Annikki Rosbergin kanssa. Tavoitteena oli valmistaa laattamainen tuote, jota voitaisiin käyttää sellaisenaan sisustuslaattana esim. seinässä. Laattoja sulatettiin sekä kirkkaasta että vihreästä lajitellusta ja puhdistetusta kierrätyslasista. Kertakäyttöiset muotit valmistettiin kipsi-molokiittiseoksesta, ja muottiseokseen lisättiin lasikuituhaketta vähentämään muotin halkeilua polton aikana. (Sandberg 2011.)

Sulatusohjelma, jonka tavoitelämpötila oli 830 °C astetta, kesti neljä vuorokautta. Tämän jälkeen laattoja kylmättyöstettiin hiomalla pinnat sileiksi (kuva 5). Sulatuskokeilujen lopputuloksena voi todeta, että muotit tulisi valmistaa useamman polton kestäviksi esimerkiksi keramiikasta. Tällöin säästettäisiin muottien valmistukseen kuluva aikaa ja materiaalikustannuksia. Keraamisessa muotissa lasituotteen pinnasta muotoutui sileämpi ja se taas vähentäisi lasin jälkikäsittelyyn eli hiomiseen kuluva aikaa. (Sandberg 2011.)



Kuva 5. Vasemmalla uunivalettu lasilaatta, 100 % kierrätyslasia (vihreä pullolasi). Oikealla hartsiin valettua kirkasta kierrätyslasimurskaa.

Uunivalettu kierrätyslasituote on edelleen 100 % lasia, ja vielä pitkänkin käyttöiän jälkeen uudelleen kierrätettävissä. Tämä tekee tuotteista luontoystävällistä ekodesignia. Menetelmällä saa myös valmistettua monen muotoisia ja -kokoisia tuotteita monenlaisiin käyttökohteisiin. (Sandberg 2011) Laatan paksuutta pienentämällä sulatusohjelmaa olisi voitu lyhentää, jolloin valmistuskustannuksia olisi saatu matalammaksi ja tavoitteena ollut ekologisuus olisi ollut vahvemmin mukana.

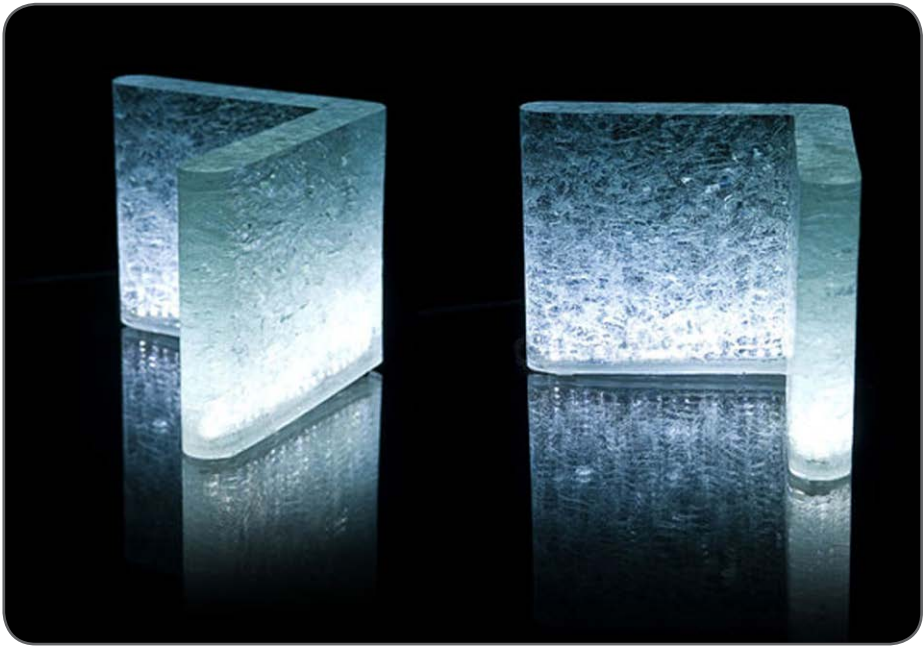
### Hartsikokeet

Opiskelija Sandberg työskenteli myös hartsikokeiden parissa. Hartsit tulivat mukaan materiaalikohteisiin, koska haluttiin löytää paljon energiaa kuluttavan sulatuksen rinnalle toinen tapa valmistaa kierrätyslasia sisältäviä sisustuslaattoja tai -tiliä. HAMKissa hartsikokeet tehtiin kesällä ulkotiloissa myrkyllisten kaasujen vuoksi.

Haluttiin myös löytää käyttökohteita vaikeasti kierrätettävälle kalvolaminoidulle tuulilasille. Hankkeen alkuvaiheessa tehtiin kyseisellä lasilla joitakin sulatuskokeita, mutta laminointiin käytetty pvb-kalvo ei soveltunut sulatukseen, sillä muoviväline aiheuttaa myrkyllisiä kaasuja korkeissa lämpötiloissa. Sulaessaan se muuttuu mustaksi ja vaikuttaa näin liikaa lasin ulkonäköön. Puhtaan hartsin ja lasimurskan seos on harvinainen yhdistelmä, mutta erilaisia laasti-liima-lasimurskaseoksesta valmistettavia tuotteita löytyy paljonkin. (Sandberg 2011.)

Markkinoilta löytyy muun muassa nk. valokivi, jota käytetään esimerkiksi rakentamisessa betoni- ja luonnonkivien sijasta. Valokiviä valmistaa Suomessa useampikin yritys. Valokivestä n. 70 % on kierrätyslasia, jota saadaan kerrostaloista poistetuista ikkunoista. Sideaineena toimii epoksihartsi. (Lemminkäinen Rakennustuotteet 2012.) Valokiven reunojen uriin on asennettu led-valot ja valokiviä voidaan halutessa linkittää toisiinsa (Suomen Lasijalostus 2011). Asiakas voi näin halutessaan luoda ulkotiloihin käytännöllisen valoteoksen omien suunnitelmiansa ja tarpeidensa mukaisesti. Sisätiloihin on myös saatavilla hartsista ja kierrätyslasista valmistettuja valaisimia. Jonas Hakaniemen 2011 Suomen lasiteollisuudelle suunnittelemaat Mutka-valaisimet on valmistettu Valokivien tapaan kierrätyslasista ja hartsista led-valotekniikkaa hyödyntäen (kuva 6).

