

Läpikuultavaa betonia kierrätyslasin avulla

Materiaalitutkimus

Jukka Jokinen
Materiaalitutkimus
Muotoilun koulutusohjelma
Muotoilun laitos
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu
Aalto-yliopisto
5.5.2016

Tiivistelmä

Tutkimuksessa pyrittiin luomaan erilaisten kierrätyslasien avulla läpikuultavaa betonia. Taustatutkimuksen pohjalta oli odotettavissa, että läpikuultavuus olisi todennäköisesti saatava aikaiseksi optisten kuitujen tavoin yhtenäisen kappaleen avulla, eli lasin olisi oltava yhtenäisenä kappaleena betonin sisällä pinnasta pintaan.

Tutkimus toteutettiin siten, että erilaisia lasimateriaaleja, kuten lasimurskaa ja ikkunalasin palasia, sekoitettiin erilaisissa suhteissa valmisbetonijauheesta tehtyyn massaan. Valujen kovetuttua näytekappaleita jälkikäsiteltiin mm. hiomalla näytteen pintaa. Suurimpana haasteena tutkimuksessa oli erittäin tiukka aikataulu, jolloin koesarjojen toteuttamiselle jäi hyvin vähän aikaa, eikä kaikkia pieleen menneitä, mutta kiinnostavia kokeita ehtinyt uusia.

Tutkimuksessa selvisi ennako-olettamuksen mukaisesti se, ettei betoni itsessään läpäise juurikaan valoa edes hyvin ohuena kerroksena. Jo kahden lasikappaleen väliin kapillaarisesti imeytynyt sementtiliima esti valon kulun lähes kokonaan. Näin ollen kiinnostavalta vaikuttanut pyrkimys sekoittaa lasimurskaa betoniin läpikuultavuuden saamiseksi osoittautui osittain epäonnistuneelta. Kuitenkin valettaessa 1:1 lasimurskaa ja betonia 10 mm paksuiseksi laataksi, ja valun jälkeen hiomalla laatan molemmat pinnat timanttilaikalla, saatiin aikaiseksi mielenkiintoiselta näyttävä pintamateriaali, jonka läpi valo kulki lasimurskassa olleiden isompien palasten ansiosta.

Sisällys

1 Johdanto	4
2 Tutkimuksen lähtökohdat.....	5
3 Tutkimuksen valmistelu.....	7
4 Valukokeet.....	9
4.1 Ensimmäinen valukoesarja	9
4.2 Toinen valukoesarja.....	14
4.3 Kolmas valukoesarja	19
5 Päätelmät.....	22
6 Lähdeluettelo.....	24

1 Johdanto

Tutkimus käsittelee läpikuultavan betonin valmistusta. Tutkimuksessa pyrin saamaan läpikuultavuutta betoniin valamalla eri tavoin kierrätyslasia betoninmassan sekaan. Nähdessäni läpikuultavaa betonia käsittelevän artikkelin internetissä, kiinnostuin heti sen valmistuksesta. Artikkelissa esiteltiin eurooppalaisia yrityksiä, jotka valmistavat betonisia tuotteita, kuten harkkoja ja levyjä, valamalla betonin sekaan mm. optisia kuituja valonläpäisyn aikaansaamiseksi. Aikaisemmalta koulutukseltani olen rakennusmestari, joten olen ollut hyvin paljon tekemisissä tavallisen betonin kanssa työmailla ja niinpä peruselementti tälle uudelle materiaalille oli jo tuttu. Aloin miettiä, voisiko läpikuultavuutta saada betoniin aikaiseksi muuten, kuin optisten kuitujen avulla? Betonin sideaineena toimiva sementti on väriltään harmaata, jolloin siitä ei juurikaan valo pääse läpi. Näin ollen päätin, että läpikuultavuus olisi todennäköisesti saatava aikaiseksi samalla toimintaperiaatteilla, kuin optisissa kuiduissa.

Käytin lasina tutkimuksissa erilaisia lasimateriaaleja, kuten lasimurskaa, ikkunalasia sekä puhalluslasin valmistukseen käytettäviä nugetteja. Näitä sekoitin eri tavoin rautakaupasta saatavaan valmisbetonijauheeseen. Tutkimukseen kuului paljon myös näytekappaleiden jälkikäsitteilyä. Valun kovettuttua näytekappaleita käsitteletin mm. hiomalla betonin pintaa hiomalaikalla.

Raportissa valmisbetonilla tarkoitetaan rautakaupoissa myytävää jauhetta, jota myydään 25 kg säkeissä. Valmisbetoniin tarvitsee lisätä vain vettä pakkausohjeen mukaisesti, ja sekoitus tapahtuu betonimyllyllä tai porakoneen ja sekoitusvispilän avulla.

