

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus  
Yhdyskuntatekniikka

Jussi Parkman

## **Valoa johtava betoni kierrätyslasista**

Opinnäytetyö 2019

## Tiivistelmä

Jussi Parkman

Valoa johtava betoni kierrätyslasista, 34 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Yhdyskuntatekniikka

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Heikki Vehmas, Saimaan ammattikorkeakoulu, toimitusjohtaja

Simo Tahvanainen, Joutsenon Elementti Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia valoa johtavaa betonia. Opinnäytetyössä tutkittiin kiviaineksen korvaamista lasilla valon johtavuuden saavuttamiseksi betonissa ja tutkitaan lasimurskan koon vaikutusta koekappaleiden valon johtavuuteen. Valon johtavasta betonista oli tarkoitus tehdä suhteitus elementtejä valmistavalle yritykselle. Suhteituksilla luotiin monta eri massaa. Suhteitukset sisälsivät eri määriä lasimurskaa. Kyseisillä massoilla valettiin koekappaleita betonin valon johtavuuden selvittämiseksi.

Valoa johtavan massan suhteitus onnistui ja suhteituksista valittiin kaksi onnistunutta reseptiä, joita vertailtiin keskenään levykappaleita valamalla. Näistä kahdesta suhteituksista valittiin toinen, jolle suoritettiin puristuslujuuden mittaaminen, ilmamäärän mittaaminen ja painuman mittaaminen. Samasta valitusta suhteituksesta valmistettiin myös elementtiä kuvastava kuutio, jonka sisälle sijoitettiin akryyliputkia. Elementtiä kuvastava kuutio on prototyyppi, jolla myös tutkittiin, vaikuttaako akryyliputki kuution sisässä valon johtavuuteen tai tartuntaan.

Asiasanat: betoni, valoa johtava betoni, valon johtavuus, valoa johtava julkisivuelementti, betonin valon johtavuus

## **Abstract**

Jussi Parkman

Light transmitting concrete from recycled glass, 34 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Construction and Civil Engineering

Civil Engineering

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Mr Heikki Vehmas, lecturer, Saimaa University of Applied Sciences,  
Mr Simo Tahvanainen, Managing director, Joutsenon Elementti Oy

The aim of this thesis was to study light transmitting concrete. The thesis investigated replacing the aggregate with glass material to achieve light conducting properties in concrete. It was studied how the size of glass cullets affects to the light conductivity. The objective was also to make a finished recipe for the concrete element company. Many recipes were made. The recipes contained different amounts of glass. These recipes were used in making different concrete prototypes to find out the light-conducting properties of the concrete.

The proportion of the light-conducting mass was successful, and two recipes were chosen to be compared with each other by casting thin concrete slabs. From these two recipes one recipe was chosen to be tested in compressive strength, slump-test and air content. The same chosen recipe was also used in making the cube prototype which represented the finished concrete element. The cube prototype has acrylic pipes inside the cube. This cube prototype was also made to see how placing acrylic pipes inside concrete would affect the properties of the concrete.

Keywords: concrete, light transmitting concrete, light transmitting

## Sisällys

1	Johdanto .....	5
1.1	Työn tavoite .....	5
1.2	Työn rajausta .....	6
1.3	Menetelmät ja aineistot .....	7
1.4	Joutsenon elementti Oy .....	7
2	Valoa johtava betoni .....	8
2.1	Litracon .....	8
2.2	Valoa johtava betoni julkisivuelementtinä .....	8
2.3	Pesupinta .....	10
3	Massan suunnittelu .....	11
4	Tulokset .....	13
4.1	Puristuslujuus .....	22
4.2	Ilmamäärä .....	24
4.3	Painuma .....	25
5	Työn haasteet .....	25
6	Yhteenveto ja pohdintaa .....	27
	Lähteet .....	33

# 1 Johdanto

Valoa johtava betoni on betonia, jossa betoni sisältää valoa johtavaa materiaalia esimerkiksi valokuituja tai lasia. Runkoaine voidaan korvata kokonaan valoa johtavalla materiaalilla, tai valoa johtavaa materiaalia voidaan lisätä valmiin betonimassan sekaan, jolloin valo kulkeutuu betonikappaleen läpi. Lopputuloksena on valmis betonikappale, joka johtaa valoa kappaleen läpi valoa johtavan materiaalin avulla. Kyseessä on eräänlainen graafinen betoni, jolla saadaan erilaista ulkonäköä betonirakenteisiin valon ja valonjohtavuuden avulla. (1,2.)

Koska kyseessä on suhteellisen uusi keksintö, opinnäytetyössä tutkittiin, saadanko aikaiseksi massa, jossa valoa johtavuus tulee runkoaineen korvaamisella lasimurskalla. Käytetty lasimurska on kierrätyslasia.

Työ tehtiin Joutsenon Elementti Oy:lle, jonka ideana on tehdä valoa johtava betonijulkisivuelementti käyttäen opinnäytetyössä kehitettyä betonireseptiä valoa johtavana betonikerroksena elementin ulkokuoressa. Valonlähteen on suunniteltu tulevan lasimassan ja kantavan massan väliin sijoitettuun akryyliputkeen, esimerkiksi ledinauhana.

## 1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena on suhteittaa valoa johtava betonimassa testaten samalla betonin lujuus, painuma ja ilmamäärä SFS-standardien mukaisesti. Työn tavoitteena on myös tehdä kuutionmuotoinen koekappale, jonka läpi akryyliputki kulkee. Tämä koekappale toimii prototyyppinä suunnitellusta elementistä.

Työssä pyritään kehittämään massa valoa johtavalla ominaisuudella pelkästään suhteituksen avulla, ei työstömenetelmällä kuten valokuituja asettelemalla koekappaleen läpi valuvaiheessa (3). Työssä tutkitaan myös mikä lujuus, painuma ja ilmamäärä kyseisellä betonilla oli. Tavoitteena on tutkia tämän lisäksi massan ominaisuuksia ja mahdollisia lasin käytöstä aiheutuvia ongelmia tai siihen liittyviä ongelmakohtia. Työssä kiinnitetään huomiota siihen kuinka paljon massan pitää sisältää lasia, mikä tulisi olla jakauma lasilla ja mihin puristuslujuuksiin työssä käytetyllä lasimurskalla päästään menettämättä valoa johtavaa ominaisuutta betonissa.

Työssä käytettiin Graphic Concrete yrityksen pintahidastinkalvoa. Kalvon avulla betonin pintaan saadaan kuviollinen pesupinta, jolloin valun pintaa ei tarvitse hioa. Sementtiliiman pois pesemisellä lasimurska saadaan helposti näkyviin betonista. Kuvioinnin ideana on selvittää, toimiiko pesupinnan kuviointi valoa johtavassa betonissa halutulla tavalla. Haluttu tavoite kuvioinnissa on, että valo tulisi läpi kappaleesta vain pestyissä kohdissa.

## **1.2 Työn rajaus**

Työ on rajattu tutkimaan pelkästään massan suhteituksen avulla saavutettavaa valonjohtavuutta betonissa. Runkoaines pyritään korvaamaan kokonaan tai suurelta osin lasilla, eli lasimurskalla ja lasihiekalla. Työssä ei testata jo tunnettua valokuitumenetelmää (1), missä valokuituja asettelemalla kerroksittain valuvaiheen aikana saavutetaan valoa johtava betonirakenne.

Finnsementin valkosementtiä käytetään testien alussa, ja myöhemmin testataan, voiko valkosementin korvata tavallisella sementillä. Oletuksena on, että valkosementti soveltuisi paremmin valoa johtavaan massaan tavallisen harmaan sementin sijasta. Työssä käytetään Uusioaines Oy:n kierrätyslasia runkoaineena kiviaineksen sijasta ja korvataan osa kiviaineksestä tai kiviaines kokonaan kierrätyslasilla. Hienona kiviaineksena toimii lasihiekka ja myöhemmin testataan, soveltuuko tavallinen hiekka runkoaineeksi. Työssä on tavoiteltu mahdollisimman paksua levykoekappaletta, joka johtaa valoa riittävästi. Riittävä valon johtavuus olisi, että kappaleen pinnan joka kohdasta tulisi valoa läpi. Lopullisen riittävyden betonin valon johtavuudelle arvioisi Joutsenon Elementti Oy. Koekappaleen paksuus tulee selviämään testien avulla.

Betonin ominaisuudet eivät rajaa opinnäytetyötä. Betonille ei lähdetä hakemaan tiettyä lujuutta, vaan lujuus selviää testien avulla. Betonin lujuus esimerkiksi ei ole rajaava tekijä työssä, sillä suunniteltu valoa johtava julkisivuelementti ei koostu pelkästään lasimassasta. Lasimassaa on ohut kerros elementin ulkokuoressa, jolla on vain yksi tehtävä. Sen tehtävä on tuoda valo akryyliputkesta ulkopuolelle. On kuitenkin tärkeää selvittää kokeiden avulla betonin ominaisuuksia. Lasimassaa on vain pieni kerros elementin ulkokuoressa ja sille ei ole suunniteltu

tulevan kuormia. Tällä valoa johtavalla massalla on vain valoa johtava ominaisuus elementissä.

### **1.3 Menetelmät ja aineistot**

Tarkoitus on valmistaa erilaisia suhteituksia betonimassalle lasimurskaa ja lasihiekkaa käyttäen ja valaa ohuita levykappaleita. Levykappaleilla selviää, johtaako betoni valoa. Levykappaleiden avulla pystytään arvioimaan valon läpäisevyyttä eripaksuisilla koekappaleilla. Oikean suhteituksen onnistuttua tehdään kuutionmuotoinen koekappale, jonka sisään asetetaan akryyliputki valun aikana. Tämä koekuutio kuvastaa elementtirakennetta. Kuutio koostuu kahdesta eri massasta, valoa johtavasta betonista sekä tavallisesta betonista. Suhteituksen onnistuttua massalle suoritetaan kokeita.