Kevään 2011 hartsikokeiluissa tutkittiin hartsin ominaisuuksia ja sen hankintapaikkoja. Pohdittiin myös onko olemassa parempaa ja ekologisempaa vaihtoehtoa raakaöljystä jalostetulle hartsille. Tavoitteena oli myös saada valmiiksi eri tekniikoilla toteutettuja hartsivaluja, ja mahdollisesti pienoismalleja tuotteista, joissa voisi yhdistää hartsia ja lasimurskaa. Laminoidun lasin ensimmäinen elämä olisi esimerkiksi tuulilasina ja toi-



Kuva 6. Mutka-valaisin, kierrätyslasi ja harts. (Jonashakaniemi n.d.)

nen elämä hartsiin sekoitettuna, jonka jälkeen se päätyisi kaatopaikalle. (Sandberg 2011.)

Hartsikokeiluissa syntyi mm. samanmuotoisia laattoja kuin aiemmissa sulatuskokeissa. Tehtiin myös koe, jossa hartsikierrätyslasi-murskavalun ympärille valettiin vielä hartsia (kuva 7), jolloin laattaan saatiin enemmän läpinäkyvyyttä. Yllättävää oli se, että laminoidun lasin pvb-kalvot eivät hartsiin valettuna vaikuttaneet kovinkaan paljon tuotteen ulkonäköön vaan ne sulautuivat hartsiin hyvin. Hartsia toisti tarkasti muotin muodot. Hartsikappaleita voi sijoittaa niin ulos auringonvaloon kuin esimerkiksi kosteisiin sisätiloihin. (Sandberg 2011.) Hankkeen puitteissa hartsilla ei tehty pakkastestejä. Melko pehmeänä materiaalina se naarmuuntuu helposti ja hygieenisuusvaatimukset eivät välttämättä täyty esimerkiksi kylpyhuonelaattana. Hartsin käyttämisestä suurissa elementeissä ja rakentamisessa ei löytynyt paljonkaan tietoa.

Hartsiin valamalla kierrätyslasi-murskan käyttö sai uusia ulottuvuuksia. Vaikka kyseessä ei ehkä ole ekologisin vaihtoehto, koska kumpikaan materiaali ei ole enää kierrätettävissä, kokeiden perusteella saattaisi tuotteilla olla kysyntää pienrakentamisessa ja sisustamisessa. Kun yhtälöön lisätään vielä valonlähde, niin tuotteesta voi saada todella näyttävän ja esteettisen. (Sandberg 2011.)





Kuva 7. Hartsikierrätyslasimurskavalun (vihreä pullolasi) ympärille valettiin hartsia.

### Biohartsikokeet

Biohartsin otettiin käyttöön, koska hartsia kehittää haihtuessaan myrkyllisiä ja tulenarkoja kaasuja, eikä näin ollen sovellu HAMK:n opiskelutiloissa käytettäväksi. Vuonna 2012 biohartsikokeiden parissa työskenteli opiskelija Ilse Lindqvist. Biohartsia valmistetaan kasviöljystä ja on lähes hajutonta ja turvallisempi käyttää. Myös ekologisuus painoi vaa'assa; biohartsia on periaatteessa kierrätettävää. Biohartsia valmistetaan erilaisiin tarkoituksiin, joten saatavilla on esim. isompiin valuihin soveltuvaa biohartsia sekä UV-valoa kestävä biohartsia. Siitä valmistetaan mm. kertakäyttöpakkauksia ja –aterimia ja teollisuudessa biohartsia käytetään esimerkiksi olutlasien sisäpinnoitteena lisäämään lasituotteen käyttöturvallisuutta (Design Council 2014).

Biohartsin hankkiminen osoittautui hankalaksi, ja Euroopasta löydettiinkin vain yksi biohartsin jälleenmyyjä, joka toimittaa materiaalia Suomeen. Jälleenmyyjä Canonbury Arts Ltd myy biohartsia pienissä erissä 45,00 € kilohintaan (hintatieto vuodelta 2012), ja valikoimissa on useamman laatuista biohartsia, esimerkiksi opaalia, läpinäkyvää ja joustavaa. Biohartsia voi myös värjätä.

Lasijätteen upottamisesta biohartsiin saatiin samoja tuloksia kuin hart-sinkin osalta, mutta kustannukset nousivat suuremmiksi biohartsin hin-nan vuoksi. Biohartsista voi valmistaa isojakin sisustuselementtejä, mut-ta ongelmana on sopivan käyttökohteen löytäminen, sillä materiaali ku-luu ja naarmuuntuu helposti tavallisen hartsin tavoin. Mitä pienempää la-simurskan koostumus oli, sitä enemmän se muodosti kuplia biohartsiin valettaessa. Käytössä ei ollut paineilmakammiota, jolla ilmakuplat olisi saanut paineen avulla poistettua hartsivaluista, joten lasia jouduttiin jäl-leen lajittelemaan puhdistamaan. Pvb-kalvo muuttui biohartsin sisällä lä-hes näkymättömäksi (kuva 8). Biohartsin kanssa tutkittiin myös eri lasi-murskalaatuja ja biohartsin värjäämistä pigmenteillä.

Puhdistetun lasimurskan (esimerkiksi float-lasi ja pinttilasi) kanssa tulok-set olivat lupaavimpia. Kalvolaminoidun lasin pvb-kalvo ei paljonkaan hai-tannut biohartsivalun ulkonäköä, mutta valuun muodostui paljon kuplia. Pigmenttikokeissa pigmentin määrät olivat liian suuria, ja valut muodos-tuivatkin lähes läpinäkymättömäksi. Esteettisimmät tulokset värien kans-sa saatiinkin käyttämällä värillistä lasimurskaa (kuva 9).



Kuva 8. Koepala: Seulottua ja pestyä tuulilasimurskaa biohartsiin valettua.



Kuva 9. Koepala: Vaaleanpunaista pinttilasia biohartsiin valettuna.