Maksimiraekoko tarkoittaa betoniseoksessa olevan kiviaineksen kokoa. Betoniin lisätty kiviaines on seulottu erikokoisten seulojen läpi, ja maksimiraekoko tarkoittaa käytetyn seulaverkon silmäreikien kokoa. Esimerkiksi maksimiraekoon ollessa 4 mm, betonissa oleva kiviaines on päässyt läpi 4 mm seuraverkon läpi ja yli 4 mm halkaisijan kiviä ei seoksessa ole.

Hartsit ovat yleisnimi monille luonnollisille ja synteettisille materiaaleille. Ne ovat kaikki sakeita nesteitä, jotka pystyvät kovettumaan pysyvästi. Hartsia esiintyy luontaisesti lukuisissa kasveissa, joista uuttamalla ne voidaan ottaa käyttöön. Synteettiset hartsit ovat monessa suhteessa samanlaisia kuin luonnolliset, mutta ne on valmistettu erityisin kemiallisin prosessein, jolloin kuhunkin käyttökohteeseen on kehitetty sen vaatimat kestävyys- ja esteettiset ominaisuudet. Hartsien sidosaineiden lisäksi tuotteissa on esimerkiksi kvartsi- ja piioxideja sekä mikrokuituja. (Bellearti)

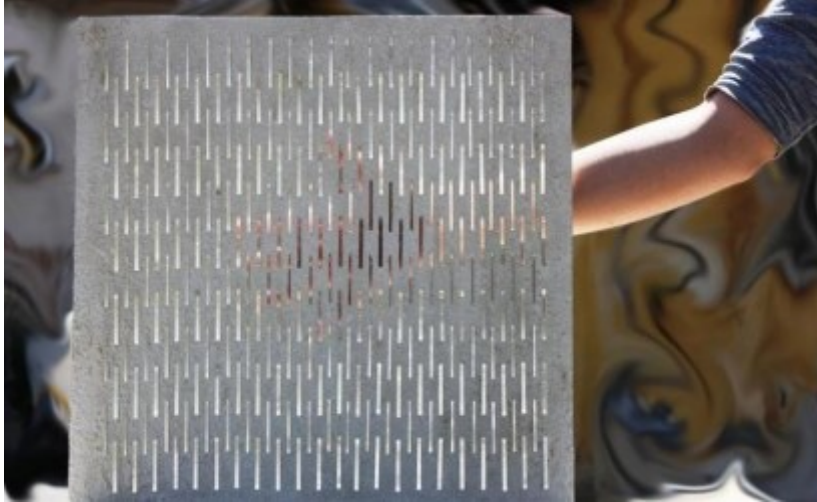
2 Tutkimuksen lähtökohdat

Läpikuultava betoni on uudehko materiaali, jota valmistavat muutamat eri yritykset Euroopassa. Ensimmäisenä kaupalliseen tarkoitukseen läpikuultavaa betonia valmistava Litracon on saanut läpikuultavuuden aikaiseksi optisten kuitujen avulla, jota on sekoitettu betonimassan sekaan (Litracon). Optiset kuidut välittävät valonsäteitä betonin läpi, jolloin betonista saadaan läpikuultavaa. Optisen kuidun sisällä valon kulkeminen perustuu fysikaaliseen kokonaisheijastumaan, jolloin kuidun sisällä valo heijastelee kuidun pinnasta pintaan jatkaen matkaansa pitkin kuitua. Kun tällaisia kuituja on tarpeeksi betonin sisällä ja kulkevat betonin läpi pinnasta pintaan, kulkee näin ollen valokin betonin läpi.



Kuva 1 Litracon: <https://leateliardulumiere.files.wordpress.com/2011/06/litracon-transparent-concrete.jpg>

Toinen esimerkki valmistajasta on italialainen Italcementi, jonka tuote i.light päästää valoa läpi läpinäkyvien hartsipalojen avulla. Lasimainen hartsi on aseteltu paloina valun sekaan, jolloin kovettuneen betonimassan sekaan jää ikkunamaisia aukkoja, joista valo kulkee läpi. (Italcementi)



Kuva 2 Italcementi i.light: <http://www.credicom.rs/files/thumbs/861434545540naslovna1.jpg>

Näistä betoneista ei kuitenkaan näe läpi juurikaan, mutta valon kanssa siluettimaiset hahmot erottuvat vastapuolelta. Betonista on tehty usein harkkoja tai paneeleja, jolloin voidaan tarjota asiakkaille valmiita läpikuultavia paloja, jolloin erikoisvalu optisten kuitujen kanssa hoituu tehtaalla valvotuissa olosuhteissa. Näin ollen asiakkaan ei tarvitse jälkikäsitellä betonipintaa hiomalla. Läpikuultavaa betonia käytetään esimerkiksi julkisivurakentamisessa sekä väliseinissä, mutta optisten kuitujen korkean hinnan takia tuotteet eivät ole vielä kovin yleisiä.