Koepaloja on tarkoitus tehdä eripaksuisia eri suhteituksilla, joilla selvitetään ensiksi, saavutetaanko valonjohtavuus ja jos saavutetaan, niin millä kappaleen paksuuksilla valon johtavuus on riittävä kappaleen pysyessä kasassa hajoamatta.

Aineistoina hyödynnetään teoriaa ja tutkimuksia kyseisestä aihepiiristä. Aihetta ei ole juurikaan tutkittu, joten suoritettavat laboratoriotestit ovat suuressa roolissa työssä.

### **1.4 Joutsenon elementti Oy**

Yritys on joutsenolainen vuonna 1994 perustettu yritys, joka valmistaa laadukkaita betonisia julkisivu-, seinä- ja parveke-elementtejä erilaisilla pintaviimeistelyillä. Pintaviimeistelyvaihtoehtoja elementeille ovat esimerkiksi graafinen kuviointi betonissa ja hienopestyillä pinnalla. (4.)

Betonilla sekä betonielementillä on oltava CE-merkintä, että sitä valmistavalla yrityksellä on oltava sisäinen laadunvalvonnan sertifikaatti. Yritys tarkkailee betonin laatua jatkuvalla laaduntarkkailulla.

Joutsenon elementti Oy on patentoinut valoa johtavan elementtirakenteen. Elementti on betonista valmistettu sandwich-elementti. Elementti koostuu valoa joh-

tavasta betonista, eristeestä, raudoituksista, akryyliputkista sekä akryyliputkiin sijoitetuista valonlähteistä. Ideana on, että valaistus voidaan uusia helposti valojen käyttöään loppuessa.

## **2 Valoa johtava betoni**

Valoa johtava betoni on betonia, joka johtaa valoa. Tyypillisesti valoa johtavuus on valokuitujen avulla saavutettu ominaisuus betonille. Valokuidut kuljettavat valon kappaleen läpi. Tällä hetkellä tiettävästi ainoa tapa tehdä valoa johtavaa betonia on asetella valoa johtavia kuituja muottiin ennen valua tai valun aikana. (1.)

### **2.1 Litracon**

Litracon on Aaron Losconzin kehittänyt valoa johtava betoni, jossa valokuituja asettelemalla muottiin betonimassan kanssa vuorotellen saadaan valoa johtavaa betonia. Kuituja tämän tyyppisessä valoa johtavassa betonissa asetellaan noin. 5 mm ja 10 mm välein toisistaan. Kuitujen määrä tyypillisesti tämän tyyllisessä betonissa on 2 % ja 6 % betonin tilavuudesta. Kuituja asettelemalla muottiin betonista pystytään tekemään hyvin paksuja seiniä valon johtavuutta menettämättä. (1,2.)

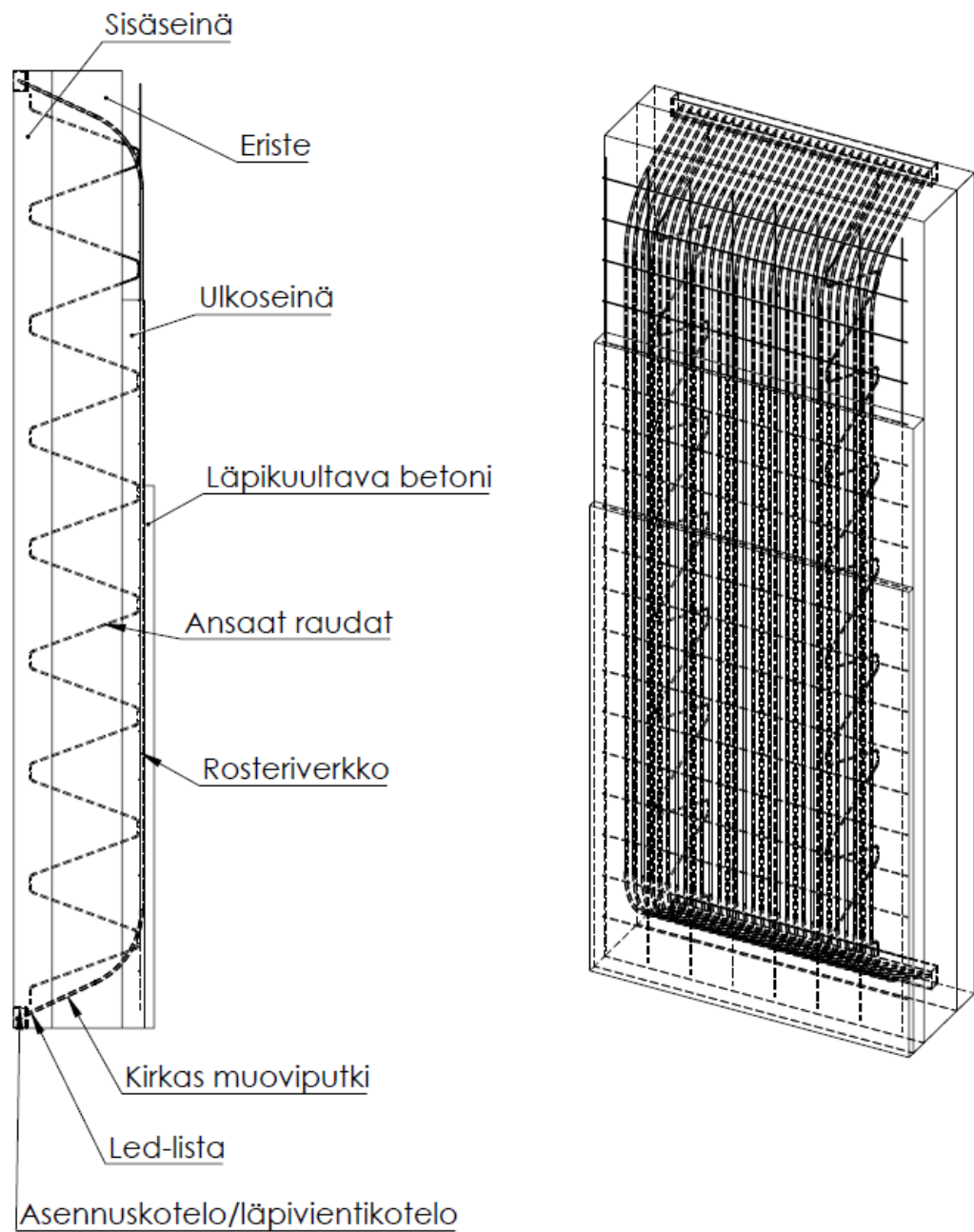
Valoa johtavaa betonia on myös tutkittu Spiez, Rouvas ja Brouwers kirjoittamassa julkaisussa *Utilization of waste glass in translucent and photocatalytic concrete*. Tässä tutkimuksessa selvitettiin jätelasin käyttöä betonissa sen valoa johtavan ja ilmaa puhdistavan ominaisuuden johdosta. Tutkimuksessa käytettiin lasia korvaamaan kiviainesta. Tutkimus kuitenkin eroaa tästä työstä, sillä tutkimuksessa ei tehty valmiita valoa johtavia koekappaleita betonista, vaan isoista koekappaleista sahattiin ohuita alle 1 cm paksuisia levyjä. (5.)

### **2.2 Valoa johtava betoni julkisivuelementtinä**

Joutsenon elementti Oy on patentoinut valoa johtavan betonielementin, jossa valonlähde on elementin sisällä. Tarkoitus on luoda betonielementti lasimassaa ja akryyliputkiin sijoitettuja valonlähteitä käyttäen. Valonlähde tulee kantavan massan ja lasimassan väliin sijoitettuun akryyliputkeen. Valo tulee betonielementin keskelle ja valaisee elementin valoa johtavan puolen. Kuvassa 1 on esitetty valoa



johtavan elementti ja sen leikkauskuva selventää tätä rakennetta. Kuvassa on sandwich-elementti, missä ulkokuori on valoa johtavaa betonia ja sisäkuori elementtimassaa.