Biohartsilasimurskavalujen testejä varten valmistettiin myös kaksi metallikehikkoja, joissa läpinäkyvien akryylimuovilevyjen noin 5 cm levyinen välitila täytettiin erilaisella kierrätyslasilla. Ensimmäiseen kehikkoon sijoitettiin biohartsikierrätyslasivaluja sekä tuulilasimurskaa (kuva 10). Ohuin pöly jouduttiin pesemään tuulilasimurskassa pois, koska puhdistamattomana sen ulkonäkö vaikutti likaiselta. Toinen kehikko täytettiin sahattujen kierrätyslasipullojen osilla ja karkaistusta lasista syntyneellä kierrätyslasimurskalla. Kehikoille valettiin kovakipsiset jalustat, jotta ne pysyisivät tukevasti pystyssä. Näiden testien avulla tutkittiin muun muassa tuulilasimurskan läpikuultavuutta, kun se on vapaasti pakattu 5 cm paksuudelle. Lisää läpinäkyvyyttä ja -kuultavuutta tuotiin mukaan käyttämällä biohartsivaluja ja kierrätyslasipullojen osia, jotka toivat uutta esteettistä ilmettä. Vaikka kehikot olivat melko pieniä (500 mm x 500 mm x 50 mm) akryylilevyt lähtivät pullistumaan irtonaisen murskan pakkautuessa tiiviisti oman painonsa vaikutuksesta. Todettiinkin, että kalvolaminoidun ja karkaistun turvalasin käyttäminen akryylilevyjen sijaan poistaisi tämän ongelman, ja kehikoiden kokoa voitaisiin kasvattaa huomioiden samalla kehikon muidenkin rakenteiden kantokyvyn vaatimukset.

Tuloksena voidaan todeta, että biohartsikierrätyslasimurskavalut soveltuvat, hartsivalun tavoin, sisustuselementin roolissa paikkoihin, joissa materiaali ei joudun suoran hankauksen kohteeksi, esimerkiksi sisustustiilenä tai ikkuna-aukoissa. Teoriassa valetun elementin kaikki materiaalit ovat kierrätettäviä, mutta käytännössä lasin ja pvb-kalvon erottaminen biohartsista ei ehkä ole mahdollista. Biohartsia on helppo ja turvallista valaa, tosin etenkin isompia elementtejä tai pienen raekoon omaavaa lasia valettaessa tarvittaisiin painekammio kuplien poistoon valun sisältä. Biohartsin sekoittaminen tulisi tehdä koneellisesti, jotta saataisiin tasalaatuista materiaalia. Joissakin kokeissa biohartsia ei kovettunut kokonaan eli kovetinaine ei ollut sekoittunut hartsiin kunnolla.

Biohartsimateriaalina toimii hienosti lasin kanssa, koska sitä on saatavissa läpinäkyvänä, eikä se näin ollen estä lasin omien ominaisuuksien esiintuloa. Se soveltuisi hyvin mm. valaisevien sisustuselementtien valmistukseen. Värillisen biohartsin käyttö antaisi etenkin sisustuslaattojen suunnitteluun uusia esteettisiä ulottuvuuksia.



Kuva 10. Kehikko: biohartsikierrätyslasimurskavalu ja tuulilasi-murska.

## Tuotteiden ideointia

### Elementti saunatilaan

Nglass Oy:n kanssa neuvoteltiin talvella 2012 saunatiloihin suunniteltavasta sisustuksellista valoelementistä. Valoelementin suunnittelun lähtökohtana olivat biohartsikierrätyslasikokeilut. Jussi Wright Nglass Oy:ssä kertoi, että biohartsin kilohinta saisi kuitenkin olla korkeintaan 10 €. Nykyisen hankintahinnan mukaan hinta muodostuisi noin viisinkertaiseksi. Myös biohartsin lämmönkestävyys osoittautui haasteeksi: lämmönkestävyys on parhaimmillaankin vain 110 astetta. Päätelmänä todettiin, ettei se sovellu huonon lämmönkestävyytensä vuoksi saunatilojen materiaaliksi ja suunnittelu lopetettiin tutkimusvaiheen jälkeen.

### Meluste

Kalvolaminoidun tuulilasin kierrätyksessä ideoitiin mahdollisuuksia käyttää Envor Oyn lasijätettä sellaisenaan käsittelemättömänä, jottei syntyisi erillisiä kustannuksia lasin puhdistuksesta ja muusta käsittelystä. Teiden varsilla käytettävät ympäristön akustiikkaa parantavat kivikorit innoittivat ideoimaan melusteita, joiden täyteaineena käytettäisiin käsittelemättömää tuulilasijätettä.

Tavoitteena oli siis suunnitella meluste, jonka pääasiallisena materiaalina olisi tuulilasijäte ja siihen yhdistettäisiin valonlähde eli meluesteen läpi kuultaisi valo tuomaan esiin lasin erikoisominaisuutta eli läpinäkyvyyttä tai -kuultavuutta. Valonlähde sijoitettaisiin joko meluesteen taakse tai tuulilasimurskan joukkoon.

Ongelmaksi muodostuivat lasijätteen suuri paino ja raekoon vaihtelu tuulilasinkokoisista levyistä aina pölymäiseen koostumukseen asti. Lasimurskan soveltuvuutta esim. puurakenteisen meluidan täyteaineena kumimurskan sijaan tutkittiin ja päädyttiin siihen, että lasimurska on liian painavaa ja voi jopa lisätä onnettomuustilanteessa henkilövahinkoja ja näin ollen lainsäädäntökin rajoittaisi ko. materiaalin käyttöä tietyn tyyppisissä melusteissa. Myös tuuli- aja aurauksuormankestävyys asettaa vaatimuksia meluesteen rakenteelle (Liikennevirasto 2010). Lasijäte olisi pitänyt pussittaa tiiviisti tai meluesteen rakenteen pitäisi olla täysin umpinainen, jottei lasi vähitellen pääsisi leviämään ympäristöön. Valonkulkua tiiviisti pakkautuneen lasimassan läpi toteutuisi vain, jos valonlähde olisi hyvin lähellä meluesteen pintaa ja myös pussi olisi valoa läpäisevää materiaalia. Puhdistamaton tuulilasijäte ei läpäise valoa kuin alle parin senttimetrin paksuisena.

Meluitojen täyttäminen ja ajan myötä myös purkaminen olisi haasteellista ja kallista, oli täyteaineena käytettävä lasijäte irtonaista tai pussitettua. Tuulilasijätteen akustisia ominaisuuksia ei mitattu eikä niistä löytynyt mitään olemassa olevaa tietoa. Meluaitaa pohdittiin vielä putkirkenteisena; alustaan pystysuoraan tukevasti upotetut muoviputket täytettäisiin lasimurskalla. Näissä toistuu samat ongelmat kuin edellä eli lasimassan paino ja mahdolliset henkilövahingot onnettomuustilanteissa.

