Tampereen yliopisto

Anne Myllylä

BETONILATTIOIDEN KEMIALLINEN TIIVISTÄMINEN, LUJITTAMINEN JA SUOJAAMINEN

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Industry Professor Anssi Laaksonen
Yliopistonlehtori Toni Pakkala
Maaliskuu 2024

TIIVISTELMÄ

Anne Myllylä: Betonilattioiden kemiallinen tiivistäminen, lujittaminen ja suojaaminen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Maaliskuu 2024

Betonilattioille asetetaan monia laatuvaatimuksia, jotka perustuvat lattian käyttötarkoitukseen. Vaatimukset voivat liittyä mm. lattian ulkonäköön, tiiveyteen, kulutuskestävyyteen tai pölyävyyteen. Usein laatuvaatimusten täyttämiseksi ja betonin käyttöiän pidentämiseksi betonilattian pinta tulee käsitellä joko pinnoittamalla tai kemiallisesti. Työssä keskityttiin tarkastelemaan kemiallisia pintakäsittelyitä ja erityisesti niihin kuuluvia silikaattikäsittelyitä. Niiden avulla pyritään parantamaan betonipinnan tiiveyttä ja vähentämään pölyävyyttä. Silikaattikäsittelyiden käyttö on laajentunut myös pysäköintihalleihin, joissa betonilattian pinnalta edellytetään hyvää kulutuskestävyyttä. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, voidaanko silikaattikäsittelyillä parantaa lattian kulutuskestävyyttä sekä tiiveyttä. Lisäksi tutkittiin eri silikaattivalmisteiden eroja kyseisten ominaisuuksien osalta.

Tutkimuksessa perehdyttiin aluksi kemiallisiin käsittelyihin, jotka voidaan jakaa suojaaviin ja lujittaviin käsittelyihin. Merkittävänä erona käsittelyissä on niiden lujittava vaikutus, sillä suurin osa tuotteista ei paranna betonipinnan kulutuskestävyyttä. Käsittelyistä tarkasteltiin yleisesti niihin liittyvää termistöä sekä erityisesti niiden vaikutuksia lattian ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi veden läpäisevyyteen, kulutuskestävyyteen ja pakkasenkestävyyteen. Lopuksi tehtiin koejärjestely, jossa testattiin useiden markkinoilla olevien tyypillisten silikaattituotteiden kulutuskestävyyttä sekä veden tunkeutumissyvyyttä. Saatuja tuloksia verrattiin käsittelemättömään referenssikoekappaleeseen. Tuloksena saatiin tuotteiden Böhme-testin mukainen kulutuskestävyys sekä paineellisen veden tunkeutumissyvyys.

Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella silikaattikäsittelyt parantavat betonipinnan tiiveyttä rajoittamalla veden tunkeutumista betoniin. Käsittelyillä ei kuitenkaan ole testitulosten perusteella merkittävää vaikutusta betonilattian kulutuskestävyyteen, eivätkä testatut tuotteet täyttäneet raskaimpien kulutuskestävyysluokkien vaatimuksia. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että silikaattikäsittelyt pienentävät veden tunkeutumista betoniin ja näin ollen parantavat pinnan tiiveyttä. Toisaalta silikaattien käyttö kulutuskestävyyttä vaativissa kohteissa tarvitsee lisää tutkimusta sekä mahdollisesti myös eri testimenetelmien vertailua.

Avainsanat: Betonilattiat, kemiallinen pintakäsittely, silikaattikäsittely, kulutuskestävyys, tiiveys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Anne Myllylä: Chemical sealing, hardening and protection of concrete floors
Master of Science Thesis
Tampere University
Degree Program in Civil Engineering
March 2024

There are many quality requirements for concrete floors based on the purpose of its use. Requirements may include the appearance of the floor, permeability, abrasion resistance or dusting. Often the concrete floor must be treated either with floor coverings or chemically to fulfill the quality requirements and to extend the service life. This work concentrated on studying chemical surface treatments and especially surface treatments based on silicate. These treatments aim to improve the permeability of the concrete surface and reduce dusting. The utilization of surface treatments based on silicate have also been applied to parking garages, where good abrasion resistance of the concrete surface is required. The purpose of this thesis was to determine if silicate treatments can improve the abrasion resistance and permeability of concrete floors and to determine the differences between different silicate products regarding these properties.

The first part of the thesis was based on chemical treatments, which can be divided into protecting and hardening treatments. The main difference between these treatments is their hardening effect since most of the products don't improve the abrasion resistance of a concrete surface. Next, regarding the different types of surface treatments, the relevant terminology and especially their effects on the properties of concrete floors, such as water permeability, abrasion and frost resistance was examined.