Kuva 1 Suunniteltu elementti

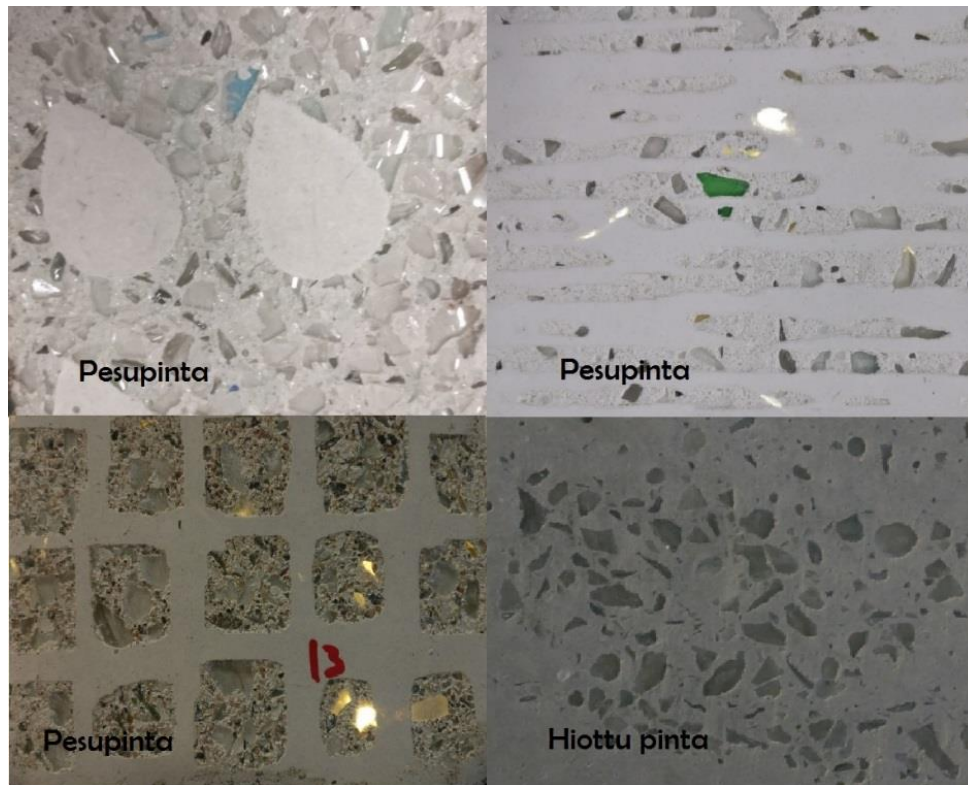
Valoa johtavan massan käyttökohde riippuu hyvin pitkälti massalle suoritettavista testeistä ja niiden lopputuloksista. Esimerkiksi jos massalle ei saada säänkestävyyttä, elementtiä ei tällöin voida sijoittaa kohteeseen, jossa sillä on merkitystä. Kuitenkin tämä kyseinen elementti on suunniteltu säänkestäväksi julkisivuelementiksi. Kuvasta 1 on nähtävissä valoa johtavan elementin rakenneosat.

### **2.3 Pesupinta**

Pesupinta tarkoittaa sementtiliiman pesemistä pois betonista pintahidastimen avulla niin että betonin kiviaines paljastuu (6). Pinnan peseminen on pelkästään graafinen ominaisuus betonissa. Pesupinta voidaan tehdä koko elementin pintaan, tai hidastinta voidaan lisätä vain tiettyyn kohtaan.

Graphic Concreten -pintahidastinkalvo on graafinen muottipaperi, jolla saadaan kuvioita betonin pintaan pesun avulla. Pintahidastin tai pintahidastinkalvo asetetaan muottiin ennen valua. Betoni puretaan muotista ja hidastettu sementtiliima pestään pois vedellä muun betonin ollessa tarpeeksi lujaa, ettei pesu vaikuta siihen. Näin saadaan kappaleeseen haluttuun kohtaan pinta, jossa kiviaines on näkyvässä pestyssä kohdassa.

Työssä tavoitteena oli saada pesupinnalla kuviointi aikaiseksi valoa johtavaan betoniin, jossa ainoastaan pestyn pinnan läpi tulee valo. Tässä työssä käytettiin pintahidastinkalvoa, jotta kappaleista ei tarvitsisi hioa erikseen sementtiliimaa pois runkoaineksen näkyviin saamiseksi. Työssä valun alapinnalla sekä yläpinnalla käytettiin Graphic Concrete -yrityksen pintahidastinkalvoja, joiden avulla betoniin saadaan erilaisia kuvioita pinnan pesun avulla. Kuvassa 2 kolme pintaa on tehty pintahidastinkavon avulla ja yksi pinta on hiottu.



Kuva 2 Erilaisia pintoja valkosementillä

### 3 Massan suunnittelu

Suhteitus on betonin osa-aineiden yhteensovitusta siten, että halutut betonin ominaisuudet saavutetaan. Lähes aina betonin suhteituksen lähtökohtana on vaikuttaa joko kovettuneen betonin ominaisuuksiin tai betonimassan ominaisuuksiin. Betonin ominaisuuksia, joihin suhteituksella pyritään vaikuttamaan, ovat lujuusominaisuudet, säilyvyysominaisuudet, notkeus, vesitiiveys, säänkestävyys, massan koossapysyvyys, massan työstettävyys, massan tiivistettävyys ja kutistuminen. Suhteituksella muutetaan näitä kyseisiä ominaisuuksia. (7, s. 69.)

Suhteitusmenetelmänä Suomessa käytetään vielä pitkälti Nykäsen suhteitusnomogrammia. Nomogrammi on 50-luvulla kehitetty, eikä täten tarjoa vastausta kaikkiin tavoiteltuihin ominaisuuksiin. Nykäsen nomogrammi soveltuu vain kiviainekselle. Sillä voidaan kuitenkin vieläkin suhteittaa perusmassoja pienellä vaimalla ja se antaa paljon perustietoa suhteituksesta. (7, s. 121 - 125.)

Tässä työssä suhteitus erosi paljon normaalin massan suhteituksesta. Käytettävänä runkoaineena oli lasimurskaa ja lasihiekkaa. Käytetty Finnsementin valkosementti erosi myös tavallisesta harmaasta sementistä ulkonäöllisesti. Valkoinen sementti toimi ulkonäöllisesti lasin kanssa erittäin hyvin. Tavallisen harmaan sementin avulla tehdyt koekappaleet eivät olleet yhtä näyttäviä kuin valkosementillä tehdyt valkoiset koekappaleet.

Lasimurskan ja lasihiekan tiheys eroaa Suomessa käytettävistä kiviaineksista. Myös lasimurskan muoto, pinnan sileys sekä lasin lujuus eroavat kiviaineksen samoista ominaisuuksista. Myöskään käytetty lasimurska ei ole tehtaalla tehtyä tasalaatuista lasia, vaan kirkkaasta kierrätyslasia, joka koostuu kierrätetystä lasista. Myös lasin muoto vaihteli suuresti käyrän muotoisista laseista pieneen litteän muotoiseen lasiin.

Massan suunnitteluun lähdettiin tärkeimmän määrittävän ominaisuuden kannalta, joka tässä työssä oli valon johtavuus. Massan lujuus, ilmamäärä, muokattavuus, käsiteltävyys ja muut ominaisuudet eivät olleet yhtä tärkeitä tai rajaavia tekijöitä. Tärkeintä oli selvittää, saadaanko valon johtavuus koekappaleeseen runkoaineksen korvaamisella lasilla. Jos tämä ominaisuus saavutetaan, tutkitaan, kuinka paksuja kappaleita voidaan valmistaa ja mitä ominaisuuksia lasimurska toi massaan tai itse betoniin. Lasimurskan maksimiraekoko oli 16 mm ja rakeisuuskäyrän mukaan lasimurskaa oli eniten 0 - 8mm ja 8 - 16mm käyrillä. Hienoa ainesta lasimurskan seassa oli hyvin vähän.

Massasta pyrittiin selvittämään aluksi arvioitu maksimilasmäärä, jonka massa voisi sisältää. Levykappaleita valamalla lasin maksimimääräksi valittiin valujen perusteella  $2000 \text{ kg/m}^3$ . Sementin määrä pidettiin alussa mahdollisimman pienenä ja lasimurskan määrä mahdollisimman suurena. Massa sisälsi alussa pelkästään lasimurskaa, eikä lainkaan hienoa runkoainesta. Lasimurska tiivistyi heikosti. Joten suhteituksien ja testivalujen perusteella päädyttiin päätelmään, että lasin maksimimäärä työssä olisi  $1800 \text{ kg/m}^3 - 2000 \text{ kg/m}^3$  väliltä. Alle  $1800 \text{ kg/m}^3$  lasia sisältäneissä kappaleissa oli sementtiä niin paljon, että lasi katosi kappaleen sisään ja valonjohtavuus oli heikkoa. Yli  $2000 \text{ kg/m}^3$  lasia sisältäneissä kappaleissa sementin määrä oli vähäistä ja massan sekoittaminen pienellä myllyllä oli mahdotonta. Myös havaittiin, että lasia oli sementtimäärälle liian paljon. Massa

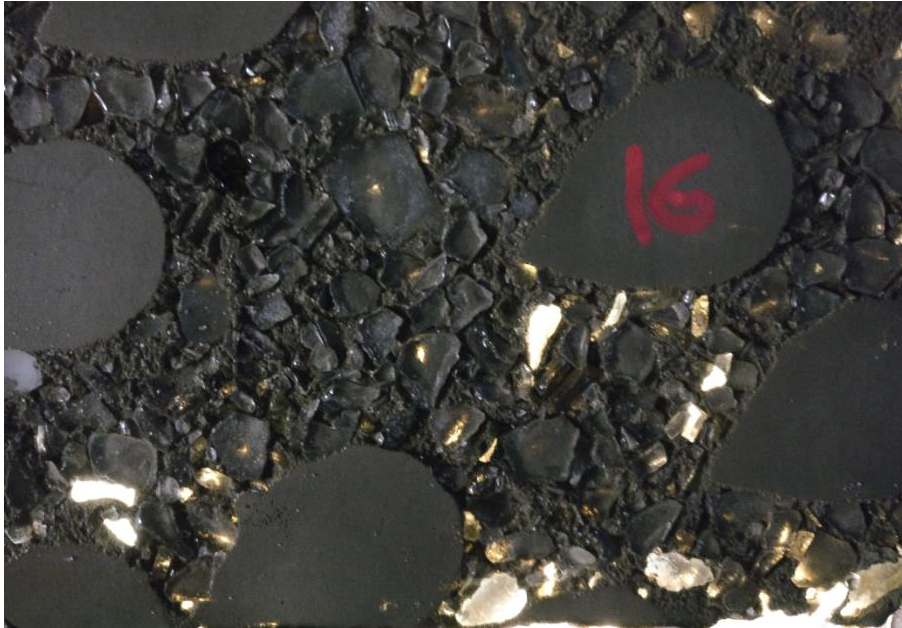
oli liian kiinteää. Massan valu tällä lasimäärällä oli myös hankalaa eikä massa käyttäytynyt normaalin massan tavoin. Lasia valmistetuissa koekappaleissa oli väliltä  $1600 \text{ kg/m}^3$  –  $2000 \text{ kg/m}^3$ .