Todettiin, että lasijätteen paino tekisi rakenteista liian painavia ja raekoon vaihtelu rajoittaisi käyttöä, joten tehtiin oletus, ettei tuulilasijäte sovellu käytettäväksi ainakaan melusteiden pääasiallisena materiaalina.

### Väliseinä/sermi

Idea lasisesta väliseinästä ja sermistä heräsi melusteitä tutkittaessa. Biohartsikokeilujen yhteydessä tehtyjen kehikkojen materiaaleja muutettiin paremmin tähän tarkoitukseen soveltuvaksi. Tästä muodostui lasimurska-osion ensimmäinen ”koeseinä”.

Hämeenlinnalaiselta Lasitoimi Oy:ltä tilattiin 500 mm x 1000 mm kokoinen alumiiniprofiilikehikko, jossa oli metallialusta ja lasiseinä kalvolaminoitua ja lämpökarkaistua float-lasia (vahvuus 3 mm + 3 mm). Lasilevyjen väliin jäävä tila täytettiin erilaisella kierrätyslasilla ja biohartsivaluilla. Sahattujen kierrätyslasipullo- ja purkkiosien sijoittaminen juuri tiettyyn kohtaan osoittautui vaikeaksi, koska lasilevyjen väli oli vain 35 mm ja kehikko 1000 mm korkuinen. Liimaamalla näitä osia toiseen lasilevyyn ennen kehikon kokoamista voisi helpottaa tilannetta, mutta silloin pitäisi pitää huolta, että lasimurskaa pääsee laskeutumaan kehikon pohjalle asti.

Käytetty tuulilasijäte täytyi myös puhdistaa ja pestä hyvin, tämä vaati niin työtunteja kuin sopivia välineitä. Samoin lasipullojen peseminen, etikettien poistaminen sekä sahaus ja hiominen lisäsivät työtuntien määrää.

Väliseinä toimii hyvin visuaalisesti ja sen ulkonäköön on mahdollista saada paljonkin vaihtelua käytetystä kierrätyslasista riippuen. Isompien yksiköiden täyttämisessä on vielä ratkottava teknisiä ongelmia, esimerkiksi jos väliseinä ulottuu lattiasta kattoon. Lasilevyjen väliin kierrätyslasin joukkoon sijoitettuna tai alumiiniprofiiliin piilotettuna voisi olla esim. led-valoja, jolloin tuloksena olisi valaistu sisustuselementti. Näin väliseinän visuaaliseen ilmeeseen saataisiin paljon vaihtoehtoja.

### Betoniporsaat ja betoniset puistokalusteet

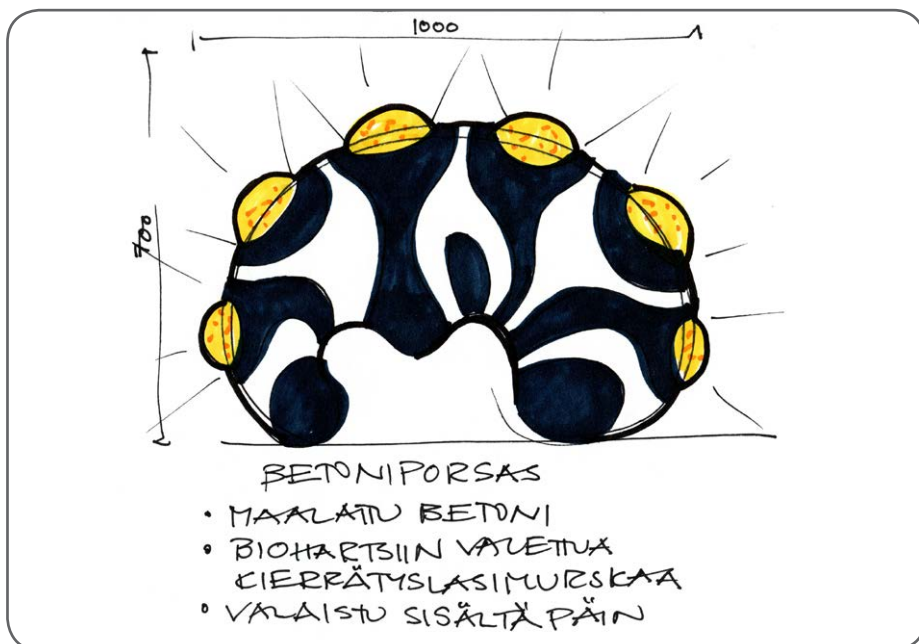
Erilaisten lasimurskien käyttämistä betonin kanssa ideoitiin ensin betoniporsaiden ja sitten betonisten puistokalusteiden avulla. Kierrätyslasimurskaa voidaan käyttää myös osana kiviainesta betonin valmistuksessa, mutta riskinä on etenkin kosteissa olosuhteissa alkalireaktio, joka aiheuttaa betonin halkeilua (VTT 2014).

Pohdittiin myös lasivalujen ja biohartsilasimurskavalujen upottamista betonin pintaan. Silloin esimerkiksi onntto betonivalu voitaisiin valaista sisältäpäin, jolloin lasivalujen ja biohartsilasimurskavalujen kohdalla valo pääsisi kuultamaan läpi (kuva 11). Tällöin niin betonirakenteen kuin valoa läpäisevien osien tulisi olla tarpeeksi paksuja kestääkseen kulutusta ja olakseen turvallisia käytössä. Biohartsilasimurskavalujen kohdalla ongelmaksi nousi jälleen biohartsin helposti naarmuuntuva pehmeä pinta, joka ajan mittaan voisi vaikuttaa rakenteen esteettisyyteen. Tämä vältettäisiin valamalla biohartsia kierrätyslasipullon tai -purkin sisälle, jolloin lasi suojaisi pehmeämpää biohartsia naarmuuntumiselta. Samalla biohartsitekisi lasituotteesta turvallisemman. Lasipurkkiin olisi helppo lisätä myös kierrätyslasimurskaa biohartsin joukkoon. Myös uunivalettu lasi soveltuisi upotuksina puistokalusteisiin. Haasteena olisi joidenkin lasilaatujen muuttuminen läpikuultamattomaksi sulatustapahtumassa.

