



Nanosilikan vaikutusten tutkiminen kuivasirotteen käytön yhteydessä

Jenni Luukkainen

OPINNÄYTETYÖ
Syyskuu 2019

Rakennusalan työnjohdon koulutus
Rakennusmestari (AMK)

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työnjohdon koulutus
Rakennusmestari (AMK)

LUUKKAINEN, JENNI:

Nanosilikan vaikutusten tutkiminen kuivasirotteen käytön yhteydessä

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Syyskuu 2019

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää nanosilikan mahdollisia vaikutuksia kuivasirotteella toteutetun kiiltohiotun betonilattian ominaisuuksiin. Työ tehtiin yhteistyössä ylöjärveläisen Concria Oy:n kanssa ja heidän toimeksiannostaan.

Työssä suoritettiin koevalut Concria Oy:n tiloissa. Valujen pinnat käsiteltiin erilaisin menetelmin. Testauspintoja tehtiin yhteensä yhdeksän. Pinnoista testattiin lujuutta, kutistumaa, tartuntavetolujuutta sekä kosteutta. Lisäksi valulaatikoiden lämpötiloja seurattiin. Käytetyt sirotteet olivat Concria Optimal Slab™ ja Master-top 100 -sirote.

Tartuntavetolujuuden, kosteuden, kutistuman sekä betonimassasta otettujen koekappaleiden puristuslujuuden mittaukset suoritettiin yhteistyössä Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion kanssa.

Tulosten perusteella pääteltiin, että nanosilikan ja Concria Oy:n oman sirotteen yhdistelmällä saadaan lattianpinnan hionta aloitettua jo noin seitsemän vuorokauden kuluttua lattian valamisesta. Lisäksi nanosilikan todettiin sitovan kosteutta betonimassan pintaan, mikä auttaa sirotepinnan tekemisessä sekä sirotepinnan kerrospaksuuden kasvattamisessa.

Tulosten perusteella lisätutkimuksena kannattaisi tehdä lisää vertailua Concria Oy:n omilla tuotteilla nanosilikan kanssa ja ilman.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme In Construction Site Management

LUUKKAINEN, JENNI:
Effect of Nanosilica on Dry Shake Topping in Concrete Floors

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 0 pages
September 2019

The aim of this thesis was to study properties of concrete floors when a surface of the floor is made with dry shake and nanosilica. The research was made in cooperation with Concra Oy.

Nine different surfaces were made. The properties of the surfaces that were examined were compressive strength, drying shrinkage, adhesive strength in tension and moisture. The dry shakes that were used are Concra Optimal Slab™ and Mastertop 100.

The research of compressive strength, drying shrinkage, adhesive strength in tension and moisture were made in teamwork with the construction laboratory of Tampere University of Applied Sciences.

The results showed that the Concra Optimal Slab™ together with nanosilica makes it possible to start polishing of the floor after approximately seven days after concreting. Nanosilica also adsorbed water into the surface of the fresh concrete and that way made it possible to use more of dry shake.

Key words: nanosilica, dry shake, concrete floor

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Tausta	6
1.2	Tavoite	6
1.3	Rajaukset	7
2	BETONILATTIA, SIROTEPINTA JA NANOSILIKA	8
2.1	Betonilattian rasitukset	8
2.2	Betonilattian laatuvaatimukset	8
2.3	Kuivasirote betonilattian pintana	9
2.4	Kuivasirotepinnan tekemisen perusteet	11
2.5	Kiiltohiottu betonilattia	13
2.6	Nanosilika	15
3	TESTAUSMENETELMÄT	17
3.1	Betonimassan testausmenetelmät	17
3.1.1	Ilmamäärä	17
3.1.2	Painuma	17
3.1.3	Puristuslujuus	18
3.2	Betonilattian testausmenetelmät	18
3.2.1	Kimmovasara	18
3.2.2	Kutistuma	19
3.2.3	Kosteuden mittaus	19
3.2.4	Siroteen tartuntavetolujuus	20
3.2.5	Kulutuskestävyys	20
3.2.6	Böhme-testi	21
3.2.7	BCA-testi	22
3.2.8	Lattian karheus	23
3.2.9	Lattian heijastavuus	23
4	VALU- JA TESTAUSMENETTELY	24
4.1	Koevalujen järjestelyt	24
4.2	Valutyöt ja pintojen teko	26
4.3	Betonimassan testaukset	28
4.4	Koepintojen testaukset	29
5	TULOKSET	30
5.1	Ongelmat mittauksissa	30

5.2 Mittaustulokset ja tulosten tarkastelu	31
5.3 Aistinvaraisten havaintojen perusteella tehdyt huomiot.....	39
6 POHDINTA	41
LÄHTEET.....	43

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Betonilattia rakennuksen osana on erityisesti teollisuuden ja logistiikan alalla toimivia yrityksiä koskeva tärkeä asia. Lattian toimivuus ja kestävyys ovat edellytys monen yrityksen liiketoiminnalle. Betonilattioiden kulutuskestävyyttä ja lujuutta sekä niiden kanssa esiintyviä ongelmia on ratkottu varmasti niin kauan kuin betonilattioita on rakennuksiin tehty. Erilaiset lattiamassat, työskentelytavat ja lattioiden pintakäsittelyt ovat tärkeä kehityksen aihe, jotta ongelmilta välttyttäisiin ja saataisiin aikaan pitkäikäisiä betonilattioita. Uuden betonilattian valaminen ja päällystäminen ovat myös aikaa vieviä asioita silloin, kun ne tehdään viimeisen päälle kunnolla. Lattioiden laadun parantaminen ja erityisesti aikatauluista johtuva kustannusten pienentäminen ovat tärkeitä asioita betonilattian tekemiseen liittyen.

Tämän työn taustalla on suomalaisen Concria Oy:n kehittämän betonilattian pintakäsittelymenetelmän tutkiminen. Tutkimuksen kohteena on, saadaanko nanosilikalla betonilattian pintaan lisää lujuutta ja kulutuksenkestävyyttä kuivasirokkeen käytön yhteydessä. Tämä menetelmä olisi myös huomattavasti nopeampi, kuin perinteiset kuivasirokkeen kanssa käytettävät työmenetelmät, joten se säästäisi rakennusaikana sekä rahaa että aikaa.

1.2 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on suorittaa koevalut erilaisin pintakäsittelymenetelmin ja koostaa tuloksista Concria Oy:lle materiaalia heidän tuotekehityksen edistämiseksi sekä markkinoinnin tueksi.

1.3 Rajaukset

Tämä tutkimus rajataan koskemaan ainoastaan sirotepinnalla toteutettuja kiiltohiottuja betonilattioita ja nanosilikan vaikutusta lattian ominaisuuksiin. Tutkimuksessa ei kiinnitetä huomioita esimerkiksi erilaisten lattiamassojen vaikutukseen. Koevaluissa käytetään tavanomaista lattiamassaa.

2 BETONILATTIA, SIROTEPINTA JA NANOSILIKA

2.1 Betonilattian rasitukset

Betonilattia toimii usein rakennuksen tärkeänä rakenneosana ja sen merkitys korostuu erityisesti rakennuksissa, joissa lattia on olennainen osa rakennuksen käyttötarkoitusta. Esimerkiksi teollisuudessa, varastoissa tai liiketiloissa lattia on tärkeä osa yrityksen liiketoiminnan sujuvuutta. Erilaiset rasitukset usein aikojen saatossa heikentävät lattian kestävyyttä ja säilyvyyttä. Näihin ongelmiin pitäisi kiinnittää huomioita jo suunnitteluvaiheessa.

Käyttötarkoitus määrittelee betonilattiaan kohdistuvat kuormat ja sitä kautta rasitukset ja laatuvaatimukset. Betonilattian tyypilliset rasitukset ovat erilaiset piste-kuormat, iskut ja kuormituskeskittymät. Lattiaan voi kehittyä halkeamia veto- ja puristusrasitusten seurauksena, joiden sijainti voi vaihdella hyvinkin paljon kuormien sijainnin mukaan. (by 201 2018, 408.)

Kuivumiskutistuminen aiheuttaa myös rasitusta betonilattian rakenteeseen. Sen johdosta lattiaan voi syntyä halkeamia pitkien aikojen kuluessa, koska betoni kuivuu hitaasti. Jos halkeilu ei pääse tapahtumaan vapaasti, voi betonin vetolujuus ylittyä, jolloin siitä seuraa halkeilu. Halkeilu näkyy juurikin betonilattian pinnassa, koska kuivuminen tapahtuu pinnan kautta. Oman rasituksensa betonilattioille tuo myös lämpötilan vaihtelut esimerkiksi varastojen isojen ovien läheisyydessä. (by 201 2018, 408.)

2.2 Betonilattian laatuvaatimukset

Betonilattiaa suunnitellessa tulee ottaa huomioon tilassa tapahtuvat toiminnot. Toiminta asettaa lattialle vaadittavat laatuvaatimukset, jotka usein toiminnan perusteella ovat tasaisuus ja kulutuskestävyys. Lattian halkeilu on laatuvaatimuksena silloin, kun mahdollinen halkeilu haittaa tilassa tapahtuvia toimintoja. (by 45

2018, 19.) Tässä työssä oleellinen kiinnostuksen kohde on lattian kulutuskestävyys. Kulutuskestävyyden käsitettä ja testausta käsitellään myöhemmin kappaleessa 3.2.5.

Lattiapinnoitteen käyttö asettaa lattian tasaisuudelle vaatimuksia ja erityisesti teollisuuslattioiden tasaisuus ja suoruus ovat tärkeät tekijät esimerkiksi trukkien käytön kannalta. Lattiapinnan tasaisuuden arviointi perustuu lattian hammastuksen ja aaltoilun tarkasteluun. Suoruuden arviointiperusteena käytetään kaltevuusvirhettä. (by 45 2018, 19.) Tässä työssä ei arvioida koepintojen suoruutta tai tasaisuutta. Halkeilun osalta tarkastellaan plastista halkeilua, joka näkyy verkko-maisena halkeiluna betonin pinnassa. Plastinen halkeilu on lähinnä ulkonäkö-asia, mutta sirotepintaissa lattiassa esteettisesti erittäin häiritsevä ongelma.

2.3 Kuivasirote betonilattian pintana

Monissa kohteissa betonilattialta vaaditaan suurta kulutuskestävyyttä ja tasaisuutta, koska lattiaan kohdistuu paljon pistekuormia ja pyöräkuormia. Näissä kohteissa lattian kestävyysominaisuuksia ja lujuutta voidaan parantaa käyttämällä kuivasirotteita. Kuivasirotteen hyviä ominaisuuksia ovat puristuslujuus, kulutuskestävyys ja taivutusvetolujuus. Kuivasirotteella voidaan saavuttaa moninkertainen pinnan kulutuskestävyys verrattuna alkuperäiseen betonipintaan (kuva 1). Kuivasirotteesta käytetään myös nimeä pintasirote. Kuivasirotteella saadaan kulutuskestävyyden lisäksi suojattua lattia ja lisättyä lattiapinnan tiiveyttä. (BLY 16 n.d., 2.)