Eri massoja valmistettiin tässä 5 kappaletta, eli lasimäärän ollessa  $1600 \text{ kg/m}^3$ ,  $1700 \text{ kg/m}^3$ ,  $1800 \text{ kg/m}^3$ ,  $1900 \text{ kg/m}^3$  ja  $2000 \text{ kg/m}^3$ . Näiden testien avulla pystyttiin arvioimaan, että paras tulos saavutettaisiin lasimurskan määrän ollessa  $1800 \text{ kg/m}^3$  ja  $2000 \text{ kg/m}^3$  väliltä. Tämän jälkeen valmistettiin kappaleita, jotka sisälsivät lasia  $1850 \text{ kg/m}^3$  ja  $1950 \text{ kg/m}^3$ .

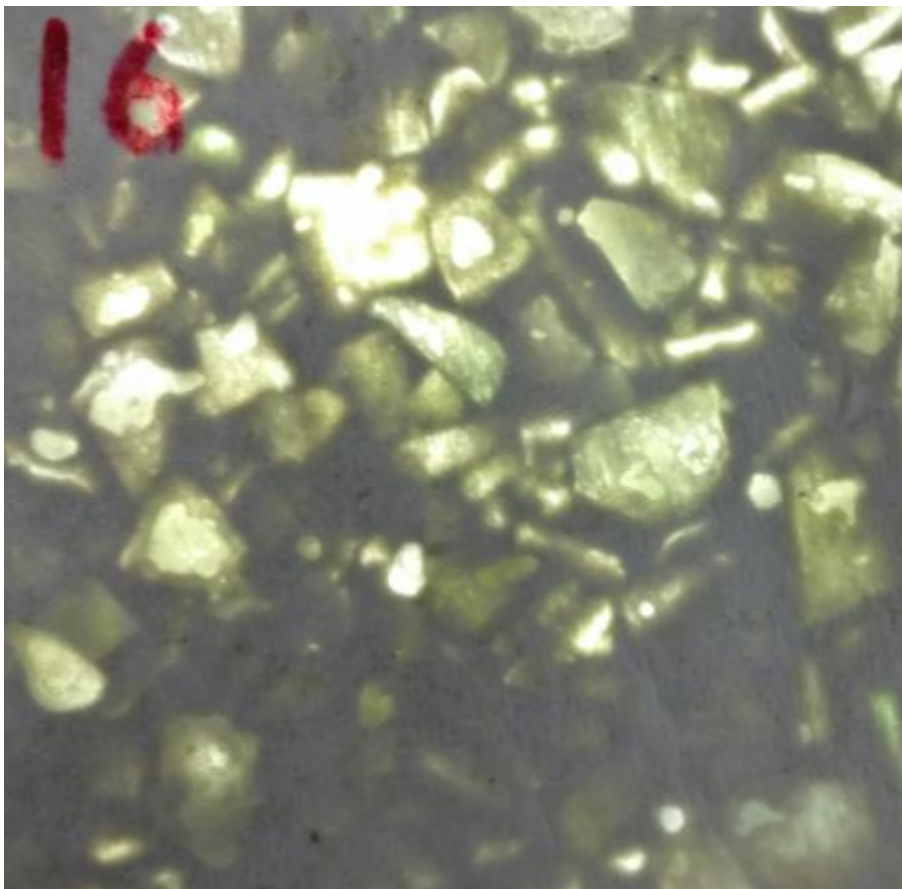
Lasin määrän selvittyä massassa seuraava vaihe oli selvittää lasimurskan ja lasihiekan keskinäisiä suhteita. Koska lasimurska sisälsi hienoa ainesta hyvin vähän, oli tärkeä selvittää voiko lasihiekkaa lisäämällä vähentää lasimurskan määrää. Tällä tavoin massasta tulisi tiiviimpää ja lasihiekka toisi kappaleiden pesupintaan graafisuutta ja lasihiekka olisi silmin havaittavaa.

#### **4 Tulokset**

Testien avulla rajattiin pois normaali sementti, sillä se aiheutti ongelmia valonjohdavuuden kanssa. Erot valkosementin ja tavallisen harmaan sementin valon johdavuudella olivat huomattavat. Valkosementti oli myös ulkonäöltään lasin kanssa sopivampi vaihtoehto. Valon läpäisevyys pelkästään valkosementissä oli huomattava harmaaseen sementtiin verrattaessa. Kuvista 3. ja 4. voidaan huomata sementtien välillä selkeän eron. Kummatkin kappaleet ovat 1 - 2 cm paksuja levykappaleita, joissa on sama pesupintakuvio. Massat ovat täysin samoja, vain sementti on eri. Kuvassa 4. on pesemätön betonipinta ja valo tulee sementin läpi. Näiden kahden kuvan perusteella voidaan päätellä, että valkosementti johtaa valoa paljon paremmin kuin tavallinen sementti.



Kuva 3 Tavallinen sementti



Kuva 4 Valkosementti ilman pesupintaa

Käyttämällä pintahidastinkalvoa levykappaleita tehdessä rajattiin pois tavallinen pienirakeinen kiviaines ulkonäöllisistä syistä. Kuvassa 5 on hiekkaa sisältävä levykappale. Ulkonäöllisesti kiviaines ei sopinut kirkkaan lasin ja valkoisen sementin kanssa. Yrityksen kanssa päätettiin, ettei sekaväristä hienoa ainesta haluttu käyttää tässä työssä. Hienoaines korvattiin kokonaan lasihiekalla. Verrattaessa lasihiekkaa tavalliseen hiekkaan, havaittavia eroja ei ollut paljoa. Massa tarvitsi enemmän vettä tavallisen hiekan kanssa ja ulkonäöllisesti hiekka ei sopinut valkoisen sementin ja lasimurskan kanssa.



Kuva 5 Tavallinen hiekka

Levykappaleiden avulla testattiin betonin valon johtavuutta. Levyt asetettiin tehovalaisimen päälle tiiviisti ja kappaleista otettiin kuvia pimeässä huoneessa sekä valaistussa huoneessa. Valona käytettiin Makitan työmaavalaisinta. Tämä testi antoi tietoa kappaleiden valonjohtavuudesta. Ilman valaisinta, kappaleista olisi mahdoton sanoa johtavatko ne valoa. Tämän kokeen avulla pystytään hylkäämään nopeasti eri suhteituksia ja kiinnittämään huomioita levykappaleiden paksuuteen ja missä paksuuksissa valonjohtavuus saavutetaan. Levykappaleiden paksuus oli alussa 4 - 5 cm ja lopulliseksi paksuudeksi levyille määritettiin 1 - 2 cm. Riittävää valon johtavuutta ei saavutettu paksuissa levykappaleissa, joten

valmistettiin ohuempia levyjä. Ohuemmilla levyillä sai paremmin selkoa massan valonjohtavuudesta. Näiden testien avulla saatiin selville, että käytetyn lasimurskan koko ja muoto määritteli koekappaleiden paksuuden välille 1 - 2 cm. Levykappaleita valmistettiin taulukon 1 mukaisesti.

1.	4 – 5 cm	Ei valonjohtavuutta
2.	3 – 4 cm	Hyvin vähäinen valon johtavuus
3.	2 – 3 cm	Heikko valon johtavuus
4.	<b>1 – 2 cm</b>	<b>Valon johtavuus hyvä</b>

Taulukko 1 Levykappaleiden paksuudet

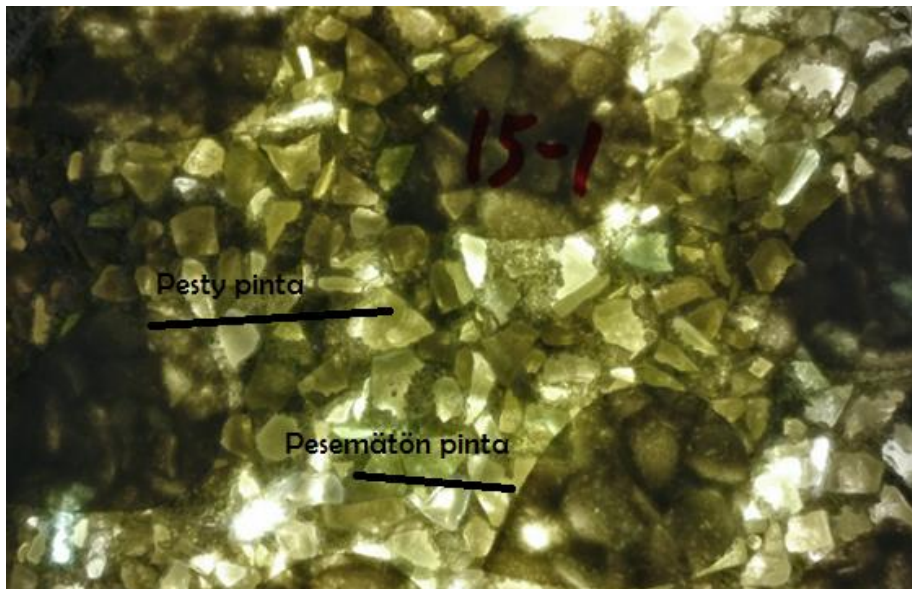
Kierrätyslasia käyttämällä ei pystyisi valmistamaan paksuja valoa johtavia kappaleita sillä täytyksessä lasi asettui muotin pohjaan nähden vaakatasoon. Tällöin lasi ei kulkeutuisi paksuissa kappaleissa kappaleen läpi. Käytetty lasimurska oli suurinta, mitä kierrätyskeskuksella oli tarjolla. Havaintojen perusteella valonjohtavuus kappaleissa tulee siitä, että lasi ulottuu kappaleen toiselta puolelta toiselle tai lasikappaleet ovat toisissaan kiinni niin lähekkäin, että valo kulkeutuu läpi joko pelkästään lasista tai lasista ja ohuesta sementtiliimakerroksesta. Paksummissa levykappaleissa lasimurska katosi täysin koekappaleen sisään ja valonjohtavuus oli satunnaista. Paksuissa kappaleissa saattoi olla ainoastaan yksi tai kaksi pientä kohtaa, mistä valo kulkeutuu läpi havaittavasti. Ohuissa kappaleissa taas valo kulkeutui läpi lähes joka kohdasta. Määriteltävänä tekijänä siinä mikä olisi riittävä valonjohtavuus kappaleilla oli opinnäytetyön antanut yritys. Valon määrää ei mitattu millään laitteistolla, vaan valonjohtavuuden arvioiminen perustui puhtaasti havainnointiin ja kappaleiden kuvaamiseen.