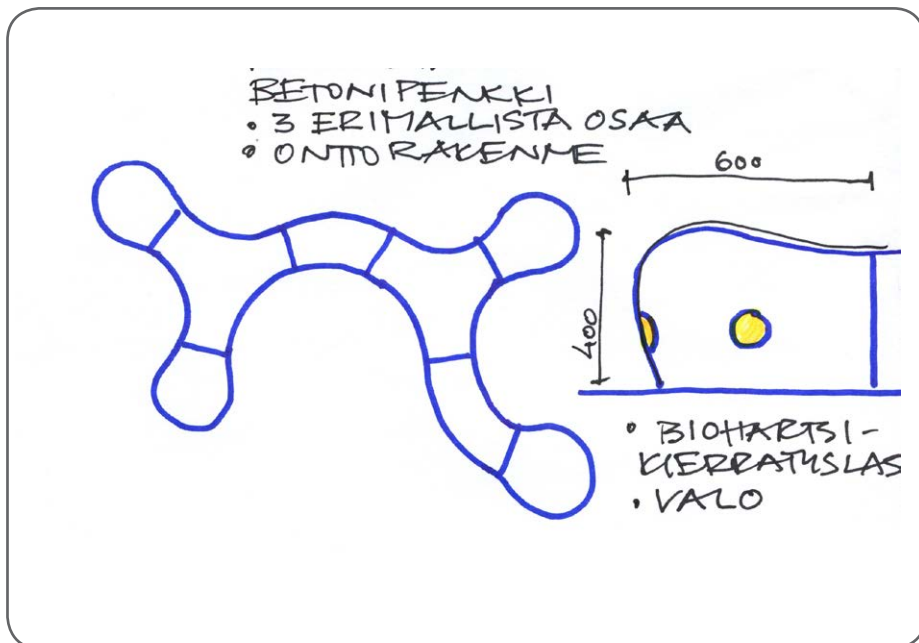
Betonisista puistokalusteista voisi löytyä useita käyttökohteita, joissa kierrätyslasia voisi turvallisesti käyttää hyödyntäen samalla lasin ulkonäköä ja valonläpäisykykyä. Betonipenkki suunniteltiin koostuvan kolmesta erimuotoisesta osasta, joista voisi sommitella erilaisiin kohteisiin erimuotoisia ja -kokoisia penkkejä (kuva 12). Valoa läpäisevät upotukset (kierrätyslasipulloihin valettua biohartsia) sijoittuisivat penkin sivuille, jolloin niihin kohdistuisi vähemmän hankausta.

### Betoniset ulkovalaisimet

Puistokalusteiden ohella ideoitiin ulkovalaisimia, joiden pääasiallinen materiaali olisi betoni. Betoniporsaaassa käytettyä rakennetta mukailen, betoniin upotettaisiin biohartsikierrätyslasimurskavaluja ja onton rakenteen sisään saisi sijoitettua valonlähteen (kuva 13). Ulkovalaisimet suunniteltiin valmistettaviksi siniseksi värjätystä betonista. Sinistä tai turkooisia betonia syntyy, kun betonimassan joukkoon lisätään kuparijauhetta ja kovettumisen jälkeen betoni käsitellään ammoniumkloridiliuoksella (Asv 2014). Valaisimia voisi valmistaa useita eri kokoja. Tämä mahdollistaisi valaisimien monipuolisen käytön niin julkisissa kuin yksityisissäkin kohteissa.



Kuva 11. Betoniporsas, maalattu betoni, biohartsivalu ja kierrätyslasimurskaa.



Kuva 12. Betonipenkki, betoni, kierrätyslasipullot, biohartsii.



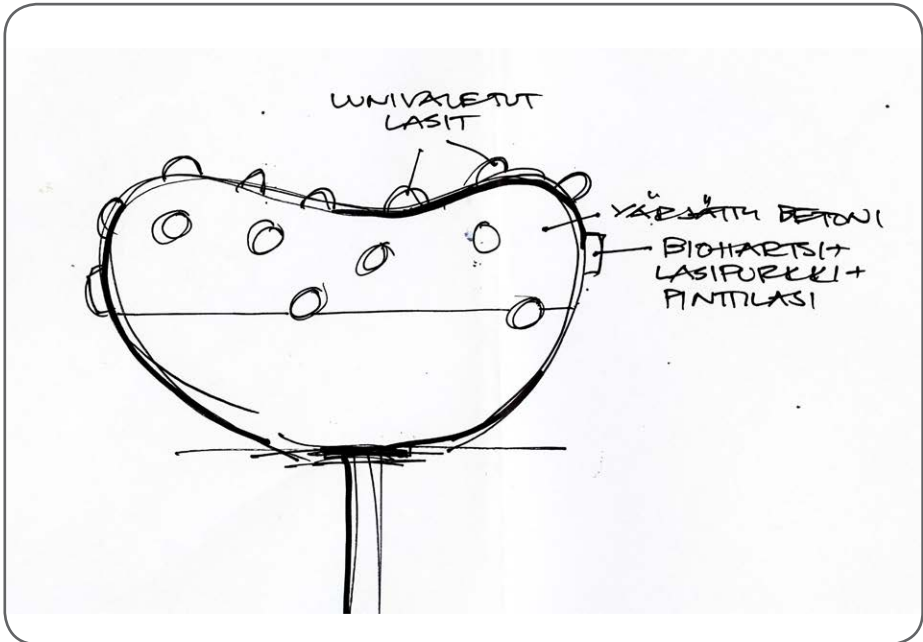


Kuva 13. Betoninen ulkovalaisin: värjätty betoni, biohartsikierrätyslasimurskavalu.

### Betoniteos

Hankkeen lasimurska-osion toinen ”koeseinä” päätettiin valaa betonista ja yhdistää siihen uunivalettua ja biohartsin valettua kierrätyslasimurskaa (kuva 14). Näin betoniteos sulkisi ideointiymyrän, kun siihen käytettäisiin hyväksi aikaisemmissa kokeissa käytettyjä materiaaleja ja tekniikoita. Samalla haluttiin myös kokeilla käytännössä betonin, uunivaletun kierrätyslasin ja biohartsivalujen yhdistämistä sekä betonin värjäämistä. Samalla teoksen kautta nivoutui lasimurskaosioon myös toinen hankkeen yhteistyökumppani Uusioaines Oy:n, kun lasivaluissa käytettiin myös heidän toimittamaansa lasijauhetta.