The thesis was concluded with experimental arrangements, in which several typical silicate-based products on the market were tested in abrasion resistance and depth of water penetration. The results were then compared with a reference specimen which was non-coated. The experiment resulted in a Böhme-test certified abrasion resistance and water penetration depth under pressure for the selected products.

According to the results of this thesis, it can be stated that silicate-based surface treatments limit the water penetration into concrete, thus improving the density of the concrete surface. However, these treatments don't significantly affect the abrasion resistance of a concrete floor and the products that were tested didn't fulfill the class requirements necessary for the heaviest abrasion resistances. For future research purposes, the utilization of silicate treatments, where abrasion resistance is required, requires more research and possibly comparisons between different testing methodology.

Keywords: Concrete floors, chemical surface treatment, silicate-based surface treatment, abrasion resistance, permeability

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Sweco Finland Oy:lle sekä Suomen Betonilattiayhdistys ry:lle. Haluan kiittää työn ohjauksesta ja aiheen kehittämisestä Jussi Heinosta, Martti Matsista, Kimmo Fabrinia, Juha Komosta sekä Teemu Korhosta. Kiitos myös Betset Oy:lle, Semtu Oy:lle, Mapei Oy:lle, Suomen TPP Oy:lle, Master Chemicals Oy:lle, PiiMat Oy:lle, Sweco Finland Oy:lle ja Ceramid Oy:lle osallistumisesta työn kokeellisen osuuden toteuttamiseen sekä Auramo-säätiölle työn kokeellisen osuuden mahdollistamisesta. Lisäksi haluan kiittää työn ohjauksesta Tampereen Yliopiston Anssi Laaksosta ja Toni Pakkalaa. Suuri kiitos myös perheelleni sekä ystävilleni tuesta ja kannustuksesta.

Tampereella, 8.3.2024

Anne Myllylä

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
1.1 Tutkimuksen tausta 1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet, menetelmät ja rajaukset 2
1.3 Tutkimuksen toteutus ja rakenne 3
2. BETONILATTIAT 5
2.1 Laatuvaatimukset 5
2.1.1 Luokitusjärjestelmä 6
2.1.2 Keskeiset laatutekijät 8
2.2 Päällystämättömien lattioiden pintakäsittelyt 12
2.3 Betonilattioiden kohdekohtaiset vaatimukset 15
2.3.1 Julkiset tilat 15
2.3.2 Pysäköintilaitokset 16
2.3.3 Teollisuus- ja terminaalilattiat 20
2.4 Huolto ja ylläpito 22
3. BETONILATTIAN SUOJAAMISMENETELMÄT 24
3.1 Betonilattian pintakäsittelyt 25
3.2 Suojaamiskäsittelyt 27
3.2.1 Veden tunkeutuminen 31
3.2.2 Muut vaikutukset 33
3.3 Lujittamiskäsittelyt 36
4. BETONILATTIAN SILIKAATTIKÄSITTELY 38
4.1 Natriumsilikaatti 39
4.2 Kaliumsilikaatti 40
4.3 Litiumsilikaatti 41
4.4 Muut silikaatit 42
4.5 Silikaattikäsitellyn lattian ominaisuudet 43
4.5.1 Kulutuskestävyys 45
4.5.2 Vedenläpäisevyys 46
4.5.3 Kemiallisten aineiden tunkeutuminen 48
4.5.4 Karbonatisoituminen 50
4.5.5 Pakkasenkestävyys 51
4.5.6 Muut ominaisuudet 54
5. TUTKIMUSTULOKSET 56
5.1 Tutkimusten tausta 56
5.2 Tuotteet ja koekappaleet 57
5.2.1 Testattavat tuotteet 59
5.2.2 Pintojen valmistelu, silikaattien levitys ja koekappaleiden poraaminen 61
5.3 Kulutuskestävyyskoe 65
5.3.1 Böhme-testi 67

5.3.2 Kulutuskestävyyskokeen tulokset ... 68
5.4 Vedentunkeutumiskoe ... 70
5.4.1 Testimenetelmä ... 70
5.4.2 Vedentunkeutumiskokeen tulokset ... 72
6. YHTEENVETO ... 74
LÄHTEET ... 76
LIITE A: KULUTUSKESTÄVYYSKOKEEN TULOKSET ... 85
LIITE B: VEDENTUNKEUTUMISKOKEEN TULOKSET ... 107
LIITE C: PURISTUSLUJUUDEN TESTITULOKSET ... 112

KUVALUETTELO

Kuva 1. *Kiiltohiotun betonilattian hionta-asteet (Matsinen 2020, s. 66) 14*
Kuva 2. *Pysäköintilaitoksen pintojen kulutusrasituksen tasot (by68 2016, s. 64) 18*
Kuva 3. *Kovabetonipinta (1a) sekä sirotepinta (1b) (Matsinen 2022, s. 60) 20*
Kuva 4. *Betonipinnan käsittelyaineiden luokitus, a) pinnoitteet, b) impregnointi, c) hydrofobinen impregnointi (Bentur et al. 2005, s. 124) 25*
Kuva 5. *Silaani- sekä siloksaanimolekyylin rakenne (Pan et al. 2016a, s. 580) 30*
Kuva 6. *Silaanikäsittelyn vaikutus betonin kapillaarihuokosissa (Liu & Hansen 2016, s. 50) 31*
Kuva 7. *Betonin ja nesteen välinen kosketuskulma (Flores-Vivian et al. 2013, s. 13285) 32*
Kuva 8. *Silikaatin toiminta betonissa (Obtego 2022, s. 44) 38*
Kuva 9. *Natriumsilikaatin kemiallinen rakenne (1MalaysiaBiolab 2023) 39*
Kuva 10. *Kaliumsilikaatin kemiallinen rakenne (ChemSpider 2024, muokattu) 40*
Kuva 11. *Litiumsilikaatin kemiallinen rakenne (Wikipedia 2021) 41*
Kuva 12. *Betonin vaurioituminen (Bertolini et al. 2014, s. 50) 43*
Kuva 13. *Huokostetun ja huokostamattoman betonin jäätymis-sulamissyklien lukumäärä eri vesi-sementtisuhteilla (Bertolini et al. 2014, s. 52) 53*
Kuva 14. *Betonin mikroskooppinen rakenne: (a) käsittelemätön betoni, (b) litiumsilikaatti, (c) nanosilika, (d) etyylisilikaatti (Li et al. 2022, s. 16) 54*
Kuva 15. *Testilaatta ennen pinnan hiontaa 58*
Kuva 16. *Betonilaatan pinta hiontakertojen jälkeen (vas. 60/80, oik. 100/120) 61*
Kuva 17. *Testilaattojen jakaminen ruutuihin 62*
Kuva 18. *Tuotteiden punnitus 63*
Kuva 19. *Testilaatat tuotteiden levityksen jälkeen 64*
Kuva 20. *Koekappaleiden sijoittuminen testilaatan ruudussa 65*
Kuva 21. *Periaatekuva Böhme-kulutuskoekoneesta (SFS-EN 13892-3 2015, s. 6) 67*
Kuva 22. *Böhme-testin tulokset 69*
Kuva 23. *Paineellisen veden tunkeutumasyvyyden testilaitteisto (SFS-EN 12390-8 2019, s. 6) 71*
Kuva 24. *Koekappaleen testattava pinta (SFS-EN 12390-8 2019, s. 6) 72*
Kuva 25. *Veden tunkeutumistestin tulokset 73*

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Betonilattioiden luokitusjärjestelmä (BY45/BLY7 2018, s. 17) 7
Taulukko 2. Betonilattian kulutuskestävyysvaatimukset ja -luokat (BY45/BLY7 2018, s. 23) 9
Taulukko 3. Suositeltavat suurimmat sallitut halkeamaleveydet (BY45/BLY7 2018, s. 26–28) 12
Taulukko 4. Pysäköintitalojen kulutuskestävyysvaatimukset (BY45/BLY7 2018, s. 24) 19
Taulukko 5. Betonilattian kemialliset suojaamiskäsittelyt 28
Taulukko 6. Pintakäsittelyn betonin tutkittavia ominaisuuksia (Basheer et al.1997 & Li et al. 2022) 44
Taulukko 7. Testilaatassa käytetyn betonin ominaisuudet. 57
Taulukko 8. Työssä testattavat tuotteet sekä verrokkikoekappaleet. 60

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Betonipinnan impregnointi = Nesteen imeyttämistä betonin huokoiseen pintaan

Fluatointi = Pölynsidontakäsittely, joka ei muodosta betonin pintaan kalvoa

Silaani- ja siloksaanikäsittely = Betonipinnan impregnointikäsittely silaani- ja siloksaanipohjaisilla tuotteilla, minkä seurauksena pinnasta tulee vettähylkivä

Silikaattikäsittely = Betonin impregnointikäsittely silikaattipohjaisilla tuotteilla, minkä seurauksena betonin pinta lujittuu ja tiivistyy

.

