

Emilia Kämäräinen

Itsetasoittuvan betonitasoitteen ominaisuuksien tutkiminen

RB Lattiatasoite

Itsetasoittuvan betonitasoitteen ominaisuuksien tutkiminen

RB Lattiatasoite

Emilia Kämäräinen
Opinnäytetyö
Syksy 2019
Rakennustekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, talonrakennustekniikka

Tekijä: Emilia Kämäräinen
Opinnäytetyön nimi: Itsetasoittuvan betonitasoitteen ominaisuuksien tutkiminen
Työn ohjaaja: Raimo Hannila
Työn valmistuslukupäivä ja -vuosi: syksy 2019
Sivumäärä: 40 + 26

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia kehitteillä olevaa uutta betonituotetta, itsetasoittuvaa betonitasoitetta. Tavoitteena oli tutkimusten avulla tukea tilaajien mahdollisuutta uuteen liiketoimintaan. Opinnäytetyön tilaajina toimivat BASF Oy ja Ruskon Betoni Oy.

Opinnäytetyössä tutkittiin ja testattiin betonitasoitteen ominaisuuksia laboratoriossa erilaisilla standardisoiduilla testimenetelmillä. Työssä oli mukana myös ei-standardisoituja menetelmiä, kuten tilaajalta saatu käyritysmää mittaava Gondola-testi.

Opinnäytetyön tutkimustulosten perusteella arvioitiin itsetasoittuvan betonitasoitteen soveltuvuutta lattiatasoitteeksi ohuisiin pintavaluihin. Tämän lisäksi betonitasoitteen ominaisuuksia verrattiin jo olemassa oleviin pumpattaviin lattiatasoitteisiin ja samalla arvioitiin sen kilpailukykyä vastaaviin tuotteisiin nähden.

Laboratoriotutkimusten perusteella kävi ilmi, että tuote soveltuu itsetasoittuvaksi betonitasoitteeksi viskositeetin, leviämisen ja läpäisykyvyn osalta. Tasoitteen lujuusominaisuudet vastasivat pumpattavien sementti- sekä kipsipohjaisten lattiatasoitteiden parhaimmistoa. Betonitasoitteessa ilmennyt kuivumiskutistuma oli samaa luokkaa muiden sementtipohjaisten pumpattavien tasoitteiden kanssa.

Tutkitun betonitasoitteen kustannuksia sivuttiin työssä vain vähän. Jatkotutkimuksena voisi tehdä tarkempia kustannuslaskelmia ja hintavertailua kyseisen betonitasoitteen ja pumpattavien lattiatasoitteiden välillä. Betonitasoitteen kuivumisnopeus oli pumpattavien lattiatasoitteiden keskiarvoa selkeästi hitaampi. Tätä voisi mahdollisesti vielä kehittää.

Asiasanat: betonitutkimus, betonitasoite, lattiatasoite, tuotekehitys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building Engineering

Author: Emilia Kämäräinen

Title of thesis: Studying Properties of Self-leveling Concrete Screed

Supervisor: Raimo Hannila

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2019

Number of pages: 40 + 26

The purpose of this thesis was to study a new self-leveling concrete screed. The aim of the thesis was to help clients with a new business. The clients of the thesis were a chemical company BASF Oy and a concrete company Ruskon Betoni Oy.

The properties of concrete screed were tested in a laboratory using standardized test methods. Curling of the drying slab was measured using an unstandardized Gondola-test.

The suitability of concrete screed for thin slabs was determined based on results from laboratory tests and its properties were compared with pumpable floor screeds from other manufacturers.

Based on the test results viscosity, slump and passing ability of the concrete screed made it suitable for self-leveling screed. Strength of concrete screed was at least equal with other floor screeds. Drying shrinkage was also very similar with other cementitious screeds.

Subject of further studies could be cost comparison between this new concrete screed and other floor screeds because that subject was barely touched in this thesis. Drying time of concrete screed was longer than the average of the pumped floor screeds and that could be improved.

Keywords: concrete testing, concrete screed, floor screed, product development

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	6
2 PUMPATTAVAT LATTIATASOITTEET	7
2.1 Sementtipohjaiset lattiatasoitteet.....	8
2.2 Kipsipohjaiset lattiatasoitteet.....	9
2.3 Hybriditasoitteet.....	9
2.4 Valmisbetonilattiatasoitteet	10
3 LATTIATASOITTEIDEN VAATIMUKSET	11
4 RB LATTIATASOITE.....	12
5 LABORATORIOTUTKIMUKSET	13
5.1 Koemateriaalit	13
5.2 Notkeuskokeet	15
5.2.1 J-rengastesti	15
5.2.2 Painuma-leviämä	17
5.2.3 L-laatikkokoe	17
5.3 Vedenerottuminen.....	18
5.4 Tärytysraja	20
5.5 Sitoutuminen.....	22
5.6 Lujuuden kehitys.....	23
5.7 Kutistuma.....	26
5.8 Käyritymä.....	28
5.9 Pinnoitettavuus	29
5.10 Halkeilu	31
5.11 Laboratoriotutkimusten tulokset	33
6 POHDINTA	34
LÄHTEET	36
LIITTEET	40

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia kehitteillä olevan lattiabetonituotteen ominaisuuksia ja soveltuvuutta ohuisiin pintavaluihin. Lisäksi tavoitteena on verrata sitä markkinoilla oleviin kilpaileviin tuotteisiin.

Tutkittava betoninäyte valmistaan Ruskon Betoni Oy:n valmisbetonitehtaalla ja toimitetaan Oamkin betonilaboratorioon testattavaksi. Testejä suoritetaan sekä tuoreelle betonimassalle että valetuille koekappaleille. Tutkimukset ja testaukset kestävät noin kaksi kuukautta.

Tässä opinnäytetyössä verrataan betoninäytteen tutkimustuloksia muiden yleisimpien pumpputasoitevalmistajien tuotteisiin. Täysin vastaavanlaisia tuotteita on vielä hyvin vähän saatavilla. Tämän takia vertailutuotteet rajautuvat pumpattaviin lattiatasoiteisiin Lujabetonin LujaFlow-tasoitetta lukuun ottamatta. Muiden valmistajien vertailtavat tuotteet on valittu kerrospaksuuden perusteella.

Työn tilaajat Ruskon Betoni Oy ja BASF Oy haluavat laajentaa tuotevalikoimaansa lattiatasoiteisiin. Työssä tutkittavalla lattiabetonilla on tarkoitus tarjota kustannustehokas vaihtoehto pumpattaville lattiatasoiteille.