Betoniteoksen valumuotiksi rakennettiin puulaatikko, joka vuorattiin savella. Betoniteoksen pintaan upotettiin uunivalutekniikalla valmistettuja lasivaluja, joiden halkaisijat vaihtelivat neljästä kuuteen senttimetriin (kuva 15). Lasivaluissa oli käytetty erilaisia pestyjä ja puhdistettuja kierrätyslaseja: pullolasia, pinttilasia, karkaistu float-lasimurskaa ja puuterimaisen ohutta kierrätyslasijauhetta (kuva 15). Pieniin lasipurkkeihin oli valettu biohartsin sisälle värillistä pinttilasia.



Kuva 14. Betoniteoksen suunnittelua.



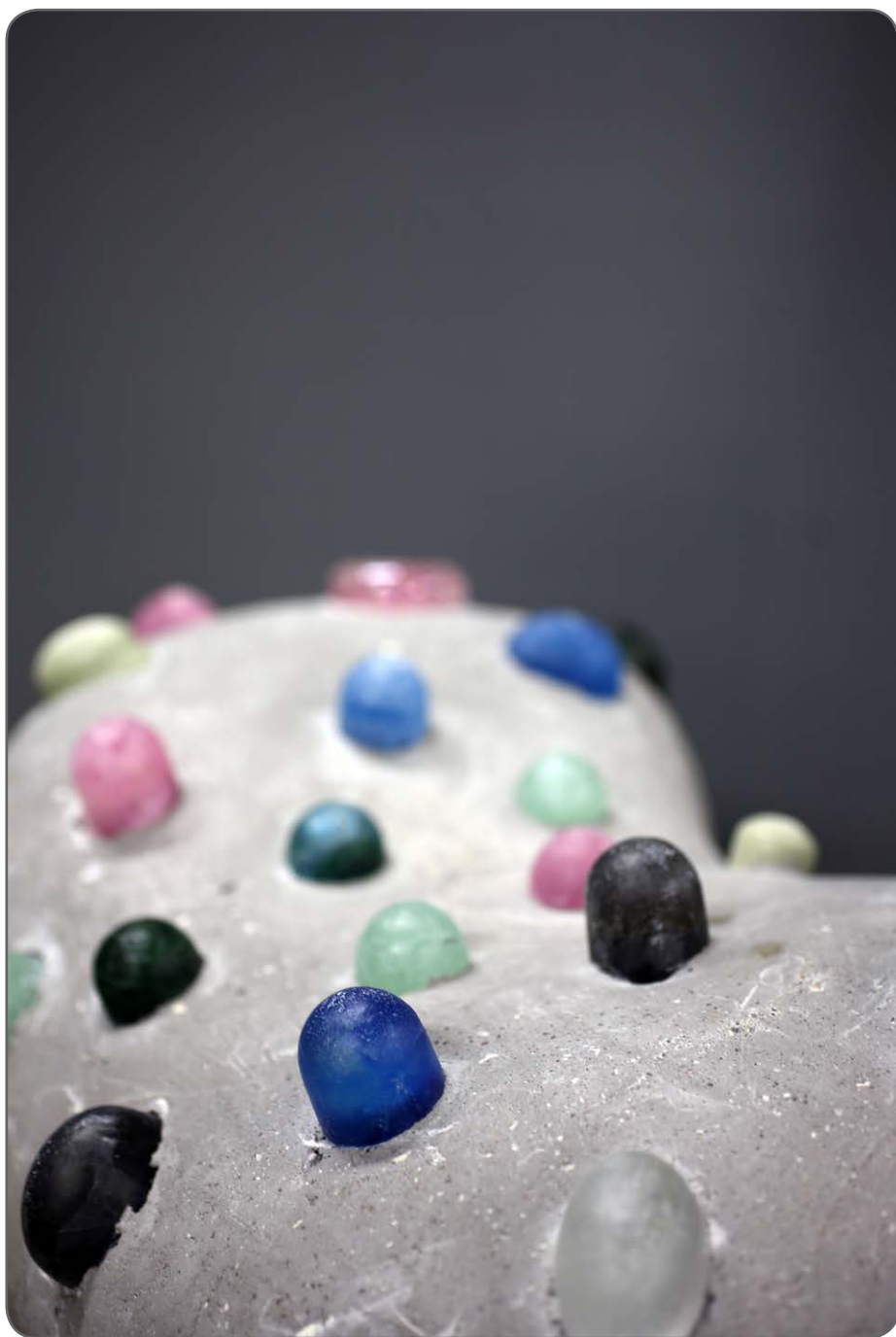
Kuva 15. Kipsi-molokiittimuotissa univalettua lasia.

Muotti valettiin noin puoleen väliin asti mustalla pigmentillä värjätyllä betonilla. Seuraavana päivänä valua jatkettiin, ja muotti valettiin täyteen värjäämättömällä betonilla. Näin betoniteoksesta saatiin kaksivärinen. Kovettuneen betoniteoksen pohjaan liimattiin silikonilla paksu pohjan muotoinen kumimaton pala, jonka tehtävä oli suojata niin betoniteoksen pohjaa kuin lattiapintaa. Koska teokselle tuli painoa n. 70 kg, sen siirtämistä varten oli valmistettu pyörillä varustettu alusta.

Betoniteos (kuvat 16 ja 17) suunniteltiin sijoitettavaksi sisätiloihin. Ulkotiloihin tulevien betoniporsaiden ja puistokalusteiden rakenteiden osalta pitää ottaa huomioon myös sääolosuhteiden vaikutukset. Biohartsii- tai lasikappaleiden ja betonin välissä voisi käyttää tarvittaessa esimerkiksi silikonia, jonka joustavuus estäisi mahdollisen lämmönvaihtelun aiheuttaman kutistumisen ja laajenemisen aiheuttamat halkeilut. Betonin pintaa voidaan suojata esimerkiksi kosteutta ja grafiitteja vastaan erilaisilla pinnankäsittelyaineilla. Betonin pintaa käsittelemällä siihen saadaan myös itsepuhdistuva pinta nanoteknologian ja fotokatalyyysin avulla. Tällöin sadevesi huuhtelee mm. bakteerit, homeitiöt ja kaasumaiset saasteet pois. (Semtu 2014). Betoni on murskattuna kierrätettäväksi soveltuva materiaali, joten sen liittäminen hankkeessa käytettyihin materiaaleihin tuki hankkeen ekologista tavoitetta.



Kuva 16. Yksityiskohta valmiista betoniteoksesta.



Kuva 17. Yksityiskohta valmiista betoniteoksesta.