Kun levykappaleiden paksuudeksi valittiin 1 - 2 cm, suhteitus helpottui. Pystyttiin valmistamaan pelkästään yhtä kokoa olevia levyjä, jotka antoivat ilmi kuinka paljon valoa kappale johtaa. Näiden levyjen avulla valon johtavuuden arvioiminen eri massoilla helpottui. Täysin tarkkoja esimerkiksi 2 cm kappaleita ei pystynyt



valmistamaan ilman, että olisi asetellut massaa ja lasimurskaa käsin. Tämä ei ollut tarkoituksena massan suhteituksessa. Tarkoituksena oli suhteittaa massa, jonka voi sekoittaa myllyllä ja valaa massa tärytyspenkin avulla muotteihin. Lasimurskan koko ja muoto vaihteli suuresti ja aiheutti ongelman levykappaleiden tarkassa paksuudessa.

Pintahidastinkalvoja käyttäen massan runkoaineena toiminut lasi saatiin hyvin näkyviin koekappaleissa. Pintahidastinkalvo asetettiin muotin pohjalle ja päälle valettiin lasimassaa. Runkoaines oli tärkeä saada näkyviin pintaan. Massa tulisi julkisivuelementin ulkopintaan ja tästä pinnasta haluttiin kuvioitu. Pinnan pesun avulla pyrittiin parantamaan lasimassan valon johtavuutta sekä testaamaan pesupinnan ja lasimassan yhteensopivuutta kuvioinnissa. Sementtiliiman pois peseminen helpotti ja nopeutti prosessia huomattavasti ja kappaleita ei tarvinnut hioa lasimurskan esiin saamiseksi. Pintahidastinkalvot toimivat hyvin betonissa ja selkeä erottuva kuvio saatiin betonin pintaan. Kappaleen valonjohtavuus oli kuitenkin liian voimakas ja betoni johti valoa läpi myös pinnan pesemättömissä kohdissa eli kuvan 6 pisaroissa. Kuvasta 6 voi huomata pisananmuotoisen pinta-kuvioinnin ja sen, miten valo tulee kappaleen läpi niin toivotuissa kohdissa kuin ei toivotuissa kohdissa (pisaroissa).



Kuva 6 Pesupinnan kuviointi valossa

Lasimurskan ja lasihiekan keskinäisiä suhteita testattiin taulukon 2 mukaisesti valmistaen neljä massaa. Suhteita muutettiin lasimurskaa vähentämällä ja lasihiekkaa lisäämällä. Lasihiekkana alla olevan taulukon keskinäisissä suhteissa käytettiin 0,4 mm - 1,4 mm lasihiekkaa.

	Lasimurska %	Lasihiekka %
1.	90	10
<b>2.</b>	<b>80</b>	<b>20</b>
3.	70	30
4.	60	40

Taulukko 2 Lasimurskan ja lasihiekan keskinäiset suhteet

Paras tulos lasin keskinäisistä suhteista saavutettiin 80 % - 20 % suhteilla. Lasimurskaa oli 80 % lasin kokonaismäärästä ja hienompaa lasihiekkaa 20 %. Lasihiekka ei tuntunut vaikuttavan valon johtavuuteen parantavasti, mutta työstäminen sekä ulkonäkö koekappaleissa parani massan kuitenkin säilyttäen valoa johtavan ominaisuuden. Massasta myös tuli selkeästi tiiviimpää hienoa ainesta käytettäessä. Kuitenkin liiallinen lasihiekan osuus koko lasin osuudesta vaikutti valon johtavuuteen heikentävästi, kuten esimerkiksi suhteilla 60 % - 40 % valon johtavuus oli huomattavasti heikompaa. Massoilla valettiin levykoekappaleita, jotka asettamalla valoa vasten antoivat ilmi, kuinka paljon valoa kappale johti.

Lasihiekkana myöhemmissä testeissä käytettävissä oli kolmea eri hiekkaa. 0,4 mm -1,4 mm, 0,3 mm - 0,8 mm ja 0,2 mm - 0,3 mm. Selvitettyä lasihiekan määrän 20 %:iin, näiden alla olevien lasihiekkojen keskinäisiä suhteita ei tutkittu, vaan valittiin vakiosuhteiksi:

10 % 0,4 mm - 1,4 mm

5 % 0,3 mm - 0,8 mm

5 % 0,2 mm - 0,3 mm

80 % lasimurska

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty kaksi valittua lopullista reseptiä jatkotestausta varten. Toisessa suhteituksessa runkoainesta oli 1940 kg/m<sup>3</sup> ja toisessa 1820 kg/m<sup>3</sup>. Nämä lasimäärät haettiin kohdilleen massan suunnitteluvaiheessa olleiden lasimäärien avulla. Lasimurskan ja lasihiekan suhteet kummassakin reseptissä olivat 80 % - 20 %. Levykoekappaleissa massoilla ei ollut suuria eroja, käsiteltävyydessä eroja oli hieman. Reseptissä 16-1 oli vähemmän runkoainesta ja enemmän sementtiä. Myös vedenmäärä kasvoi tässä reseptissä sementin määrän kasvaessa. Tätä reseptiä oli huomattavasti helpompi käsitellä, ja koepalojen valu ja massan tärytys onnistui helpommin kuin reseptillä 15-1. Resepti 16-1 vaikutti myös tiivistyvän helpommin. Koepalat kuitenkin olivat samankaltaisia, eikä niissä suuria eroja esiintynyt silmämääräisesti. Valon johtavuudessa massa 15-1 oli hieman parempi. Kahdesta hyvästä ja onnistuneesta massasta valittiin yksi massa, joille tehtiin kokeet.

Lasimurska	1552 kg/m <sup>3</sup>
Lasihiekka 0,4 mm - 1,4mm	194 kg/m <sup>3</sup>
Lasihiekka 0,3 mm - 0,8mm	97 kg/m <sup>3</sup>
Lasihiekka 0,2 mm - 0,3mm	97 kg/m <sup>3</sup>
Finnsementin Valkosementti CEM I 52,5 R	300 kg/m <sup>3</sup>
Vesi	120 kg/m <sup>3</sup>
Notkistin Voima-Parmix	3 kg/m <sup>3</sup>

Taulukko 3 Resepti 15-1

Lasimurska	1456 kg/m <sup>3</sup>
Lasihiekka 0,4mm-1,4mm	182 kg/m <sup>3</sup>
Lasihiekka 0,3mm-0,8mm	91 kg/m <sup>3</sup>
Lasihiekka 0,2mm-0,3mm	91 kg/m <sup>3</sup>
Finnsementin Valkosementti CEM I 52,5 R	350 kg/m <sup>3</sup>
Vesi	140 kg/m <sup>3</sup>
Notkistin Voima-Parmix	3 kg/m <sup>3</sup>

Taulukko 4 Resepti 16-1

Levykappaleiden valotestin avulla valittiin näistä kahdesta reseptistä opinnäytetyön antaneen yrityksen kanssa paras lopullinen suhteitus. Näistä resepteistä valittiin resepti 15-1, jolle suoritettiin kokeet. Tästä massasta valettiin akryyliputkia sisältäviä kuutioita. Kuutio koostui sekä valitun reseptin massasta että tavallisesta betonimassasta. Tarkoitus näillä kuutionmuotoisilla koekappaleilla oli selvittää, pystyykö akryyliputkea käyttämään lasimassan kanssa. Tarvittiin myös tietoa, säilyykö valon johtavuus lasimassassa akryyliputken kanssa ja saako akryyliputki riittävän tartunnan kahden eri massan välille. Kuutiokappale toimi prototyyppinä suunnitellulle valoa johtavalle elementille. Akryyliputken sisään laitettiin kynävalo ja valon johtavuutta tarkasteltiin kuutiokappaleissa. Kuutioiden valon johtavuus oli samaa luokkaa levykoekappaleiden kanssa. Akryyliputki ei vaikuttanut valon johtavuuteen heikentävästi, eikä akryyliputki irronnut kuutiosta.

Akryyliputki kulki kuution läpi, kuten kuvasta 7 ilmenee. Kuvassa on myös havaittavissa, että putki asetettiin kuution sisään 2 cm syvyyteen.



Kuva 7 Kuutioprototyyppi

Valitulla reseptillä 15-1 tehtiin lisää koekappaleita ja tarkempia kokeita massan ominaisuuksien selvittämiseksi. Kokeiden tarkoitus on selvittää valoa johtavan betonin muita ominaisuuksia niin massan kuin betonin kannalta. Työssä suoritettavat muut kokeet olivat puristuslujuuden selvittäminen, ilmamäärän selvittäminen, painuman selvittäminen.

Painuman selvittäminen selventää betonin notkeutta ja notkeuden voi halutessaan myöhemmin hakea kohdilleen notkistimen ja veden määrää muuttamalla. Arvio oli, ettei halutun notkeuden hakeminen vaikuta valonjohtaviin ominaisuuksiin ainakaan huomattavasti, sillä kiviaineksen eli lasin määrä kappaleessa säilyy samana. Ilmamäärän selvittäminen myös on tärkeää. Se kertoo betoniin jääneen ilman määrän. Massassa ei ole käytetty huokostinta, sillä on huomattu koekappaleita tehdessä, että massa ei tiivisty yhtä hyvin kuin tavallinen betoni. Täten ilmamäärän selvittäminen antaa tietoa betonin tiivistymisestä ja betoniin jääneistä ilmaraoista. Tästä voidaan päätellä betonin pakkasenkeston olevan heikkoa. Betonin sisällä oleviin ilmarakoihin pääsee kosteutta ja jäätyessään vesi laajenee vaurioittaen betonia.

#### 4.1 Puristuslujuus

Betonin puristuslujuuden selvittäminen on tärkeä tieto. Puristuslujuus antaa kuvaa massan lujuudesta. Puristuslujuus on massalle tärkeä määrittävä tekijä, ja se antaa viitteitä massan mahdollisille käyttökohteille. Pienen puristuslujuuden omaava betoni ei sovellu kaikkiin rakennuskohteisiin. Lasin oma puristuslujuus on korkea. Kuitenkin kierrätyslasin muoto on satunnaista ja sileää pinnaltaan. Lasimurskan litteä muoto eroaa murskatun kiviaineksen muodosta suuresti. Myös lasimurskat ovat toisissaan kiinni pelkästään ohuen sementtikerroksen avulla. Työssä lasin puristuslujuuden selvittäminen ei ole rajaava tekijä suhteituksen kannalta. Kuitenkin lasimassan suunniteltu käyttökohde on julkisivuelementin ulkokuori, eikä sille tule kuormituksia. Tässä tapauksessa puristuslujuus antaa ennakkotietoa siitä, miten valetun julkisivuelementin ulkokuori kestää erilaisia rasituksia, kuten sään aiheuttamat rasitukset tai AKS-reaktion aiheuttamat rasitukset. Puristuslujuustesti on tehty standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti kuutio-koekappaleilla. Alla olevasta taulukosta 5 selviää valitun massan puristuslujuudet.

Ikä	7 pv	28pv
Kuutio 1	18 MPa	22 MPa
Kuutio 2	16 MPa	13 MPa
Kuutio 3	15 MPa	17 MPa

Taulukko 5 Puristuslujuudet

Kuten yllä olevasta taulukosta selviää, puristuslujuudet eivät anna tarkkaa kuvaa betonista. Täten ei voida antaa tälle massalle minkäänäköistä puristuslujuutta. Puristuslujuuksien hajonta on liian suurta 13 MPa:n ja 22 MPa:n väliltä. Myös 28 päivän puristus yhdessä kuutiossa alittaa kaikki 7 päivän puristustulokset. Ljujuudet ovat alhaisia ja esimerkiksi sandwich-elementin ulkokuoren puristuslujuus on 35 MPa (8). Kuusi koekappaletta saatiin purettua muoteista ehjänä kahdeksasta.

Kaksi koekappaletta jouduttiin hylkäämään puristuslujuustestistä kuution kulumista irronneiden lasipalasten vuoksi. Kappaleita säilytettiin vesiasiassa 20C lämpötilassa. Kuitenkin jokaisella kappaleella puristuslujuus oli vähintään 10 MPa niin 7 päivän puristuksessa kuin 28 päivän puristuksessa. Tämä betoni on heikkoa lujuudeltaan, eikä sovellu kantaviin rakenteisiin tai rakenteisiin, mihin kohdistuu rasituksia. Lasilla itsessään on suuri puristuslujuus ja käytetty sementti oli puristuslujuudeltaan 66 - 76 MPa. Lasimurskaa on paljon massassa, ja massa ei ole tiivistä. Tästä voidaan päätellä, että lasimurskan määrä ja sen huono tiivistyminen ovat tekijöitä betonin huonolle lujuudelle. Kuvasta 8 voi huomata massan huonon tiivistymisen ja havaittavat ilmaraoit.



Kuva 8. Puristettu kuutio

Hienoainesta tai sementin määrää muokkaamalla voitaisiin saada hieman parempia puristuslujuuksia kappaleilla. Kuitenkin on vaikea uskoa, että tälle massalle saataisiin suuria puristuslujuuksia. Lasimurskan lituskainen muoto ei ole ihanteellinen sen erotessa niin suuresti kivimurskasta. Tämä itsessään vaatisi lisää tutkimista, sillä lasinmäärää vähentämällä valon johtavuus vähenee ja alle  $1800 \text{ kg/m}^3$  lasia sisältäneissä koekappaleissa valon johtavuus oli heikkoa. Kiven muotoista lasimurskaa on kuitenkin hankala löytää, ja tässä työssä tutkittiin nimenomaan kierrätyslasimurskan käyttöä betonissa.

## 4.2 Ilmamäärä

Ilmamäärä betonissa kertoo betoniin jääneen ilman määrän. Jos betonimassa on tärytetty oikein, jäljelle jäänyt ilmamäärä antaa tietoa betonin tiivistymisestä tai säänkestävyydestä. Normaalisti betonissa on ilmaa 1 - 2 %, jos huokostimia ei käytetä. Kun betonin pakkasenkestävyyttä halutaan parantaa, lisätään huokostavaa lisäainetta. Huokostin muodostaa betoniin pieniä suojahuokosia, jotka suojaavat betonia jäätyksen aiheuttamalta rasitukselta. Ilman suojahuokosia betoni hajoaisi tai vaurioituisi jäätyksen aiheuttaman paineen vuoksi. Säänkestävyys on tärkeä ominaisuus julkisivuelementeissä. Ilman lisäaineita säänkestävyyden saavuttaminen betonilla on hyvin vaikeaa. (7, s. 66 - 67.)

Ilmamäärän mittaus suoritettiin standardin SFS-EN 12350-7 mukaisesti metallisella vesipatsasmittarilla. Massa tiivistettiin säiliöön kahdessa osassa tärypöytää käyttäen. Massan ilmamääräksi saatiin 5 %, joka tavallisesti tarkoittaisi säänkestävää massaa. Myös 1 % ilmaa vastaa noin 5 % lujuudessa, eli jos massan ilmamäärä saataisiin minimiin, puristuslujuuden arvot voisivat kasvaa 25 % (9). Huokostimia ei tässä massassa käytetty, joten ilmamäärä voi myös kuvastaa massan huonoa tiivistymistä. Ilmamäärä on luultavasti lasin ja betonin väliin jäänyttä ilmaa, joka ei tule antamaan suojaa jäätyksen-sulamisrasitukselta. Tämän huonon tiivistymisen pystyi huomaamaan koekappaleita tarkasteltaessa. Selkeitä ilmaraikoja on havaittavissa kappaleissa. Todellinen suojahuokosmäärä ja huokosjako selviää vain ohuthiekokeella.



### 4.3 Painuma

Painuma kertoo massan notkeudesta. Työstettävyys on yksi tärkeimmistä betonin ominaisuuksista. Painuma kertoo, mihin notkeusluokkaan massa sijoittuu. Lasimassa on tarkoitus valaa elementtitehtaalla, joten notkeus on tärkeä ominaisuus elementtejä valmistettaessa. Työn lasimassa on erikoiselementteihin tarkoitettu massa ja massan notkeus ei ole pois rajaava tekijä. Massan notkeutta pystytään kasvattamaan tämän hetkisestä notkeudesta notkistinta lisäämällä. Arvio on, ettei halutun notkeuden hakeminen vaikuta valonjohtaviin ominaisuuksiin ainakaan huomattavasti, sillä kiviaineksen eli lasin määrä kappaleessa säilyy samana.

Painuman mittaus suoritettiin standardin SFS-EN 12350-2 mukaisesti. Massa tiivistettiin suppilomuottiin kolmessa kerroksessa 25 iskulla kerrosta kohden. Massan painumaksi tuli 15 cm. Se kertoo, että massa on vetelä ja painumaluokka on S3. Työstettävyys massalla oli pieniä koekappaleita valmistettaessa kohtalainen. Lasimassan työstettävyys normaaliin betoniin nähden on huono. Isoja elementtejä valmistettaessa lasimassan heikko työstettävyys aiheuttaa vaikeuksia ainakin valuvaiheessa. Massaa on suhteellisen vaikea levittää sillä massassa oleva lasi vaikeuttaa massan käsiteltävyyttä ja muokattavuutta. Tämän lisäksi iso lasimurska asettui sattumanvaraisesti massaan, jolloin massa valuvaiheessa oli epätasainen.

## 5 Työn haasteet

Lasimurskan ja lasihiekan saatavuudessa oli vaikeuksia. Lasimurskaa löytyi suuria määriä vain lasinkierrätyskeskuksesta. Lasihiekkaa löytyi pieniä määriä lasipuhallushiekkaa myyviltä yrityksiltä. Kierrätetty lasimurska oli pesemätöntä, eli lasimurskassa oli pullojen etikettejä kiinni tai irtonaisena murskan seassa. Lasimurskan kirkkaus oli vaihtelevaa mattapintaisesta kuluneesta murskasta kirkkaaseen lasimurskaan. Etiketit olivat liimalla kiinni lasimurskassa ja ensimmäisten pesuyritysten jälkeen päätettiin, ettei lasimurskasta pestä etikettejä pois resursien vuoksi. Jos tätä lasimurskaa haluaisi käyttää jatkossa, tulisi etiketit ja muut epäpuhtaudet pestä pois lasimurskasta esimerkiksi liuottimien avulla. Etiketitejä oli vähän lasimurskan seassa, joten työssä arvioitiin, etteivät etiketit vaikuta valon

johtavuuteen. Lasimurskan muoto oli myös erittäin vaihtelevaa. Murska on mennyt seulan läpi, mutta seula ei seulo pois pitkiä lasin palasia. Käytettäessä tätä betonia jatkossa, olisi lasimurska hyvä seuloa erilleen, jotta massassa käytetyn lasimurskan koko olisi tasalaatuista.

Myös levykappaleen valun yläpinta jäi röpelöiseksi lasimurskan vuoksi ja pintahidastinkalvo ei toiminut tälle puolelle yhtä helposti, kuin miten se toimi valun alapinnalla. Tätä röpelöistä yläpintaa ei lähdetty korjaamaan, sillä röpelöinen pinta tulisi akryyliputkea vasten elementissä, ja toinen massa tulisi epätasaista pintaa ja akryyliputkea vasten. Arvio oli, että röpelöiseen pintaan toinen massa saisi paremman tartunnan, kuin jos epätasainen pinta tasoitettaisiin.

Kuutioiden valmistuksessa oli vaikeuksia ja kuutiomuottien purkaminen oli haasteellista. Lasimassa oli niin ilmavaa ja tiivistymätöntä, että paineilmalla muottien purkaminen ei toiminut. Muottien purkamiseen käytettiin vettä sekä paineilmaa vuorotellen. Myös akryyliputkia sisältäneille kuutioille täytyi valmistaa oma muotti, sillä 15 cm akryyliputki teki muotin purkamisesta mahdotonta. Akryyliputki toimi kiilana muotin sisässä vaikeuttaen muotista purkamista. Kuutioiden purkamisongelmien vuoksi olisi jatkossa suositeltava käyttää muotteja, jotka koostuvat kahdesta osasta.

Lasihiekka tuntui erottuvan massan pohjalle sekoitusvaiheessa. Valettuja kappaleita tutkittaessa pystyi selvästi huomaamaan, että kappaleissa oli hienoa ainesta näkyvässä eli lasihiekkaa. Vaikka lasihiekka erottui pohjalle, sitä oli silti havaittavissa kappaleessa.

Akryyliputkia sisältäneiden kuutioiden valu piti tehdä osissa. Akryyliputket oli tiiviisti tuettava kuutiomuotin seinämiin, jotta akryyliputkiin jäänyt tyhjä tila ei täytyisi valettavalla massalla. Myös lasimassan raekoon ja muodon ollessa vaihtelevaa, täytyi akryyliputken asettamisen jälkeen asetella massaa akryyliputkien ja muotin seinämien välille, sillä putki oli saatava pysymään paikallaan. Akryyliputket myös nousivat nosteen vuoksi valuvaiheessa irti valoa johtavasta massasta. Tähän voisi toimia yhtenä keinona painon lisääminen akryyliputken sisälle. Akryyliputken sisäpuolelle laitettaisiin esimerkiksi hiekkaa, jolloin noste ei vaikuta akryyliputkeen. Myös akryyliputkia sisältäneille koekappaleille piti tehdä oma

muottinsa. Akryyliputkikuution purkaminen oli muuten mahdotonta akryyliputken kiillautuen muotin seinämiin.

### **AKS-reaktio**

Alkalikiviainesreaktiota on kolmenlaista. AKS-reaktiossa huokosvedessä olevat alkalit vaikuttavat betonin kiviaineksen silikaattisiin yhdisteisiin aiheuttaen betonin rapautumista hitaasti (7, s. 119 - 120.). Tässä työssä mahdollisena AKS-reaktiona vaikuttaa alkali-silikaattireaktio. Lasi sisältää itsessään silikaatteja. Sementti taas sisältää alkaleita, joten valoa johtava betoni sisältää valmiiksi sekä alkaleita, että silikaatteja. Nämä kaksi ainesta aiheuttavat keskenään reaktion. Tästä voidaan päätellä, että sama reaktio aiheutuu valoa johtavassa betonissa. Reaktion suuruutta voitaisiin esimerkiksi testata kokeilla, missä mitataan reaktiosta aiheutunutta betonin laajentumista. Reaktio laajentaa betonia sisältäpäin, ja laajentumissaan betoni hajoaa. Keinoja vähentää mahdollista alkalikiviainesreaktiota ovat esimerkiksi lentotuhkan, masuunikuonan ja eri sementtien käyttö. Sementit sisältävät alkaleita, Myös lasin koolla vaikuttaa olevan tekemistä reaktion suuruuden kanssa. Kuitenkin lasin suuruuksien ollessa kiviaineksen raekoon luokkaa, lasin kokoa ei tässä tapauksessa voida pienentää säilyttäen valoa johtava ominaisuus betonissa (5). Lasimurska voitaisiin korvata jollakin toisella valoa johtavalla aineksella, joka ei aiheuta alkali-silikaattireaktiota. Muovi voisi toimia tässä korvaten lasimurskan kokonaan tai osittain, riippuen täysin siitä, miten suuri ja haitallinen ongelma alkali-silikaattireaktio on tässä betonissa.

## **6 Yhteenveto ja pohdintaa**

Lasimassan suhteitus onnistui halutulla tavalla. Runkoaines voidaan korvata lasimurskalla valonjohtavuuden saamiseksi. Lasimurskan raekoko on tärkeä tekijä siinä, minkä paksuisen kappaleen läpi valo kulkeutuu. Jos runkoaines korvattaisiin pienemmällä lasimurskalla, kappaleiden tulisi olla ohuempia valon johtavuuden saavuttamiseksi. Työssä käytetyn lasimurskan maksimiraekoko oli 16 mm ja tällä murskalla onnistuttiin valmistamaan 1 - 2 cm paksuisia levyjä, joista valo kulkeutuu läpi. Jos haluttaisiin valmistaa paksumpia kappaleita, lasimurskan raekoon tulisi olla suurempi. Lasimurskan raekoko ja muoto määrittää kappaleen paksuuden.

Käytetty lasimurska oli lasipulloja kierrättämällä ja murskaamalla saatua. Lasi on muodoltaan litteää ja koko vaihtelee suuresti 0 - 16 mm välillä. Pitkät lituskan muotoiset lasikappaleet ulottuvat betonilevyn läpi helpommin, kuin jos kyseessä olisi pyöreähkön muotoiset lasikappaleet. Lasimurskasta löytyi myös käyriä U:n muotoisia lasinpalasia, jotka muodoltaan auttavat valon johtavuudessa. Massan tiivistymisessä on lituskan muotoisista palasista haittaa, samalla kun se haittaa työstettävyyttä. Jos lasimurskaa saisi kivimurskan muotoisena ja kokoisena, tiivistyminen ja työstettävyys massan kanssa voisi parantua suuresti.

Valoa johtavalle betonille mahdolliset tulevaisuuden kohteet riippuvat pitkälti siitä, saadaanko tästä betonista säänkestävää ja saadaanko betonin lujuutta kasvatettua. Myös AKS-reaktion vaikutus voi rajata betonin käyttökohteita. Jos tälle betonille on mahdollista saavuttaa säänkestävä ominaisuus, tämän betonin käyttökohteet voisivat olla julkisivujen lisäksi esimerkiksi meluvallit, parvekkeet, muurit ja esimerkiksi portaat. Mikäli säänkestävyyttä tälle betonille ei saada, käyttökohteet rajautuvat sisätiloihin. Jatkotoimenpiteenä säänkestävyyden selvittämisessä voisi toimia ohuthiekoe. Todellisen kokonaisilmamäärän ja suojahuokosten ilmamäärän huokosjaon ja huokosten ominaispinta-alan pystyy määrittämään ohuthiekokeen avulla. Nämä ilmahuokosparametrit antavat selkoa betonin säänkestävyydestä. (10, s. 11 - 14.)

Myös sisätiloissa käyttökohteita on paljon. Tällöin taas sisätilan käyttökohteet rakennuksissa olisivat näyttäviä koristeellisia betonirakenteita, joissa käytetään hyväksi betonin valon johtavuuden ominaisuutta esimerkiksi kantamattomissa seinissä. Työssä ei tutkittu, miten paljon mahdollinen AKS-reaktio aiheuttaa betonin rapautumista ja mikä reaktion aiheuttaman vahingon suuruus on.

Jos haluttaisiin lähteä tutkimaan tätä massaa lisää, kannattaisi kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin. Lasimurska ei ole puhdasta ja saattaa itsessään aiheuttaa betonille ei-suotuisia reaktioita. Lasimurska tulisi pestä hyvin ja etiketit tulisi irrottaa lasimurskasta. Jos mahdollista, tulisi käytetyn lasin olla valmistettu tähän tarkoitukseen eikä kierrättämällä saatua. Litteällä epämääräisen muotoisella lasimurskalla on vaikea saavuttaa tiivistä betonia näillä runkoainesmäärillä. Jos silti haluttaisiin tehdä massaa tällä kierrätyslasilla, tulisi lasimurska seuloa

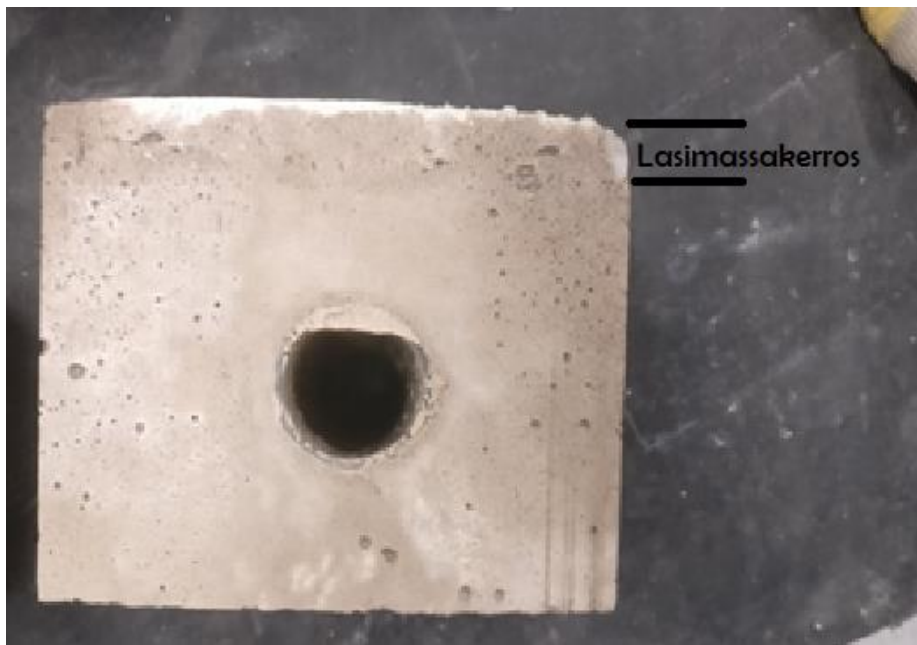
erilleen ja yrittää jäljitellä normaalin betonin suhteitusta tällä tavalla. Tällöin käytetyn lasimurskan tasalaatuisuus olisi betonissa parempi ja massat sisältäisivät tiettyä raekokoa juuri sen verran kuin on tarkoitettu. Tällöin lasimurskan satunnainen asettuminen koekappaleisiin vähenee ja valonjohtavuuden tasalaatuisuus myös paranee. Yksi ongelma lasimurskassa on satunnaiset eriväriset lasinpalaset. Vaikka tilattu lasimurska oli kirkasta, joukossa oli joitakin eri värisiä lasinpalasia. Myös nämä eriväriset lasinpalaset kannattaisi seuloa erilleen epämieluisien yllätysten estämiseksi.

Lasimassan sekoittaminen ja valaminen myös eroaa tavallisesta betonista. Lasimurskaa on vaikeaa sekoittaa pienen lasihiekan vajotessa osittain pohjalle. Tärytys voi omalta osaltaan aiheuttaa vaikeuksia. Lasimassaa ei pystytä tärysausvalla täryttämään. Työssä kokeiltiin tärypöydän lisäksi tärysausvan käyttöä ja tällöin tuntui siltä kuin lasimurska absorboisi tärysausvasta aiheutuneen tärytyksen. Tärysausvan tunkeutuvuus lasimassaan myös oli huonoa. Tärypöytä havaittiin ai-noaksi keinoksi lasimassan tärytyksessä.

Kun levykappaleita tehtiin tärypöydällä, piti täryttää suhteellisen kauan tiivistymisen parantamiseksi. Tärytyksessä päällimmäiset lasinpalaset liikkuivat massan pinnalla jonkin verran, ja valun pintaa täytyi tasoittaa valun loppuksi. Eroja tiivistymisessä oli havaittavissa sementin määrän kanssa. Mitä enemmän sementtiä massa sisälsi, sitä helpompaa kappaleiden valmistaminen oli. 1 - 2 cm paksut levykappaleet itsessään olivat suhteellisen heikkoja, joten parhaaksi muotiksi levykappaleille soveltui alumiinivuoka.

Akryyliputkia sisältäneet kuutiot aiheuttivat myös joitakin vaikeuksia, jotka kuitenkin saatiin ratkaistuksi. Akryyliputket olivat sahattu 15 cm pituisiksi pätkiksi. Kuutiomuotit olivat kooltaan 15x15x15 cm. Putket mahtuivat muottiin hiomalla putkien päitä juuri ja juuri. Putket aiheuttivat kiilautumisongelman purkamisessa. Lasimassa ei ollut tarpeeksi tiivistä, jolloin muottiin käytetty paineilma tuli muotin ja kappaleen välistä ulos liikuttamatta kappaleita. Veden ja paineilman muotin purku helpottui, kuitenkin kaikkia kuutioita ei saatu purettua tälläkään tavalla. Akryyliputkia sisältäneiden kuutioiden purku ehjänä taas oli mahdotonta. Akryyliputki betonissa asettui kiilaksi, eikä kappaleita saatu purettua ehjänä. Akryyliputkia si-

sältäneille kappaleille täytyi tehdä oma muotti, jonka sai avattua. Myös akryyli-putkia sisältäneiden koekappaleiden valamisessa oli huomattavia ongelmia. Akryyliputket olivat sisältä tyhjiä ja noste pyrki nostamaan akryyliputket irti pohjan lasimassasta. Kuutiota valaessa täytyi asettaa paino akryyliputken päälle valun aikana, ja valu täytyi suorittaa hiljalleen odottaen massan lujittumista valun aikana. Kun akryyliputket olivat lasimassan ympäröimät, pystyttiin normaalilla massalla valaa koko kuutio. Näin akryyliputket eivät irronneet lasimassasta. Kuvasta 9 nähdään, kuinka akryyliputki on noussut täysin irti lasimassakerroksesta.



Kuva 9 Epäonnistunut akrylikuutio



Kuva 10 Onnistunut akryylikuutio

Kuvassa 10 on onnistunut akryyliputkikuutio. Kuvasta voidaan huomata, miten lasimassalla on valettu akryyliputken ympärys ennen tavallisen massan lisäämistä ja akryyliputki on pysynyt paikallaan koko valun aikana. Yhtenä ratkaisuna mietittiin, voisiko akryyliputken sisälle asettaa esimerkiksi hiekkaa, jonka tarkoitus olisi pitää akryyliputkea paikallaan valun aikana. Helpoin ratkaisu tässä oli valaa lasimassalla akryyliputken ympärys ja antaa massan lujittua. Tämän jälkeen pystyttiin valamaan kuution tavallisella massalla akryyliputken pysyessä paikallaan. Valon johtavaa elementtiä valettaessa tämä ongelma on ratkaistavissa sitomalla akryyliputket raudoituksiin kiinni.

Suosittelisin suorittamaan lisätutkimuksena tälle massalle ainakin jäätymis-sulamiskokeen pakkasenkestävyyden selvittämiseksi. Massassa on havaittavia ilmaraikoja ja massa on huonosti tiivistynyttä. Tämä koe antaisi selkoa massan pakkasenkestävyydestä käytännössä ja kokeella pystyttäisiin tarkkailemaan pakkasen aiheuttaman vahingon suuruusluokkaa.

Myös olisi hyvä tutkia AKS-reaktiota, ja sitä miten laajasti reaktio vaikuttaa tässä betonissa. Reaktio aiheuttaa betonin laajentumista sisältäpäin rapauttaen betonia. Reaktion suuruus olisi hyvä selvittää, sillä reaktiota pystytään pienentämään esimerkiksi lentotuhkalla tai masuunikuonalla. Jos reaktio olisi odotettua suurempi, voitaisiin lasin käyttö betonissa rajata pois ja korvata lasi esimerkiksi toisella valoa johtavalla runkoaineella.



## Lähteet

1. Design Build Network. Litracon – Light Transmitting Concrete. <https://www.designbuild-network.com/projects/litracon/> Luettu 30.09.2019
2. Bashbash, Basma F., Hajrus, Roaa M., Wafi, Doaa F., & Alqedra, Mammoun. 2013. Basics of light transmitting concrete. Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation, 2(3), 076-083. <http://hdl.handle.net/20.500.12358/24516>
3. Altomate, A., Alatshan, F., Mashiri, F., & Jadan, M. 2016. Experimental study of light-transmitting concrete. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 7(3-4), 133-139.
4. Joutsenon Elementti Oy. [www.joutsenonelementti.fi](http://www.joutsenonelementti.fi). Luettu 1.10.2019.
5. Spiesz, P, Rouvas, S, Brouwers, H.J.H. 2016. Utilization of waste glass in translucent and photocatalytic concrete.
6. Betoni.com – Tuoreen betonipinnan käsittelyt. <https://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/betonipinnat/tuoreen-betonipinnan-kasittelyt/>. Luettu 12.9.2019.
7. BY201 Betonitekniikan oppikirja. 2004. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki: BY – Koulutus Oy. [Betoni.com](http://betoni.com)
8. Betonilujuudet. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/betonilujuudet>. Luettu 7.10.2019.
9. Punkki, J. 2017. Betonin ilmapitoisuuden hallinta. Betonin kesäseminaari, Aulanko, 11.8.2017.

10. Huuhtanen, S. 2017. Betonin huokosjako – koekappaleen valmistusvirheen vaikutus testaustulokseen. Opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.