2 PUMPATTAVAT LATTIATASOITTEET

Pumpattavien lattiatasotteiden tuotanto on alkanut 1970-luvulla Finnsementin tehtaalla Paraisilla (Kuivamenetelmä yleistyi, BES käyttöön. 2019). Nykyään lattiatasoitteita löytyy useimmilta eri valmistajilta kuten Weberiltä, Lakalta, Knauf Oy:ltä, Oy Sika Finland AB:lta ja Kiilto Oy:ltä. Käsien levitettävien lattiatasoitteiden valmistus on alkanut jo aikaisemmin. Osa nykyisistäkin tuotteista ei sovellu pumpattavaksi. Tässä opinnäytetyössä käsitellään ainoastaan pumpattavia lattiatasoitteita.

Tasoitteita valmistetaan pääosin kuivana säkkitavarana. Ne ovat valmiiksi sekoitettuja laasteja, joihin lisätään vain vesi. Tasoitteiden pumppaamiseen käytetään työhön soveltuvaa erikoiskalustoa. Pumppauskalusto vaatii kohteeseen useimmiten sähkön- ja veden-syötön. Käytettävä pumpputasoite sekoitetaan käyttövalmiiksi valupaikalla. (Weber työmaakalusto rakentajan apuna. 2018.)

Lattiatasoitteiden sideaineena käytetään joko kipsiä tai sementtiä (Casco-tuotteet. 2019). Sideaine vaikuttaa tasoitteen moniin eri ominaisuuksiin, kuten lujuuteen. Sideaine ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi tasoitteen lämmönjohtavuuteen, koska tasoitteet koostuvat suurimmaksi osaksi kiviaineksesta. Tasoite valitaan käyttökohteen mukaan. Tähän opinnäytetyöhön on otettu muutamia yleisimpiä eri valmistajien tasoitetuotteita esimerkeiksi ja vertailtavaksi Ruskon Betoni Oy:n valmisbetonitasoitteen kanssa.

Pumpputasoitteilla tasataan alusta lattian päällystystä varten. Tasoitteet sopivat monenlaisille alustoille. Tavallisimmin pumppaus tehdään ontelolaatan, massiivilaatan, betonivalun, eristeen tai puisen rakenteen päälle. (Weber työmaakalusto rakentajan apuna. 2018.)

Pumppausfirmojen nettisivustojen perusteella etenkin yksityistalouksille tehtävien lattiatasoitusten kysyntä on ollut viime aikoina kasvussa (Kangasalan pumppauskeskus 2019). Pumpputasoitelattioiden maine on ”helppo, mutta hintava”, joten tasoitustapa kaipaisi kilpailua ja vaihtoehtoja (Aatsalo 2019; Tasaista lattiaa vauhdilla. 2016).

2.1 Sementtipohjaiset lattiatasoitteet

Sementtipohjaisia lattiatasoitteita valmistetaan lukuisia tuotteita eri käyttötarkoituksiin (Lattiatasoitteet ja pohjusteet. 2019, Kiilto-tuotteet. 2019). Tuotteiden kerrospaksuus, kuivumisaika, työstettävyys ja alle soveltuva pohjamateriaali vaihtelevat runsaasti. Taulukkoon 1 on valittu eri valmistajien saman paksuusluokan pumpattavia sementtipohjaisia lattiatasoitteita ja niiden ominaisuuksia vertailtavaksi.

Lattiatasoitteissa haihdutettavan veden määrä pidetään minimissä, jotta tasoitteen kuivumisaika olisi mahdollisimman lyhyt. Tasoitteet ovat siten huomattavasti nopeammin päällystettävissä tavanomaiseen betoniin verraten. (Lattiatasoitteiden nopea päällystettävyys. 2019.)

TAULUKKO 1. Sementtipohjaisia lattiatasoitteita (Lattiatasoitteet ja pohjusteet. 2019; Kiilto-tuotteet. 2019; Lakka-tuotteet. 2019; Webervetonit-lattiatasoitteet. 2019)

Tuote	Kerrospaksuus (mm)	Lujuusluokka	Taivutusvetolujuus	Kutistuma (mm/m)	Kävelykelpoisuus	Työstettävyys	Päällystettävyys
Fescon Flow H	4-30	C20	F5		4-6 h	30 min	1-3 viikkoa
Kiilto Plan Universal	4-30	C16	F5	<0,4	8 h	20 min	2 viikkoa
Lakka Itsetasoittuva 100	3-30	C20		<0,4	5 h	30 min	1-3 viikkoa
Vetonit 140 Nova "Yleisplaano"	6-40	C16	F4	<0,4	2-4 h	20 min	1-4 viikkoa

2.2 Kipsipohjaiset lattiatasoitteet

Kipsipohjaisten lattiatasoitteiden etu sementtipohjaisiin tasoitteisiin nähden on lähes olematon kuivumiskutistuma. Kipsipohjaisten tasoitteiden pH on sementtipohjaisia tasoitteita luontaisesti neutraalimpi, mikä vähentää mahdollista kemiallista reagoitua muiden rakennusmateriaalien kanssa. Kipsitasoitteiden kuivumista on mahdollista nopeuttaa lämpötilaa nostamalla. Vastaava ei onnistu sementtipohjaisilla tuotteilla, koska korkea kovettumislämpötila laskee merkittävästi sementin lujuusominaisuuksia. Kipsitasoitteiden käyttö onnistuu heikommillakin alustoilla joustavuuden ja vähäisen kutistuman ansiosta. (Erittäin matala-alkaliset lattiatasoitteet. 2019.)

Taulukossa 2 on esitetty kolmen eri valmistajan vastaaville kerrospaksuuksille soveltuvat kipsipohjaiset tuotteet.

TAULUKKO 2. Kipsipohjaisia lattiatasoitteita (Casco-tuotteet. 2019; Lattiatasoitteet ja pohjusteet. 2019; Knauf-lattiatasoitteet. 2019)

Tuote	Kerrospaksuus (mm)	Lujuusluokka	Taivutusvetolujuus	Kutistuma (mm/m)	Kävelykel-poisuus	Työstettävyys	Päällystettävyys
Casco Floor Expert AP	1-30	C30	F7	"erittäin alhainen"	2 h	30 min	24 h
Fescon Flow GS	10-50	C25	F6	"kutistumaton"	5 h	1 h	1-8 viikkoa
Knauf LM 35	10-35	C30	F6	0-0,1	5 h	30 min	1-4 viikkoa

2.3 Hybriditasoitteet

Hybriditasoitteissa hyödynnetään molempia sideaineita. Tasoitteissa yhdistyvät kahden eri sideaineen edut: sementin tuoma nopea kuivuminen sekä kalsiumsulfaatin alhainen kutistuma (Floor Expert HL-50. 2019). Hybriditasoitteet ovat nousseet todella suosituiksi.

Suosio johtuu kuivumisnopeudesta ja halkeilun vähyydestä verrattaessa sementtipohjaisiin tasoitteisiin (Seger 2019). Taulukkoon kolme on koottu Cascon valmistaman hybriditasoitteen vertailuominaisuuksia.

TAULUKKO 3. Hybriditasoite (Floor Expert HL-50. 2019)

Tuote	Kerros- pak- suus (mm)	Lujuus- luokka	Taivutus- vetolujuus	Kutistuma (mm/m)	Kävelykel- poisuus	Työstettä- vyys	Päällystet- tävyys
Casco Floor Expert HL-50	3-50	C35	F10	-	2-3 h	30 min	48 h

2.4 Valmisbetonilattiatasoitteet

Valmisbetonilattiatasoitteita on verrattain vähän markkinoilla. Kaikki tuotteet ovat vielä uusia, eivätkä useimmat valmistajat ole julkaisseet tuotteistansa laboratoriotesteihin perustuvia teknisiä tietoja. Valmisbetonilattiatasoitteet eroavat pumpattavista tasoitteista sillä, että ne valmistetaan kokonaan valmisbetoniasemilla ja kuljetetaan valupaikalle betoniautolla. (LujaFlof 20/60. 2019.)

Lujabetonilla on uutuustuotteena pintabetoni LujaFlow 20/60. Tuotteesta kerrotaan tuotekortissa vain lujuusluokka (LujaFlow 20/60. 2019). Lujabetoni Oy:stä ei haluttu kertoa tuotteen tarkempia materiaaliominaisuuksia opinnäytetyötä varten. Taulukossa 4 on esitetty Lujabetonin julkaisemat tiedot tuotteesta.

TAULUKKO 4. LujaFlow (LujaFlow 20/60 2019)

Tuote	Kerros- pak- suus (mm)	Lujuus- luokka	Taivutus- vetolujuus	Kutistuma (mm/m)	Kävelykel- poisuus	Työstettä- vyys	Päällystet- tävyys
LujaFlow 20/60	20-60	C25- C30			24 h		

3 LATTIATASOITTEIDEN VAATIMUKSET

Standardissa SFS-EN 13813 määritellään lattiatasoitteiden vaatimukset ja testattavat ominaisuudet. Tuotteen vaatimustenmukaisuus arvioidaan alkutestauksen ja tehtaan sisäisen laadunvalvonnan perusteella. Alkutestaus tulee suorittaa ennen kuin tuotetta tarjotaan myytäväksi. Alkutestauksella osoitetaan standardin SFS-EN 13813 mukaisuus ja se sisältää standardin velvoittamat taulukon 5 mukaiset sideainekohtaiset testit. Standardin velvoittamien testien lisäksi suoritetaan testit, joille tuotteen valmistaja haluaa ilmoittaa arvon tai luokan. (SFS-EN 13813. 2002.)

Standardin velvoittamat testit tutkittavalle betonitasoitteelle ovat puristuslujuus ja taivutusvetolujuus. Tasoitteen puristuslujuudesta käytetään tunnusta C ja taivutuslujuudesta tunnusta F. (SFS-EN 13813.2002.)

Standardissa SFS-EN 13813 esitetään myös vaatimukset tehtaan sisäiseen laadunvalvontaan, nimikkeeseen, merkintöihin ja pakkaamiseen. Näitä asioita ei käsitellä tässä opinäytetyössä. (SFS-EN 13813.2002.)

TAULUKKO 5. Tasoitteiden tyyppikohtaiset testit SFS-EN 13813 -standardin mukaan

Tasoite, jonka sideaine on	puristuslujuus	taivutusvetolujuus	Böhmen kulutuskestävyys	BCA kulutuskestävyys	pyörivän tuolin pyörän kestävyys	pinnan kovuus	tunkeumakovuus	pyörivän tuolin pyörän kestävyys, kun tasoite on päällystetty lattianpäällysteellä	sitoutumisaika	kutistuma ja paisuma	leviämä	pH-arvo	kimmokerroin	iskunkestävyys	tartuntalujuus
Sementti	N	N	N ^a (yksi kolmesta)		O	–	O	O	O	O	O	O	O	O ^a	O
Kalsium-sulfaatti	N	N	O	O	O	O	–	O	O	O	O	N	O	–	O
Magnesiitti	N	N	O	O	O	N ^a	–	O	–	O	O	O	O	–	O
Asfaltti-mastiksi	–	–	O	O	O	–	N	O	–	–	–	–	–	–	–
Synteettinen hartsi	O	O	–	N ^a (yksi kahdesta)		O	–	O	–	O	O	–	O	N ^a	N
Merkinnät															
N Velvoittava															
O Valinnainen tarvittaessa															
– Ei ole tarpeen															
^a Vain tasoitteelle, joka on tarkoitettu kulutuspinnaksi															

4 RB LATTIATASOITE

Olemassa olevat tasoiteratkaisut ovat lähes kaikki kuivasta laastista valmistettavia säkkitavarana myytäviä tuotteita, jotka sekoitetaan ja pumpataan kohteessa. Ruskon Betoni Oy yhdessä BASF Oy:n kanssa on alkanut kehittää betoniasemalla valmistettavaa valmisbetonituotetta vaihtoehdoksi pumpattaville lattiatasoiteille. Valmisbetonitasoite ei vaatisi valupaikalle erikoiskalustoa ja se olisi tilattavissa ja valettavissa betoniaseman muiden valmisbetonituotteiden tavoin.

Betoniaseman vaihtoehtoinen tuote pumpputasoiteille olisi ohuisiin pintavaluihin soveltuva itsestään tasoittuva valmisbetonitasoite. Materiaalina kehitteillä oleva lattiabetonituote vastaa eniten sementtipohjaisia lattiatasoiteita.

Eri rakennuslehdissä, blogeissa sekä internetin keskustelupalstoilla pumpputasoitusta pidetään helppona, mutta kalliina työvaiheena, joten kilpailulle ja kehitykselle on sijaa. Vaihtoehtoisen tuotteen olisi vastattava ominaisuuksiltaan muita tasoiteita ja pärjättävä kustannustehokkuudessa. Lähtökohtaisesti pumpputasoiteisiin verrattessa säästöjä kustannuksissa syntyisi kohteessa käytettävän kaluston osalta.

Laboratoriotesteillä varmistetaan kyseisen kehitteillä olevan betonitasoitteen soveltuvuus itsestään tasoittuvaksi massaksi. Tähän käytetään erilaisia notkeutta ja viskositeettia arvioivia standardisoituja menetelmiä. Lujuustesteillä määritetään sementtipohjaisista lattiatasoiteista testattavaksi standardissa SFS-EN 13813 velvoitetut C- ja F-lujuusluokat. Tämän lisäksi selvitetään betonimassan kutistuma ja muita tilaajan toivomia ominaisuuksia. Näillä sekä arvioidaan soveltuvuutta ohuisiin pintavaluihin että voidaan verrata tuotetta markkinoilla oleviin pumpattaviin lattiatasoiteisiin.

5 LABORATORIOTUTKIMUKSET

5.1 Koemateriaalit

Betonimassa valmistettiin Ruskon Betoni Oy:n Oulun betonitehtaalla ja kuljetettiin pyörintäsäiliöllä varustetulla betoniautolla Oamkin betonintestauslaboratorion tiloihin. Pieni määrä raaka-aineita tuotiin kuivana laboratorioon. Raaka-aineista valmistettiin erillinen kiviainesta sisältämätön massa Vicat-testiä varten. Koekappaleet valmistettiin ja säilytettiin noudattamalla SFS-EN 12390-2 standardia. Koekappaleet valettiin metallisiin muotteihin (kuva 1).



KUVA 1. Massasta valettuja koekappaleita

Koekappaleita säilytettiin vesialtaassa (kuva 2).



KUVA 2. Koekappaleet vesisäilytyksessä

5.2 Notkeuskokeet

Betonimassan viskositeettiä arvioitiin kolmella eri kokeella: J-rengastestillä, painuma-leviämäkokeella ja L-laatikkokokeella. Näin saatiin betonille vertailuarvot eri notkeusluokituksiin.

5.2.1 J-rengastesti

Standardin SFS-EN 12350-12 mukainen J-rengastesti oli ensimmäinen käytetyistä testausmenetelmistä itsetiivistyvän betonin läpäisykyvylle. Testissä käytettiin harvan tankojaon J-rengasta. Leviämäkartio täytettiin betonimassalla (kuva 3), minkä jälkeen massa päästettiin virtaamaan J-renkaan lävitse tasaisesti kartiota nostamalla (kuva 4). Testissä selvitetään massan t500j-aika, läpäisykyky kasautumisherkkyydellä, läpäisyleviämä sekä mahdollinen erottuminen.



KUVA 3. J-rengastesti



KUVA 4. J-rengastesti

J-renkaan läpäisykyky PJ lasketaan kaavalla 1.

$$PJ = \frac{(\Delta h_{x1})+(\Delta h_{x2})+(\Delta h_{y1})+(\Delta h_{y2})}{4} - \Delta h_0 \quad \text{KAAVA 1}$$

PJ = läpäisykyky

Δh -arvot ovat mitattuja korkeuksia.

Läpäisyleviämä SF_j on leviämien d_1 ja d_2 keskiarvo 10 millimetrin tarkkuudella.

Virtausaika t_{500_j} on aika kartion nostamisesta hetkeen, jolloin betonimassa saavuttaa 500 mm halkaisijan. t_{500_j} -aika ilmoitetaan puolen sekunnin tarkkuudella.

5.2.2 Painuma-leviämä

Painuma-leviämä mitataan massasta J-rengastestin tavoin, mutta ilman rengasta. Menetelmässä noudatetaan standardia SFS-EN 12350-8.

5.2.3 L-laatikkokoe

L-laatikkokokeella arvioidaan itsetiivistyvän betonimassan läpäisykykyä. Läpäisykyky tarkoittaa betonimassan kykyä virrata ahtaiden aukkojen tai muiden esteiden läpi kasautumatta tai erottumatta. (SFS-EN 12350-10. 2010.)

Testissä oli käytössä standardin SFS-EN 12350-10 mukainen laitteisto. Testikäyttöön valittiin kolmen raudoitustangon versio, mikä simuloi tankoväliltään pienempää eli ahtaampaa raudoitusta. Laatikon pysty- ja vaakasuorien osien välinen läppä suljettiin ja tuore betonimassa kaadettiin laatikkoon tiivistämättä ja sekoittamatta. Betoni jätettiin seisomaan 60 sekunnin ajaksi, jolloin tarkkailtiin ja raportoitiin erottuminen. Tämän jälkeen sulkulaite avattiin tasaisella liikkeellä (kuva 5). Virtauksen pysähtyessä mitattiin korkeuserot pystysuoran osan kohdalta (H_1) ja laatikon päästä (H_2) kolmesta kohdasta.



KUVA 5. L-laatiokkoe

L-laatiokkokeella mitattu läpäisykyky suhde PL lasketaan kaavalla 2.

$$PL = \frac{H_2}{H_1}$$

KAAVA 2

PL = läpäisykyky suhde

H -arvot ovat mitattuja korkeuksia

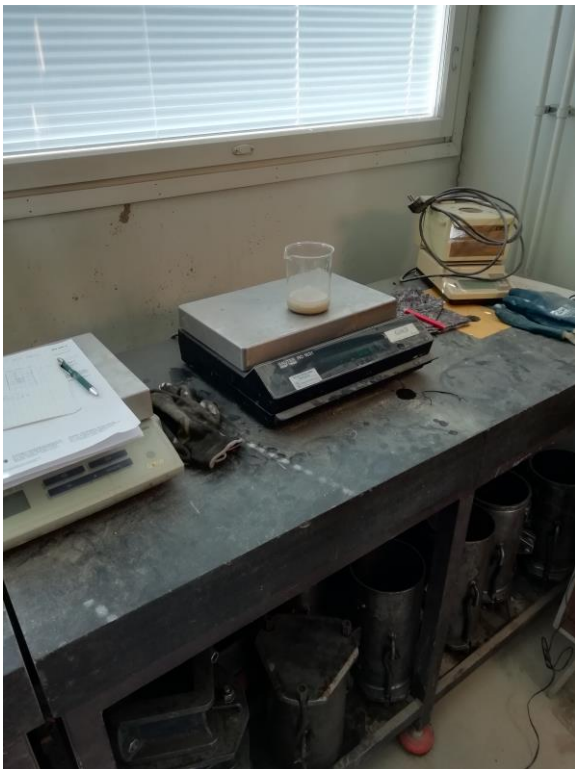
5.3 Vedenerottuminen

Betonin vedenerottuminen määritettiin standardin SFS-EN 480-4 mukaan seuraavasti: Tasaisesti sekoittunut massa kaadettiin metalliseen lieriön muotoiseen 250 mm leveään ja 280 mm korkeaan kannelliseen astiaan. Suljettu astia jätettiin pöydälle ja suojattiin tärinältä. Joka kymmenes minuutti kerättiin astian pinnalle erottunut vesi sähköpipetillä erilliseen astiaan 40 minuutin ajan, minkä jälkeen mittaus tehtiin puolen tunnin välein erottumisen loppumiseen saakka (kuva 6).



KUVA 6. Vedenerottumisen mittaushetki

Erottunut vesi kerättiin erilliseen astiaan (kuva 7).



KUVA 7. Erottunut vesi kerättynä erilliseen astiaan

Vedenerottuma B ilmoitetaan prosenttiosuutena betonin sisältämästä kokonaisvesimäärästä. Vedenerottuma lasketaan standardissa SFS-EN 480-4 ilmoitetulla kaavalla (kaava 3).

$$B = m_w / (w * m_s) * 100\%$$

KAAVA 3

B = vedenerottuma

m_w = erottunut vesi (g)

m_s = betoninäytteen massa

w = betonimassan sisältämän veden osuus painoprosentteina

5.4 Tärytysraja

Tärytysraja on aika massan valmistamisesta hetkeen, kun betonimassan tunkeutumisvastus saavuttaa arvon 3,5 MN/m². Tämän rajan ylittyttyä massa ei ole enää tärytyskelpoista, vaan se vaurioituu pysyvästi häiriintyessään. (SFS 5289. 1987.)

SFS 5289 -standardissa on esitettyä menetelmä betonimassan tärytysrajan määrittämiseksi tunkeutumisvastuksen avulla. Menetelmässä tiiviiseen vettä imemättömään 150 mm halkaisijalliseen ja 120 mm korkeaan astiaan laitettiin tuoretta betonimassaa 8 mm seulan lävitse. Itsestään tasoittuvaa betonimassaa ei tarvinnut erikseen täryttää, vaan se jätettiin kovettumaan suojakannen alle.

Betonimassan jäykistymistä seurattiin tunkeutumisvastusta mittaamalla standardin mukaisella laitteistolla (kuva 8). Laitteen lieriön muotoinen neula painettiin betonimassaan 25 millimetrin syvyyteen (kuva 9). Suurin tunkeutumisvastus luettiin koneen mittakellosta. Mittauksia suoritettiin puolen tunnin välein, kunnes täryraja ylittyi. Tunkeutumisvastuksen ohella seurattiin samalla massan lämmönkehitystä astiassa lämpöanturilla. Myös mittausten välissä astia pidettiin huolellisesti peitettynä.



KUVA 8. Mittauslaitteisto



KUVA 9. Betoninäyte

5.5 Sitoutuminen

Standardissa EN 196-3 on ohjeet sementtipastan sitoutumisen alku- ja päättymisajan mittaamiseen kuvan 10 mukaisella Vicat-laitteistolla.



KUVA 10. Vicat-laitteisto

Laitteisto upottaa halkaisijaltaan 1,13 millimetristä tasakärkistä neulaa pystysuoraan kolmen Newtonin voimalla kartion muotoisen muotin sisälle. Muotin halkaisija on 75-85 millimetriä ja sen tulee olla täytetty 40 millimetriä paksulla kerroksella tuoretta sementtipastaa. Standardin mukaan nopeasti sitoutuvia sementtipastoja säilytetään mittauksen ajan muotteineen veden alla. Vesisäilytys ei kuitenkaan sovi hitaammin sitoutuville sementtipastoille ja standardissa neuvotaan säilyttämään niitä suojattuna lähelle 100-prosenttisessä ilmakeudessä. Sementtipasta suojattiin siten vesitiiviillä kuvulla (kuva 11).



KUVA 11. Sementtipastanäytteen säilytys

Neulan pysähdettyä tai 30 sekunnin kuluttua, riippuen siitä, kumpi tapahtui aikaisemmin, mittarin lukema ja mittausaika kirjattiin taulukkoon. Mittarin lukema kertoi uppoamissyvyyden.

Sitoutumisen alkamisajankohdaksi merkattiin aika, kun neula jäi irti pohjalevystä ensimmäisen kerran 6 ± 3 mm. Sitoutumisen päättymisaika oli neulan upotessa pastaan enää vain 0,5 millimetriä. 0,5 millimetrin uppoaminen tarkistettiin vielä kolmesta kohdasta muuttia.

5.6 Lujuuden kehitys

Kovettuneen lattiabetonimassan puristus- ja taivutusvetolujuutta testattiin sekä normaali-betonin puristuslujuustestillä 100 millimetrin kuutioista standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti että prismoilla standardin SFS-EN 196-1 mukaisesti. Prismoista lujuus testattiin 7 ja 28 vuorokauden ikäisistä koekappaleista. Kuutiolujuudet mitattiin 7 ja 28 vuorokauden lisäksi 24 tunnin iässä. Massassa oli käytetty Rapid-sementtiä, joka saavuttaa tavoitteenpuristuslujuuden 7 vuorokaudessa.

Koekappaleet olivat muodoltaan ja mitoiltaan SFS-EN 12390-1 -standardin vaatimukset täyttäviä 100 x 100 x 100 millimetrin kuutioita ja 40 x 40 x 160 millimetrin prismoja. Koekappaleista määritettiin myös betonimassan tiheys.

Kuutiokoekappaleet kuormitettiin murtoon kalibroidulla standardin SFS-EN 12390-4 vaatimukset täyttävällä puristustestauskoneella (kuva 12). Suurimmasta kappaleen kestävästä voimasta laskettiin betonin puristuslujuus. Betoninormien mukaiset lujuusluokat ilmoitetaan 150 millimetrin kuutiolujuutena. 100 millimetrin kuutiolujuus muutettiin 150 millimetrin kuutiolujuudeksi jakamalla saatu 100 millimetrin kuutiolujuus 1,03:lla.



KUVA 12. 100 millimetrin kuutio, puristuslujuus

Prismojen taivutusvetolujuuden mittaamiseen käytettiin kolmipistekuormausmenetelmää standardin SFS-EN 196-1 mukaisella prismoille suunnitellulla taivutuslaitteistolla (kuva 13).



KUVA 13. Prisma, taivutusvetolujuus

Taivutuslujuus R_f lasketaan saadun korkeimman kuormitusvoiman avulla kaavalla 4 (SFS-EN 196-1. 2016).

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times I}{b^3}$$

KAAVA 4

R_f = Taivutuslujuus

b = prisman neliömäisen osan sivu millimetreinä.

F_f = prisman keskelle kohdistunut murtovoima newtoneina.

I = tukien välinen etäisyys millimetreinä.

Prismojen puristuslujuus mitattiin standardin SFS-EN 196-1 mukaisella prismoille suunnitellulla puristuslaitteistolla (kuva 14).



KUVA 14. Prisma, puristuslujuus

Puristuslujuus R_c lasketaan kaavalla 5 (SFS-EN 196-1. 2016).

$$R_c = \frac{F_c}{1600 \text{ mm}^2}$$

KAAVA 5

R_c = Puristuslujuus

F_c = Puristusvoima

5.7 Kutistuma

Betonimassan kuivumiskutistumaa testattiin betoniyhdistyksen vanhan BY22-ohjeen mukaisesti. Betonimassasta valettiin kolme palkkia, joiden päihin asetettiin valaessa metallinastat. Näiden nastojen päiden etäisyyksien muutoksia seurattiin kutistumamittakellolla (kuva 15). Mittakellon lukematarkkuus on 0,001 millimetriä.



KUVA 15. Kutistumapalkki mittakellossa

Palkit purettiin muoteistaan heti valusta seuraavana päivänä ja laitettiin säilytykseen 20 ± 2 asteiseen veteen. Ohjeen mukainen tutkimus olisi alkanut seitsemäntenä päivänä, mutta tilaajalta saadun ennakkotiedon mukaan käytettyjen lisäaineiden takia tämä betonimassa paisuu hieman ennen kutistumistaan. Mittaukset haluttiin tehdä päivittäin jo ensimmäisen viikon ajan, jotta mahdollinen alkupaisumisen suuruus saataisiin näkyviin. Seitsemän vuorokauden ikäisinä koekappaleet siirrettiin huoneilmaan kuivumaan kolmiorimojen päälle kuvan 16 mukaisesti.

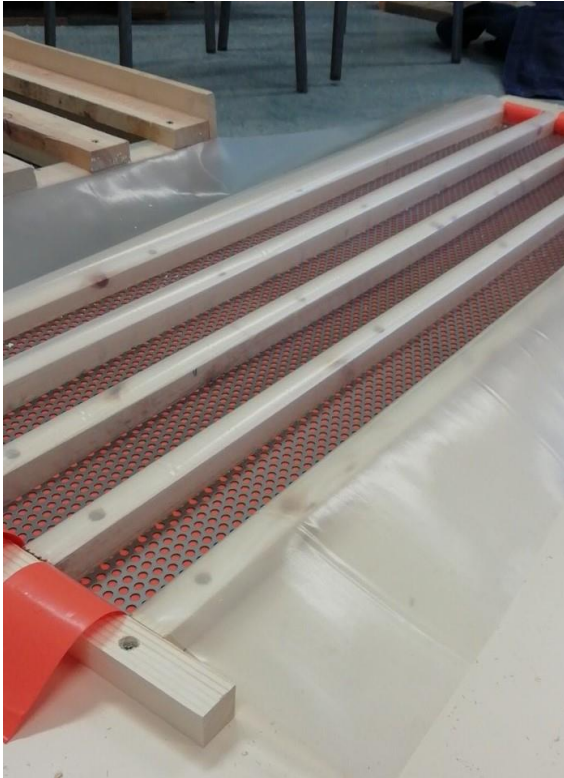


KUVA 16. Kutistumapalkkien säilytys huoneilmassa

Kutistumamittaukset suoritettiin ohjeen mukaan viikoittain kahdeksan viikon ajan.

5.8 Käyristymä

Käyristymisen testaamisessa käytettiin BASFin käyttämää Gondola-testiä (kuva 17).



KUVA 17. Gondola-muotti

Gondola-testin ohje löytyy liitteestä 1. Puusta rakennettiin muotti 20 x 50 x 1000 millimetrin kokoisille palkeille. Muotti peitettiin muovilla irrottamisen helpottamiseksi. Muottin pohjalle asetettiin 1 millimetrin paksuinen reikälevy koekappaleen tueksi. Valun jälkeen koekappale jätettiin kuivumaan vapaasti 20 celsiusasteen lämpötilaan (RH 45). Tulokset mitattiin ylösalaisin käännetyn palkin keskikohdalta 7, 14, ja 28 vuorokauden ikäisenä (kuva 18).



KUVA 18. Käyrästynyt Gondola

5.9 Pinnoitettavuus

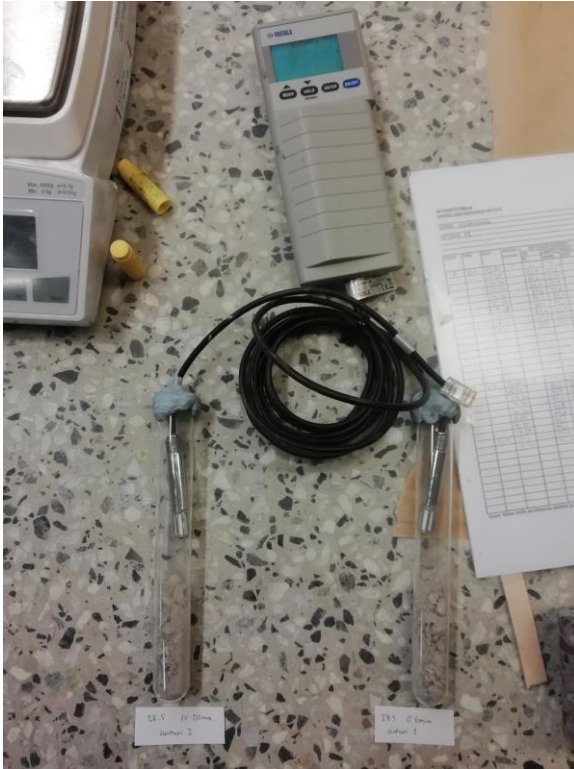
Betonirakentamisen laatuohjeiden (BY47) mukaan ennen päällystämistä betonilaatan on saavutettava tietty pinnoitusmateriaalista riippuva suhteellinen kosteus. Pintakosteusmittarilla ei voida luotettavasti mitata betonilaatan kosteutta, vaan RT 14-10984 -ohjekortti opastaa käyttämään porareikä- tai näytepalamenetelmää. Betonitasoitelaatta on suunniteltu enintään 40 millimetriä paksuksi, minkä takia kosteusmittausmenetelmäksi valittiin näytepalamenetelmä. Massasta valettiin enimmäispaksuinen laatta finnfoamista tehtyyn 800 x 1000 millimetrin kokoiseen muottiin (kuva 19).



KUVA 19. Juuri valettu kosteuslaatta

Näin ollen betonilaatta pääsi kuivumaan ainoastaan yhteen suuntaan, mikä on nopean rakentamisen kannalta huonoin tilanne, koska kuivuminen kestää maksimiajan. Betonilaatan kosteutta seurattiin viikoittain.

Näytepalamenetelmällä kosteus mitataan yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa kahdelta syvyydeltä. Ensimmäinen arviointisyvyys on 0,4 kertaa koko laatan paksuus, tässä tapauksessa $40 \text{ mm} \times 0,4 = 16 \text{ mm}$. Toinen näyte otetaan betonin pinnasta, jonka syvyys on 0,4 kertaa ensimmäisen näytteen syvyys eli $16 \text{ mm} \times 0,4 = 6 \text{ mm}$. Pintanäytteen suhteellisen kosteuden tulee olla alle 75 prosenttia. Arviointisyvyydeltä mitatun kosteusnäytteen sallittu suhteellinen kosteus riippuu päällystemateriaalista. Kuvassa 20 mitataan laatasta otettujen näytteiden kosteus kosteusantureilla.



KUVA 20. Kosteuden mittaus näytepalamenetelmällä

5.10 Halkeilu

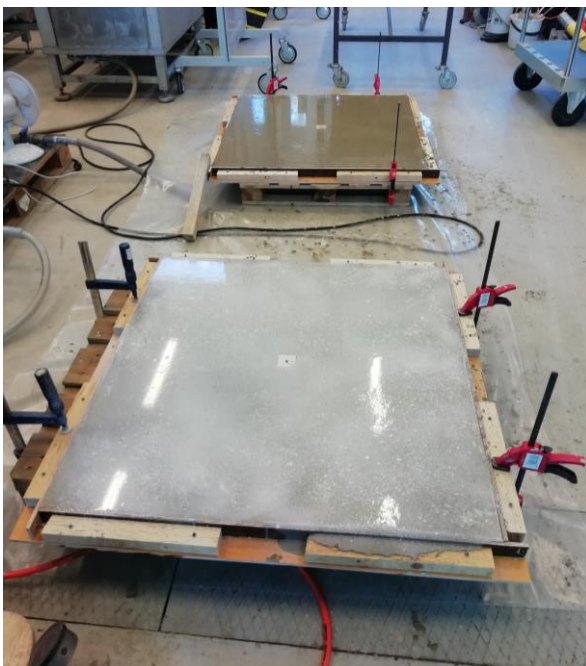
Halkeiluerkkyyttä ja jälkihoidon vaikutusta halkeilun suuruuteen betonilattiatasoihteessa testattiin käyttämällä estetyn kutistuman laattaa. Testin pohjana oli amerikkalaisen ASTM 1579-06 -standardi. Laatan paksuus poikkesi 10 millimetriä standardipaksuudesta, koska tasoite on suunniteltu alle 40 millimetrin paksuiseksi.

Massasta valettiin kaksi 1000 x 1000 x 40 millimetrin kokoista koelaattaa, joiden keskelle jätettiin 50 x 50 millimetrin kokoinen aukko (kuva 21).



KUVA 21. Estetyn kutistuman muotti

Aukko esti laattaa kutistumasta vapaasti. Aukon avulla halkeilu saatiin kohdistettua haluttuihin paikkoihin, jolloin se oli helposti mitattavissa ja verrattavissa. Ensimmäinen laatta hoidettiin BASF Oy:n MasterKure 216WB -jälkihoitoaineella ja toinen jätettiin hoitamatta ja asetettiin ensimmäisen vuorokauden ajaksi voimakkaasti tuulettuvaan paikkaan. Jälkihoitoaine ruiskutettiin betonilaatan pinnalle kolmen tunnin kuluttua betonin valmistuksesta. (Kuva 22.)



KUVA 22. Jälkihoidettu ja -hoitamaton halkeilulaatta

5.11 Laboratoriotutkimusten tulokset

Kaikkien laboratoriotutkimusten tulokset ja niiden tarkastelu on esitetty liitteessä 5. Liitteet on tarkoitettu vain Ruskon Betoni Oy:n ja Basf Oy:n sisäiseen käyttöön.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia kehitteillä olevaa itsetasoittuvaa betonitasoitetta eri laboratoriotestein ja arvioida tasoitteen soveltuvuutta lattiatasoitteeksi. Lisäksi tavoitteena oli verrata tasoitetta vastaaviin olemassa oleviin tuotteisiin.

Laboratoriotutkimukset osoittivat, että tuote soveltuu itsetasoittuvaksi betonitasoitteeksi. Tasoitteen lujuusominaisuudet vastasivat pumpattavien sementti- ja kipsipohjaisten lattiatasoitteiden parhaimmista. Betonitasoitteen kuivumiskutistuma oli samaa luokkaa muiden sementtipohjaisten pumpattavien lattiatasoitteiden kanssa.

Työn aihe ja aikataulu rajattiin alusta asti selkeästi. Huolellisesti suunniteltu työ sujui ilman suurempia ongelmakohtia. Tutkimuksellinen työ eteni sujuvasti, koska työn eri vaiheet seurasivat toisiaan tiiviinä jatkumona alusta loppuun saakka.

Kokonaisuutena opinnäytetyö onnistui hienosti. Mahdolliset pienet aikataulujen venymiset ja muut muutokset oli huomioitu alkuvaiheen suunnittelussa, joten kokonaisuus pysyi kasassa ja aikataulussaan. Opinnäytetyö vaati perehtymistä uusiin tutkimusmenetelmiin ja standardeihin. Tämän ohella työssä oli kuitenkin runsaasti konkreettista tekemistä, mikä sekä piti mielenkiintoa yllä että rytmitti työn tasaista etenemistä.

Opinnäytetyö sisälsi jatkuvasti uusia pieniä ongelmatilanteita ja -kohtia, joiden ratkominen oli iso opettavainen osa työtä. Kuivumisnopeutta määrittelemään tarkoitettu testi ei onnistunutkaan halutulla tavalla, kun jälkihoidon vaikutus jäi testiä suunnitellessa huomioimatta riittävän tarkasti. Paria laboratoriotestiä valvottiin onnistuneesti yön yli, kun testit kestivätkin merkittävästi ennakoitua pidempään. Työ opetti erityisesti pitkäjänteisyyttä, paineensietokykyä, stressinhallintaa ja suunnitelmallisuutta.

SFS-EN-standardien mukaiset laboratoriotestit suoritettiin Oamkin betonilaboratoriossa standardien mukaisilla laitteistoilla ja standardoiduilla menetelmillä, joten kyseisten tutkimusten tulokset ovat täysin vertailukelpoisia muiden samoilla standardoiduilla menetelmillä testattujen tuotteiden tutkimustulosten kanssa.

Jotta opinnäytetyön laajuus saatiin pidettyä kohtuullisena, työtä jouduttiin rajaamaan. Työn suunnitteluvaiheessa tehtyjä rajoituksia jouduttiin työn edetessä tarkentamaan. Tästä syystä tutkitun betonitasoitteen kustannuksiin perehdyttiin työssä vain vähän. Tarkempia betonitasoitteiden kustannuslaskelmia ja hintavertailua voisi tehdä jatkotutkimuksena. Betonitasoitteen kuivumisnopeus oli pumpattavien lattiatasoitteiden keskiarvoa selkeästi hitaampi. Tätä voisi myös vielä kehittää.

LÄHTEET

Aatsalo, Johanna 2019. Sisäilmaongelman iso syy löytyi – muovimattoja kiinnitetty väärin. Rakennuslehti. Saatavissa:

<https://www.rakennuslehti.fi/2019/02/sisailmaongelman-iso-syy-loytyi-muovimattoja-kiinnitetty-vaarin/>. Hakupäivä 21.8.2019.

Betonilattiatasoite. 2019. Betonipumppaus Laatikainen. Saatavissa:

<https://www.betonipumppaus.fi/betonilattiatasoite/>. Hakupäivä 30.7.2019.

Erittäin matala-alkaliset lattiatasoitteet. 2019. Casco. Saatavissa:

<https://www.casco.eu/fi/erittain-matala-alkaliset-lattiatasoitteet/>. Hakupäivä 30.7.2019.

Floor Expert HL-50. 2019. Casco. Saatavissa:

<https://www.casco.eu/fi/casco-floor-expert/?pc=613&p=5410>. Hakupäivä 30.7.2019.

Casco-tuotteet. 2019. Saatavissa: <https://www.casco.eu/fi/tuotteet/?pc=123>.

Hakupäivä 24.7.2019.

Kuivamenetelmä yleistyi, BES käyttöön. 2019. Finnsementti. Saatavissa:

<https://finnsementti.fi/yritys/historia/kuivamenetelma-yleistyi-bes-kayttoon/>. Hakupäivä 24.7.2019.

Kiilto-tuotteet. 2019. Saatavissa:

<http://www.kiilto.com/application/files/7415/3814/2491/Kiilto-Pro-Itsesiliavat-lattiatasoitteet-0918.pdf>. Hakupäivä 24.7.2019.

Pumpattava kipsilattia LM80 tai LM35 2019. Knauf. Saatavissa:

http://www.kipsivalu.fi/uploads/images/Lattiaohje_LM80_ja_LM35_2016.pdf.

Hakupäivä 30.7.2019.

Knauf-lattiatasoitteet. 2019. Saatavissa: <https://knauf.fi/tuotteet/lattiatasoitteet>. Hakupäivä 30.7.2019.

Kontio, Jarno 2018. Betonilattiapäivät. Tasoitteiden ja pinnoitteiden yhteensopivuus. Saatavissa: <http://www.betoniyhdistys.fi/media/betonilattiapaivat/8-tasoitteiden-ja-pinnoitteiden-yhteensopivuus-jarno-kontio.pdf>.

Lakka-tuotteet. 2019. Saatavissa: <https://www.lakka.fi/tuotteet/laastit-ja-tasoitteet/lattiatasoitteet/>. Hakupäivä 24.7.2019.

Lauren, Gunnar 2015. Sisäilmaongelmat ehkäistävissä alkalisen kosteuden hallinnalla. Rakennuslehti. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/sisailmaongelmat-ehkai-tavissa-alkalisen-kosteuden-hallinnalla>. Hakupäivä 24.7.2019.

Lattian tasoitus yksityistalouksille. 2019. Kangasalan pumppauskeskus. Saatavissa: <https://www.kangasalanpumppauskeskus.fi/palvelu/yksityistaloudet>. Hakupäivä 30.7.2019.

Lattiatasoitteet. 2019. Netrauta.fi. Saatavissa: <https://www.netrauta.fi/rakentaminen/laastit-ja-sementit/lattiatasoitteet?dir=desc&order=sortbysales>. Hakupäivä 24.7.2019.

Lattiatasoitteet ja pohjusteet. 2019. Fescon. Saatavissa: <https://www.fescon.fi/tuotteet/lattiatasoitteet/lattiatasoitteet-ja-pohjusteet>. Hakupäivä 30.7.2019.

Lattiatasoitteiden nopea päällystettävyyys. 2019. Weber. Saatavissa: <https://www.fi.weber/lattiatasoitteiden-nopea-paallystettavyys>. Hakupäivä: 24.7.2019.

LujaFlow 20/60. 2019. Lujabetoni. Saatavissa: <http://www.luja.fi/app/uploads/sites/2/2016/11/LujaFlow-2.pdf>. Hakupäivä 24.7.2019.

RT 14-10984. 2010. Betonin suhteellisen kosteuden mittaust. Rakennustieto Oy.

Seger 2019. Tuotekysely. Oy Sika Ab.

SFS 5289. 1987. Betonimassa. Tärytysraja (tunkeutumisvastus). Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 12390-1. 2013. Kovettuneen betonin testaus. Osa 1: Muoto, mitat ja muut koekappaleiden ja muottien vaatimukset. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 12390-2. 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 2: Koekappaleiden valmistus ja säilytys lujustestejä varten. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 12390-3. 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleiden puristuslujuus. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 12350-8. 2010. Tuoreen betonin testaus. Osa 8: Itsetiivistyvä betoni. Painuma-leviämä. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 12350-10. 2010. Tuoreen betonin testaus. Osa 10: Itsetiivistyvä betoni. L-laatikkokoe. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 12350-12. 2010. Tuoreen betonin testaus. Osa 12: Itsetiivistyvä betoni. J-renkastesti. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 13037. 2011. Maanparannusaineet ja kasvualustat. PH-arvon määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 13813. 2002. Tasoitemassat ja lattiatasoiitteet. Tasoitemassat. Ominaisuudet ja vaatimukset. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 196-1. 2016. Methods of testing cement. Part 1: Determination of strength. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 196-3. 2016. Methods of testing cement. Part 3: Determination of setting times and soundness. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

SFS-EN 480-4. 2006. Betonin, laastin ja juotoslaastin lisäaineet. Testausmenetelmät. Osa 4: Betonin vedenerottumisen määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto SFS Ry.

Tasaista lattiaa vauhdilla. 2016. Kiilto Oy. Saatavissa:

<https://www.kiilto.fi/fi/uutishuone/artikkelit/tasaista-lattiaa-vauhdilla/>.

Hakupäivä 19.8.2019.

Weber työmaakalusto rakentajan apuna. 2018. Weber. Saatavissa: <https://www.fi.weber/files/fi/2019-01/4-48%20Weber%20tyomaakalusto%20rakentajan%20apuna.pdf>.

Hakupäivä 30.7.2019.

Webervetonit-lattiatasoitteet. 2019. Saatavissa: https://www.fi.weber/search-content/content_type/product/activities/lattiatasoitteet-446. Hakupäivä 30.7.2019.

LIITTEET

LIITE 1 Gondola-test

LIITE 2 Prisma

LIITE 3 Puristuslujuus

LIITE 4 Lieriölujuuden muunnoskaava

LIITE 5 Laboratoriotutkimusten tulokset