## Elinkaarimallinnus

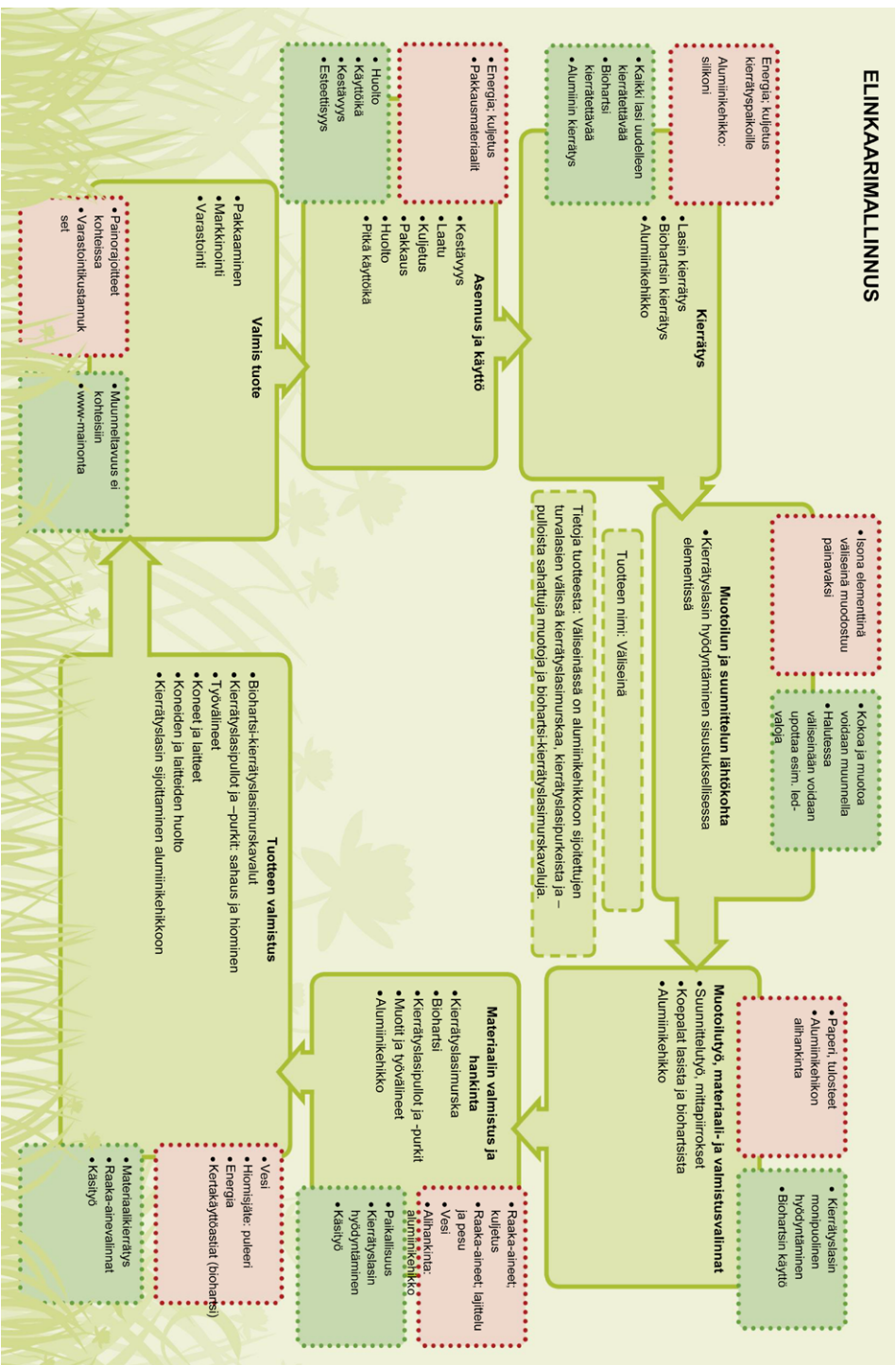
Elinkaarimallinnus tehtiin väliseinälle, joka on tarkoitettu sisustukselliseksi elementiksi niin yksityisiin kuin julkisiin tiloihin (kuva 18). Väliseinässä alumiinikehikkoon sijoitettujen turvalasien välitila täytettiin kierrätyslasimurskalla, kierrätyslasipulloista saatuilla osilla sekä biohartsikierrätyslasimurskavaluilla. Elinkaarimallinnuksessa tulee ilmi tuotteeseen liittyvät positiiviset ja negatiiviset vaikutukset nimenomaan ekologisesta näkökulmasta. Suunnittelussa otettiin huomioon väliseinän esteettisyys, muunneltavuus ja kierrätettävyys.

## Yhteenveto

Tuloksia tarkastellessa voidaan todeta, että olisi voitu tyytyä pienempään tavoitteeseen kuin kierrätyslasijätevuoren pienentäminen. Kaikissa hankkeen osioissa ei kierrätyslasin määrä tuotteissa ollut kovinkaan suuri, joten kierrätyslasinkäytön vaikutus jätevuoriin ei välttämättä näy ollenkaan.

Envor Oy:n kierrätyslasi oli puhdistamatonta lasia, jota käytettiin hankkeen aikana niin puhdistamattomana kuin hankkeessa mukana olleiden toimesta käsin puhdistettuna. Täysin puhdistamattomalle kierrätyslasille oli hyvin haasteellista kehitellä uusia käyttökohteita. Hankkeen alkuvaiheessa olisi ollut paikallaan teettää ko. kierrätyslasin bakteerianalyysi, jotta mahdolliset terveyshaitat olisivat tulleet esille.

Hankkeessa biohartsi osoittautui hienoksi uudeksi tuttavuudeksi, joka soveltui hyvin niin lasimurskan kuin ehjien kierrätyslasipullojen ja -purkkien kanssa käytettäväksi. Läpinäkyvyytensä vuoksi se säilyttää käytetyn lasin läpinäkyvyyden ja tuo tarvittaessa myös käyttöturvallisuutta kierrätyslasiin. Biohartsivalujen yhdistäminen betoniin toi myös paljon ideoita, joskin ekologiselta kannalta tarkasteltuna käytettävät kierrätyslasimäärät jäävät vähäisiksi.



Kuva 18. Elinkaarimallinnus.