KUVA 1. Sirotepinta betonin päällä

Markkinoilta löytyy monien valmistajien sirotteita mutta yleisesti voidaan sanoa, että kuivasirote koostuu erikoiskovasta runkoaineesta, sementistä ja lisäaineista. Sirotteet eroavat toisistaan runkoaineen materiaalin perusteella. Runkoaine voi olla muun muassa kvartsi, korundi tai piikarbidi. (BLY 16 n.d., 3.) Tässä työssä käytetään toisena sirotteena Concria Oy:n omaa ja heidän itse kehittämäänsä kuivasirotetta, jonka runkoaine on kvartsi. Concrian sirotteen sisältämä murskattu kvartsi on terävsärmäistä, joten sillä saadaan betonipintaan hyvä tartunta. Jos sirotteen runkoaine on pyöreänmuotoista, niin sirotepinta ei pysy lattiassa kunnon kiinni. Tämä ongelma ei välttämättä ilmene takuuajan puitteissa vaan lattian käyttäjä voi olla myöhemmin omillaan huonon pinnan aiheuttamien ongelmien kanssa. (Ahonen & KiiKKinen 2019).

Kuivasirotteet voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään niiden rasituskestävyyden perusteella: perussirotteet, kovan rasituskestävyyden sirotteet ja erittäin kovan rasituskestävyyden sirotteet. Mineraalipohjaiset eli esimerkiksi tässä työssä käytetty kvartsipohjainen sirote kuuluu tämän luokituksen mukaan perussirotteisiin. Sementtinä sirotteissa käytetään lähes poikkeuksessa Portlandin sementtiä, joka sisältää 95 % portlandklinkkeriä ja 5 % muita sivuosa-aineita. Jos halutaan tehdä värillisiä pintoja niin Portland-sementti korvataan sirotteissa valkosementillä. Kuivasirotteen tulee olla CE-merkitty ja Suomessa sirotteet noudattavat tuotestandardia SFS-EN13813. (BLY 16 n.d., 3)

Concrian omassa sirotteessa on käytetty lisäaineena polypropeenikuitua. Kuitu parantaa sirotteen tarttuvuutta betonipintaan, pienentää kutistumahalkeilua sekä helpottaa levitystä ja hiertoa. Kuitu sitoo kaikki sirotteessa olevat komponentit yhteen, jolloin levittäessä partikkelit jakautuvat takaisesti eikä pienet ja isot ainekset erotu kolausvaiheessa. Näin ollen saadaan mahdollisimman laadukas lopputulos. (Ahonen & KiiKKinen 2019.)

Sirotteiden käytöstä on saatu hyviä kokemuksia erityisesti teollisuuden puolelta. Sirotteiden hyviä ominaisuuksia ovat muun muassa pölyämätön ja helppohoitoinen pinta. Pinta ei ime nestettä itseensä ja kestää hyvin öljyä, polttoaineita ja rasvaa. Lisäksi pinta on erittäin kova ja tiivis sekä turvallinen, koska se ei ole liukas. (BLY 16 n.d., 5)

Tässä työssä ei tutkita alusbetonin vaikutusta sirotteen käyttöön, joten myös teoriaosuudessa betonin ominaisuuksien käsittely jätetään pois. Tässä kohtaa voidaan kuitenkin mainita, että sirote tarvitsee alusbetonista vettä toimiakseen, joten vesisementtisuhteeseen tulee kiinnittää erityistä huomiota kuivasirokkeen käytön yhteydessä. Myös betonin liian suuri ilmamäärä ja suuri huokosten määrä voi aiheuttaa ongelmia sirotteen kiinnittymiseen betonin pintaan. (BLY 16 n.d., 7, 9.)

2.4 Kuivasirokkepinnan tekemisen perusteet

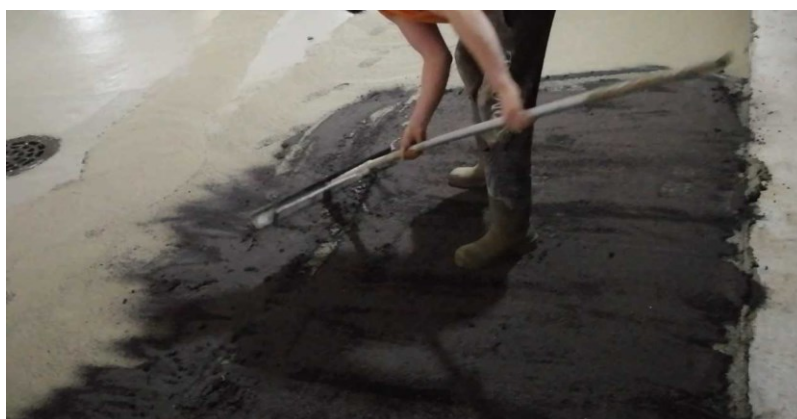
Kuivasirokkeen annosmäärään vaikuttaa käytettävä sirotetyyppi, lattian kulutuskestävyys sekä haluttu värisävy. Valmistajilta löytyy omat ohjeet määriin ja niitä tulisi noudattaa, jotta haluttu lopputulos saavutetaan. On varmasti sanomattakin selvää, että mitä enemmän sirotetta sen suurempi kerrospaksuus ja sitä paksumpi kulutuspinna. Yleisesti sirotteista voidaan sanoa, että noin 6 kg/m^3 saadaan mineraalipohjaisella sirotteella aikaan noin 3 mm paksuinen kerros. Sirotteen määrällä ei ole vaikutusta pinnan tiiveyteen vaan siihen voidaan vaikuttaa hieuton määrällä. (BLY 16 n.d., 16.)

Valutöiden ja sirotteen onnistunut käyttö on monen tekijän summa ja ennen työn aloitusta on kiinnitettävä huomioita tarvittaviin seikkoihin. Tärkeitä asioita ovat

muun muassa oikea lämpötila, kosteuden määrän hallinta ja voimakkaiden ilma-
virtausten poistaminen. (BLY 16 n.d., 11.) Oikeat olosuhteet luovat pohjan on-
nistuneelle lattiavalulle, jonka jälkeen päästään etenemään kuivasirotteen levi-
tykseen. Seuraavana käsitellään tarkemmin kuivasirotteen käytännön työtä.

Lattiavalun jälkeen, olosuhteista riippuen, aloitetaan varhaisjälkihoito esimerkiksi
jälkihoitoaineella tai muovikalvolla. Varhaisjälkihoidolla voidaan parantaa sirot-
teen tartuntaa betonipintaan. Ensimmäinen varsinainen työvaihe on avaushierto
levyhiertimellä, jolla saadaan betonin pinta hierrettyä auki ja kosteus nousemaan
betonin pintaan. Kosteus betonin pinnassa on välttämätön sirotteen tartunnan
kannalta. Hierron ajankohta tulee määrittää mahdollisimman tarkasti, jotta ei hier-
retä liian aikaisin tai liian myöhään. (BLY 16 n.d., 15, 17.)

Sirotteen levitys tulee suorittaa välittömästi avaushierron jälkeen. Levityksen suo-
rittamiseen löytyy erilaisia vaihtoehtoja, joita ovat esimerkiksi perinteinen kolale-
vitys (kuva 2) tai annosteluvaunulla levitys. Kun levitys on suoritettu ja sirotteen
pinta on kostunut, hierretään pinta. Toinen hierto aloitetaan, kun sirotteen pinta
on tummunut ja kosteus tulee sirotteen läpi. Toinen sirotekerros levitetään heti
toisen hiertokerran jälkeen, jotta sirotekerros saa imettyä kosteutta ensimmäi-
sestä sirotekerroksesta. Kun toinen kerros tummuu, niin pinta hierretään huolel-
lisesti ristiin kahteen kertaan. Pinta voidaan hiertää useammankin kerran, koska
hiertokertojen määrä vaikuttaa tiiveyteen. (BLY 16 n.d., 17–19.)



KUVA 2. Pintasirotteen kolalevitys betonipinnalle (Concra Oy n.d.)

Pinta viimeistellään siiveke- eli teräshierrolla. Menetelmää kutsumaan siivi-
tykseksi tai sliippaukseksi. Siivitys voidaan suorittaa viimeisen levyhierron jäljiltä,

kun pinta on päässyt kovettumaan lisää ja pinnalla oleva kosteus on ehtinyt haihtua. Riippuen halutusta pinnasta ja sen tasaisuudesta valitaan siivityskertojen määrä. Joka paikassa ei ole tarkoituksen mukaista saada täysin sileää pintaa. Hierron jälkeen aloitetaan jälkihoito. Jälkihoitoon voidaan käyttää esimerkiksi valmistajan ohjeen mukaan jälkihoitoainetta tai muovikalvoa. (BLY 16 n.d., 22–23.)

2.5 Kiiltohiottu betonilattia

Kiiltohiottu tai kiillotettu betonilattia (kuva 3) saadaan aikaiseksi hiomalla lattia märkähiontana hierrinkoneeseen kiinnitettävillä timanttilaikoilla. Nykyään markkinoilta löytyy monenlaisia tuotteita ja tekijöitä kiiltohiotuille betonilattioille ja niitä voidaan toteuttaa niin teollisuusrakennuksiin kuin omakotitaloihin. Lattiapinnan työstötavan ratkaisee, että mihin kohteeseen kiillotettu lattia halutaan. (Kiikkinen & Ahonen 2019.) Tässä työssä kiinnostuksen kohteena on mahdollisimman kiiltävä, kova ja hyvin kulutusta kestävä lattia.

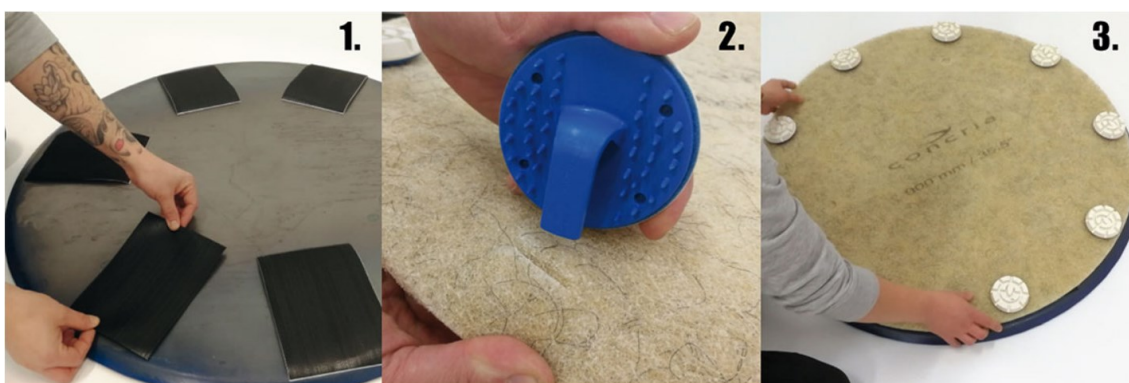


KUVA 3. Esimerkki kiiltohiotusta betonilattiasta (Concra Oy n.d.)

Yleisesti kiiltohiottu betonilattia voidaan toteuttaa asiakkaan toiveen mukaan niin kiillon kuin värisävyn puolesta ja kiiltohiointa voidaan tehdä myös vanhaan betonilattiaan. Kiiltohiointa tekee lattiapinnasta pölyttömän ja helppohoitoisen sekä lisää lattian kulutuskestävyyttä. (Ahonen & Kiikkinen 2019.)

Hionta- ja kiillotusluokilla voidaan määrittää minkälainen lopputulos lattiaan saadaan. Suomessa ei ole määritelty virallisia luokituksia hiotuille ja kiillotetuille lattioille. Esimerkkinä voidaan mainita Bermanto Oy, joka määrittelee valmiit lattiat kahdella eri kriteerillä, jotka ovat ulkonäkö ja kiiltoaste. Nämä koskevat vain puhtaalle betonipinnalle tehtyä käsittelyä. Ulkonäkö määrittää sen miten syvältä lattia hiotaan eli miten betonin isompi runkoaines näkyy pinnassa. Luokittelu tapahtuu kirjaimin A-C, jossa A on syvimmältä hiottu. Kiiltoaste määritellään numeroin 1-4 ja 1 on kiiltävin lattia. Kiiltoaste voi olla kiiltävä, puolikiiltävä, satiini tai matta. (Bermanto 360 Design-lattiat 2019, 4.)

Concra on kehittänyt patentoidun menetelmänsä kiiltohiotun betonilattian toteutukseen, joka sopii paljaan betonilattian hiontaan sekä kuivasirotteen käytön yhteyteen. Kyseistä menetelmää käytetään myös tämän työn tutkimusosuudessa. Tässä menetelmässä perinteisestä hierrinkoneesta saadaan tehtyä hiontakone. Hierrinkoneeseen asennetaan pesulaikka, jonka reunoilla on hiontatimantit (kuva 4). Hiontatimantteja löytyy eri karheuksilla välillä 25 – 3000. Hienoin pinta saadaan 3000 hiomatimanteilla, jolloin lopputulos on peilikiiltävä. (Ahonen & Kiikkinen 2019.)



KUVA 4. Concrian menetelmä kiiltohiotun betonilattian tekemiseen (Concria™ Fast System)

Betonilattian pölyämättömyyden ja helppohoitoisuuden saa aikaan hionnan yhteydessä käytettävät kemikaalit ja pintakäsittelyaineet. Suoja-aineeksi löytyy markkinoilta erilaisia tuotteita ja tuotteen valinnassa on tärkeä ottaa huomioon sen soveltuvuus kyseiseen tilaan. Pintakäsittely on tärkeä osa valmista pintaa

myös sirotteiden käytön yhteydessä. Usein pintakäsittelyaine on silikaattipohjainen liuos, joka muodostaa betonin sisältämän kalsiumin kanssa lujan ja kestäväen silikaattiyhdisteen. (Betoniteollisuus ry 2019.)

Useimmat sirotepintojen tekijät tekevät sirotepinnalle ainoastaan pintakäsittelyn jollakin kemikaalilla. Concrian käyttämässä menetelmässä, jolla myös tässä työssä tehdään sirotepinnaat, käytetään kemikaalia sirotekerrosten välissä ja ennen ensimmäistä sirotekerroksen levitystä. Käytettävä kemikaali on nanosilika, josta kerrotaan tarkemmin kappaleessa 2.6. Tällä Concrian sirotteen ja nanosilikan yhdistelmällä työskenneltäessä sirotelattia päästään hiomaan parhaimmillaan jo seitsemän päivän kuluttua valusta, jolloin se säästää rakennusaikana huomattavan määrän aikaa. Concria antaa omilla tuotteillaan tehdyille lattioille myös 20 vuoden takuun, mitä valmistajat eivät yleensä tarjoa. (Ahonen & Kiikkinen.)

2.6 Nanosilika

Tämän työn tarkoituksena on tutkia nanosilikan ($n\text{SiO}_2$) käyttöä kuivasirotteella toteutetun kiiltohiotun lattiapinnan yhteydessä. Silika on toiminut jo vuosikymmenten ajan betonin lisäaineena ja sen hyvistä vaikutuksista betonin lujuuteen on olemassa tutkimustietoa. Betonin lisäaineena käytettävä silika eli piidioksidi (SiO_2) reagoi sementin sisältämän kalsiumhydroksidin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kanssa muodostaen kalsiumsilikaattihydraattia (CSH), joka on betonin lujuuden kannalta tärkein yhdiste (Kronlöf, Vehmas & Anoshkin 2010, 37).

Betonilattioiden pintakäsittelyyn löytyy markkinoilta silikaattipitoisia nestemäisiä aineita. Aineet voivat olla esimerkiksi natriumsilikaatti tai litiumsilikaatti. Silikaatti muodostaa betonin pinnassa olevan kalsiumhydroksidin kanssa tiiviin pinnan likaa ja nesteitä vastaan, vähentää pölyävyyttä ja tekee lattiasta kulutusta kestävämmän. Silikaattikäsittely on mahdollista tehdä niin perusbetonipinnalle kuin sirotepinnallekin. (Bermanto silikaattikäsittely 2019, 2.)

Koko ajan kehittyvät tutkimusmenetelmät ja tekniikat ovat auttaneet ymmärtämään betonin sitoutumisreaktioita aina paremmin ja paremmin. Nanosilikan käyttö sementtipohjaisten tuotteiden kuten betonin yhteydessä on kasvattanut

kiinnostusta maailmalla ja tutkimuksia siihen liittyen tehdään jonkin verran. Tässä työssä käytettävä nanosilika (Concra Hard NS) on kolloidinen seos eli nanosilikapartikkelit ja vesi muodostavat seoksen. Concra Oy:n edustajien (Ahonen & Kiikkinen 2019) haastattelun perusteella ei ole tietoa, että joku toinen yritys vielä käyttäisi nanosilikaa sirotelattiapinnan yhteydessä Suomessa.

Nanopartikkeleilla kuten nanosilikalla on suuri reaktiopinta-ala suhteessa tilavuuteen. Tämän seurauksena nanosilika vähentää vapaan veden määrää betonissa, joten se vaikuttaa merkittävästi betonimassan ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Tutkimuksissa on tullut ilmi, että nanopartikkelit voivat vaikuttaa tyypillisesti lujuuteen, kestävyYTEEN ja kutistumaan. Nanosilikan lisäyksellä sementtiin voitaisiin mahdollisesti lisätä puristuslujuutta ja saada myös tiiviimpi mikrorakenne kovettuneelle betonille. Tiiviimpi mikrorakenne pienentäisi myös betonipinnan läpäisevyyttä. (Senff, Labrincha, Ferreira, Hotza & Repette 2009, 2487; Sikora, Lukowski, Cendrowski, Horszczaruk & Mijowska 2015, 140.) Tässä työssä tarkoituksena on käyttää nanosilikaa valetun betonilattian pinnassa ja tutkia parantaako se lattiapinnan ominaisuuksia.

3 TESTAUSMENETELMÄT

3.1 Betonimassan testausmenetelmät

3.1.1 Ilmamäärä

Tuoreen betonin ilmamäärän mittaus on tärkeä osa betonin laadunvalvontaa. Liian suuri ilmamäärä betonissa heikentää sen ominaisuuksia esimerkiksi lujuutta. Lattiabetonissa ilmanmäärä on tärkeä tieto sirotteen käytön kannalta sekä tietysti lattian lujuuden, säilyvyyden ja kulutuskestävyyden kannalta. Tavanomaisen rakennebetonin ilmamäärä on usein 1-2 % massan tilavuudesta. Ilmamäärä mitataan tuoreesta massasta siihen tarkoitettulla laitteella, joka on standardin EN12350-7 mukainen. (by 201 2018, 72.)

3.1.2 Painuma

Betonimassasta voidaan mitata painuma yksinkertaisen testin avulla. Testausmenetelmä on standardin SFS-EN 12350-2 mukainen. Painumakokeen perusteella tiedetään betonin notkeus. Painuma mitataan täyttämällä kartio tuoreella betonimassalla, joka sullotaan tiiviisti sauvan avulla. Täytetty kartio asetetaan tasan tasaiselle ja painumattomalle alustalle, jonka jälkeen kartio nostetaan pois. Sen jälkeen mitataan, kuinka paljon betoni painuu alkuperäisen kartion korkeudesta. (SFS-EN 12350-2 2019, 5.) Taulukosta 1 voidaan lukea mittaustuloksen perusteella betonin notkeusluokka.

TAULUKKO 1. Notkeusluokat (by 201 2018, 71)

Luokka	Standardin SFS-EN 12350-2 mukaisesti määritetty painuma (mm)
S1	10...40
S2	50...90
S3	100...150
S4	160...210
S5 ^{a)}	≥ 220
^{a)} Koska tiettyjen notkeusarvojen ulkopuolella testausmenetelmät eivät ole tarkkoja, suositellaan käytettäväksi muita menetelmiä.	

3.1.3 Puristuslujuus

Betonin tärkein ominaisuus on sen puristuslujuus. Betoni kestää puristusta erittäin hyvin, kun taas vetolujuus on betonilla vain noin 1/10 puristuslujuudesta. Betoni luokitellaan puristuslujuuden perusteella lujuusluokkiin. Betonin puristuslujuus mitataan tavallisesti 28 vuorokauden iässä, ja se määritetään eurokoodin mukaan joko kuutiokokeella tai lieriökokeella saaduilla mittaustuloksilla. Lieriötä käytettäessä halkaisija on 150 mm ja korkeus 300 mm. Kuution sivumitta on 150 mm. Koekappaleet valmistetaan standardin SFS-EN 12390-1 (2013, 8) mukaisilla muoteilla ja valmistus suoritetaan standardia SFS-EN 12390-2 (2019, 6) noudattaen. Mittaukset tehdään standardin SFS-EN 12390-3 (2019, 6) mukaisesti.

3.2 Betonilattian testausmenetelmät

3.2.1 Kimmovasara

Kimmovasaralla saadaan mitattua tutkittavasta betonista lujuus mittaushetkellä rakennetta rikkomatta. Kimmovasara asetetaan tutkittavaa betonipintaa vasten ja jousella viritetty vasara laukaistaan betonin pintaan. Tulos perustuu vasaran takaisinponnahdukseen, jonka matkan laite mittaa. (SFS-EN 12504-2 2013, 4.) Kuvassa 5 on esitetty kimmovasara.

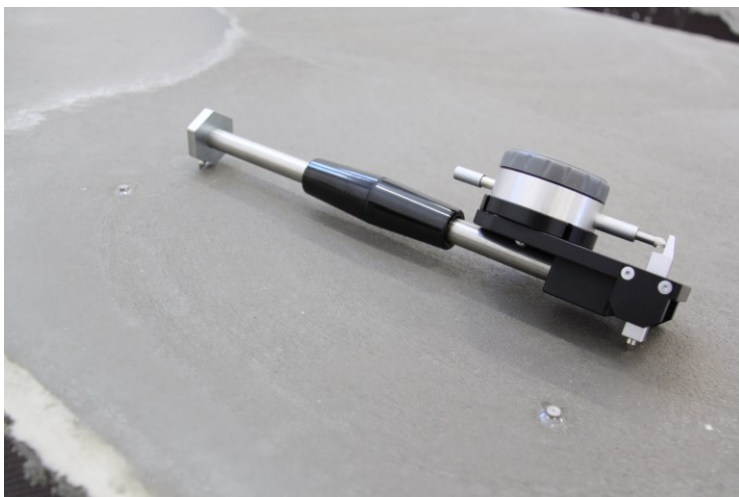


KUVA 5. Kimmovasara

Mittaus vaatii vähintään 9 iskua, joista lasketaan mediaani. Sarja on kelvoton, jos enemmän kuin 20 % luvuista eroaa mediaanista enemmän kuin 6 yksikköä. Yksittäisten iskukohtien on oltava vähintään 25 mm päässä toisistaan. (SFS-EN 12504-2 2013, 6.)

3.2.2 Kutistuma

Betonin pinnasta voidaan mitata kutistuma liimaamalla betonin pintaan pienet nastat ja mittaamalla nastojen etäisyys toisistaan. Kuvassa 6 on esitetty mittalaite ja nastat, joita tässä työssä käytetään. Tämä menetelmä ei ole standardin mukainen.



KUVA 6. Kutistumamittaukseen käytetty laite ja mittausnastat

3.2.3 Kosteuden mittaus

Kosteusmittauksen avulla voidaan selvittää miten betoni on valun jälkeen kuivunut. Tässä työssä kiinnostuksen kohteena on laattojen kuivumisnopeudet toisiinsa verrattuna. Mittaukset suoritetaan porareikämittauksena RT 14-10984 (2010) ohjekortin mukaan. Mittaukset tehdään kahdelta eri syvyydeltä. Mittaus-syvyydet määräytyvät betonilaatan paksuuden ja rakenteen mukaan.

3.2.4 Sirotteen tartuntavetolujuus

Tartuntavetolujuuden mittauksella saadaan tietoa miten hyvin sirote on tarttunut betonipintaan. Menetelmällä voidaan määrittää vetolujuus suoraan rakenteesta tai ottamalla rakennekoekappaleet, ja tekemällä testaus laboratoriossa. Betonin pintaan liimataan vetokappale, joka kiinnitetään vetolaitteeseen (kuva 7). Laite vetää vetokappaletta suoraan ylöspäin. Murtumakohdasta riippuen nähdään, että onko sirotepinta tarttunut alustaan riittävän hyvin ja ylittääkö sirotepinnan vetolujuus betonin vetolujuuden. Jos murtuminen tapahtuu liimakohdasta, niin tulos hylätään. (SFS 5446 1988, 2.) Tartuntavetolujuuden tulisi olla tässä työssä testattavilla pinnoitteilla $\geq 1,5$ Mpa (by 45 2018, 45.)



KUVA 7. Tartuntavetolujuuden mittaukseen käytettävä välineistö

3.2.5 Kulutuskestävyys

Lattiapinnan kulutuskestävyyteen vaikuttaa olennaisesti lattian käyttö ja siihen liittyvät rasitukset kuten mekaaninen kulutus, iskut ja puhdistustiheys. Kulutuskestävyyteen betonilattiassa voidaan vaikuttaa huolellisella pinnan hierrolla ja viimeistelyllä, oikeanlaisen betonin valinnalla sekä riittävän pitkällä jälkihoidolla. Kulutuskestävyyttä voidaan parantaa käyttämällä esimerkiksi kuivasirotetta lattian pintamateriaalina. (by 45 2018, 172.)

Kulutuskestävyyttä voidaan mitata standardin SFS-EN 13892-3 (2015, 6-9) mukaisella laboratoriossa suoritettavalla Böhme-testillä sekä standardin SFS-EN 13892-4 (2003, 4-7) mukaisella BCA-testillä. Kulutuskestävyydellä tarkoitetaan

testauslaitteen aiheuttamaa kulumista betonipinnalla. Kulutuskestävyyden mittausta voidaan tehdä pinnoitetusta betonipinnasta silloin, kun pintakäsittelyn on tarkoitus parantaa kulutuskestävyyttä. (by 45 2018, 21.)

3.2.6 Böhme-testi

Böhme-testi on yleinen kuivasirotteiden kulutuskestävyyden testausmenetelmä ja soveltuu siksi myös hyvin sirotepintaisten lattioiden testaamiseen. Kokeella saadaan kuvattua hyvin sementtipohjaisten ja kovia runkoaineita sisältävien pintojen kestävyyttä hiovaa, pyörivää ja iskevää rasitusta vastaan. Böhme-testi on nykyään yleisin betonilattiapintojen kulutuskestävyyden mittausmenetelmä Euroopassa. Koe tehdään laboratoriossa ja sitä varten tarvitaan halutusta kohteesta 71 mm särmäisiä kuutioita. Pinnan, jolle koe tehdään, tulee olla vaakasuora. Kuluminen ilmoitetaan tilavuuden muutoksena ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$). Taulukossa 2 on esitetty supistettu versio Böhme-testauksen kulutuskestävyyssarvoista. (by 45 2018, 22)

TAULUKKO 2. Böhme-testin kestävyysluokittelu (by 45 2018, 23, muokattu)

Kulutuskestävyysluokka	Esimerkki lattian kuormituksesta	Böhme-luokitus: sallittu kuluminen ($\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$)
1	Erittäin raskaan teollisuuden trukkikuormitus, jalankulkuliikenne yli 1000 hlö/päivä	≤ 6 (A6) ≤ 3 (A3), kun kuormitus on iskevä tai laahaava
2	Raskas metalliteollisuus, jalankulku 100...1000 hlö/päivä	≤ 9 (A9)
3	Ilmatäytteiset kumipyörät, jalankulku alle 100 hlö/päivä	≤ 12 (A12)
4	Kevyesti liikennöidyt ja kuormitetut tilat	≤ 15 (A15)

3.2.7 BCA-testi

BCA-testi (determination of wear resistance) voidaan tehdä paikan päällä valmiista lattiasta. Testi on kehitetty Englannissa ja sitä käytetään siellä betonilattioiden kulutuskestävyyden arvioinnissa. Koe muistuttaa VTT:n kehittämää teräspyöräkoetta mutta on huomattavasti kevyempi kuin VTT:n menetelmä. Menetelmässä mitataan laitteen kolmen pyörän aiheuttamaa kulumaa betonilattiassa. (by 45 2014, 22.) Kulutuskestävyys määritellään taulukon 3 mukaisesti.

TAULUKKO 3. Standardiin BS 8204-2:2002 perustuva lattian kulutuskestävyysluokitus (by 45 2014, 22).

Luokka	Rasitustyyppi	Toiminta	Sallittu kuluminen (mm)
AR0,5 (special)	Erittäin voimakas kulutus, teräs-, nailon tai neopreenipyöräinen trukki liikenne tai laahausrasitus	Jätteenkäsittelylaitokset, terästehtaat raskas konepajateollisuus ja hyvin intensiivisessä käytössä olevat varastot	0,05
AR1	Hyvin voimakas kulutus, teräs, nailon- tai neopreenipyörien liikenteestä, tai iskukuoritus. Kumipyöräinen trukki liikenne alueilla, jossa lattialla on hankaavaa materiaalia.	Raskas teollisuus ja intensiivisessä käytössä olevat varastot	0,1
AR2	Voimakas kulutus, nailon tai neopreenipyöräinen liikenne	Keskiraskas teollisuus ja liikerakennukset	0,2
AR4	Kohtalainen kulutus, kumipyöräliikenne	Kevyt teollisuus ja liikerakennukset	0,4

3.2.8 Lattian karheus

Betonilattiassa määriteltyjä laatutekijöitä ovat suoruus, kulutuskestävyys ja halkeamaleveys. Näiden lisäksi lattiasta voidaan tehdä muitakin ns. määrittelemättömiä laatumittauksia. Yksi meillä Suomessa määrittelemätön laatutekijä on pinnan karheus (RA, roughness of average). Karheus vaikuttaa lattian kiiltoasteeseen. Mitä sileämpi lattia, sen kiiltävämpi. Karheus saadaan mitattua helposti ja nopeasti siihen tarkoitettulla mittalaitteella. Amerikassa karheus on laatutekijä, jolle löytyy myös standardi. Mitä pienempi karheuden arvo, sen sileämpi lattia. (Ahonen & Kiikkinen, 2019.)

3.2.9 Lattian heijastavuus

Heijaustuksen (DOI, distinctness of image) mittauksella saadaan mitattua lattiasta sen valonheijastuskykyä. Joissakin tiloissa halutaan saada mahdollisimman kiiltävä ja heijastava lattia. Heijastavuus voidaan mitata yksinkertaisesti siihen tarkoitettulla mittalaitteella. Lattian heijastavuus ja karheus kulkevat käsi kädessä sillä mitä sileämpi lattia, sen paremmin se heijastaa valoa. Suomessa lattian heijastavuus on määrittelemätön laatutekijä, mutta Amerikassa heijastavuudelle löytyy standardiarvot. (Ahonen & Kiikkinen, 2019.)

4 VALU- JA TESTAUSMENETTELY

Työn tarkoituksena oli tutkia nanosilikan vaikutusta kiiltohiotun ja kuivasirotteella pinnoitetun lattian ominaisuuksiin ja nanosilikan toimimista jälkihoitoaineena. Lisäksi tutkimuksen kohteena oli nanosilikan vaikutus jo kovettuneen betonipinnan ominaisuuksiin silloin, kun nanosilika lisätään betonin saavutettua 28 päivän iän. Tutkimusta varten oli suunniteltu Concria Oy:n toimesta yhdeksän erilaista koevalua, joista päästiin mittamaamaan haluttuja ja tutkimuksen kannalta oleellisia tietoja.

4.1 Koevalujen järjestelyt

Koevalut suoritettiin Concrian tiloissa Ylöjärvellä 5.3.2019. Koevalut ja pinnoitukset kuivasirotteella suoritti Concrian työntekijät, joilla on vuosien kokemus betonilattioiden tekemisestä ja kuivasirotteen käytöstä. Koevalut suoritettiin tavanomaisella lattiabetonilla. Valut tehtiin hallissa, jossa olosuhteet olivat mahdollisimman stabiilit. Kuvassa 8 on esitetty laatikot, joihin valut tehtiin. Laatikoihin laitetiin myös lämpötila-anturit.



KUVA 8. Koevalujen laatikot valmiina

Taulukossa 4 on kerrottu erilaiset pinnat, jotka valuihin tehtiin. Valupinnat on numeroitu ja jatkossa niihin viitataan ko. numerolla. Pinnat olivat suunniteltu

Concrian työntekijöiden toimesta niin, että saataisiin mahdollisimman paljon vertailua nanosilikan vaikutuksista sekä vertailutuloksia Concrian ja kilpalevan sirotteen välillä. Kaikki valupinnat olivat kooltaan 1,0 m kertaa 1,2 m ja niiden paksuus oli 10 cm. Tilatun betonin tiedot ovat lueteltu alla:

- lujuus C30/37
- ei notkistimia, vesimassa
- max. raekoko 16 mm
- plussementti
- notkeus S3
- lämpötila 20 °C
- määrä 1,5 m³.

Sirotteena työssä käytettiin kahta eri sirotetta, jotka olivat Concrian sirote (Optimal Slab™) ja BASF Mastertop 100 -sirote. Sekä Concrian sirote että BASF Mastertop 100 -sirote ovat runkoaineeltaan kvartssia. Nanosilikana käytettiin Concrian omaa Concria Hard NS -tuotetta.

TAULUKKO 4. Valujen yhteydessä tehdyt pinnat

NRO	PINTA
1	Jälkihoidettu muovilla, 28 päivän päästä pintaan laitetaan litiumsilika
2	Jälkihoidettu muovilla, 28 päivän päästä pintaan laitetaan natriumsilika
3	Jälkihoidettu muovilla, 28 päivän päästä pintaan laitetaan nanosilika
4	Ilman jälkihoitoa
5	Jälkihoidettu Concria Hard NS
6	Concrian sirote, 12 kg/m ² , Concria Hard NS
7	Mastertop 100 sirote, 4 kg/m ² , jälkihoito muovilla
8	Mastertop 100 sirote, 4 kg/m ² , Concria Hard NS, jälkihoito muovilla
9	Mastertop 100, 12 kg/m ² , jälkihoito muovilla

4.2 Valutyöt ja pintojen teko

Valutyöt aloitettiin aamulla klo 8.25 ja kaikki pinnat olivat valmiina ja jälkihoito aloitettu illalla klo 20.00. Hallissa lämpötila oli valujen alkaessa 20,2 °C ja lämpötila hallissa pysyi valujen jälkeen ja jälkihoidon aikana noin 16 °C tuntumassa. Hallin olosuhteita ei erikseen seurattu, koska kaikki koevalut olivat koko ajan keskenään samoissa olosuhteissa. Kaikki laatikot valettiin oikeaan valupintaan, vibrattiin ja tasoitettiin linjarilla. Laattoihin, joissa käytettiin nanosilikaa, ruiskutettiin nanosilika heti linjeroinnin jälkeen ja pinta suljettiin varsiliipillä. Valut jätettiin sitoutumaan ja odotettiin, että pinnat ovat valmiit työstettäväksi. Jotta pinta voitiin hiertää, pitää betonin olla riittävän sitoutunut. Nyrkkisääntönä yleisesti pidetään, että pintaan voi jäädä noin 5 mm painauma, kun siihen astutaan kengällä.

Valut 1,2,3 ja 4 hierrettiin kahteen kertaan ja siivitettiin kolmella eri kerralla, että pinnasta saatiin riittävän tasainen. Valut 1,2,3 jälkihoidettiin muovilla ja valusta 4 jätettiin jälkihoito kokonaan tekemättä.

Valuun 5 ruiskutettiin nanosilika heti linjeroinnin jälkeen ja pinta suljettiin varsiliipillä (kuva 9). Seuraavaksi pinta hierrettiin kahteen kertaan ja heti molempien hieertojen jälkeen pintaan ruiskutettiin nanosilika. Pinta siivitettiin kolmella eri kerralla ja lopuksi pintaan ruiskutettiin nanosilika, joka toimi jälkihoitoaineena.



KUVA 9. Pinnan sulkeminen varsiliipillä

Valussa 6 pinta tehtiin Concrian sirotteella. Heti linjeroinnin jälkeen pintaan ruiskutettiin nanosilika ja pinta suljettiin varsiliipillä. Avaushierron jälkeen pintaan levitettiin ensimmäinen sirotekerros (kuva 10). Koska sirotetta tuli 12 kg/m^2 , täytyi se levittää kahdessa kerroksessa. Sirotetta levitettiin $7,2 \text{ kg/kerros}$. Kosteuden annettiin tulla sirotepinnan läpi, jonka jälkeen pinta hierrettiin. Hierron jälkeen pintaan levitettiin nanosilika ja heti perään toinen sirotekerros. Kosteuden annettiin taas nousta sirotekerroksen läpi, jonka jälkeen pinta hierrettiin. Hierron aikana pintaan lisättiin nanosilikaa, jotta pinta oli tarpeeksi kostea. Pinnan siivitys aloitettiin, kun betoni oli riittävän sitoutunut. Siivitys tehtiin kahdella eri kerralla ja lopuksi pintaan ruiskutettiin nanosilika jälkihoitoaineeksi.



KUVA 10. Pintasirotteen levitys

Valussa 7 pinta tehtiin ns. perinteisellä kuivasirotepinnan valmistamismenetelmällä. Avaushierron jälkeen pintaan levitettiin kuivasirotetta $4,8 \text{ kg}$. Kosteuden annettiin tulla kuivasirotteen läpi, jonka jälkeen pinta hierrettiin kahdella eri kerralla. Siivitys tehtiin kahdella eri kerralla ja jälkihoidoksi pinnalle levitettiin muovi.

Valulle 8 pinta tehtiin perinteisellä kuivasirotteella mutta siihen yhdistettiin myös nanosilika. Heti linjeroinnin jälkeen pintaan ruiskutettiin nanosilika ja pinta suljettiin varsiliippauksella. Avaushierron jälkeen pintaan levitettiin $4,8 \text{ kg}$ sirotetta. Kosteuden annettiin nousta sirotteen pintaan, jonka jälkeen pinta hierrettiin. Heti hierron jälkeen pintaan ruiskutettiin nanosilika. Pinta hierrettiin vielä kerran ennen siivitystä. Pinta siivitettiin kahdella eri kerralla. Siivitysten jälkeen pintaan ruiskutettiin nanosilika ja jälkihoito tehtiin muovilla.

Valulle 9 pinta tehtiin perinteisellä kuivasirotteella ja perinteisellä menetelmällä. Heti avaushierron jälkeen pintaan levitettiin 7,2 kg sirotetta. Kosteuden annettiin nousta sirotekerroksen läpi, jonka jälkeen pinta hierrettiin. Heti hierron jälkeen pintaan lisättiin toinen 7,2 kg kerros sirotetta. Yleensä sirotetta käytetään 4-6 kg/m² ja toisen kerroksen kanssa huomattiin, että kosteus ei nouse riittävästi sirotteen pintaan. Hierron yhteydessä pinta paloi (kuva 11), joten pintaan oli pakko lisätä vettä, että hierto saataisiin tehtyä. Toisen kerroksen hierron jälkeen pinta siivitettiin kahdella eri kerralla ja jälkihoidoksi valun päälle levittiin muovi.



KUVA 11. Hierron yhteydessä pinta paloi

4.3 Betonimassan testaukset

Betonille tehtiin heti valujen yhteydessä mittauksia, joissa tutkittiin ilmamäärä, lämpötila ja painuma. Lisäksi tehtiin kolme koekappaletta, jotka tehtiin lieriömuotteihin. Koekappaleet säilytettiin ja testattiin Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Betonitehtaalla massasta mitattiin myös painuma, lämpötila sekä otettiin koekappaleet. Kuvassa 12 on esitetty testausmenettelyä.



KUVA 12. Tuoreen betonimassan ilmamäärän ja painuman mittaus sekä koekappaleiden valmistus

4.4 Koepintojen testaukset

Valettujen ja kovettuneiden laattojen pinnoista tehtiin testauksia erillisen suunnitelman mukaan. Taulukossa 5 on esitetty kaikki mittaukset, jotka koepinnoille tehtiin. Jälkihoitoaika oli kaikissa laatoissa yhtä pitkä eli 28 päivää. Mittaushetket on ilmoitettu tunteina tai vuorokausina. Pinnoista käytetään numeroarvoja, jotka ovat esitetty aiemmin taulukossa 4. Mittausten kanssa ilmeni teknisiä ongelmia ja niitä on käytä läpi tarkemmin kappaleessa 5.1.

TAULUKKO 5. Tehdyt mittaukset

Mittaus	Mittaushetki	Koepinnat
Kutistuma	9 d, 17 d, 28 d	4, 5, 6, 7, 8
Kimmovasara	36 h, 60 h, 84 h, 8 d, 28 d	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9
Tartuntavetolujuus	28 d, 36 d	4, 5, 6, 7, 8, 9
Kosteusmittaus	28 d, 70 d	4, 5, 6

5 TULOKSET

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää nanosilikan vaikutusta betonipinnan ominaisuuksiin kuivasirotteen käytön yhteydessä. Lisäksi kiinnostuksen kohteena oli, että toimisiko nanosilika jälkihoitoaineena betonin pinnassa ilman erillistä muovikalvoa. Vertailua haluttiin tehdä myös kilpailevan sirotteen kanssa ja testata, että miten nanosilika toimii ko. tuotteen kanssa.

Sirotepinnoilla toteutettujen koelaattojen pinnat oli alun perin tarkoitus hioa Concrian omalla tekniikalla, kuten kiiltuhiottu betonilattia hiottaisiin. Tehtyjen mittausten lisäksi alkuperäisen suunnitelman mukaan oli tarkoitus tehdä mittaukset myös kulutuskestävyydestä, pintojen karheudesta sekä heijastavuudesta. Ilman näitä tuloksia ei voida tehdä yhtä kattavaa tarkastelua pintojen ominaisuuksista kuin alun perin oli tarkoitus. Lisäksi tarkoitus oli testata nanosilikan, litiumsilikan ja natriumsilikan mahdollisia eroja laatan pinnassa, kun aine lisätään 28 vuorokauden jälkihoidon jälkeen. Nämä testaukset jäivät myös kokonaan tekemättä.

5.1 Ongelmat mittauksissa

Muutamissa mittauksissa ilmeni matkan varrella ongelmia. Kutistuma haluttiin mitata alunperin laatoista numero 4,5,6,7 ja 8. Laatan 5 nastat irtosivat ensimmäisen mittauksen yhteydessä, joten siitä laatasta ei saatu tuloksia ollenkaan. Nastojen pysyminen kiinni oli ongelmana muissakin laatoissa. Laatasta 4 nastat olivat irronneet ennen viimeistä mittausta. Laattojen 7 ja 8 nastat irtosivat heti liimausta seuraavana päivänä ja ne kiinnitettiin uudelleen niin, että betoniin tehtiin nastan kokoinen pieni kolo ja nasta liimattiin koloon. Laattojen 7 ja 8 tulokset eivät tästä johtuen ole vertailukelpoisia laattojen 4 ja 6 kanssa.

Kimmovasaramittauksissa tulokset on koottu kolmen eri henkilön tekemistä mittauksista, johtuen aikatauluongelmista mittausten suhteen. Tulosten pitäisi kuitenkin olla vertailukelpoisia, sillä mittaukset tehtiin samalla kimmovasaralla ja jokaisella henkilöllä oli tieto, että miten mittaukset tuli suorittaa.

Tartuntavetolujuuksia mitatessa laattoja ei ollut hiottu ollenkaan, minkä takia laattojen pinnoista irtosi vedettäessä vain pintakerroksen sementtiliima (kuva 13). Päätettiin, että laatat hiotaan ja mittaukset tehdään kokonaan uudestaan. Mittaustulokset tartuntavetolujuuksille on koostettu uusintamittauksista.



KUVA 13. Ensimmäisissä tartuntavetolujuuden mittauksissa pinnasta irtosi vain sementtiliima

5.2 Mittaustulokset ja tulosten tarkastelu

Tuoreesta betonimassasta otettujen mittausten perusteella saatiin varmistettua, että valuihin käytetty massa täytti ne kriteerit, jotka sille alussa asetettiin ja koekappaleista saatujen puristuslujuuksien tulosten perusteella saatiin varmistettua, että lujuus oli sitä mitä piti. Taulukossa 6 on esitetty tuoreen betonimassan mittauksista saadut tulokset ja taulukossa 7 koekappaleille mitatut puristuslujuudet.

TAULUKKO 6. Tuoreen betonimassa mittaustulokset

	Lämpötila (°C)	Painuma (cm)	Ilmamäärä (%)
Tehtaalla	19,9	12	-
Testaustiloissa (Concra)	16,4	12	1,1

TAULUKKO 7. Koekappaleiden puristuslujuudet

	Betonin puristuslujuus $f_{ck,cube}$ (Mpa)		
Tehtaalla	47,7	48,9	48
Tamkin laboratoriossa	43,7	44,4	45,0

Taulukossa 8 on esitetty kimmovasaralla saadut mittaustulokset betonilaattojen pinnoista.

TAULUKKO 8. Kimmovasaran mittaustulokset

	Koevalun numero, lujuus (Mpa)						
Mittaushetki	1	4	5	6	7	8	9
36 h	15	18	15	37	27	27	30
60 h	18	24	21	44	30	30	37
84 h	21	24	21	44	34	34	37
8 d	27	27	24	56	34	37	40
28 d	34	34	30	56	40	40	48

Kimmovasaralla saatiin mitattua koelaattojen pinnoista lujuuden arvoja. Mittaukset haluttiin aloittaa heti, kun betoni olisi riittävän lujaa luotettavien mittaustulosten saamiseksi. Ensimmäisistä mittauksista lähtien nähtiin, että laatta 6, joka on pinnoitettu Concrian omalla sirotteella (12 kg/m^2), oli pinnasta mitattujen arvojen perusteella lujin. Toiseksi parhaat arvot mittauksissa sai kilpaileva Mastertopin sirote, jota oli levitetty laatan pintaan myös 12 kg/m^2 (laatta 9). Tämän perusteella voidaan olettaa, että sirotepinnan paksuudella on merkitystä pinnan lujuuteen.

Kimmovasaromittaukset tukevat Concrian lupausta siitä, että heidän sirotteellaan ja nanosilikalla toteutettu pinta olisi hiottavissa jo seitsemän päivän kuluttua pinnan teon jälkeen. Laatan 6 kimmovasaratulokset olivat samaa mittaushetkellä 8 d ja 28

d. Sen perusteella voidaan sanoa, että pinta olisi valmis hiottavaksi jo noin 7 vuorokauden kuluttua 30 vuorokauden sijasta ja näin ollen säästettäisiin aikaa ja rahaa.

Kimmo- ja värähtelytulosten perusteella voitiin tehdä vertailua myös siitä, että vaikuttaako nanosilikan käyttö pinnan lujuuteen. Mastertopin sirotteella tehtiin laatat (nro 7 ja 8), joissa oli sama määrä sirotetta mutta toisessa oli käytetty sirotteen kanssa nanosilikaa. Tuloksista nähdään, että kimmo- ja värähtelytuloksilla saadut lujuudet ovat molemmissa samat, joten nanosilika ei ainakaan tässä tapauksessa vaikuttanut pinnan lujuuteen sirotteen käytön yhteydessä.

Kimmo- ja värähtelymittauksia tehtiin myös laatalle, jolle ei ollut tehty jälkihoitoa ollenkaan (laatta 4) sekä laatoille, joissa jälkihoito oli tehty muovilla (laatta 1) tai nanosilikalla (laatta 5). Nanosilikalla jälkihoidetun laatan lujuuden arvot olivat 28 vuorokauden tarkastelujakson aikana kaikista heikoimmat. Tämän perusteella ei voida sanoa, että nanosilika, ainakaan näin lyhyellä tarkastelujaksolla, lisää betonipinnan lujuutta.

Mittaustulokset kutistumalle on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Kutistumamittausten tulokset

	Koevalun numero, kutistuma (mm)			
Mittaushetki	4	6	7	8
7 d	0,084	0,091	0,011	0,011
17 d	0,037	0,03	0,005	0
28 d	-	0,031	0,071	0,08
Yhteensä	0,121	0,152	0,087	0,091

Laattojen pintojen kutistumaa havainnointiin silmämääräisesti sekä kutistumamittausten perusteella. Laatoista jätettiin raudoitukset kokonaan pois, että kutistuma saataisiin mahdollisimman isoksi. Plastinen halkeilu voidaan havaita laatan pinnasta silmämääräisesti tarkasteltuna. Yhdessäkään laatussa ei havaittu halkeamia. Kutistumamittauksissa olleiden ongelmien vuoksi ei voida tehdä kunnol-

lista vertailua kutistumien suhteen. Jälkihoitamattoman (laatta 4) ja Concrian sirotteella pinnoitetun laatan (nro 6) välillä nähdään kahden ensimmäisen mittauksen perusteella, että kutistumista on tapahtunut yhtä paljon. Laatat, joihin kutistumanastat ”upotettiin” (laatat 7 ja 8) ovat myös kutistuneet keskenään saman verran, joten eroja ei näiden mittausten pohjalta saatu esiin.

Laatoista 4, 5 ja 6 tehtiin kosteusmittaukset ja niiden tulokset on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Kosteusmittausten tulokset

		Mittaushetki					
		28 d	70 d	28 d	70 d	28 d	70 d
Pinta	Laatan numero	4	4	5	5	6	6
	Lämpötila (°C)	22,5	21,9	22,3	21,9	22,6	22,1
	Suhteellinen kosteus (%)	73,9	64,2	71,2	63,4	81,5	74,2
	Absoluuttinen kosteus (g/m ³)	14,82	12,43	14,14	12,27	16,4	14,49
Syvä							
	Lämpötila (°C)	22,6	22	22,3	21,9	22,4	22
	Suhteellinen kosteus (%)	85,2	76,5	85,1	76,6	87,6	79,3
	Absoluuttinen kosteus (g/m ³)	17,22	14,86	16,83	14,83	17,42	15,46
	Mittaushetkellä hallissa	28 d	70 d				
	Lämpötila (°C)	22,7	22,4				
	Suhteellinen kosteus (%)	27,8	36,9				
	Absoluuttinen kosteus (g/m ³)	5,64	7,36				
	Mittaushetkellä ulkona	28 d	70 d				
	Lämpötila (°C)	6,9	9,5				
	Suhteellinen kosteus (%)	43,9	38,7				
	Absoluuttinen kosteus (g/m ³)	3,38	3,53				

Kosteusmittaukset tehtiin, koska haluttiin nähdä, että vaikuttaako nanosilikan käyttö kuivumisnopeuteen. Laatoissa 4 ja 5 tulokset ovat hyvin samanlaisia, joten nanosilikan lisäys (laatta 5) ei ole vaikuttanut kuivumisnopeuteen kummassakaan mittaussyvytydessä 70 vuorokauden tarkastelujakson aikana. Concrian sirotteella päällystetyssä laatussa (laatta 6), jossa käytettiin myös nanosilikaa, on hieman

isommat kosteuden arvot. Tässä tapauksessa ei kuitenkaan voida todeta, että juuri nanosilika olisi aiheuttanut hitaamman kuivumisprosessin vaan voidaan olettaa, että pintasirote on vaikuttanut kuivumisnopeuteen.

Suoraan laatoista tehtyjen tartuntavetolujuuksien mittauksista saadut numeroarvot on esitetty taulukossa 11. Mittalaitteen vetokapasiteetti oli 3 Mpa. Jokaiselle laatalle tehtiin kolme mittausta. Lisäksi Concrian sirotteella pinnoitetusta laatasta (nro 6) porattiin kaksi koekappaletta, jotka testattiin Tamkin laboratoriossa. Laatan 6 koekappaleille saatiin tartuntavetolujuudeksi 2,9 ja 3,0 Mpa.

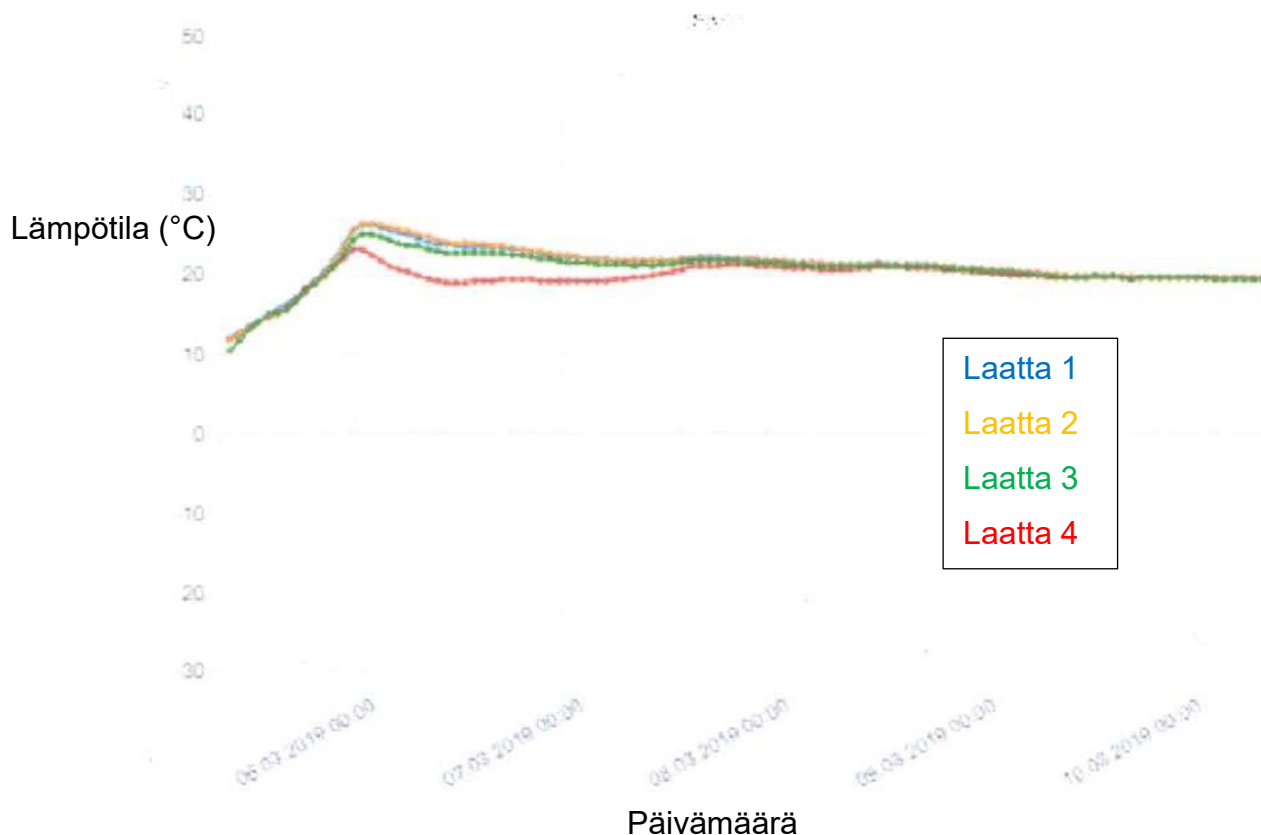
TAULUKKO 11. Tulokset tartuntavetolujuuden mittauksesta suoraan laatoista

Laatan numero/näyte	Vetolujuus vetonapille (Mpa)
4/1	1,27
4/2	1,1
4/3	1,35
5/1	1,17
5/2	1,26
5/3	1,49
6/1	2,62
6/2	2,34
6/3	> 3
7/1	2,79
7/2	2,47
7/3	3,06
8/1	> 3
8/2	2,91
8/3	3,05
9/1	2,85
9/2	> 3
9/3	> 3

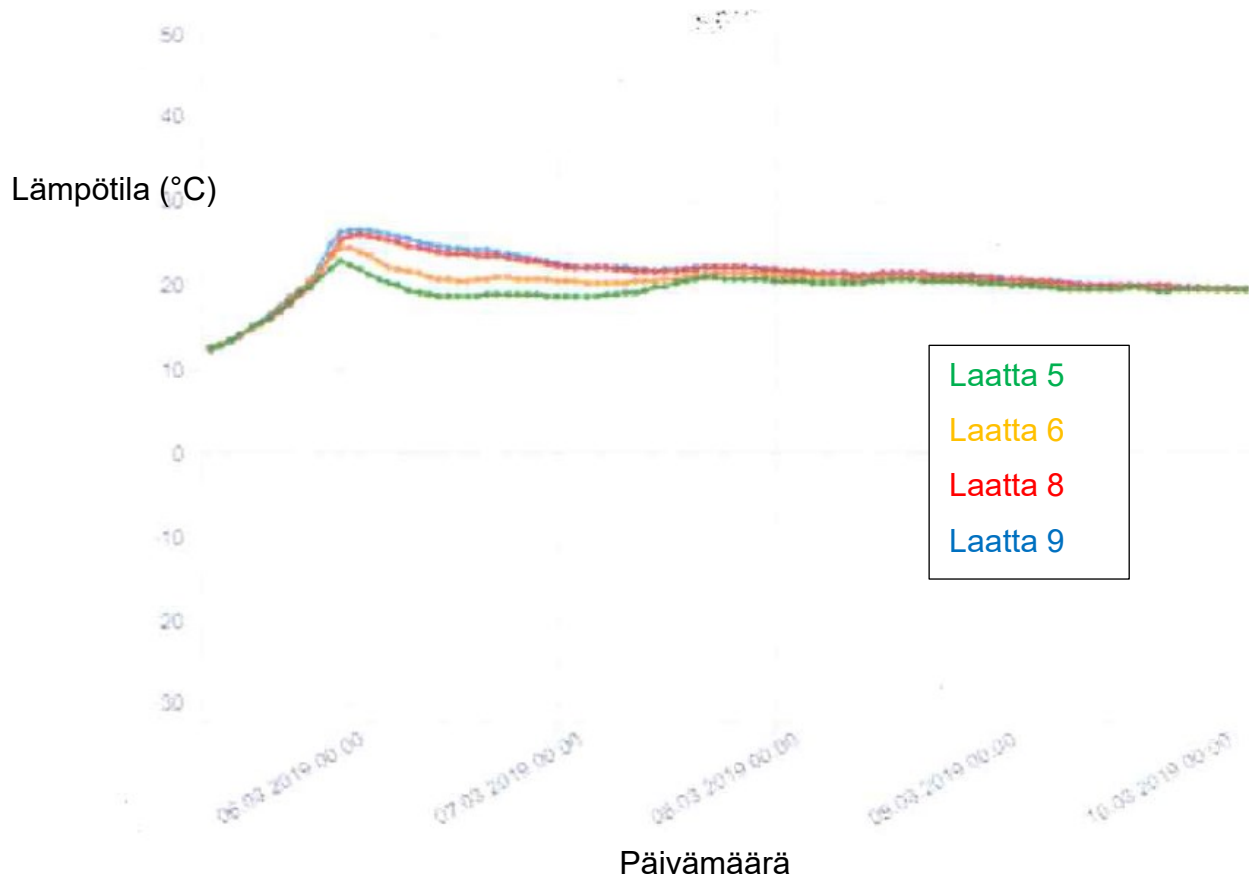
Tartuntavedoilla haluttiin testata sirotepinnan tartuntaa betoniin ja myös pelkän betonin vetolujuutta. Kaikilla pinnoitteilla tartuntalujuudet ylittivät arvon 1,5 Mpa, eli kaikille saatiin hyvät tulokset. Murtokohdat pinnoitteissa olivat pääsääntöisesti noin 1-2 mm syvyydellä, eli murto tapahtui pinnoitteen kohdalta ja tartunta betoniin on ollut erittäin hyvä. Puhtaassa betonipinnassa vetolujuudet olivat hieman yli 1 Mpa. Tämän perusteella voidaan sanoa, että sirotteet lisäävät vetolujuutta betonipinnassa.

Parhaimmat tulokset tartuntavedoille sirotepinnoista sai Mastertopin sirote, jota oli käytetty 12 kg/m² (laatta 9). Myös kaksi muuta Mastertopin sirotteella päällystetty laattaa (nro 7 ja 8) saivat paremmat tulokset, kuin Concrian sirotteella tehty pinta (laatta 6). Kaikkien sirotteiden osalta voidaan kuitenkin sanoa, että niille saatiin erinomaiset tartuntavetolujuudet eikä lujuuksissa ollut suuria eroja.

Valulaatikoihin oli asennettu lämpötila-anturit ennen valuja. Kuvioissa 1 ja 2 on esitetty lämpötilakäyrät ajanjaksolle 6-10. maaliskuuta.



KUVIO 1. Lämpötilakäyrät laatoille 1-4



KUVIO 2. Lämpötilakäyrät laatoille 5,6,8 ja 9

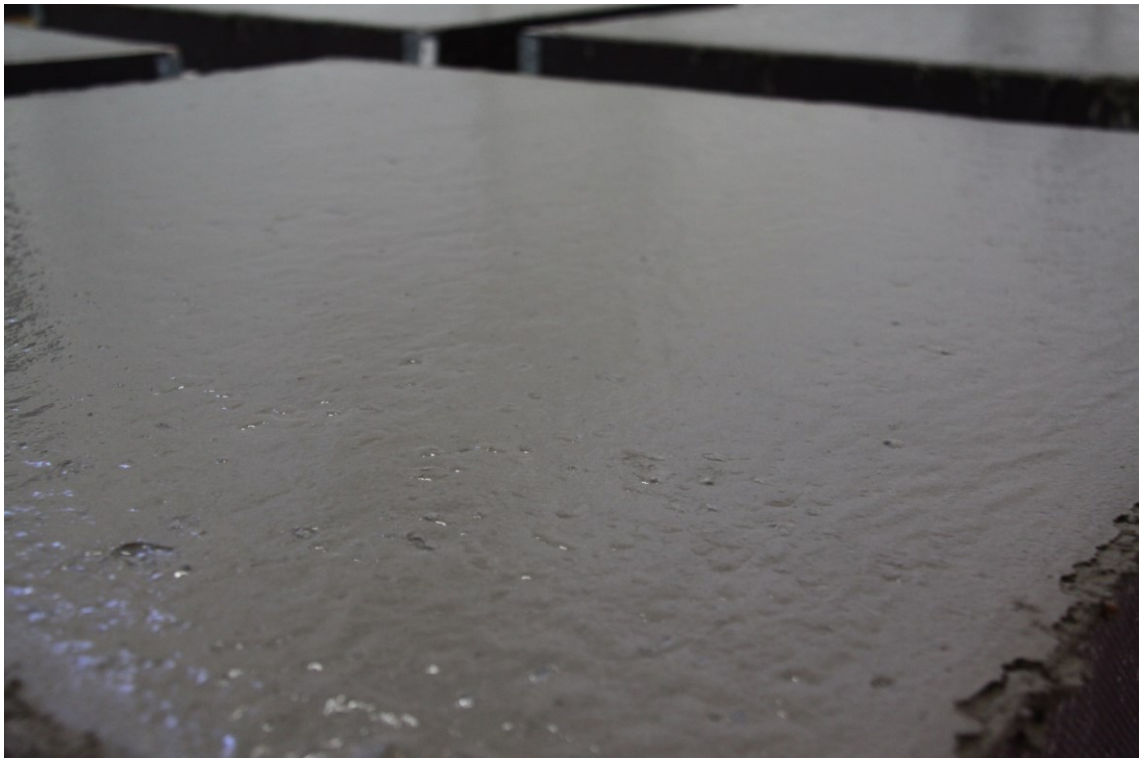
Laatoissa oli asennettuna lämpötila-anturit (paitsi laatassa 7), joilla tarkkailtiin valujen lämpötiloja. Lämpötiloja tarkkailemalla haluttiin selvittää, että miten nanosilika jälkihoitoaineena vaikuttaa lämpötilan nousuun. Lämpötilakäyrien kuvat olivat valitettavasti huonolaatuiset, mutta niistä voidaan kuitenkin nähdä, että nanosilikalla jälkihoidetun laatan (laatta 5) sekä kokonaan ilman jälkihoitoa olleen laatan (laatta 4) lämpötilakäyrät ovat hyvin samanlaiset. Muovilla jälkihoidetun pinnoitamattoman laatan lämpötila nousi korkeammaksi kuin nanosilikalla jälkihoidetun. Nanosilikalla ei näin ollen ole vaikutusta jälkihoitoaineena lämpötilan nousuun.

Sirotepintojen välillä ei päästy tekemään lämpötilavertailua, koska Mastertopin sirotteella tehtyjen pintojen (laatat 8 ja 9) päälle laitettiin jälkihoidoksi muovi. Concrian sirotteella tehtyyn pintaan (laatta 6) laitettiin jälkihoitoaineeksi nanosilika. Lämpötilakäyristä nähdään kuitenkin, että sirotepinnan ansiosta lämpötila nousee hieman korkeammaksi, kuin pelkällä nanosilikalla jälkihoidetun laatan

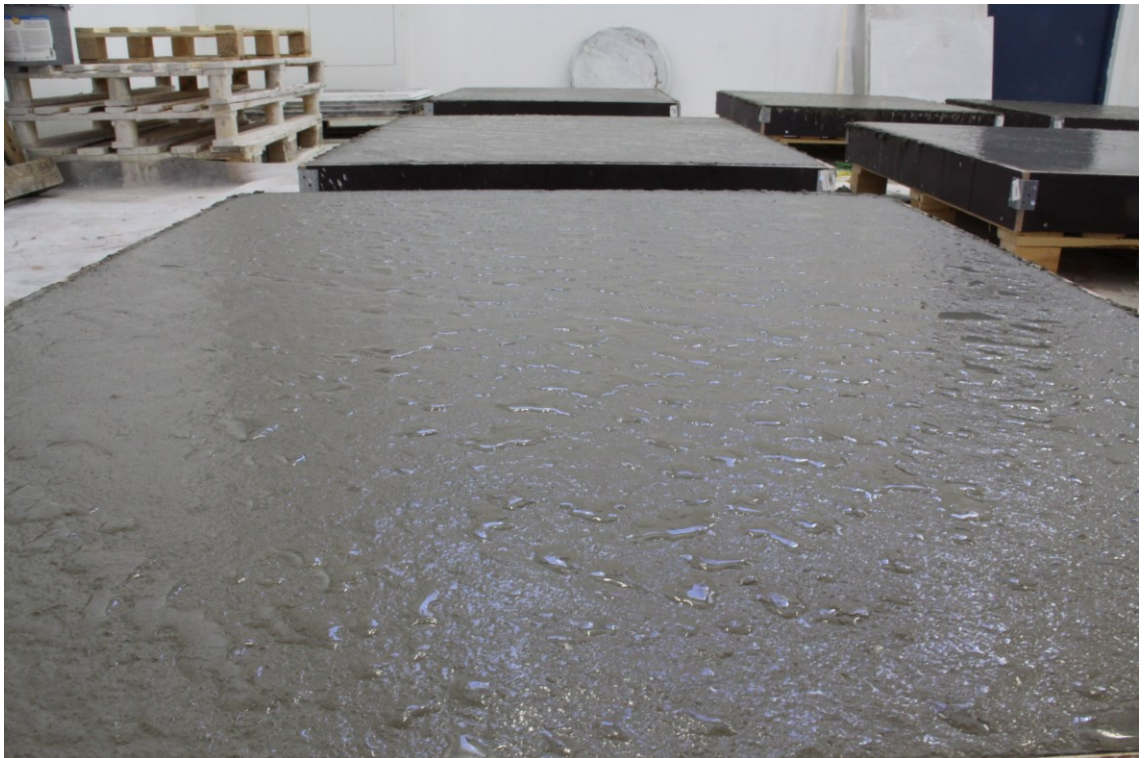
(nro 5) lämpötila. Kaikkien laattojen lämpötilat tasoittuivat samalle tasolle kuitenkin kahden vuorokauden kuluessa.

5.3 Aistinvaraisten havaintojen perusteella tehdyt huomiot

Ensimmäinen havainto valupäivänä tehtiin nanosilikan vaikutuksesta veden nousuun betonin pintaan. Osassa laattoja hyödynnettiin nanosilikaa jo ennen kuin aloitettiin pintojen hierto. Laattoihin 5, 6 ja 8 levitettiin nanosilika heti linjoroinnin jälkeen ja pinta suljettiin varsiliipillä. Laatat, joihin nanosilika laitettiin, muodostui pintaan selkeä kalvo, jossa kosteus oli levinnyt tasaisesti (kuva 14). Käsittelemättömissä pinnoissa vesi nousi pintaan ”helminä” (kuva 15).



KUVA 14. Nanosilika levitetty pintaan



KUVA 15. Pinta ilman nanosilikaa

Avaushierron aikana huomattiin, että nanosilikalla käsitellyt pinnat olivat kosteampia, joten tämän perusteella voidaan olettaa, että kosteus on sitoutunut paremmin pintaan. Nanosilikan lisäyksellä halutaan nimenomaan saada kosteus pysymään betonipinnassa, koska pintasirotteen yhteydessä ei voida käyttää vettä, että ei heikennetä pinnan lujuutta. Kosteuden avulla saadaan pintaan myös enemmän sirotetta, jolloin saadaan aikaan paksumpi ja lujempi sirotekerros.

6 POHDINTA

Tämän työn tavoitteena oli saada Concria Oy:lle tutkimustietoa nanosilikan vaikutuksista pintasirotteella toteuttavan kiiltohiotun betonilattian ominaisuuksiin. Työn kokeellisesta osuudesta jäi puuttumaan kulutuskestävyyden, heijastuksen sekä karheuden mittaukset, jotka olisivat olleet mielenkiintoinen lisä tehtyjen tutkimusten lisäksi. Myös nanosilikan vaikutukset verrattuna kahteen muuhun sili-kapohjaiseen viimeistelyaineeseen jäivät tutkimatta. Kokeellisen tutkimuksen osalta voidaan siis sanoa, että tämän työn kaikkia tavoitteita ei saavutettu.

Työn kokeellisen osan aikana kävi hyvin selväksi se, että valitut tutkimusmenetelmät eivät aina toimi niin kuin toivoisi ja yhden tutkimuksen perusteella ei saada kattavia tuloksia. Kutistumamittausten osalta valittu menetelmä ei ollut toimiva ja vertailutuloksia jäi sen takia puuttumaan. Myös tartuntavetojen osalta koettiin epäonnistuminen ensimmäisissä mittauksissa, koska pintojen valmistelu oli jäänyt tekemättä. Kokeellisissa mittauksissa olisi ollut erittäin tärkeää, että kaikki asiat ovat valmisteltu ja suunniteltu kunnolla. Myös koelaattojen pintakäsittelyiden valintaan olisi voinut käyttää hieman enemmän aikaa ja miettiä kunnolla, että mitä asioita tuloksissa halutaan verrata.

Saatujen tulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että nanosilikalla ei saatu tässä tutkimuksessa esiin erityisiä vaikutuksia valmiin sirotepinnan ominaisuuksiin verrattuna perinteiseen menetelmään ilman nanosilikaa. Hyvänä ominaisuutena nanosilikalla kuitenkin pinnan tekemisen yhteydessä oli kosteuden sitominen laatan pintaan, että sirotetta saatiin käytettyä pinnan teon yhteydessä enemmän eikä vettä tarvinnut lisätä. Lisäksi nanosilikan ja Concrian oman sirotteen yhdistelmällä toteutettu pinta saavutti 28 vuorokauden tarkastelujakson aikana lopullisen lujuutensa jo kahdeksassa päivässä. Näin ollen pinta voitaisiin hioa jo noin viikon kuluessa tekopäivästä.

Tämä oli ensimmäinen tutkimus, jonka Concria Oy teki nanosilikan vaikutuksista sirotepintaan. Tutkimus antoi arvokasta tietoa Concria Oy:lle tutkimuksen tekemisestä, testausmenetelmien valitsemisesta ja koelaattojen pintakäsittelyiden suunnittelusta. Tulokset auttavat mahdollisten jatkotutkimusten kehittämisessä sekä toteuttamisessa. Tärkeää olisi tehdä vertailua Concrian omaa sirotetta hyödyntäen ja tutkia tuleeko eroja näkyviin nanosilikan kanssa ja ilman.

LÄHTEET

Ahonen, M. teknologiavastaava & Kiikkinen, M. projektivastaava. Haastattelu 19.2.2019. Haastattelija Luukkainen, J. Ylöjärvi.

Bermanto.fi. N.d. Bermanto 360 Design-lattiat -esite. Tulostettu 16.2.2019. http://www.bermanto.fi/application/files/9515/2508/3835/Bermanto360_Design-betonilattiat_Esite.pdf

Bermanto.fi. N.d. Silikaattikäsittely. Luettu 17.2.2019. <http://www.bermanto.fi/tuotteet/lattiapinnoitteet/silikaattikasittely>

Betoniteollisuus ry, Betoni.com. N.d. Suojaus ja pölynsidonta. Luettu 17.2.2019. <https://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/lattiat/suojaus-ja-polyinsidonta/>

Concra Oy. ConcraTM Fast System. Luettu 17.2.2019. <https://www.concra.com/products/fast/>

Kronlöf, A., Vehmas, T., Anoshkin, I. 2010. Betoni on nanorakenne. Betoni-lehti 4/2010, 36-41.

RT 14-10984. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy. Luettu 18.2.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2014-10984>

Senff, L., Labrincha, J. A., Ferreira, V. M., Hotza, D., & Repette, W. L. 2009. Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars. *Construction and Building Materials* 23 (7), 2487–2491.

SFS 5446. 1988. Betoni, tartuntalujuus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 17.2.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/index/tuotteet/SFS/SFS/ID2/5/2358.html.stx>

SFS-EN 13892-4. 2003. Methods of test for screed materials. Part 4: Determination of wear resistance-BCA. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 17.2.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/7161.html.stx>

SFS 12390-1. 2013. Kovettuneen betonin testaus. Osa 1: Muoto, mitat ja muut koekappaleiden ja muottien vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 13.9.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/404906.html.stx>

SFS-EN 12504-2. 2013. Betonin testaus rakenteista. Osa 2: Rikkomaton aineenkoetus. Kimmoarvon määrittäminen kimmovasaralla. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 17.2.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/521231.html.stx>

SFS-EN 13892-3. 2015. Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 17.2.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/310320.html.stx>

SFS 12390-2. 2019. Testing hardened concrete. Part 2: Making and curing specimens for strength tests. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 13.9.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/787635.html.stx>

SFS 12390-3. 2019. Testing hardened concrete. Part 3: Compressive strength of test specimens. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 13.9.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/787655.html.stx>

SFS-EN 12350-2. 2019. Testing fresh concrete. Part 2: Slump test. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 13.9.2019. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/785689.html.stx>

Sikora, P., Lukowski, P., Cendrowski, K., Horszczaruk, E., & Mijowska, E. 2015. The effect of nanosilica on the mechanical properties of polymercement composites (PCC). *Procedia Engineering* 108, 139 – 145.

Suomen Betonilattiayhdistys Ry. N.d. BLY 16, Suunnittelu- ja työohje kuivasiroitteiden käyttämisestä betonilattioissa. Tulostettu 16.2.2019. <http://www.bly.fi/File/BLY16.pdf?rnd=1390297845>

Suomen Betoniyhdistys. 2014. *Betonilattiat 2014 by 45*. Helsinki: BY-koulutusyhdistys Oy.

Suomen Betoniyhdistys. 2018. *Betonilattiat 2018 by 45*. Helsinki: BY-koulutusyhdistys Oy.

Suomen Betoniyhdistys. 2018. *Betonitekniikan oppikirja by 201*. Helsinki: BY-koulutus Oy.