3 Tutkimuksen valmistelu

Läpikuultavuutta lähdin toteuttamaan eri tavoin valitsemalla erikokoisia ja muotoisia lasia betoniin sekoitettavaksi. Hypoteettisesti varmoina vaihtoehtoina pidin valutapoja, joissa asettelin suurehkoja lasipalasia muotin pohjalle, ja valoin pelkkää betonia lasipalojen päälle. Kun nämä lasipalaset ovat yhtä paksuja, kuin betonivalu, oli odotettavissa ikkunamainen tai lasitiilimäinen lopputulos. Tämä valmistustapa muistuttaa Italcementin i.light-betonilaattoja, joihin läpinäkyviä hartsipalasia on aseteltu sekaan (Italcementi).

Toinen menetelmä, jossa sekoitin lasimurskaa betonimassan sekaan, oli hypoteettisesti hyvin epävarma toimimaan. Oletin, ettei murska riitä luomaan läpikuultavuutta lainkaan, mikäli sementtiliimaa pääsee edes ohut kerros lasimurskassa olevien palasten välille. Kuitenkin arvelin, että mahdollinen pinnan ja sementtiliiman hiominen voisi tuoda läpinäkyvyyttä esiin paljastamalla pintakerroksen alle jäävät lasipalaset massan seasta.



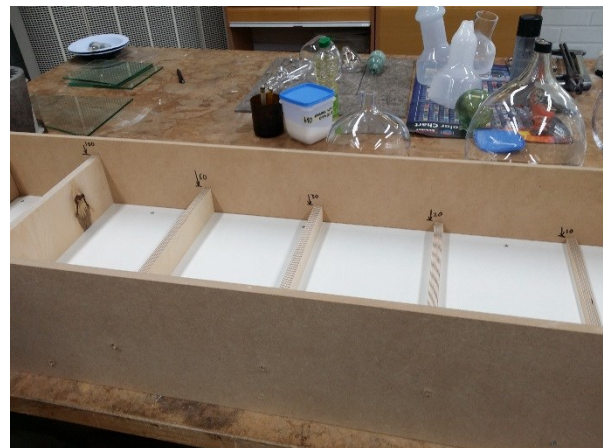
Kuva 3 Ensimmäistä valukoetta varten aseteltuja lasipaloja muotissa

Betonina käytettiin valmista S30- ja S100- säkkibetonia, joihin sekoitettiin ohjeen mukainen määrä vettä. S30 on sementtilaastia, joka soveltuu ohuiden valujen tekoon, sillä sen maksimiraekoko on 4 mm. S100 valmisbetoni on hieman paksummille valuille tarkoitettu ja sen maksimiraekoko on 10 mm. Betonin halkeilun minimoimiseksi, valujen jälkeen muotti peitettiin muovilla, joka hidastaa veden haihtumista betonista. Betonin kovettumiseen muovi ei vaikuta.



Kuva 4 Betonina käytettyä S30-sementtilaastia

Jotta betonin valaminen sujusi jouhevasti ja näytteistä saataisiin tasaisia, oli valmistettava standarikokoinen muotti, jolla voi samalla valukerralla toteuttaa useita materiaalikokeita. Päätin valmistaa muotin vanerista ja mdf-levystä, jonka pintaan betoni ei tarttuisi ja näytekappaleet olisi helppo irrottaa. Tein muottiin erikorkuisia väliseiniä 1-10 cm välillä, jotka mahdollistivat eripaksuisten valujen toteuttamisen samalla kertaa. Myöskin valun tasaaminen ja valupaksuuden varmistaminen oli helppoa valmiiksi mitattujen väliseiniä ansiosta.



Kuva 5 Valumuotin valmistelua

4 Valukokeet

Tässä osiossa selostetaan tutkimuksen tarkemmat yksityiskohdat valukokeista sekä huomiot tutkimuksen aikana. Tutkimuksessa suoritettiin yhteensä kolme valusarjaa, jotka on käsitelty yksitellen tulokset huomioiden.

4.1 Ensimmäinen valukoesarja

Aloitin materiaalikokeet sillä olettamuksella pohjatutkimukseen perustuen, että betonin saaminen läpikuultavaksi vaatii todennäköisesti jonkinlaisen suoran yhteyden kappaleen pinnasta pintaan. Valon johtuminen tapahtuisi siis toisin sanoen betonin seassa olevan väliaineen sisällä, eikä betonissa itsessään. Tämä oletamus perustuu fysikaaliseen valon heijastumisilmiöön, joten teoriassa tilanteet, joissa betonin seassa on lasisia kappaleita niin sanotusti pinnasta pintaan, tulisivat toimimaan.

Valon heijasteluun perustuvan ilmiön lisäksi kuitenkin elättelin toivoa siitä, että ohut kerros sementtiä betonissa voisi myös kuultaa valoa läpi hieman, joka mahdollistaisi myös muunlaisen valon läpäisyn, kuin yllä mainittu tapa. Tämä keino tuli kyseeseen kokeissa, joissa sekoitin lasimurskaa betonin sekaan, jolloin oletusarvoisesti valon olisi kuljettava lasinsirusta toiseen koekappaleen läpi.



Kuva 7 Betonin sekoitus porakoneen ja vispilän avulla

Ensimmäiset kokeet toteutin sillä ajatuksella, että kokeilisin paljon erilaisia mahdollisuuksia lasin sekoittamiseksi betoniin. Valitsin lasiksi toisin sanoen erimuotoisia ja –kokoisia palasia, joita sekoitin S30 –sementtilaastiin. Sekoitin betonin säkissä olevan ohjeen mukaisesti, eli vettä lisättiin 1,4 dl yhtä kiloa sementtilaastia kohti. Osa näytevaluista suoritettiin siten, että betoni

valettiin suoraan muotissa olleiden lasinpalojen päälle. Muissa tapauksissa, kuten nugettien ja lasimurskan kanssa, samaan betonimassaan sekoitettiin ko. lasiaines.



Kuva 8 Lähikuva betonin sekaan valettavista lasimateriaaleista

Ensimmäisessä koesarjassa tein 5 valukoetta, joissa käytin lasina ikkunalasia, nugetteja, pinttiä sekä lasimurskaa. Tässä tapauksessa pintillä tarkoitetaan lasistudiolta otettuja lasinsirpaleita, jotka on saatu rikkomalla epäonnistuneita lasipuhalluskappaleita. Ikkunalasia olin katkonut pieniksi paloiksi lasistudiolla valmiista lasilevyistä, jollin niiden paksuus oli tasainen kokeissa. Nugetit ovat niin ikään valmiita lasinpaloja, joita normaalisti sulatetaan lasimassan sekaan lasipuhallusta varten. Pintti sen sijaan oli hyvin epämääräisen kokoista, koska lasinsirpaleita oli kerätty sattumanvaraisesti. Käytetty lasimurska koostui myös erikokoisista siruista, ja sen raekoko vaihteli käytännössä lasijauhosta n. 20 mm rakeisiin.

Ensimmäisessä koesarjassa tein ikkunalasista kaksi valua siten, että toinen valusta oli 5 mm paksu ja sisälsi 5 mm paksuisia lasinpalasia. Toinen valu oli 10 mm paksu ja sisälsi lasinpaloja kahdessa kerroksessa päällekkäin aseteltuja lasinpaloja, joiden paksuus oli yhteensä 10 mm.

Nugetteja sisältävän valun toteutin siten, että nugetteja oli 20 mm lokerossa mahdollisimman paljon. Sekoitin sitten valmiin betonimassan näihin nugetteihin ja tasasin massan 20 mm paksuksi. Haasteena tässä oli nugettien suhteellisen suuri koko valupaksuuteen verrattuna, sillä valua oli hankala tasata täsmälleen 20 mm korkeuteen ilman törröttäviä lasinpalasia.

Pinttiä sisältävän valun toteutin asettamalla lasinsirut muotin pohjalle ja valamalla 30 mm paksuisen betonimassakerroksen niiden päälle. Myöskin tässä valussa oli haastava saada betoni tasattua tarkalleen 30 mm paksuiseksi, sillä saadakseni betonin leviämään sirpaleiden väleihin, oli valua ns. vibrattava, eli tässä tapauksessa muotin kylkiä koputettava vasaralla. Tämä taas sai aikaan sen, että lasinsirpaleiden alle pyrki menemään betonia, jonka seurauksena lasinsirpaleet lähtivät nousemaan muotin pohjalta.



Kuva 9 Nugettien sekoittaminen betoniin

Lasimurskaa sekoitin massaan 1/3 siten, että murskaa oli 1 kg ja sementtijauhetta 2 kg. Valoin tämän tasaiseksi 50 mm paksuksi massaksi. Lasimurska tässä suhteessa piti massan vielä notkeudeltaan hyvin ”betonimaisena”, eli oli helposti valettavissa ja tasattavissa.

Annoin ensimmäisen valuerän kuivua viikonlopun yli, jotta betoni kovettuisi lasipalojen väleissä varmasti kunnolla. Tämän jälkeen avasin muottia saadakseni näytekappaleet pois muotista tarkasteltavaksi. Valmistamani muotti oli toiminut pääosin erinomaisesti valuissa ja näytteet oli helppo irrottaa. Käytin valunäytteiden jälkikäsitteilyyn joissain tapauksissa metallista talttaa, teräsharjaa ja hiomapaperia, joilla pyrin saamaan pinnassa ja pohjassa sementtiliiman alle jääneitä lasinpaloja näkyviin.



Kuva 10 Lasimurskan sekoittaminen betoniin

Ainoana poikkeuksena 5 mm paksuinen valu oli selvästi liian ohutta, sillä se murtui muottia purettaessa. Huomioitava seikka on, että sementtilaastin ohjeellinen minimipaksuus valulle on 10 mm. Näin ollen oli helposti pääteltävissä, että säkin kyljessä olevaa ohjetta kannattaa todella noudattaa.

Lasi toimi tässä valussa hyvin siinä mielessä, että palaset pysyivät hyvin betonin seassa ja betoni oli valutilanteessa helppo tasata lasin paksuiseksi. Lasinpaloista ei suoraan muotista purkamisen jälkeen kuultanut tai nähnyt läpi, vaan näyte vaati hieman jälkikäsitteilyä. Rapsutin valussa lasin pinnalle kulkeutunutta sementtiliimaa metallitalalla hieman pois, jotta sain kirkkaan lasin esille. Tämän seurauksena betonin seassa olevista ”ikkunoista” näkyi arvatenkin hyvin läpi.

Vastaava 10 mm valu toimi hieman paremmin betonin osalta, sillä se pysyi hyvin ehjänä ja vaikutti vahvalta laatalta. 5 mm näytteen tavoin raaputin pinnalta sementtiliimat pois, jotta lasit saataisiin esiin kunnolla. Tässä valussa oli ikkunalasia kahdessa kerroksessa, jolloin sementtiliimaa oli päässyt kapillaarisesti imeytymään lasipalojen väliin. Tästä syystä harmaa lieju lasin välissä vähensi valon läpäisevyyttä, muttei kokonaan estänyt sitä.

Nugettivalu oli myös jäykkä laatta, mutta valonläpäisevyyttä ei ollut. Erilliset nugetit kyllä näyttivät mielenkiintoiselta pinnalta, ja tätä voisi hyödyntää jossain toisessa projektissa. Kuitenkin nugettien välille pääsi niin paljon betonia, ettei valo kulkenut lainkaan 20 mm paksuisen laatan läpi.



Kuva 11 Sementtiliimaa imeytyi kapillaarisesti kahden ikkunalasipalan väliin, jolloin valonläpäisevyys heikkeni

Myös pinttivalun kanssa kävi siten, että lasinpalojen väliin päässyt betoni ei läpäissyt valoa. Tässä tapauksessa myös ongelmia aiheutti palojen liikkuminen valun aikana, jolloin sama lasinpala ei jäänyt niin sanotusti pinnasta pintaan betonin sisään.

Valu, johon sekoitin lasimurskaa, ei toiminut toivotulla tavalla. Betonia oli tässä tapauksessa liikaa lasiin nähden, jolloin valo ei kulkeutunut lainkaan 50 mm kappaleen läpi.

4.2 Toinen valukoesarja

Seuraavia valuja varten tein valuihin joitain muutoksia. Päätin haljenneen 5 mm paksuisen laatan jälkeen pysytellä minimissään 10 mm valupaksuudessa, jotta näytteistä tulisi riittävän vahvoja. Muutin kerroksittain aseteltavia ikkunalasipaloja siten, että käytin UV-liimaa avuksi liimatakseni lasinpaloja kiinni toisiinsa. Tällä estettäisiin sementtiliiman kapillaarinen imeytyminen palojen väliin, sekä vähennettäisiin palojen liikkumista valutilanteessa.



Kuva 12 Ikkunalasipalojen UV-liimaus

Muutin myös nugettivalua siten, että vähensin niiden määrää huomattavasti. Seuraavassa kokeessa asettelin nugetteja vain yhteen kerrokseen muotin pohjalle, ja valoin betonia nugettien paksuiseksi kerrokseksi, eli noin 20 mm.

Pinttiä en enää käyttänyt uudelleen valussa, sillä aikataulusta johtuen samankokoisten lasinsirujen tekeminen olisi vienyt liikaa aikaa. Myöskin lasinsirujen liikkuminen valun aikana olisi tullut ratkaista ennen seuraavaa valua, sillä sirpaleet olisi pitänyt liimata tai muuten kiinnittää muottiin tasaisesti. Mikäli tutkimukselle olisi jäänyt enemmän aikaa, olisi tätäkin valutapaa ollut mielenkiintoista kokeilla tarkemmilla valmisteluilla.

Lasimurskan ja betonin suhdetta en muuttanut seuraavaan valuun vielä lainkaan, mutta valupaksuutta sen sijaan ohensin. Halusin ratkaista, olisiko valolla mahdollisuuttakaan läpäistä lasimurskan seassa olevaa sementtiliimaa, joten valoin tätä massaa 10 mm paksuuteen.



Kuva 13 Betonivalun pinnan peseminen ennen valun lopullista kovettumista, kun valu on hetken jämähtänyt

Päätin muuttaa toisen koesarjan valutapaa myös siten, että 2-3 vrk kuivumisen sijaan pesisin valun pinnan ennen täydellistä kovettumista. Niinpä pyyhin märällä sienellä valunäytteiden pinnat noin kahden tunnin kuluttua valusta, jolloin kovettumisreaktio oli jo alkanut, mutta valun pinta oli vielä hieman pehmeä. Tällä tavoin sain valun pintaan nousseen sementtiliiman puhdistettua jo tässä vaiheessa, mikä säästäisi aikaa ja vaivaa jälkityöstämisessä.

Irrotin valunäytteet muotista seuraavana päivänä, eli 24 tunnin jälkeen valusta. Pesty pinta oli helposti puhdistettavissa vedellä, ja lasinpalaset tulivat näkyviin, mutta muottia vasten ollut alapinta oli ensimmäistä valua vastaava. Erona oli lyhempi kovettumisaika betonille, jonka johdosta sain ikkunalasin ja nugettien palat näkyviin pelkän teräsharjauksen avulla.



Kuva 14 Nugetit ja UV-liimatut lasinpalat 10 mm valussa

UV-liimatut ikkunalasit toimivat nyt hyvin valun seassa, eikä sementtiliimaa ollut päässyt palojen väliin. Myös nugetit toimivat oletetulla tavalla, ja jättivät lasitiilimäiset ikkunat betoniin. Sen sijaan lasimurska ei edelleenkään johdattanut valoa betonin läpi toivotulla tavalla, vaikka näyte olikin ohut. Tästä johtuen päätin hioa näytteen hiomalaikalla, jota käytetään yleensä betonilattioiden hiontaan. Hionnan toteutin paineilmakäyttöisellä hiomakoneella, jossa on vettä suihkuttava ominaisuus. Veden käyttö on tärkeää timanttilaikkaa käytettäessä, jotta hiomaterät eivät ylikuumene ja kulu liian nopeasti. Hioin näytteestä pinnan auki molemmiin puoliin, poistaen siitä noin 1-2 mm vahvuisen kerroksen saadakseni lasinsirut betonin seasta kunnolla näkyviin. Hionnalla oli positiivinen tulos läpinäkyvyyteen, sillä murskassa olleet suurimmat lasinsirut läpäisivät nyt valoa. Toisin sanoen ilmiö oli sama, kuin ikkunalasin ja nugettien kanssa, joissa sama lasikappale johdattaa valoa betonikappaleen läpi pinnasta pintaan. Tuloksena oli hauskan näköinen laatta, jossa erimuotoiset lasikappaleet kuulsivat sattumanvaraisesti valoa. Karkealla hiomalaikalla hiottuna lasinsirujen pinta muistutti melko paljon betonissa olevia vaaleampi kiviä, mutta tausta valaistuna lasiset aukot tulivat mielenkiintoisella tavalla esiin.



Kuva 15 Näytteitä käsiteltiin paineilmakäyttöisellä hiomakoneella

Toisen koesarjan valujen perusteella osasin jo päätellä sen, että betonin sekaan voi valaa erimuotoisia lasikappaleita, ja että ne johtavat valoa, kunhan sama lasikappale muodostaa ikään kuin tunnelin betonin läpi. Tässä valussa ikkunalasi ja nugetit toimivat optisten kuidujen tai lasitiilien tavoin, eli luonnollisesti kuulsivat valoa.

Iloinen yllätys toisen valun tuloksena oli se, että pinnan hionnan jälkeen myös lasimurska johdatti valoa betonin läpi. Toki kyseessä oli tässäkin tapauksessa optisen kuidun tavoin pinnasta pintaan kulkeva valo saman kappaleen läpi, mutta pidin tulosta silti positiivisena. Tämän tuloksen johdosta päätin vielä suorittaa kolmannen koesarjan, jossa keskittyisin ainoastaan lasimurskan ja betonin sekoitukseen eri suhteissa.



Kuva 16 Ohuesta 10 mm hiotusta näytteestä näkyi lasimurskan ansiosta valo läpi sattumanvaraisista kohdista

4.3 Kolmas valukoesarja

Kolmanteen koesarjaan valmistin betonia sekä S30- että S100-valmisjauheista. Tein 5 erilaista näytettä, joissa vaihtelivat lasin määrä sekä näytteen paksuus. Toiveena oli, että saisin edellisessä valutestissä tehdyn lasimurskaseoksen tavoin valon kuultamaan läpi nyt myös paksummista kuin 10 mm näytteistä.



Kuva 17 Eri lasimurskasuhteilla valetut näytteet

Valoin 10–40 mm paksuisia laattoja siten, että tavoitteena oli lisätä lasin suhdetta betoniin nähden huomattavasti edellisiä kokeita enemmän. Tein kaksi ohuempaa 10 mm valua, joihin toiseen laitoin puolet ja toiseen $2/3$ lasimurskaa betoniin nähden. Jatkoin samalla $2/3$ lasisuhteella paksumpaan 20 mm valuun. Seuraavassa, 30 mm paksuisessa valussa, käytin betonina S100-valmisbetonia ja lasia lisäsin $3/4$ betoniin nähden. Viimeiseen, eli 40 mm paksuiseen valuun, oli tarkoitus lisätä $4/5$ eli 80 % lasia, mutta vaihdoin suhteen takaisin $2/3$:aan, sillä edeltävä valumassa oli jo liian karkeaa.

Huomasin jo massoja sekoittaessa, että lasimurskan määrän ylittäessä betonijauheen määrän, massan olemus muuttuu merkittävästi. 1:1 lasi-betoniseos oli vielä suhteellisen notkeaa ja betonimaista, mutta $2/3$ – suhteella valetut massat olivat hyvin karkeita ja vaikea tasoittaa. Jouduin tästä syystä myös lisäämään vettä sekoitusvaiheessa 1,5 – kertaisen määrän betonin ohjeessa mainittuun vesimäärään nähden. Myös $3/4$ - suhteeseen valuun lisäsin 1,5 - kertaisen määrän vettä, mutta valu hyvin karkeaa eikä enää lainkaan betonimaista. Viimeiseen valuun

lisäsin jopa kaksinkertaisen määrän vettä saadakseni massasta jälleen betonimaisen notkeaa. Perustuen edellisten rakennusalan opintojen sekä käytännössä rakennustyömaalla opittuun tietoon, arvelin veden lisäämisellä olevan heikentävä vaikutus betonin lujuteen.



Kuva 19 Kovettuneet näytekalat lasimurskavaluista



Kuva 18 Hiomakopin lasiseinään tuli halkeamia sinkoilevista lasinsiruista

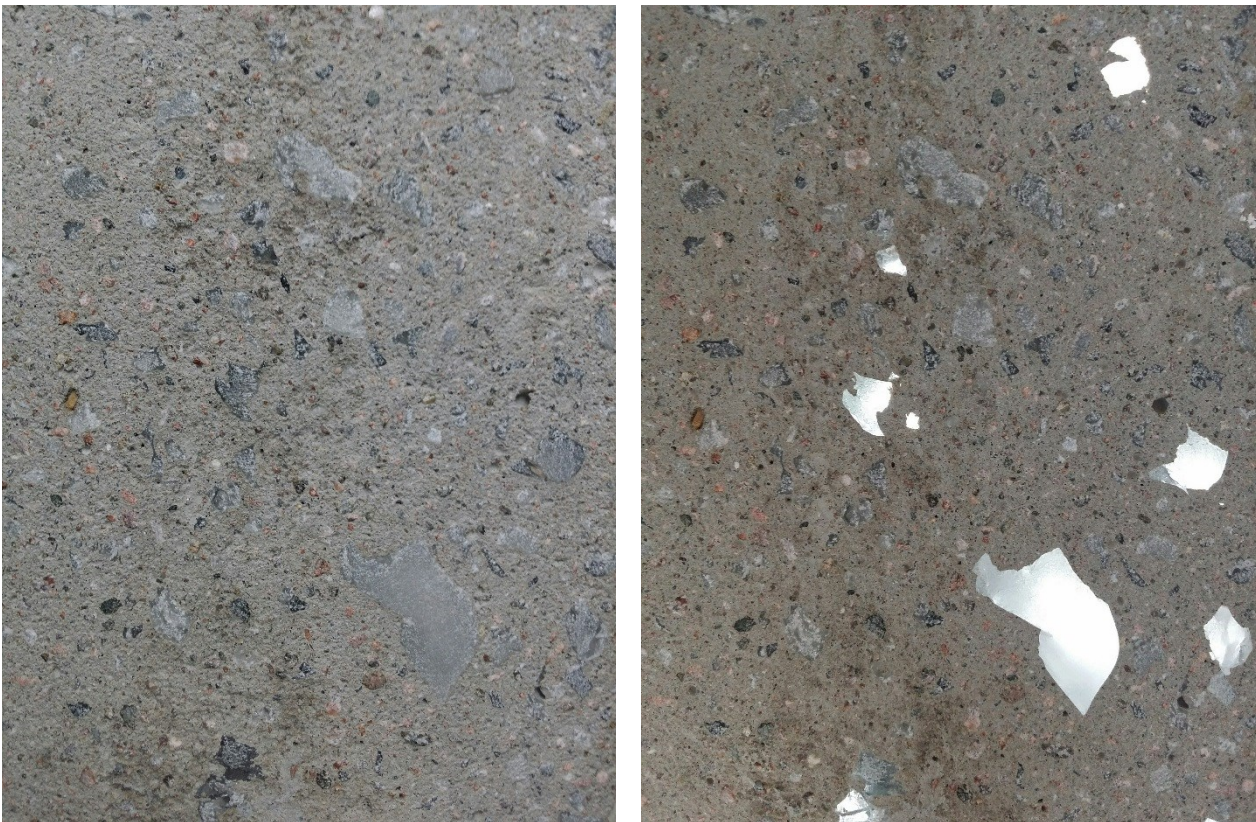
Koska olin lisännyt massan sekaan vettä, joka mahdollisesti heikentäisi betonin lujutta, annoin valujen kovettua yli 48 tunnin ajan. Pidemmästä kovettumisajasta huolimatta, näytteiden hiominen ei ollut täysin sujuvaa. Ensimmäinen näyte, jossa oli 50 % lasia, oli vielä melko hyvin

hiottavissa, mutta loput näytteistä käytännössä mahdottomia. Käyttäessäni samaa timanttilaikkaa, kuin aiemmin, oli betoni epäilykseni mukaisesti liian heikkoa. Veden lisääminen oli haurastuttanut betonia, ja koska muissa koekappaleissa oli myös suurempi määrä lasia, olivat näytteet hyvin heikkoja. Betoni oli olemukseltaan jo ennen hiontaa pikemminkin soraharkkomaisen huokoinen, kuin sileä ja tiivis. Kun ryhdyin hiomaan näitä 66–75 % lasia sisältäviä kappaleita, ei betonin lujuus riittänyt pitämään lasinsiruja paikallaan. Lasin palasia irtosi hiomalaikan nopean pyörimisliikkeen johdosta, ja sinkoili ympäri hiomakoppia tehden kopin lasiseinään halkeamia. Tästä johtuen hionta oli keskeytettävä, enkä hionut kaikkia näytteitä loppuun asti. Ehdin kuitenkin hioa sen verran myös paksumpiakin kappaleita, että pystyin toteamaan läpikuultavuuden puuttumisen. Näytteistä ei siis kuultanut valoa läpi lainkaan, jos massassa olevien lasinsirujen väliin oli päässyt edes ohuelti betonia tai sementtiliimaa.

5 Päätelmät

Sain tutkimuksissa paljon uutta tietoa läpikuultavan betonin valmistuksesta. Tutkimuksissa pääasiallinen tulos oli hyvin paljon ennakko-olettamukseni kaltainen, eli valon johtaminen betonin läpi tapahtuu käytännössä aina jonkin yhtenäisen lasikappaleen läpi. Optisten kuitujen tavoin yhtenevä tai kokeissakin käytetyn UV-liiman avulla yhdistetyt kappaleet on oltava betonin sisällä siten, että sama kappale ylittää betonin pinnasta toiseen.

Tutkimuksissa yritin saada valoa kuultamaan betonin läpi myös siten, että lasinpalat eivät yllä pinnasta pintaan betonin läpi, mutta käytännössä tuloksetta. Kun lasinsirujen väliin pääsi edes hyvin ohuelti harmaata sementtiliimaa betonista, valon kulku katkesi lähestulkoon heti. Myöskin



Kuva 20 Ilman valoa ja valon kanssa; hiottu pinta näyttää muuten betonilta, mutta valoa vasten lasinpalat loistavat siellä täällä

tällaisissa kokeissa, kuten lasimurska-betoniseoksissa, lasin määrän kasvattaminen teki betonin valamisesta vaikeaa. Lasimäärän kasvattaminen betonissa teki massasta soramaista ja karkeaa, eikä veden lisääminen tällaisessa tilanteessa auta, sillä betonin lujuus heikkenee vettä lisättäessä. Korkein lasisuhde, jota vielä kykenin valujen jälkeen työstämään hiomalla, oli 50 %. Tästä korkeammaksi lasisuhdetta kasvattaessa betonin laatu heikkeni huomattavasti ja siitä tuli

haurasta. 50 % suhteella lasimurskaa sekoitettaessa betonista oli mahdollista valaa vielä kohtalaisen vahvojakin laattoja vain 10 mm paksuisena.

Sain mielestäni juuri näissä edellä mainituissa kokeissa ehkä tutkimuksen mielenkiintoisimman tuloksen, kun jälkikäsittelemällä näytekappaleet hiomalla ne timanttilaikalla. Ohuen laatan sisällä lasimurskassa olleet isommat kimpaleet hioutuivat tasaiseksi betonin pinnan mukaiseksi ja olivat kyllin suuria johdattamaan valoa betonin läpi. Hieman karkeaksi jätettynä hiotut lasinpalat näyttävät betonin pinnassa tavallisilta kiviltä, mutta läpäisevät kuitenkin erinomaisesti valoa. Sattumanvaraisesti asettuneet lasikimpaleet näyttivät valoa vasten tähtikuviomaisena rykelmänä hyvin kauniilta ja sikäli lupaavilta, että tätä ilmiötä voisin jatkossa tutkia lisää ja käyttää hyödyksi tulevilla projekteilla.

6 Lähdeluettelo

- Bellearti. Verkkolähde. Luettu 23.3.2016.
<http://www.bellearti.fi/tuotteet/hartsipinnoitteet/mita-on-hartsi>
- Litracon. Verkkolähde. Luettu 1.4.2016. <http://litracon.hu/en/products/litracon-blokk>
- Italcementi. Verkkolähde. Luettu 1.4.2016.
<http://www.italcementigroup.com/ENG/Research+and+Innovation/Innovative+Products/i.light/>