## Lähteet

- Betonikeskus ry. 2007. Betonirakenteiden ympäristöominaisuudet. Porvoo: Betonitieto Oy.
- Kekäläinen, P. & Rajala, M., 1995. Tutkimusjulkaisu: Kierrätyslasituotteen valmistus sintraamalla. Keramiikka- ja lasiteenlaitoksen tutkimusjulkaisuja no. 6, Taideteollinen Korkeakoulu, 1995.

## Sähköiset lähteet

- Asv, 2014. Pintavaihtoehdot. Viitattu 8.4.2014. <http://asv.fi/betonitietoa/julkisivut/pintavaihtoehdot>
- Design Council, 2014. Ultimate Pint Glass. Viitattu 9.1.2014. <https://www.designcouncil.org.uk/knowledge-resources/ultimate-pint-glass>
- Envor Group Oy. Lasinkierrätys. Viitattu 12.10.2013. [http://www.envor.fi/envor\\_recycling/lasinkierratys/](http://www.envor.fi/envor_recycling/lasinkierratys/)
- Jonas Hakaniemi, 2013. Viitattu 2.12.2013. <http://www.jonashakaniemi.com/works/product/mutka>
- Lemminkäinen Rakennustuotteet Oy. Valokivien tekniset tiedot ja asennusohjeet. Viitattu 18.4.2012. <http://www.lemminkainenbetoni.fi/Link.aspx?id=10017074>
- Liikennevirasto 2010. Tien melusteiden suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 16/2010. Liikennevirasto, Helsinki 2010. Viitattu 24.4.2013. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2010-16\\_meluste\\_suunnittelu\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-16_meluste_suunnittelu_web.pdf)
- Mroueh, U-M., Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Laiho, A., Wihersaari, M., Savolainen, I., Dahlbo, H. ja Korhonen, M-R. 2007. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. VTT RESEARCH NOTES 2402, Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2402.pdf>. Viitattu 18.11.2013.
- Nglass, 2013. Viitattu 1.10.2013. <http://www.nglass.fi/#/yrityksille>
- Semtu, 2014. Pinnansuoja-aineet. Viitattu 6.4.2014. <http://www.semtu.fi/fi/tuotteet/pintahidastimet-ja-happopesuaineet/pinnan-suoja-aineet/>
- Suomen lasinjalostus Oy. 2011. Valokivet. Viitattu 18.4.2012. <http://www.lasinjalostus.fi/tuotteet/valokivi/>

Vetrazzo, 2014. Viitattu 19.3.2014. <http://www.vetrazzo.com/eng>

VTT, 2014. Onko Suomessa ongelmaa nimeltä alkali-kiviainesreaktio? Hannu Pyy, VTT Expert Services Oy. Viitattu 6.2.2014 <http://www.vtt.fi/files/sites/aar/003.pdf>

Ympäristöhallinto, 2014. EkoElmeri lasimaassa. Viitattu 10.4.2014. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/EkoElmeri/EkoElmeri\\_lasimaassa\(18904\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/EkoElmeri/EkoElmeri_lasimaassa(18904))

### **Julkaisemattomat lähteet**

Hoikkala, Lehtimäki, Puustinen, Kiilo, Paasonen & Kumpula: Kierrätysmateriaalin uudet markkinat: Envor Group Oy 2010. Hämeen ammattikorkeakoulu, Tuotantotalouden koulutusohjelma Valkeakoski 2010.

Sandberg, M., 2011. Rifolasi-hankeraportti: Lasimurskan valaminen hartsiin. Hämeen ammattikorkeakoulu 2011.

Sandberg, M., 2011. Rifolasi-hankeraportti: Sulatetusta kierrätyslasimurskasta valmistetut laatat. Hämeen ammattikorkeakoulu 2011.

### **Kuvat**

Kuva 1. Auli Rautiainen

Kuva 2. Viitattu 19.3.2014. <http://www.vetrazzo.com/eng>

Kuva 3. Viitattu 1.10.2013. <http://www.nglass.fi/#/yrityksille>

Kuva 4. Marjo Kilgast

Kuva 5. Marjo Kilgast

Kuva 6. Viitattu 2.12.2013. <http://www.jonashakaniemi.com/works/product/mutka>

Kuva 7. Marjo Kilgast

Kuva 8. Ilse Lindqvist

Kuva 9. Ilse Lindqvist

Kuva 10. Marjo Kilgast

Kuva 11. Piirros: Auli Rautiainen

Kuva 12. Piirros: Auli Rautiainen

Kuva 13. Piirros: Auli Rautiainen

Kuva 14. Piirros: Auli Rautiainen

Kuva 15. Auli Rautiainen

Kuva 16. Marjo Kilgast

Kuva 17. Marjo Kilgast

Kuva 18. Auli Rautiainen, grafiikka: Piela Auvinen



## Rifolasi – innovaatioita kierrätyslasista

Julkaisussa Rifolasi – innovaatioita kierrätyslasista kuvataan Hämeen ammattikorkeakoulun muotoilunkoulutusohjelman Wetterhoffin toteuttamaan Rifolasi-projektia. Projekti on ollut Etelä-Suomen EAKR-ohjelman hanke Kanta-Hämeessä kohdennettuna Riihimäen ja Forssan alueille. Hanke alkoi syksyllä 2010 ja päättyi vuoden 2014 toukokuussa. Projektin aiheena on ollut rakennettuun ympäristöön tulevien lasijalosteiden innovoiminen ja tuotekehittäminen. Pääpaino hankkeessa on ollut kehittää lasijalosteinnovaatioita hyödyntämällä kierrätyslasia kuten lasijauheita ja -murskia. Tavoitteena on myös yhteistyöyritysten tuotannon ja tuotekehitysvalmiuksien kehittämien uusien jalosteiden tuottamiseen sekä jalosteinnovaatioiden sijoittaminen rakennettuun ympäristöön. Projektissa lisätään myös kestävä muotoilun osaamista lasijalosteiden kehittämisessä. Rifolasi-projektissa on ollut kolme tutkimus- ja kehittämislinjaa, jotka ovat lasijauhe-, lasimurska- ja vaahtolasiosiot. Jokaisessa osiossa kehitettiin lasijauheesta tai -murskasta tuotteita tai jalosteita.

### painettu

ISBN 978-951-784-664-6  
ISSN 1795-4231  
HAMKin julkaisu 8/2014

### e-julkaisu

ISBN 978-951-784-665-3 (PDF)  
ISSN 1795-424X  
HAMKin e-julkaisu 15/2014

**HAMK**  
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES