

Patrick Nivell

Tutkimus kierrätyslasin lisäämisestä kuivabetoniin

Opinnäytetyö

Rakennustekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä	Tutkintonimike	Aika
Patrick Nivell	Insinööri (AMK)	2021
Opinnäytetyön nimi		
Tutkimus kierrätyslasin lisäämisestä kuivabetoniin		39 sivua 4 liitesivua
Toimeksiantaja		
Xamk (Bioke-Hanke), Teemu Karttaavi		
Ohjaajat		
Anna Eskola, Sirpa Laakso		
Tiivistelmä		
<p>Rakennusalalla kierrätyslasin käyttö on hyvin vähäistä sen käyttökohteiden ollessa harvassa. Tämä työ tutkii kierrätyslasin käyttöä kuivabetonissa.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kierrätyslasia sisältävän kuivabetonin ominaisuuksia ja samalla pyrkiä tuomaan lasia esille betonin pinnassa. Tavoitteena oli myös hakea työn tilaajalle tietoa lasia sisältävästä betonista aikaisempia tutkimuksia hyödyntämällä, jotta tilaaja voisi sitten hyödyntää niitä myöhemmin omissa tutkimuksissaan. Tarkoitus oli myös selvittää paljonko lasijätettä Kymenlaakso tuottaa vuodessa.</p> <p>Opinnäytetyön toteutus tapahtui kirjallisuuskatsauksen ja laboratoriokokeiden muodossa. Kirjallisuuskatsauksen avulla haettiin tietoa aikaisemmista tutkimuksista kuin myös analysoitiin ja verrattiin tutkimusten tuloksia toisiinsa. Laboratoriokokeissa valettiin eri värisiä ja eri kokoista lasimurskettä sisältäviä prismoja sekä hiontakappaleita tarkasteltavaksi keskenään. Prismojen ja hiontakappaleiden vertailu tapahtui kvalitatiivisella tutkimusmenetelmällä. Vuotuisen lasijätteen määrän selvitys tapahtui sähköpostikeskustelun välityksellä Kymenlaakson jäte Oy:n ja Rinki Oy:n kanssa.</p> <p>Opinnäytetyön avulla saatiin syventävää tietoa aiheesta eri tutkimusten analysoinnin pohjalta ja luotiin työn tilaajalle kattava tietopaketti lasin ja betonin kanssa työskentelystä. Laboratoriokokeissa selvitettiin lasin vaikutusta betonissa eri koekappaleissa. Työn tilaaja voi näiden tietojen avulla lähteä jatkokehittämään kierrätyslasin käyttöä betonissa.</p>		
Asiasanat		
betoni, kestävä kehitys, lasi		

Author	Degree	Time
Patrick Nivell	Bachelor of Engineering	2021
Thesis Title		
Study of Adding Recycled Glass in Concrete		39 pages 4 pages of appendices
Commissioned by		
Xamk (Bioke-Project), Teemu Karttaavi		
Supervisors		
Anna Eskola, Sirpa Laakso		
Abstract		
<p>The use of a recycled glass in a field of construction is minor due to its few places of use. This thesis studies the use of a recycled glass in dry concrete.</p> <p>The goal of this bachelor thesis was to study the properties of recycled glass containing dry concrete and make glass more visible on a concrete surface. The objective also included searching information from concrete containing glass by utilizing studies from the past, that the client of the thesis could make use of in their research. Finding out the annual glass waste production in the province of Kymenlaakso was also one of the objectives included in the thesis.</p> <p>Implementation of this thesis was done in the form of a literature review and laboratory tests. By utilizing the literature review information from past studies their yields were analyzed and compared to other studies of similar subjects. In laboratory tests, varied color and glass sizes containing prisms and grinding pieces were cast to be compared among themselves. Comparison between Prisms and grinding pieces were done by utilizing qualitative research method. The annual production of waste glass was discovered through email conversation with the Kymenlaakson Jäte Oy and Rinki Oy.</p> <p>The thesis brought insight to the subject through analyzing different studies and helped in creating a wide information package about working with glass and concrete. Through laboratory tests, the interaction of glass and concrete was studied in multiple test pieces. The collected information helps client to further their research in an investigation of the usage of the recycled glass in concrete.</p>		
Keywords		
Concrete, Sustainable development, Glass		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	BioSampo ja Bioke-hanke	6
1.1.1	BioSampo	6
1.1.2	Bioke-hanke.....	6
1.2	Työn tavoite ja menetelmät.....	7
2	AIKAISEMPIA TUTKIMUKSIA.....	9
3	LASIJÄTE KYMENLAAKSOSSA.....	14
3.1	Kymenlaakson Jäte Oy.....	14
3.2	Suomen Pakkauskierrätys RINKI Oy.....	14
4	KIERRÄTYSLASIN TUTKIMINEN BETONISSA.....	15
4.1	Massa 1	16
4.2	Massa 2	20
4.3	Massa 3.....	23
4.4	Puristus- ja taivutuslujuudet.....	26
4.5	Hiontakappaleet.....	31
5	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET.....	38

LIITTEET

Liite 1. Massa 1 Taivutusveto ja puristuslujuudet

Liite 2. Massa 2 Taivutusveto ja puristuslujuudet

Liite 3. Massa 3 Taivutusveto ja puristuslujuudet

Liite 4. Massojen 1, 2 ja 3 vertailusta poistetut kappaleet

1 JOHDANTO

Rakennusjätteen kierrättäminen on suuri ongelma nykypäivänä varsinkin purkukohteissa, joista purkujätteestä onnistutaan kierrättämään vain pieni osa siihen nähden, mitä EU:n jätepuitekriteeri on asettanut. Jätepuitekriteeri määräsi vuonna 2008, että vuoteen 2020 loppuun mennessä rakennus- sekä purkujätteen kierrätysprosentti tulisi olla vähintään 70 %. Suomen kierrätysprosentti oli vuoden 2020 lopussa n. 50 %. Eniten ongelmia tuottaa sekalainen rakennusjäte, joka sisältää betonia, puuta, kipsiä, lasia ja kaikkea muuta, mitä rakennuksesta voi löytyä (Tolpo 2020).

Lasijätettä on pääsääntöisesti käytetty maanrakennusaineena tai useissa eri eristevilloissa. Kierrätyslasin käyttöä on myös harjoitettu betonissa runkoaineena. Lasin käyttö betonissa on keskittynyt yleensä koristeellisiin ominaisuuksiin, sillä kierrätyslasin käyttö runkoaineena tekee betonista heikompa tavalliseen seokseen nähden. Tämä takia lasia sisältävää betonia käytetään ei-kantavissa rakenteissa, kuten portaikoissa tai sisustuksessa. Kierrätyslasia on vaikea uusiokäyttää sen sisältämien epäpuhtauksien takia, sillä kierrätyslasi sisältää eri kemikaaleja sen mukaan, mihin sitä on käytetty. Leena-Kaisa Simola artikkelissaan Lasin käyttö betonissa vaatii lisätutkimuksia ja kokemuksia, Simola kertoo, kuinka lasia sisältävä betonin kanssa sisätiloja suunniteltaessa ei tarvitse huomioida betonin koostumusta, mutta kun betonin joutuu sääolojen uhriksi, on asia aivan toisenlainen. Sisätiloissa ei ole ongelmaa, mutta ulkotiloissa lopputulos riippuu monesta asiasta kuten lasilaadusta, betonista, sementistä, kosteudesta ja lämpötiloista. Joissakin tapauksissa lasimurske on kestänyt hyvin, mutta joissakin kohteissa lasi on aiheuttanut betonin ennenaikaisen vaurioitumisen (Simola 2015, 48).

Lasin käyttäminen betonissa on jatkuvassa kehityksessä, eikä kehitys keskity vain lasiin vaan myös muihin rakennusjätteisiin, joille yritetään keksiä uusia kierrätysmahdollisuuksia. Yksi näitä uusia mahdollisuuksia tutkiva osasto on Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Xamkissa toimiva BioSampo.

1.1 BioSampo ja Bioke-hanke

1.1.1 BioSampo

Biosampo on bio- ja kiertotalouden tutkimuskeskus. BioSampo siirtyi elokuussa 2017 Kouvolan seudun ammattiopistolta (KSAO) Xamkille. BioSampo kuuluu metsä-, ympäristö- ja energia-alaan (MYE), ja harjoittaa siellä tutkimus-, kehittämis- ja innovaatio (TKI)-toimintaa. Yksikön toiminta on pääosin soveltavaa tutkimusta esimerkiksi laboratorioharjoitusten muodossa. BioSampo keskittyy kiertotalouden tutkimiseen ja hienojakoisten puumateriaalien hyödyntämiseen käytettävien prosessien selvitystyöhön. Hiilen uusiokäytön parantaminen on myös yksi BioSammon toiminta-aloista. Kuivatislausta eli hidaspölyä hyödynnetään yksikön toiminnassa huomattavasti. Erotustekniikan tutkimuskeskuksen liittyttyä osaksi BioSampoa on yksikön toiminta alkanut keskittyä myös tuhkaan ja eri materiaalien mikronisointiin.

Yksikön sivussa toimii BIOKE, investoinnit-hanke, jonka avulla Biosampo ja BIOKE-hanke kykenevät investoimaan laitekantaansa ja näin edistämään siellä tehtävää tutkimusta.

1.1.2 Bioke-hanke

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Bioke-hanke. Bioke-haastavien materiaalien tutkimus ja kierrätyksen edistäminen BioSamossa on asettanut tavoitteeksi etsiä uusia keinoja hyödyntää haastavan teollisuuden ja kierrätysyritysten materiaaleja hienontamista käyttämällä. Hienontaminen tapahtuu mm. mikronisoimalla Biosammon käytössä olevalla hienontamislaitteikannalla.

Bioke-hanke pyrkii etsimään uusia kierrätysmenetelmiä materiaaleille, joiden uusiokäytölle on kasvutarvetta. Hienontamislaitteiston kehittäminen kartoitettuille materiaaleille on myös isossa osassa hanketta.

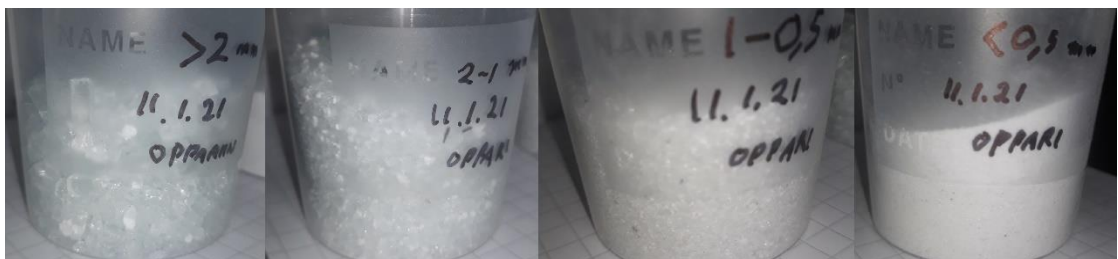
Hanke kartoittaa tällä hetkellä Kymenlaakson alueelta potentiaalisimpia materiaaleja hienontamiskäsittelyyn. Tavoitteena on myös kartoittaa ympäröiviä maakuntia. Näille materiaaleille on pohdittu sopiva käyttötarkoituksia, joista yksi on kierrätyslasin hyödyntäminen betonissa.

1.2 Työn tavoite ja menetelmät

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää BioSammossa hienonnetun kierrätyslasin käyttäytyminen kuivabetoniseoksessa ja samalla hakea tietoa hyödyntäen aiempien tutkimusten tuloksia siitä, miten kierrätyslasia on hyödynnetty betonissa. Selvitettäväksi jäi myös, paljonko Kymenlaakso tuottaa lasijätettä vuodessa.

Aiemman tiedon tutkiminen tapahtui kirjallisuuskatsauksen muodossa, jossa etsittiin vastaavanlaisia tutkimuksia aikakauslehdistä, aihekirjallisuudesta sekä eri nettisivujen julkaisuista. Kymenlaakson vuotuisen lasijätteen määrän selvittäminen hoitui tässä samalla ottamalla yhteyttä Kymenlaakson alueella toimiviin jätteenkeräysyrityksiin.

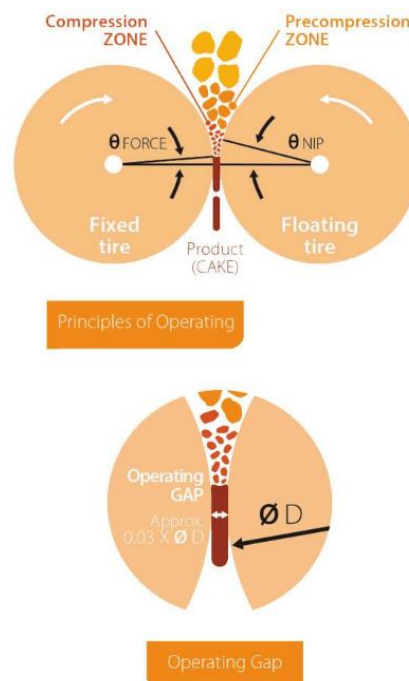
Käytännön osuus toteutettiin Kotkan kampuksella sijaitsevassa Kymilabsin betonitestaustalaboratoriossa. Tavoitteena oli selvittää lasia sisältävän betonin ominaisuuksia. Tämän käytännön osuuden avulla saatiin materiaaleja ja tuloksia, joita voitiin verrata kirjallisuuskatsauksen lähteiden johtopäätöksiin sekä tutkia, miten lasi näkyi betonissa. Valuissa käytettiin kahta eri kuivabetoniseosta: Fescon S 100 -valmisbetonia ja Fescon JSP 0,5 -julkisivupinnoitetta. Prismat olivat standardien mukaisia 40 mm x 160 mm x 40 mm. Lasimursketta oli neljässä eri kokoluokassa niiden seulotun raekoon mukaan. Koot olivat suurimmasta pienimpään 2 mm:n sihdille jääneet, 1 mm:n sihdille jääneet, 0,5 mm:n sihdille jääneet ja 0,5 mm:n sihdin läpäisseet rakeet. Prismat tuotettiin siten, että valssattua lasia sekoitettiin kuivabetoniin, josta valettiin prismoja. Prismoja tehtiin kolme kappaletta jokaista eri valua kohden tarkkojen tulosten saavuttamiseksi. Lasia yritettiin tuoda esiin hiontakappaleiden sileäksi hiomisella. Prismojen avulla testattiin myös taivutus ja puristuslujuus.



Kuva 1. Lasikoot. (Bioke-hanke)

Lasi (kuva 1. 7) saapui työn tilaajalta BioSammosta, jossa lasi oli hienonnettu valssimurskaimella ja sen jälkeen seulottu eri kokoluokkiin. Työssä käytetty lasi oli kirkasta ja läpinäkyvää. Tätä lasia ei puhdistettu kaikesta siinä olleesta liasta, sillä sen ei nähty olevan tämän työn kannalta tarpeellista.

Valssimurkaus (kuva 2. 8) tapahtui kahden vastakkaisiin suuntiin pyörivien vaakasuorien akselien varassa olevien sylintereiden liikettä hyödyntäen. Murskattava lasi syötettiin koneeseen missä se ajettiin sylinterien läpi, jotka murskasivat lasin pieniin eri kokoluokkiin, mistä ne seuraavaksi siirrettiin seulottavaksi.



Kuva 2. Valssimurskaimen toimintaperiaate. (Metso HRC)

Seulonta tapahtui Retschin seulalla. Seulonta perustui siihen, että pyörivällä vaakasuuntaisella liikkeellä eri kokoiset materiaalit voitiin seuloa irti toisistaan ja ne saatiin lajiteltua omiin kokoluokkiinsa.

2 AIKAISEMPIA TUTKIMUKSIA

Kierrätyslasin hyödyntämistä betonin valmistuksessa on tutkittu ennenkin lasin koostumuksen takia. Yksi silmään pistävä tutkimus oli Nafisa Tamannan Utilization of Waste Glass in Concrete (2013), jossa hän käy läpi lasin kemiallista koostumusta ja kuinka lasin koko voi vaikuttaa suurestikin sen ominaisuuksiin betonissa.

Julkaisussaan Tamanna kertoo alkalipiidioksidireaktion eli alkalisilikareaktion (ASR) olevan vahingollinen tekijä, mikäli betoni sisältää paljon lasia, joka toimii kiviaineksena. ASR luo geeliä, joka puolestaan laajenee kosteudessa ja aiheuttaa betonissa halkeilua ja lujuuden heikkenemistä. Syy lasin vahvaan ASR-vaikutukseen johtuu lasin valmistuksessa käytettävästä natriumkarbonaatista, jolla lasin työstämistä parannetaan. Tämä johtaa natriumin lisääntymiseen betonissa, mikä lisää emäksisyyttä betonissa. Tämä nostaa sen Ph:ta ja natriummolekyylit muodostavat sidoksia eli alkalihydrogeelejä, jotka puolestaan aiheuttavat betonin halkeilun turpoamisellaan. Tähän Tamanna ehdottaa ratkaisuksi lasin hienontamista pölyksi, jolloin reaktiota voidaan hillitä. Lasipölyn on myös todettu muodostavan vahvoja sementintyyppisiä sidoksia sen korkean piidioksidipitoisuuden takia. (Tamanna 2013, 323–325.)

Alkalipiidioksidireaktion (ASR) voi estää tapahtumasta, mikäli yksi sen kolmesta aiheuttajasta kyetään neutralisoimaan betonissa. Reaktion aiheuttajia ovat silikan esiintyminen kiviaineksessa, liiallinen alkalinen määrä sementissä ja liiallinen altistuminen kosteudelle. ASR:n aiheuttaman vahingon suuruus riippuu reagoivan kiviaineksen raakoosta ja määrästä betonissa. Yhdeksi ratkaisuksi ASR:n neutraloimiseen ehdotetaan alumiinipohjaista sementtiä, sillä se ei sisällä alkalia. Veden määrän vähentäminen on myös suojaus keino ASR:ta vastaan. (Klemenc 2018.)

Tamannan julkaisussa täsmennetään hyvin kierrätyslasin hyödyntämistä kuvalla. Kuvasta (Kuva 3. 10) näkee missä järjestyksessä kierrätyslasin muokkaaminen käyttökelpoiseksi materiaaliksi tapahtuu. Ei tule suinkaan unohtaa, että jokaisessa vaiheessa on omat haasteensa, jotka tekevät lasin uusiokäytöstä kallista ja aikaa vievää. Seulonnan jälkeen voidaan lasia alkaa hienontaa

haluttuun kokoon. Jokaisella koolla on oma paikkansa betonin valmistuksessa. 10 mm:n lasi toimii aggregaattina betonissa tai sitä voi käyttää niin sanottuna sisustusbetonina, jolloin sen ainut tehtävä on toimia koristuksena eikä sille voi laittaa kuormia. 5 mm:n lasi toimii hiekan korvikkeena tai päällysteenä. Hienoin lasijauhe voi korvata osan seoksen sementistä sen kemiallisen koostumuksen ansiosta. Tutkimuksessa selostetaan vielä kuinka erittäin hienon lasijauheen ASR on harmitonta betonin lujuteen ja osa sementin korvaamisesta lasijauheella on jopa suositeltavaa. (Tamanna 2013, 323–325.)

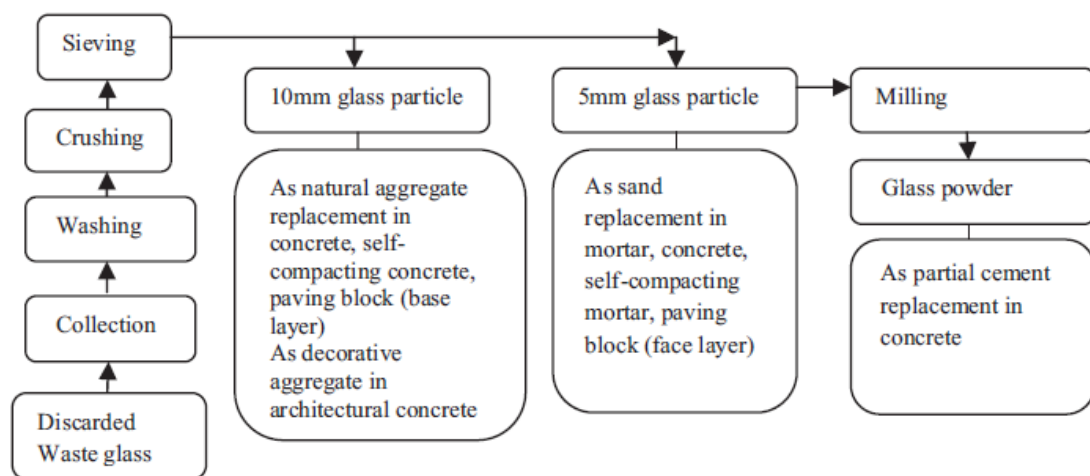


Figure 2. Steps of converting waste glass to valuable materials [31].

Kuva 3. Askeleet jätelasin muuttamisesta hyödyllisiksi materiaaleiksi. (Tamanna 2013, 326)

Tamanna käsittelee lasijauheen pozzolaanista käyttäytymistä betonissa. Pozzolaaneilla tarkoitetaan niitä aineita, jotka muodostavat betonissa sementtikiven kaltaisia pysyviä sidoksia. Itsessään pozzolaaneilla ei ole sementin ominaisuuksia, mutta ne muodostavat kosteudessa kalsiumhydroksidin avulla yhdisteitä, joilla on sementin ominaisuuksia. Pozzolaanisementti eroaa tavallisesta Portland-sementistä siinä määrin, että sillä kestää pitkään saavuttaa samantasoinen vahvuus. Lasijauheella voidaan korvata osa pozzolaanisesementistä, joka luo tiiviimmän huokosrakenteen sekä alkalikiviainesreaktion avulla vähentää massan laajenemista, näin muodostaen tiiviimpiä sidoksia vahvistaen kestävyysominaisuuksia betonissa. Lasijauheen tulisi olla kooltansa 45–75 µ:a pitkäaikaisten haittavaikutusten välttämiseksi. Sementistä voidaan korvata 30 % lasijauheella tällä tavoin. Lasijauhe voi muuttaa lasin

pozzolaaniseksi, mikäli lasijauheen koko on alle 45 μ :n. Pozzolaaniset ominaisuudet näkyvät kumminkin vasta lasijauheen ollessa alle 300 μ :n. (Tamanna, 2013, 326–327.)

Loppuun Tamanna vielä luetteloï lasijauheen hyötyjä ekologisuu den kannalta. Näitä hyötyjä ovat muun muassa energiansäästö ja päästöjen väheneminen kuin myös kaatopaikkojen täyttymisen hidastuminen ja rahan säästäminen kierrätystä hyödyntämällä. (Tamanna 2013, 327.)

Lasin pozzolaanisuu tta käsittelee myös tutkimus Performance of Ground-Glass Pozzolan as a Cementitious Material—A Review, jossa lasin pozzolaanisia ominaisuuksia tutkitaan tarkemmin. Tutkimuksessa Ahmed ym. (2018, 266) Käyvät läpi, kuinka noin 38–45 μ :n kokoon jauhetun lasin käyttäminen pozzolaanina voi parantaa useita ominaisuuksia betonissa, kuten pinnan siileyttä, työstettävyyttä, puristuslujuutta, taivutuslujuutta ja kimmokerrointa.

Lasin lisäämistä betoniin on myös tutkinut Kaveh Afshinnialta (2019). Hän selostaa artikkelissaan Waste Glass in Concrete has Advantages and Disadvantages, kuinka lasijätteen kierrätyksessä on omat haasteensa ja mahdollisuuksia ekologisempaan rakentamiseen.

Afshinnia kertoo Amerikan lasijätteen kierrätys tilanteesta, josta vain 34 % saadaan uusiokäyttöön. Tähän Afshinnia arvioi syyksi lasin kemiallista koostumusta. Lasijätteen kierrättäminen on vaikea ja aikaa vievä prosessi, jossa lasi täytyy ensin puhdistaa kaikista epäpuhtauksista, joita siihen on käytön aikana tarttunut, kuten esimerkiksi eri kemikaaleja ja lääkeaineita. Puhdistuksen jälkeen lasi pitää lajitella värin ja koon mukaan, sillä eri värisillä laseilla on omat sulamispisteensä niiden eriävien kemiallisten koostumusten takia. (Afshinnia 2019.)

Tamannan tavoin Afshinnia käsittelee lasijätteestä tuotetun lasijauheen käyttöä pozzolaanina betonissa ja kumpikin heistä päätyi samaan johtopäätökseen, että lasijauheen lisääminen betoniseokseen lisää sen työstettävyyttä, pakkasenkestoa, sekä vahvuutta. Molempien suositus sementin korvaavan lasijauheen määräksi olisi noin 10–30 % betonin painon mukaan. Siinä missä Tamanna keskittyi enemmän lasin kemialliseen koostumukseen ja reaktioihin

betonissa niin Afshinnia perehtyy tarkemmin lasin värin vaikutuksiin betonissa. (Afshinnia 2019; Tamanna 2013, 327.)

Afshinnia käy läpi myös lasin ASR:n vaikutusta betonissa, mikäli kierrätyslasia käytetään kiviaineksena. Lasin käyttäminen kiviaineksena poistaa tarpeen jauhaa lasi hienoksi jauheeksi säästäten näin aikaa ja energiaa. Tämä menetelmä kumminkin vaatii ASR:n vastaisten toimien toteuttamista, mikäli betonista halutaan kestäväää ja toimivaa. Alhaisen alkalipitoisen sementin käyttö on yksi tapa torjua ASR-reaktiota. Täydentävät sementtimateriaalit torjuvat myös ASR:n muodostumista. Yleisimpiä käytettyjä materiaaleja ovat lento tuhka, pii-dioksidihöyry ja sementtikuona. (Afshinnia 2019.)

Kuten kuvasta näkee (Kuva 4. 13), niin erivärisillä lasi aggregaateilla on vaihteleva ASR-vaikutus betoniin. Ruskeassa lasissa vaikutus on erittäin suuri, kun taas vihreässä lasissa ei näy minkäänlaista reaktiota. Vihreä lasi sisältää kromia, mikä vahvistaa sidoksia. ASR-reaktion vaikutusta kyetään eliminoimaan usealla tavalla, kun kierrätyslasi toimii aggregaattina. alhaista alkalipitoista Portland-sementtiä käyttämällä tai useita eri lisäaineita lisäämällä ASR:ää voidaan heikentää sellaiseen tilaan, jossa siitä ei ole haittaa betonin kestävyydelle. Lisäaineista mikrosilika ja metakaoliini näkyisivät testien perusteella heikentävän betonin ASR-vaikutusta. Lasilla voidaan korvata jopa 90 % massan kiviaineksesta. Lasijauhettakin voi käyttää lisäaineena, mutta sen vaikutus ei ole yhtä tehokas kuin muiden lisäaineiden. (Afshinnia 2019.)

Betoni voidaan toteuttaa lähes kokonaan lasista, mikä neutraloi ASR:n kokonaan pitäen betonin lujuuden lähes samana kuin tavallisessa betonissa ja vahvistaen hankaus kestävyttä. Haittavaikutuksena lasia sisältävän betonin kestävyys heikkenee n. 10–20 % mikä tekee siitä huono ratkaisun kantavana rakenteena. Lasin toimiessa aggregaattina betoniseos ei muodosta yhtä kestäviä sidoksia muiden ainesosien kanssa. Tämän takia lasia sisältävän betonin käyttösuositus olisikin sisätiloissa, joissa veden pääsy rakenteisiin olisi rajoitettu ja näin vähentäisi ASR:n riskiä. Lasi aggregaatti heikentää myös betonin työstettävyyttä, mikä rajoittaa sen mahdollisia muotoja. (Afshinnia 2019.)



Kuva 4. Eri värisen kierrätyslasin ASR vaikutus betonissa. (Afshinnia 2019)

Suomessa lasin käyttäminen betonissa on jäänyt hyvin vähäiseksi, sen tuomien ongelmien myötä. Tätä asiaa käy läpi Leena-Kaisa Simola (2015) betoni lehdessä julkaistussa artikkelissa lasin käyttö betonissa vaatii lisätutkimuksia ja kokemuksia, kuin myös syitä, miksi lasin käyttö betonissa on vielä alkutekijöissään Suomessa.

Simola selostaa, kuinka lasia on pääsääntöisesti käytetty maailmalla vain koristeellisena ratkaisuna ja harvakseltaan osana rakennetta. Lasia sisältävän betonin huono kestävyys ulkotiloissa tulee tässäkin artikkelissa ilmi ja suositus olisikin sitä käytettäväksi sisätila ratkaisuissa. ASR-reaktion aiheuttama vahinko rakenteisiin kuvataan isoimmaksi ongelmaksi ja Simola käy läpi, kuinka maaperä voi myös vaikuttaa ASR-reaktioon. Tähän hän on ottanut esimerkiksi Islannin vulkaanisen maaperän, joka on alkalireaktiivista kiviainetta ja miten maassa on opittu välttämään kyseisen reaktion syntyminen eri sementtikoostumuksilla. (Simola 2015, 48.)

Yksi syy lasia sisältävän betonin heikkoon käyttöön on liian vähäinen tutkimusmateriaali, sillä suurin osa toteutetuista kohteista on ollut tapauskohtainen. Näistä kohteista saatuja tuloksia ei voida hyödyntää muissa kohteissa. Aikataulun tiukkuus on myös johtanut liian vähäisiin tutkimuksiin aiheuttaen sen, että kohde jää toteuttamatta. Betonia valmistavat firmat eivät myöskään

ole valmiita riskeeraamaan mahdollisia komplikaatioita rakennuksen kestävyys-
teen, joita kierrätyslasia sisältävä betoni tuo tullessansa. (Simola 2015, 49.)

Suomessa kierrätyslasia hyödynnetään vaahtolasimurskeessa, jota käytetään
teiden routaeristeenä tai kevennysmateriaalina. Kyseistä materiaalia on har-
kittu käytettävän myös betonin runkoaineena keveämmän betonin saamiseksi.

Artikkelissa käydään vielä lopuksi läpi kierrätyslasin värin merkitystä betoniin
ja muita keinoja vaikuttaa betonin ulkonäköön. Erittäin hieno lasijauhe antaa
betonille kiiltävän pinnan, kun taas suuremman raekoon lasi jää selvästi näky-
viin betonin pintaan, mikä vaatii betonipinnan hiomisen turvallisuuden takaa-
miseksi, sillä liian karhea pinta voi aiheuttaa viiltohaavoja lasin takia.

3 LASIJÄTE KYMENLAAKSOSSA

Kymenlaakson alueelta lasijätteen keräämisestä ovat vastuussa Kymenlaak-
son Jäte Oy sekä Suomen Pakkauskierrätys RINKI Oy. Molemmat ovat voit-
toa tavoittelemattomia yrityksiä, joiden tehtävänä on huolehtia jätteiden ke-
räyksestä ja lajittelemisesta.

3.1 Kymenlaakson Jäte Oy

Kymenlaakson jäte Oy toimii Kaakkois-suomessa ja huolehtii jätteiden keräyk-
sestä ja lajittelusta. Vuonna 2018 yritysjetten käsittely siirtyi sen tytäryhtiön
Ekokaari Oy:n vastuulle (Kymenlaakson jäte Oy 2021).

2020 Kymenlaakson jäte Oy:n toiminta-alueelta kerättiin 802 tonnia lasijätettä.
Tämä sisälsi 75 tonnia kierrätykseen kelpaamatonta lasia, joka päätyi kaato-
paikoille, tasolasia 70 tonnia ja 657 tonnia kotitalouksien pakkauslasia, uu-
siokäyttöön kelpaava lasi ohjataan Rinki Oy:n jatko käsittelyyn (Karhu 2021).

3.2 Suomen Pakkauskierrätys RINKI Oy

Rinki Oy:n tehtävänä on helpottaa pakkausten lajittelua kuluttajille ja hoitaa ne
takaisin uusiokäyttöön. Rinki Oy:n omistaa useampi eri teollisuuden yritys suo-
messa.

Lasijätteen keräys tapahtuu pääosin Rinki-ekopisteiden kautta, joita on sijoitettu ympäri Suomea. Kymenlaakson alueella on ekopisteiden lisäksi kaksi pantittoman lasipakkausjätteen terminaalia (Kotkassa ja Kouvolassa), joihin saapuu pantitonta lasipakkausjätettä Rinki-ekopisteiltä ja kiinteistökeräyksestä. Vuonna 2020 nämä terminaalit ottivat vastaan 829,80 tonnia pantitonta lasipakkausjätettä, josta kaikki pyritään uusiokäyttämään. Suomessa lasipakkauksien valmistus on lopetettu, joten suurin osa kierrätettävästä lasista lähetetään meriteitse ulkomaille, pääasiassa Viroon ja Englantiin jatkokäsiteltäväksi. Lasi-jäte, joka ei sovellu lasipakkauksiin, kuten esimerkiksi erittäin hieno lasiaines päätyy rakennusmateriaaliksi. Tällä hetkellä yleisin käyttökohde on vaahtolasi. (Tammivuori 2021.)

4 KIERRÄTYSLASIN TUTKIMINEN BETONISSA

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää voiko valssatun lasin avulla betonin pinnasta tehdä edustavampaa, sekä lasin vaikutusta betonin taivutus ja puristuslujuuteen. Prismat valmistettiin kolmesta erisävyisestä massasta. Harmaata S 100 -kuivabetonia käyttävää, valkoista JSP 0,5 -julkisivupinnoitetta hyödyntävää ja JSP 0,5:ta, johon oli lisätty oksidinpunaista väriainejauhetta. Tutkimus suoritettiin kvalitatiivista eli laadullista tutkimusta hyödyntäen. Kvalitatiivisen tarkastelun avulla selvitettiin prismojen taivutus- ja puristuslujuuksien väliset erot. Massoista tuotettujen hiontakappaleiden pintatarkastelu tapahtui myös samalla menetelmällä.

Massojen valmistus alkoi 01.02.2021 ja päättyi 26.02.2021. Ensimmäisenä valmistettiin S 100 -valmisbetonista kolme prismaa per lasikoko, sekä perusmassa johon prismojen ulkonäköä, taivutus- ja puristuslujuutta voitiin verrata. Käytännön osuus toteutettiin Kymilabsin betonitestaustaliossa, missä prismat valettiin eurooppalaisen standardin SFS-EN 13892-1:2002” Methods of test for screed materials. Part 1: Sampling, making and curing specimens for test” mukaisesti. Tämä standardi on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi. Prismamuotit olivat terästä ja kooltansa SFS-EN 13892-1 mukaiset eli 40 mm x 160 mm x 40 mm (kuva 6. 16). Jokaiseen muottiin pystyi valamaan kolme prismaa. Muotteja oli kaksi kappaletta mahdollistaen kaksi eri valua per päivä. Jokaisesta massasta tehtiin lisäksi hiontakappale, joka valet-

tiin muoviseen muottiin (kuva 5. 16). Prismoja tuotettiin kolme kappaletta massaa kohden. Tämä vähensi tulosten vääristymisen mahdollisuutta. Lasimäärä massassa saatiin Afshinnian artikkelista, jossa hän suosittelee lasijauheen määräksi 10–30 % massan kokonaispainosta ja kiviainesta voitaisiin korvata enintään 90 % lasilla. Lasin lisäämisessä täytyi ottaa huomioon käytettävissä olevan lasin määrä. Tällä tavalla lasin määrä pysyi 10–15 % haarukassa. Lasin kanssa työskennellessä tuli käyttää hengityssuojainta, jotta lasijauhetta ei pääsisi hengitysteihin. Tämä sääntö päti kaikkien tämän työn lasikokoihin.



Kuva 6. Prismamuotti



Kuva 5. Hiontakappalemuotti.

4.1 Massa 1

Massa 1:n prismat ja hiontakappaleet valmistettiin Fescon S 100 -kuivabetonista. Kyseessä on sementtiin perustuva kuivabetoni, joka sopii yleisimpiin rakennuksen valutöihin. S 100 -kuivabetoni valittiin sen helppokäyttöisyyden, työstettävyyden, sekä raekoon takia. Kuivabetonin pakkauksesta selvisi vaadittava vesimäärä, maksimiraekoko ja käyttöohje. Koska samasta kuivabetonipakkauksesta valmistettiin useita massoja, piti veden tarve laskea suhteessa

käytetyn kuivabetonin määrän painoon. Veden tarve oli 10–15 % massan painosta. Ohjeissa veden lisääminen tulisi tehdä sekoituksen aikana hiljalleen sopivan notkeuden aikaan saamiseksi.

Perusmassaan (kuva 7, 17) käytettiin 2000 g kuivabetonijauhetta ja 220 ml vettä, jotka sekoitettiin keskenään ämpärissä porakonevispilällä. Sekoittaminen tapahtui SFS-EN 13892-1:2002 standardin mukaisesti alhaisella nopeudella samalla kun vesi lisättiin 15 sekunnin aikana. Sekoitusta jatkettiin vielä samalla nopeudella 45 sekunnin ajan välillä kaapien lastan kanssa reunoja massan tasaisuuden takaamiseksi. Tämä menetelmä toimi S 100 -paukkauksen ohjeiden kanssa, jossa vettä tuli lisätä tasaisesti massaa tehdessä. Muotit öljyttiin aina valujen välillä. Massat olivat muoteissa n. 1–3 vuorokautta, josta ne sitten siirrettiin vesiastiaan. 7 vuorokauden jälkeen prismat siirrettiin sääkaappiin, jonka lämpötila pysyi 20 ± 2 °C:een välillä odottamaan puristus- ja taivutuslujuuden testausta, mikä suoritettiin prismojen ollessa 28 vuorokauden ikäisiä.



Kuva 7. Massa 1:n perusmassa.

2 mm:n lasia sisältävässä massassa (kuvat 9. 18) käytettiin 2000 g kuivabetonia, 200 ml vettä ja 300 g lasia. 300 g lasia oli 13,04 % massan kokonaismäärästä ja määrä millä kaikki 2 mm:n lasia sisältävät prismat voitaisiin valmistaa siten, että lasi riittäisi kaikkiin massoihin ja sitä jäisi vielä yli mahdollisten uusinta valujen varalle. Ongelmana tässä massassa ilmeni lasin lisäämisestä johtunut veden tarpeen nousu. Vettä oli lisätty 20 ml vähemmän kuin mitä perusmassassa oli ollut, jotta massasta olisi saatu paremmin työstettävää lasin tarttuvuuden parantamiseksi. Tämä johti massan heikkoon työstettävyyteen, mikä vaikeutti tiivistämistä. Lopputuloksena 2 mm:n lasia sisältävien massa 1:n prismojen pinnalta näki heikon tiivistymisen epätasaisen pinnan muodossa.



Kuva 9. Massa 1:n 2 mm:n lasi.



Kuva 8. Massa 1:n 1 mm:n lasi.

1 mm:n lasia sisältävä massa (kuva 8. 18) toteutettiin reseptillä, joka sisälsi 2000 g kuivabetonia, 300 g lasia ja 220 ml vettä. Veden määrää oli lisätty, jotta välttyttäisiin 2 mm:n lasia sisältäneen massan heikolta työstettävyydeltä ja tiivistymiseltä. Tästä huolimatta massa jäi silti vielä hieman odotettua heikomaksi ja vaikeaksi työstää. Prismat olivat ulkonäöltänsä hyvin samanlaisia kuin 2 mm:n lasia sisältäneet prismat eli pinta oli halkeillut, sekä prismojen reunoista irtoili pieniä betonin palasia

0,5 mm:n lasin sisältävä massa valmistettiin käyttämällä 2000 g kuivabetonia, 300 g lasia ja 220 ml vettä. Massasta tuli erittäin huonolaatuinen sen työstettävyyden kannalta ja massan kuivuessa muoteissa kävi selväksi, että reseptiä täytyisi muuttaa, mikäli massoista haluttaisiin toimivia. Uudeksi reseptiksi valittiin 1700 g kuivabetonia, 300 g lasia ja vettä 220 ml. Näin massojen kokonaispaino saataisiin pidettyä tasaisena, johon olisi helppo laskea veden, lasin ja kuiva-aineksen muutokset, mikäli niitä tulisi tarpeen tehdä. Lasin uusi osuus kokonaispainosta oli 15 %. 0,5 mm:n lasia sisältävä massa toteutettiin uudelleen päivitettyillä suhteilla ja massan notkeus sekä työstettävyyks olivat selvästi parempia aikaisemmin valmistettuun massaan nähden. Prismojen (kuva 11. 19) pinnassa ei näkynyt vaurioita, kuin vain reunoissa. Tämä johti päätökseen toteuttaa loput prismat samalla tavalla, jossa massan kokonaispaino pidetään 2000 grammassa korvaamalla osa kuivabetonista lasilla ja veden tarvetta säädeltiin aina tarpeen mukaisesti. Erona aikaisempiin tutkimuksiin oli kuivabetonin käyttö tavallisen betonin sijaan, joten lasi korvasi kiviainesta sekä sementtiä samanaikaisesti. Afshinnian artikkelin mukaisesti kiviainesta sekä sementtiä voitaisiin korvata lasilla, mutta koska massoissa käytettiin aina tiettyä seuloitua lasikokoa, niin tämä johti joko vähäisempään sementin tai kiviaineksen määrään lasin raekoon mukaisesti. Massojen laatu oli kumminkin parempi uudella reseptillä.



Kuva 11. Massa 1:n 0,5 mm:n lasi.



Kuva 10. Massa 1:n <0,5 mm:n lasi.

Pienimmän raekoon lasi eli 0,5 mm:n sihdin läpäissyt oli hyvin erittäin hienoa jauhetta, joten se toimi massassa sementinkorvikkeena. <0,5 mm:n massa valmistettiin uudella reseptillä eli 1700 g kuivabetonia, 300 g lasia ja 220 ml vettä. Veden määrä olisi voinut olla suurempi, mutta tästä huolimatta massa (kuva 10. 19) oli toimiva eikä sitä ollut tarvetta tehdä uudestaan. Prismoissa ilmeni heikkoa tiivistymistä, mikä oli läsnä kaikissa paitsi perusmassan S 100 -prismoissa.

Lasia oli hyvin vaikea huomata silmämääräisesti massa 1 prismojen pinnalta. Lasi oli uponnut betonin sisään ja pinnasta erotti pientä kiiltoa siihen heijastessa valoa. S 100 -kuivabetonia sisältävät massat olivat haastavia toteuttaa vaihtelevan lasikoon, veden tarpeen ja aikaisemman kokemuksen puutteen takia, mutta lopputulos oli siitä huolimatta hyväksyttävä.

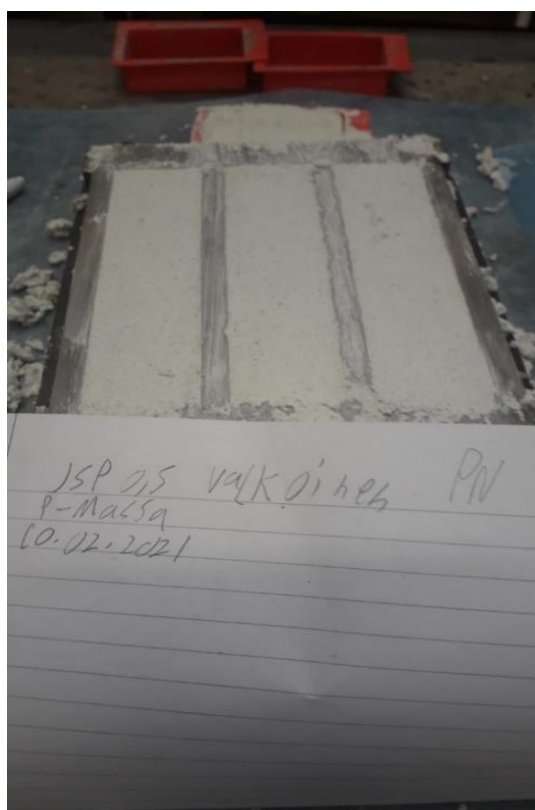
4.2 Massa 2

Massa 2 toteutettiin Fescon valkoisella JSP 0,5 -julkisivupinnoitteella. JSP 0,5 valittiin yhdeksi lasin kanssa sekoitettavaksi materiaaliksi helppokäyttöisyytensä ja raekoon takia. Pieni raekoko oli hyvä vastapaino S 100 -kuivabetonin suuremmalle raekoolle mahdollistaen lasin tarkastelun eri kokoisilla kiviaineksellä. Valmistaja kuvailee sivuillansa JSP 0,5:ta polymeerimodifioiduksi sementtiperustaiseksi värilliseksi raappauslaastiksi, joka sisältää säänkestävyyttä parantavia ja kapillaarista vedenimeytymistä pienentäviä lisäaineita (Fesco 2010). S 100 -kuivabetonin tavoin JSP 0,5:n tekniset tiedot ja valmistusohje olivat lueteltuna pakkauksessa. JSP 0,5:n maksimiraekoko oli 0,5 mm ja vedentarve 4,0–5,0 l /25 kg. Massoihin tarvittava vesimäärä saatiin samalla tavalla kuin massa 1:n eli laskettiin, kuinka monta prosenttia vedentarve on massan kokonaispainoon nähden, joka sitten muunnettiin sopivaksi 2 kg:n massalle. Lopputuloksena veden tarpeeksi saatiin 16–22 % massan kokonaispainosta. Massat valmistettiin SFS-EN 13892-1:2002 standardin mukaisesti, missä kehoitettiin noudattamaan valmistajan ohjeita massaa tehdessä. Pakkauksesta löytyneiden ohjeiden mukaisesti kuiva-aines ja osa vedestä sekoitettiin keskenään porakonevispilällä 1–2 minuutin ajan, jonka jälkeen massan piti antaa seistä noin 10 minuuttia. Tämän jälkeen loput vedestä lisättiin ja massaa sekoitettiin uudestaan. Näin massasta saatiin sopivan notkeaa.

Massa 2:n valmistaminen alkoi 10.02.2021 ja päättyi 17.02.2021. Massojen kokonaispaino pidettiin 2 kg ja vettä lisättiin massan tarpeen mukaisesti. Las-
kujen avulla selvisi 16–22 %:n vesimäärän tarpeen olevan 320–440 ml 2 kg
massaa varten.

Perusmassaan (kuva 12. 21) meni 2000 g kuiva-ainesta ja 400 ml vettä, joka
havaittiin hyväksi vesimääräksi massan sopivan notkeuden sekä helpon työs-
tettävyyden takia. JSP 0,5 -perusmassan prismat olivat hyvin tiivistyneitä
paitsi nurkista, joissa massa ei ollut tiivistynyt täydellisesti.

2 mm:n lasia sisältävä massa (kuva 13. 21) valmistettiin käyttäen 1700 g
kuiva-ainesta, 300 g lasia ja 400 ml vettä. Tämä johti hyvään lopputulokseen.
Prismojen pinnalta kykeni selvästi erottamaan 2 mm:n lasin sen suuremman
koon takia verrattuna kuiva-aineksen maksimiraekokoon, joka oli 0,5 mm. La-
sin selvä näkyvyys prismojen pinnalla antoi hyvän kuvan kuiva-aineksen ja la-
sin määrästä ja keskenään sekoittumisesta.



Kuva 12. Massa 2:n perusmassa.



Kuva 13. Massa 2:n 2 mm:n lasi.

1 mm:n lasia sisältäneessä massassa (kuva 14. 22) käytettiin samoja määriä kuiva-ainesta, lasia ja vettä kuin 2 mm:n lasin massassa. Massan työstettävyyttä oli kumminkin hieman heikompi aikaisempaan massaan verrattuna. Todennäköisin syy tähän oli lasin raekokoon muuttuminen. Lopputulos oli silti onnistunut. Lasia esiintyi prismojen pinnalla kuten 2 mm:n lasin prismoissa, joskin vähäisemmin.

0,5 mm:n lasin massa (kuva 15. 22) toteutettiin samoilla määrillä kuin muut massat. 1 mm:n lasin massoissa epäily veden tarpeen lisääntymisestä lasikoon pienentyessä vahvistui 0,5 mm:n lasin massassa. Massa oli edelleen työstettävää ja tiivistyi hyvin, mutta pienempiin lasikokoihin mentäessä tulisi ottaa veden lisääminen huomioon.

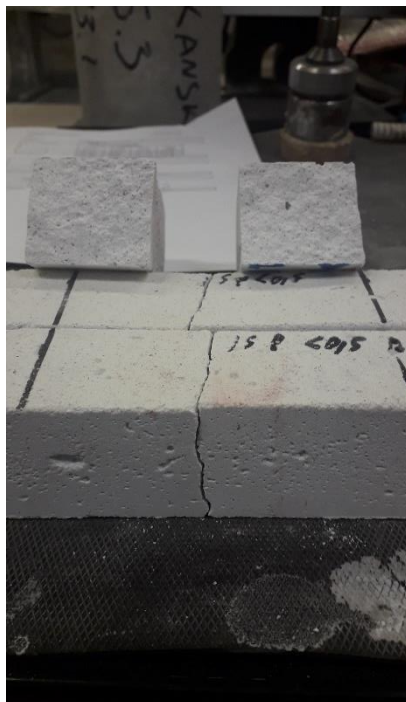


Kuva 15. Massa 2:n 1 mm:n lasi.



Kuva 14. Massa 2:n. 0.5 mm:n lasi.

<0,5 mm:n massa (kuva 16. 23) vaati jo veden lisäämistä säilyttääkseen halutun notkeuden. Vettä lisättiin 10 ml näin johtaen kokonaiseksi veden määräksi massassa 410 ml. Lasi toimi pienen kokonsa takia enemmän sementtinä kuin kiviaineksena tässä massassa ja pinnalta ei voinut erottaa lasin kiiltoa ollenkaan.



Kuva 16. Massa 2:n <0,5 mm:n lasi

4.3 Massa 3

Massa 3:n avulla lasia tarkasteltiin värjättyissä kappaleissa ja tämä toteutettiin sekoittamalla JSP 0,5 -julkisivupinnoitteeseen oksidipunaista pigmenttiä. Pigmentti oli jauhemaisessa muodossa ja se sekoitettiin massaan samaan aikaan kuin kuiva-aines. Valmistusohjeissa pigmentin annostus suositeltiin olevan n. 2,5–10 % massan painosta. Pigmenttiä lisättiin aluksi perusmassaan 5 % massan painosta eli 100 g. 5 % pigmenttiä värjäsi massan tasaiseksi tiilenpunaiseksi. Väri oli tasainen ja puhdas, joten 5 % nähtiin sopivana määränä. Tätä määrää käytettiin vakiona kaikissa värjättyissä massoissa. Pigmentin kylästymispiste oli 5–10 % eli pigmentin lisääminen ei enää vaikuta värin voimakkuuteen pisteen ylittyessä.

Perusmassa (kuva 17. 24) valmistettiin ensimmäisenä. Tällä tavalla kyettiin varmistamaan massan laatu ennen lasin lisäämistä, sillä lasia oli käytössä vain rajallinen määrä ja JSP 0,5:ta oli riittävästi. Julkisivupinnoitetta massaan meni 2000 g, pigmenttiä 100 g. Pigmentti lisäsi veden tarvetta aikaisempaan JSP 0,5 -perusmassaan nähden, joten vettä lisättiin massa lopulta 420 ml.

2 mm:n lasin prismat (kuva 18. 24) toteutettiin suhteilla eli 1700 g kuiva-ainesta, 100 g pigmenttiä, 420 ml vettä ja 300 g lasia. Prismojen pinnalta kykeni erottamaan lasin selvästi, kuin myös pieniä valkoisia täpliä, jotka olivat pigmentin kanssa sekoittumatonta valkoista JSP 0,5:ta. Täplät olivat kumminkin hyvin pieniä ja toimivat hyvin lasin kanssa antamalla prismojen pinnalle värikäämmän pinnan, jonka takia pigmenttiä ei päätetty lisätä täplien poistamiseksi.



Kuva 18. Massa 3:n perusmassa.



Kuva 17. Massa 3:n 2 mm:n lasi.

1 mm:n lasia sisältänyt massa (kuva 20. 25) valmistettiin käyttäen 1700 g kuiva-ainesta, 300 g lasia, 100 g pigmenttiä ja 420 ml vettä. Lasi näkyi prismoissa miedommin kuin suuremman lasikoon prismoissa. 2 mm:n lasin punaisissa prismoissa esiintyneet valkoiset täplät olivat läsnä myös 1 mm:n lasin prismoissa, mutta niitä esiintyi vähemmän prismojen pinnalla.



Kuva 20. Massa 3:n 1 mm:n lasi



Kuva 19. Massa 3:n 0,5 mm:n lasi.

0,5 mm:n lasia oli määrältään vähemmän kuin muita lasikokoja, jonka takia massa 3:n 0,5 mm:n lasilla (kuva 19. 25) täytyi toteuttaa eri tavalla. Lasia oli jäljellä vain 180 g, mikä vaati kuiva-aineksen lisäämisen 1820 g, jotta massan kokonaispaino pysyisi 2000 g. Lopputulos ei eronnut muista vastaavan lasikoon prismoista laajasti, sillä 0,5 mm:n lasi ei näkynyt prisman pinnalla kuin vain pienenä kiiltana. Valkoisia täpliä löytyi vain prismojen sisältä.

<0,5 mm:n lasin massa (kuva 21. 26) vaati veden lisäämistä säilyttääksensä hyvän työstettävyyden. Massaan käytettiin 1700 g kuiva-ainesta, 300 g lasia, 100 g pigmenttiä ja 440 ml vettä. Prismojen pinta oli kiiltävä, josta kykeni erottamaan tarkasti katsomalla hyvin pientä lasin kiiltoa.



Kuva 21. Massa 3:n <0,5 mm:n lasi.

4.4 Puristus- ja taivutuslujuudet

Prismojen taivutusvetolujuudet sekä puristuslujuudet toteutettiin standardin SFS-EN 13892-2 Methods of test for screed materials. Part 2: Determination of flexural and compressive strength mukaisesti. Taivutusvetolujuuden testaus tapahtui ensin, jonka jälkeen taivutuksesta poikki menneen prisman molemmat kappaleet puristettiin. Prismat testattiin niiden ollessa 28 vuorokauden ikäisiä. Taivutusvetolujuuden testaamisen kesto per prisma oli n. 1 minuutti. Puristuslujuutta testatessa se oli keskiarvoltaan noin 50 sekuntia per prisma. Tuloksien tarkastelua ja vertailua varten tehtiin taulukko mihin saadut tulokset listattiin (kuvaliitteet 1–3. 42–44). Taivutuslujuudet voitiin määrittää yhtälöllä 1.

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * l}{b * d^2} \text{ N/mm}^2 \quad (1)$$

Jossa	R_f	Taivutuslujuus	[N/mm ²]
	F_f	Murtokuorma	[N]
	l	tukirullien väli	[mm]
	b	prisman leveys	[mm]
	d	prisman syvyys	[mm]

Massa 1:n prismoissa (taulukko 1. 40) oli kahdella eri reseptillä toteutettuja prismoja. Uudemmaa reseptiä käytettiin massa 2:ssa ja massa 3:ssa, ainoastaan veden määrä vaihteli, joten uudemmassa reseptistä toteutettujen prismojen tuloksia voitiin vertailla keskenään, mutta vanhemman reseptin tulokset olivat vertailtavia vain samalla reseptillä toteutettujen kanssa. Vanhemmalla reseptillä valmistettuja prismoja olivat massa 1:ssä perusmassa, 2 mm:n lasin massa ja 1 mm:n lasin massa.

Vanhemman reseptin massa 1:n taivutusvetolujuuksien keskihajonta oli suurimmallaan 0,8 MPa:ta ja pienemmillänsä 0,4 MPa:ta. Suurin hajonta löytyi perusmassasta ja pienin 2 mm:n lasin prismasta. Hajonnan ollessa hyvin pientä selvisi, että prismojen keskuudessa ei ollut virhekappaleita, jotka eroaisivat liiaksi muista prismoista. Tämän avulla voitiin prismat todeta keskenään vertailtaviksi. Taivutuslujuus oli suurimmillaan 10,2 MPa:ta ja pienemmillään 6,3 MPa:ta. Massa 1:n perusmassa kesti taivutusta parhaiten vanhemman reseptin prismoista ja 1 mm:n lasin prisma oli heikoin. Vanhemman reseptin kappaleissa taivutuslujuus heikkeni mitä pienempään lasikokoon siirryttiin. Tähän syynä voisi olla S 100 -kuivabetonin kiviaineksen ja lasin suuri ero raekoissa, missä S 100:n maksimiraekoko oli 10 mm ja lasilla joko 2 mm tai 1 mm.

Puristuslujuuksien keskiarvo oli vanhemman reseptin massa 1:n prismoissa samanlainen kuin taivutuslujuudessa, eli pienempään lasikokoon mentäessä lujuus heikkeni. Perusmassa oli lujuudeltaan 31,6 MPa, 2 mm:n lasin prismojen lujuus oli 25,3 MPa ja 1 mm:n lasi oli 16,9 MPa. Fescon S 100 -kuivabetonin teknisistä tiedoista puristuslujuudeksi annetaan 25–30 MPa eli tässä tapauksessa perusmassa olisi vahvempaa kuin normaalisti ja 1 mm:n lasia sisältävät prismat heikompia.

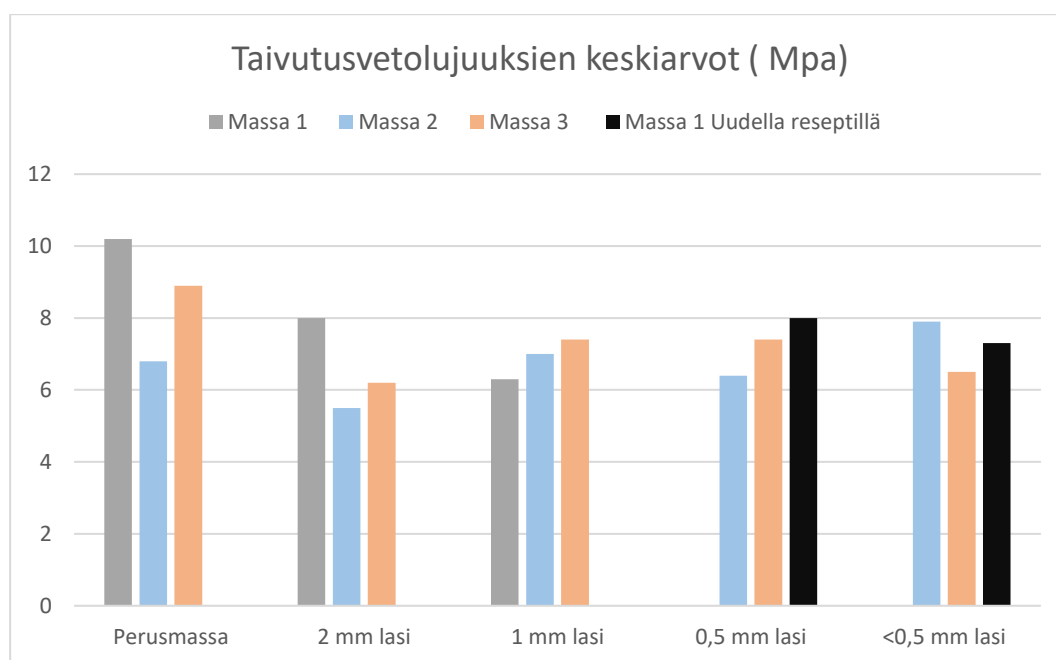
Uudemmallalla reseptillä, jossa kuiva-ainesta korvattiin lasilla, saatiin hyvin vaihtelevia tuloksia. Taivutusvetolujuuksien keskihajonta oli uudemman reseptin massa 1:n prismoissa 0,35–0,4 MPa:n välillä. Massa 2:n (taulukko 2. 41) taivutuslujuuden suurin hajonta oli perusmassassa, joka oli 0,73 MPa. Massa 2:lla pienin hajonta löytyi 0,5 mm:n lasin prismoista, joka oli 0,17 MPa. Massa kohtaisesti hajonnat olivat vaihtelevia lasikoosta riippuen. Perusmassan prismoista massa 2:lla oli enemmän hajontaa kuin massa 3:lla, mutta 2 mm:n lasin massa 2:n prismoissa se oli pienempi ja 1 mm:n lasin prismoissa massa

2:lla oli suurempi hajonta massa 3:een nähden. 0,5 mm:n prismoissa hajonta oli massa 3:lla suurin 0,56 MPa ja massa 2:lla pienin 0,52 MPa. Massa 1:n hajonta oli lähellä massa 3:n hajontaa. <0,5 mm:n lasin prismoissa hajonta oli hyvin tasaista massojen välillä. Massa 2:n hajonta oli 0,46 MPa, massa 3:lla 0,35 MPa ja massa 1:llä 0,35 MPa.

Fescon JSP 0,5:n taivutuslujuudeksi valmistaja kertoo olevan >4,0 MPa eli Massat 2 ja 3 täyttäsivät vaatimuksen. Suurin saatu taivutuslujuus näistä massoista oli massa 3 perusmassan prisma 1:llä, joka oli 8,9 MPa. Pienin taivutuslujuus oli 5,5 MPa, joka löytyi massa 2:n 2 mm:n lasin prismoista. Taivutuslujuudet testattiin nopeudella 0,03 KN/s. Massa 2:n taivutuslujuuden tulokset olivat pienempiä kuin massa 3:n paitsi <0,5 mm:n lasin prismoissa, jossa se oli 7,9 MPa kun massa 3:lla se oli 6,5 MPa.

Massa 2:n suurin taivutuslujuus oli <0,5 mm:n lasin massassa 7,9 MPa ja pienin 2 mm:n lasin massassa 5,53 MPa. Kuiva-aineksen ja lasin sama raekoko saattoi vaikuttaa lujuuteen tehden massasta vahvempaa, kuin suuremman lasikoon vastineista.

Massa 3:n (taulukko 3. 42) suurin taivutuslujuus saatiin perusmassasta ja pienin 2 mm:n lasin massasta. Perusmassa oli vahvuudeltansa 8,9 MPa ja 2 mm:n lasin vahvuus oli 6,2 MPa. Lujuudet olivat silti hyvin lähellä toisiaan perusmassan ollessa ainut muita suurempi. 1 mm:n lasin lujuus oli 7,4 MPa, 0,5 mm:n lasin lujuus 7,4 MPa ja <0,5 mm:n lasissa se oli 6,5 MPa.



Kuva 22. Taivutusvetolujuuksien keskiarvot.

Prismojen puristuslujuudet testattiin nopeudella 0,5 KN/s. Puristuslujuuksissa oli selviä heittoja osissa prismoja, jotka nostivat keskihajontaa selvästi. Nämä kappaleet poistettiin vertailusta ja siirrettiin omaan taulukkoonsa (taulukko 4, 44), sillä niiden oletettiin olevan viallisia ja antavan vääristäviä arvoja. Puristuslujuudet laskettiin yhtälöllä 2.

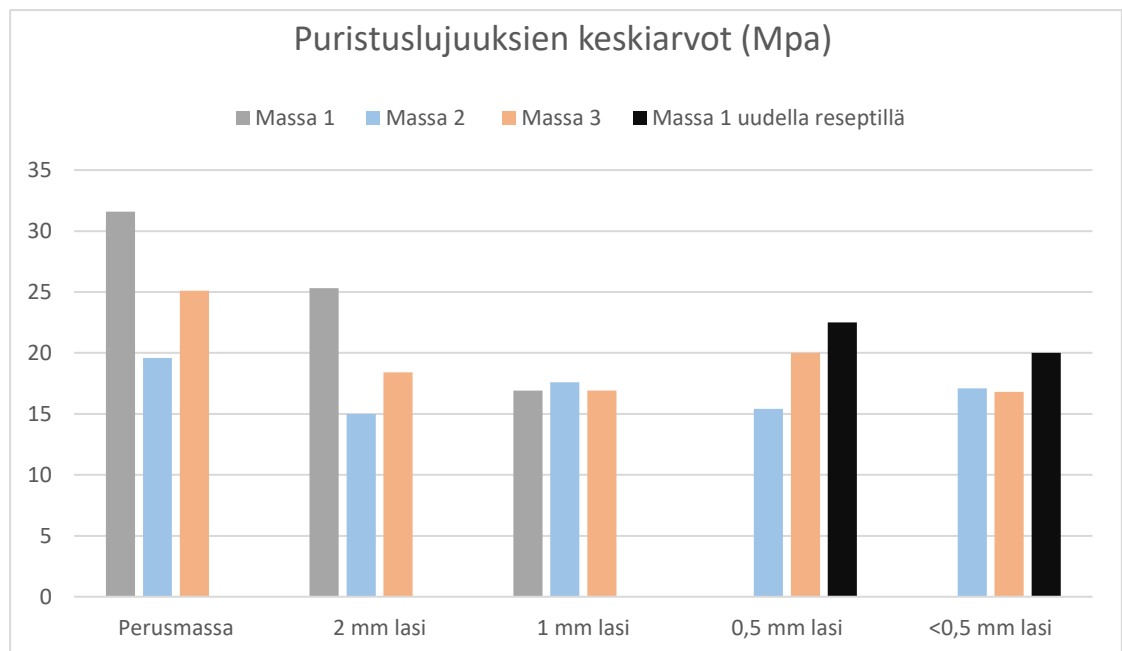
$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (2)$$

Jossa	R_c	Puristuslujuus	[N/mm ²]
	F_c	Murtokuorma	[N]
	A	puristettava pinta-ala	[mm ²]

Puristuslujuuksien keskihajonta oli suurinta massa 1:n kappaleissa niin vanhemman kuin uudemman reseptin kanssa. Massoissa 2 ja 3 hajonta oli pientä 1 mm:n, 0,5 mm:n ja <0,5 mm:n lasikoissa. Suurin keskihajonta oli massa 1:n <0,5 mm:n lasissa, joka oli 3,2 MPa:n hajonnaltaan erityisen suuri. Tähän syyksi epäiltiin viallista prismaa. Prisma 3:n puristuskappaleet olivat suurimmat hajonnaltaan 24 MPa ja 16,3 MPa. Ongelmana oli kumminkin se, että prisman 1 lujuudet olivat 22,4 MPa ja 22,2 MPa, kun taas prisman 2 lujuudet olivat 17,7 MPa ja 17,6 MPa. Tämä teki virhekappaleen löytämisen mahdottomaksi, koska prisma 3 antoi samanlaisia arvoja kuin prismat 1 ja 2.

Massa 2:n prismojen puristuslujuuksien keskiarvojen tuloksissa ei ollut suuria heittoja. puristuslujuudet olivat 19,55 MPa:n ja 14.95 MPa:n haarukassa. Perusmassan prismat olivat lujuudeltaansa vahvimpia ja 2 mm:n lasin prismat heikoimpia. Fescon JSP 0,5:n puristuslujuus tulisi olla noin 20 MPa:n luokkaa valmistajan teknisten tietojen pohjalta, joten massa 2:n prismat eivät ylittäneet tähän ja lasin lisääminen heikensi lujuutta perusmassaan nähden.

Massa 3:n prismoissa oletus oli, että tulokset olisivat samaa tasoa massa 2:n prismojen kanssa, mutta tulokset olivatkin keskimääräisesti vahvempia. Perusmassa kesti puristusta parhaiten massa 3:n prismoista 25,1 MPa:lla ja huonoinen puristusta kesti <0,5 mm:n lasin prismat 16,6 MPa:lla. Massa 3:sta vain perusmassa täytti valmistajan antaman lujuusarvion. Vahvuuden nousumiseksi voisi johtua siitä, että massa 3 valmistettiin viimeisenä ja tässä vaiheessa kahden edellisen massan avulla oli opittu, miten massan virheitä voitaisiin vähentää. Värijauheen ei uskottu vaikuttavan prismojen ominaisuuksiin muuten kuin muuttamalla massojen väriä.



Kuva 23. Puristuslujuuksien keskiarvot.

Perusmassojen tulokset puristuslujuudessa ja taivutuslujuudessa olivat kaikissa massoissa vahvempia lasia sisältäviin prismoihin verrattuna, paitsi Massa 2:ssa, jossa perusmassan taivutuslujuus oli heikompi 1 mm:n ja <0,5 mm:n lasin prismoihin verrattuna.

Massa 1 menetti taivutus- ja puristuslujuuttansa mitä pienempää lasikokoja massaan lisättiin. Tämä näkyi myös uudemman reseptin massa 1:n prismoissa, joissa 0,5 mm:n lasi oli kestävämpää <0,5 mm:n lasiin nähden niin puristus- kuin taivutuslujuudessa. Tähän syynä voisi olla pienen lasin toimissa enemmän sementtinä kuin kiviaineksena massoissa aiheuttaen epäta-
saisen suhteutuksen.

Massa 2:ssa huomattiin 2 mm:n lasin prismojen antavan heikompia tuloksia muihin massa 2:n prismoihin verrattuna mikä vihjaisi suuremman lasikoon heikentävän JSP 0,5:n puristus- ja taivutuslujuutta. Tämä vahvistui osittain massa 3:n avulla, jossa 2 mm:n lasin prismat olivat heikoimpia taivutuslujuudeltansa, mutta vahvempia puristuslujuudeltansa kuin massa 3:n 1 mm:n ja <0,5 mm:n lasin prismat.

4.5 Hiontakappaleet

Jokaisesta massasta tehtiin hiontakappale jokaiselle eri perusmassalle sekä lasikoolle. Jokaisesta hiontakappaleesta hiottiin ja kiillotettiin yksi pinta tarkoituksena saada lasia paremmin esiin kappaleen pinnalle. Näitä kappaleita sitten tarkasteltiin silmämääräisesti tarkoituksena valita yksi lasia sisältävä kappale, jonka massasta toteutettaisiin uusi erä hiontakappaleita, jotka hiottaisiin eri hiontamenetelmillä. Hionta suoritettiin timanttihiontamenetelmällä. Sementtiliimaa hiottiin karkealla 80 mikronin timanttipinnalla, kunnes kiviaines ja lasi olivat hyvin näkyvissä, jonka jälkeen pintaa kiillotettiin betonin pinnan saamiseksi kiiltäväksi. Lasin odotettiin näkyvän selvemmin mitä suurempi lasikoko kappaleessa oli. Toinen oletamus oli, että lasikoon pienentyessä kappaleen pinta saisi enemmän kiiltoa.

Massa 1:n hiontakappaleet (kuva 25. 32) kuvassa ovat ylhäältä lähtien perusmassa, 2 mm:n lasi, 1 mm:n lasi, 0,5 mm:n lasi ja <0,5 mm:n lasi. Perusmassan pinta oli kiiltävä hionnan ja kiillotuksen jälkeen, mikä vaikeutti erojen huomamista pienempien lasikokojen kanssa. lasi oli vielä huomattavissa 2 mm:n ja 1 mm:n lasin kappaleissa, joissa lasi näkyi selvästi ja mahdollisesti tarkastelun syvemmälle kappaleeseen lasin läpinäkyvyyden ansiosta. 0,5 mm:n ja <0,5

mm:n lasin kappaleet eivät näkyneet betonin pinnalla, eivätkä vaikuttaneet pinnan kiiltoon.



Kuva 25. Massa 1:n hiontakappaleet.



Kuva 24. Massa 2:n hiontakappaleet.

Massa 2:n hiontakappaleet (kuva 24. 32) olivat haasteellisempia vertailtavia betonin valkoisen värin ja lasin läpinäkyvyyden takia. Lasi näkyi samalla tavalla kuin Massa 1:n kappaleissa eli 2 mm:n ja 1 mm:n lasikoot näkyivät betonin pinnalla ja pienemmät lasikoot olivat huomaamattomia. JSP 0,5:n kanssa värikäs lasi olisi parempi ratkaisu, joka antaisi betonille värikkään pinnan. Näin tehtäessä tulisi tietenkin ottaa huomioon värjätyn lasin vaikutus betoniin ASR:n takia, kuten aikaisemmasta kuvasta (4. 13) nähdään lasin värin vaikutus betoniin.

Massa 3:n hiontakappaleissa (kuva 26. 33) lasin kykeni huomaamaan selvemmin massoihin 1 ja 2 verrattuna. 2 mm:n lasia sisältävän kappaleen pinnalta kykeni selvästi erottamaan lasin, sekä valkoisia täpliä. Hionta ja kiillotus olivat onnistuneita, sillä lasi ei ollut repinyt kappaletta ollenkaan hionnan aikana ja kiillotettu pinta oli kiiltävä. Valkoinen kappaleen pinnalla oli JSP 0,5:ta, joka ei ollut sekoittunut punaisen pigmentin kanssa. 1 mm:n lasin kappale oli myös

onnistunut hionnan ja kiillotuksen osalta, mutta kappaleen pinta oli lähempänä 0,5 mm:n lasin ulkonäköä kuin 2 mm:n lasin, eli lasia oli vaikea huomata pinnasta ja ero perusmassan hiontakappaleeseen oli lähes olematon. Vain 2 mm:n lasia sisältänyt kappale massa 3:sta erosi selvästi muista kappaleista lasikokonsa takia ja oli näistä parhaiten lasia esiintuova kappale.



Kuva 26. Massa 3:n hiontakappaleet.

Lasia haluttiin tuoda esiin enemmän, joten Massa 2:n ja Massa 3:n hiontakappaleista valittiin yksi lasia parhaiten esiintuova vaihtoehto (kuvat 24 ja 26. 33–34). Lopulta Massa 3:sta valittiin 2 mm:n lasia sisältänyt kappale. Tästä massasta päätettiin vielä tehdä kolme uutta hiontakappaletta eri mahdollisuuksien kartoittamiseksi. vaihtoehtoina olivat lasipohja, teräsharjattu pinta, enemmän lasia sisältävä hiottava kappale ja sirotepinta. Näistä vaihtoehtoista teräsharjaaminen hylättiin, koska ei ollut varmuutta kestäisikö lasi teräsharjauksen ja lasia oli jäljellä vain rajallinen määrä. Massoissa käytettiin 2 mm:n lasia, koska sen kykeni erottamaan selvästi kappaleiden pinnalta.



Kuva 28. Massa 3:n 2 mm:n lasi hiottuna.

Kuva 27. Massa 2:n 2 mm:n lasi hiottuna.

Sirotepinta ja lasipohja (kuvat 29 ja 30. 35) valmistettiin samasta massasta. Tarvittavan määrän ollessa pienempi massan tekoon käytettiin 500 g kiviainesta 125 ml vettä ja 25 g väriainetta. Lasia käytettiin molempiin kappaleisiin 111 g eli yhteensä 222 g. Lasin lisääminen tapahtui lasipohjaan siten, että lasi levitettiin tasaisesti hiontamuotin pohjalle ja massa levitettiin sen päälle. Tässä oli hyvin tärkeää varmistaa massan laatu, jotta lasi tarttuisi massaan vain rajallisesti eikä katoaisi massan sisään. Sirotepinnan lasi lisättiin massan pintaan kevyesti sirottelemalla massan ollessa muotissa. Lopuksi lasia painettiin kevyesti lastalla massaan tarttumisen varmistamiseksi.

Enemmän lasia sisältävä kappale valmistettiin eri massasta, koska lasi täytyi lisätä jo massan teko vaiheessa. Kiviainesta massaan meni 210 g vettä 60,4 ml väriainetta 15 g ja lasia 90 g. Lopuksi kappale hiottiin lasipohjapinnan kanssa. Sirotepinta jätettiin hiomatta, koska sen pinta haluttiin jättää kuvan näköiseksi (kuva 29. 35).



Kuva 29. Sirotepinta.



Kuva 30. Lasipohja.

Hionnassa ilmeni ongelmaksi lasin suuri määrä mikä repi kappaleita näin aiheuttaen epätasaisen pinnan ja heikomman lopputuloksen verrattuna aikaisempiin hiontakappaleisiin. Hionta oli aloitettu pienemmillä timanttihiontalevyillä juuri tämän välttämiseksi, mutta kuten kuvista (kuvat 31 ja 32. 35) huomaa lasi on repinyt pintaa, joten tämä ei auttanut ja lopputulos ei ole samanlainen kiiltävä pinta mitä aikaisemmissa kappaleissa esiintyi. Tämän avulla voikummin muodostaa johtopäätöksen siitä, että lasia kannattaa lisätä hillitysti massaan parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Näiden kappaleiden jälkeen voitiin alkaa muodostaa loppuanalyysia.



Kuva 31. Lasipohja hiottuna.



Kuva 32. Paljon lasia sisältävä kappale hiottuna.

5 YHTEENVETO

Ilmastonmuutoksen jatkuva kasvu yhä tärkeämmäksi huolenaiheeksi varsinkin rakennusalaalla vaatii kierrätysmenetelmien tutkimista. Lasijätteen kierrättämisen ongelma on tutkimusten puute, Aikaa vievä lajittelu ja puhdistus.

Kirjallisuuskatsausta tehdessä kävi selväksi, kuinka vähän kierrätyslasin käyttöä betonissa on tutkittu. Suomessa kierrätyslasin käyttäminen betonissa on ollut hyvin vähäistä ja tapauskohtaista, mikä vaati tiedon etsimistä vieraskielisistä lähteistä. Tämä aiheutti oman haasteensa tekstien kääntämisen kanssa. Suurin osa tutkimuksista kumminkin käytti samoja lähteitä ja muodosti samoja johtopäätöksiä toistensa kanssa, mikä helpotti tämän työn johtopäätöksien muodostamista ja tulkitsemista. Tutkimuslähteiden avulla selvisi yleisiä ongelmakohtia lasia sisältävän betonin kanssa työskentelystä, mitä myös tässä työssä suoritetuissa laboratorio testeissä tuli huomattua, kuten taivutus- ja puristuslujuuden selvä heikkeneminen. Kirjallisuuskatsauksen avulla selvisi myös paljonko lasia koekappaleisiin tulisi laittaa betonin kestävyuden säilyttämiseksi. Kirjallisuuskatsaus kattoi hyvin lasin ja betonin kanssa työskentelyn hyödy ja vaarat, kuin loi myös vahvan pohjan käytännön osuudelle.

Käytännön osuudessa käytetty lasi oli pelkästään kirkasta ja läpinäkyvää, mikä hieman rajoitti betonipinnan koristelun tutkimista, sillä mikäli lasista olisi ollut eri värisiä vaihtoehtoja niin jotkin koekappaleet olisivat voineet näyttää edustavimmilta ja lasin olisi voinut nähdä paremmin kappaleiden pinnassa. Tarkastelu kyettiin silti suorittamaan onnistuneesti ja hiontakappaleista saadut tulokset ovat varmasti hyödyllisiä jatkotutkimusten kannalta. Prismojen massoja tehdessä ongelmina oli jatkuva veden määrän muuttuminen ja kokemuksen puute, mitkä aiheuttivat Massa 1:n prismoissa heikkoja tuloksia varsinkin alkuvaiheessa, kun lasia ei käytetty korvaavana materiaalina massassa, mikä aiheutti massojen huonon tiivistymisen. Massa 2:n prismoja tehdessä tämä näkyi prismojen reunojen huonona tiivistymisenä aiheuttaen niissä pientä vajautta. Oksidipunaista jauhetta sisältäneet prismat olivat selvästi parhaat kappaleet laadultaan, että tarkastelun kannalta. Taivutus- ja puristuslujuuksien ottaminen sujui ongelmitta ja niistä saadut tulokset olivat hyvin keskenään ver-

taittavia. lujuuksien testauksella selvisi 2 mm:n lasin kappaleiden olevan selvästi heikompia muihin prismoihin verrattuna. JSP 0,5 reagoi paremmin pienemmän lasin kanssa, kun S 100 taas reagoi paremmin suuremman lasin kanssa. Syyksi siihen voisi epäillä joko prismojen laatua tai kiviaineksen koon reagoimista erikokoisen lasin kanssa. Kokonaisuudessaan prismojen avulla saatiin halutut tulokset, joten pienistä eroavaisuuksista huolimatta prismojen osalta käytännön osuus oli onnistunut.

Hiontakappaleiden tulokset olivat lasin näkyvyyden tutkimisen kannalta tärkeässä asemassa työssä, ja tämä oli käytännön osuudessa parhaiten onnistunut osa. Tulokset olivat silmin havaittavissa ja kolme erilaista materiaalia ja useampi eri lasikoko takasivat hyvän ja laajan vertailu skaalan. Tässä työssä parhaaksi vaihtoehdoksi valittiin Massa 3:n 2 mm:n lasin kanssa mikä antoi betonille koristeellisen pinnan. Testatessa eri menetelmiä lasin esiin tuomiseksi pinnalle tuli huomattua kuinka vaikeaa lasin kanssa työskentely on varsinkin kappaleita hiottaessa ja kiillottaessa.

Jatkotutkimuksen kannalta lasia olisi paras käyttää korvikkeena sementille ja/tai kiviainekselle, jolloin lasin ominaisuuksista saataisiin kaikki irti. Mikäli lasia sisältävästä betonista saataisiin enemmän tutkimusmateriaalia, voisivat rakennusfirmat toteuttaa kohteita, joissa olisi betoniin sekoitettua lasia. Biokehanke saa tästä työstä hyvän pohjan jatkotutkimuksille ja kierrätyslasin kanssa työskentelylle.

LÄHTEET

Afshinnia, K. 2019. Waste Glass in Concrete has Advantages and Disadvantages. Seen here is ASR map cracking due to the presence of waste glass aggregate. The differences in the level of deterioration are due to the varied chemical compositions of colored glass. Typically, concrete containing green glass exhibits less distress due to the presence of chromium. *Concrete Decor* 19, 8. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.concretedecor.net/departments/concrete-placing/waste-glass-in-concrete-has-advantages-and-disadvantages/> [viitattu 10.01.2021].

Afshinnia, K. 2019. Waste Glass in Concrete has Advantages and Disadvantages. *Concrete Décor* 19, 8. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.concretedecor.net/departments/concrete-placing/waste-glass-in-concrete-has-advantages-and-disadvantages/> [viitattu 10.01.2021].

Fescon S 100 Kuivabetoni. s.a. Tekniset tiedot. Fescon Tuotteet. Saatavissa: <https://www.fescon.fi/tuotteet/kuivabetonit-ja-sementtilaastit/5/kuivabetoni-s-100> [sivulla vierailtu viimeksi 10.05.2021].

Fescon JSP 0,5 Julkisivupinnoite. s.a. Tekniset Tiedot. Fescon Tuotteet. Saatavissa: <https://www.fescon.fi/tuotteet/mineraalipinnoitteet-ja-ohutrappauslaastit/80/julkisivupinnoite-jsp-0-5> [Sivulla vierailtu viimeksi 10.05.2021].

Holopainen H. 2015. Lajittelu tarkentui – jätelasi menee vihdoinkin kunnolla kiertoon. *Yle Uutiset*. Artikkelit. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-7966040> [viitattu 02.01.2021].

Karhu, J. 2021. Kenttäpäällikkö. sähköpostiviesti 20.01.2021. Kymenlaakson jäte Oy.

Kymenlaakson jäte Oy:n kotisivut. s.a. Saatavissa: <https://www.kymenlaaksonjate.fi/kymenlaakson-jate-oy/> [sivulla vierailtu viimeksi 10.05.2021].

Tamanna, N., Nosuzailina, S. & Ibrahim B. 2013. Utilization of Waste Glass in Concrete. Konferenssi Kuchinginssa, Malesiassa. 2013. Figure 2. 326. Esitelmä saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/310440487_UTILIZATION_OF_WASTE_GLASS_IN_CONCRETE [Viitattu 05.01.2021].

Tamanna, N., Nosuzailina, S. & Ibrahim B. 2013. Utilization of Waste Glass in Concrete. Konferenssi Kuchinginssa, Malesiassa. 2013. Esitelmä saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/310440487_UTILIZATION_OF_WASTE_GLASS_IN_CONCRETE [Viitattu 05.01.2021].

Rinki Oy:n kotisivut. s.a. Saatavissa: <https://rinkiin.fi/tietoa-ringista/> [sivulla vierailtu viimeksi 10.05.2021].

Simola, L. 2015. Lasin käyttö betonissa vaatii lisätutkimuksia ja kokemuksia. *Betoni* 3, 48–53.

Klemenc, S. 2018. Things to Know About Alkali-Silica Reaction. *Concrete decor* 18, 5. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.concretedecor.net/departments/concrete-placing/things-to-know-about-alkali-silica-reaction/> [viitattu 28.04.2021].

Omran, A., Soliman, N, Zidol., A & Tagnit-Hamou, A. 2018. Performance of Ground-Glass Pozzolan as a Cementitious Material—A Review. *Advances in Civil Engineering Materials*. Tiedejulkaisu. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/325092436_Performance_of_Ground-Glass_Pozzolan_as_a_Cementitious_Material-A_Review [viitattu 29.0.4.2021].

Tammivuori, P. 2021. Operatiivinen johtaja. Sähköpostiviesti 26.01.2021. Rinki Oy.

Tolpo, A. 2020. Suomi pulassa rakennusjätteen kanssa – neljän vuoden päästä alkaa aika kierrätyksen mallimaana, mutta omakin tavoite on liian kaukana. *Yle Uutiset*. Artikkel. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11341859> [viitattu 02.01.2021]

SFS-EN 13892-2. 2002. Methods of test for screed materials. Part 2: Determination of flexural and compressive strength.

SFS-EN 13892-1. 2002. Methods of test for screed materials. Part 1: Sampling, making and curing specimens for test.

Valssimurskaimen toimintaperiaate s.a. HRC-sarjan valssimurskaimet. Metso. Kuva löydettävissä osoitteesta: <https://www.metso.com/fi/tuotteet/hpgr/hrc-sarjan-valssimurskaimet/> [Sivulla vierailtu viimeksi 06.04.2021].

Taulukko 1: Massa 1 taivutus- ja puristuslujuudet

Massa 1	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
Perusmassa	kg/m ³	MPa	MPa	
1	1990	10,9	32,8	31,1
2	2100	10,2	32	31,2
3	2110	9,4	31,1	
Keskiarvo	2066,666667	10,16666667	31,64	
Keskihajonta	66,58328118	0,75055535	0,750333259	
2 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	2080	8,4	29,1	24,7
2	2020	7,6	24,5	24,1
3	2040	8	22,4	27
Keskiarvo	2046,666667	8	25,3	
Keskihajonta	30,55050463	0,4	2,374026116	
1 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	1920	6,9	19,2	17,2
2	1870	6,2	14,9	16,2
3	1870	5,8	15,6	18,4
Keskiarvo	1886,666667	6,3	16,91666667	
Keskihajonta	28,86751346	0,556776436	1,661826305	
Päivitetyt reseptit				
0,5 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	2030	8	21,7	22,3
2	2010	7,6	21,4	23,5
3	2010	8,4	22,7	23,3
Keskiarvo	2016,666667	8	22,48333333	
Keskihajonta	11,54700538	0,4	0,844787942	
<0,5 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	2010	7,3	22,4	22,2
2	1890	6,9	17,7	17,6
3	1950	7,6	24	16,3
Keskiarvo	1950	7,266666667	20,03333333	
Keskihajonta	60	0,351188458	3,204163958	

Taulukko 2: Massa 2 taivutus- ja puristuslujuudet

Massa 2	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
Perusmassa	kg/m ³	MPa	MPa	
1	1770	7,6	20,3	19,1
2	1770	6,2	18,7	20
3	1760	6,5	19,4	19,8
Keskiarvo	1766,666667	6,766666667	19,55	
Keskihajonta	5,773502692	0,73711148	0,595818764	
2 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	1810	5,4	15,8	13,1
2	1810	5,8	14,6	14,1
3	1820	5,4	16	16,1
Keskiarvo	1813,333333	5,533333333	14,95	
Keskihajonta	5,773502692	0,230940108	1,217784874	
1 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	1800	6,5	17,8	18,2
2	1820	7,6	17,6	17,5
3	1840	6,9	17,1	17,1
Keskiarvo	1820	7	17,55	
Keskihajonta	20	0,556776436	0,423083916	
0,5 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	1760	6,2	14,9	15
2	1800	6,5	15,6	16,2
3	1790	6,5	15,8	15,1
Keskiarvo	1783,333333	6,4	15,43333333	
Keskihajonta	20,81665999	0,173205081	0,516397779	
<0,5 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	1750	7,6	17,3	16,4
2	1780	7,6	17	17,3
3	1790	8,4	17	17,6
Keskiarvo	1773,333333	7,866666667	17,1	
Keskihajonta	20,81665999	0,461880215	0,409878031	

Taulukko 3: Massa 3 taivutus- ja puristuslujuudet

Massa 3	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
Perusmassa	kg/m ³	MPa	MPa	
1	1940	9,4	25,4	25
2	1880	8,7	25	25,1
3	1920	8,7	24,9	
Keskiarvo	1913,333333	8,933333333	25,08	
Keskihajonta	30,55050463	0,404145188	0,192353841	
2 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	1870	6,2	17,6	
2	1860	5,8	17,9	18,6
3	1820	6,5	18,8	19,1
Keskiarvo	1850	6,166666667	18,4	
Keskihajonta	26,45751311	0,351188458	0,628490254	
1 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	1820	7,6	16,8	16,6
2	1820	7,3	17	16,8
3	1810	7,3	17,2	16,9
Keskiarvo	1816,666667	7,4	16,88333333	
Keskihajonta	5,773502692	0,173205081	0,204124145	
0,5 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	1850	8	19,9	20,5
2	1840	6,9	19,5	19,9
3	1860	7,3	19,8	20,1
Keskiarvo	1850	7,4	19,95	
Keskihajonta	10	0,556776436	0,333166625	
<0,5 mm lasi	Tiheys	Taivutusvetolujuus	Puristuslujuus	
1	1850	6,2	16,7	16,8
2	1860	6,5	16,5	16,5
3	1780	6,9	16,22	16,7
Keskiarvo	1830	6,533333333	16,57	
Keskihajonta	43,58898944	0,351188458	0,209284495	

Taulukko 4: Vertailusta poistetut kappaleet

Poistetut kappaleet	Massa 1	Massa 2	Massa 3
Perusmassa	Prisma 3. 27,1		Prisma 3. 21,4
2 mm lasi			Prisma 1. 13,6
1 mm lasi			
0,5 mm lasi			
<0,5 mm lasi			