1. JOHDANTO

Betoni on yleisimmin käytetty lattiamateriaali rakentamisessa ja betonilattioiden tulee vastata kyseessä olevan kohteen laatuvaatimuksiin. Vaatimuksia asetetaan esimerkiksi lattian tasaisuudelle, kulutuskestävyydelle, halkeilulle, säilyvyydelle, puhdistettavuudelle ja ulkonäölle. (BY45/BLY7 2018) Näkyvien arkkitehtonisten betonilattioiden käyttö on viime vuosien aikana lisääntynyt esimerkiksi julkisessa rakentamisessa, kuten kouluissa ja terveydenhuollon tiloissa (Matsinen 2018). Niissä keskeisessä roolissa on lattioiden tavanomaisten laatuvaatimuksien lisäksi ulkonäkö sekä puhdistettavuus. Sen sijaan esimerkiksi teollisuusrakennuksissa ja terminaaleissa laatuvaatimukset keskittyvät lattian teknisiin ominaisuuksiin, kuten kulutuskestävyyteen. Hierretty tai hiottu esille jäävä betonilattia tulee kuitenkin kaikissa tapauksissa kemiallisesti suojata, jotta varmistetaan sen pölyämättömyys sekä puhtaanapito. (Betoni 2022a) Lattian käytön suhteen oikein valittu käsittely kasvattaa betonin käyttöikää, mikä vähentää myös betonin elinkaaren aikana syntyviä päästöjä (Zhaoheng *et al.* 2018, s. 332).

1.1 Tutkimuksen tausta

Betoni on huokoinen materiaali, mikä edesauttaa haitallisten aineiden kapillaarista tunkeutumista betonirakenteen sisälle. Veden ja kemiallisten aineiden tunkeutuminen sekä niiden aiheuttamat ilmiöt, kuten pakkasrapautuminen tai karbonatisoitumisen mahdollistama raudoitteiden korroosio saattavat vaurioittaa betonirakennetta ja lyhentää sen käyttöikää. (Basheer & Cleland 2011, s. 957–958) Betonipinnan suojaaminen perustuu joko suojaavaan kerrokseen huokosten päällä, tai betonissa olevien huokosten pinnoittamiseen tai tukkimiseen (SFS-EN 1504-2 2005, s. 8). Suojaamiseen voidaan käyttää mm. impregnointikäsittelyä (Betoni 2022b).

Impregnointi on yleinen betonilattioiden kemiallinen suojaamiskäsittely, jossa nestettä imeytetään betonin huokoiseen pintakerrokseen. Impregnointikäsittelyn myötä betonin pinta tiivistyy ja erilaiset epäpuhtaudet ja kemikaalit eivät pääse imeytymään betonin huokosverkostoon. Lisäksi oikein valittu impregnointikäsittely voi ehkäistä betonipinnan pölyämistä. Käsittely ei jätä betonin pintaan kalvoa, toisin kuin pintalakkaukset. (Betoni 2022b)

Impregnointi voidaan toteuttaa joko silikaatti-, silaani- tai siloksaanipohjaisilla impregnointiaineilla. Silaani- ja siloksaanipohjaiset aineet muodostavat betonin pintaan avautuvien huokosten pinnalle vettähylkivän kerroksen (SILKO 2.252 2019, s. 2). Silikaattipohjaiset aineet reagoivat betonissa kemiallisesti saaden aikaan tiiviin pinnan (Hellén 2012, s. 1). Silikaateilla saadaan aikaan tiiviyden lisäksi kulutusta kestävä luja betonipinta. (Matsinen 2009, s. 51) Silikaatteja käytetään esimerkiksi elintarvikealalla, jossa puhtausvaatimukset ovat korkeat mutta niiden käyttö on lisääntynyt myös kulutuskestävyyttä vaativissa kohteissa, kuten teollisuuslattioissa ja parkkihalleissa (Pintalattiat 2023; Matsinen 2017b). Silikaattipohjaisia impregnointiaineita on olemassa kolmea päätyyppiä, jotka ovat natriumsilikaatti, kaliumsilikaatti sekä litiumsilikaatti. Näiden lisäksi on olemassa myös erilaisia hybridisilikaattiyhdisteitä, kuten esimerkiksi kalium-litiumsilikaatteja. (Obtego 2022, s. 47) Silikaattikäsittelyn lisäksi betonilattia voidaan käsitellä lujitus- ja suojaus -menetelmällä, missä lujittaminen toteutetaan silikaattipohjaisella aineella ja suojaaminen kopolymeerillä (Betoni 2022b).

Silikaattikäsittely vaikuttaa moniin betonilattian ominaisuuksiin, kuten kulutuskestävyyteen, vedenläpäisevyyteen, kemiallisten aineiden tunkeutumiseen sekä pakkasenkestävyyteen. Siitä huolimatta tutkimusaineistoa liittyen silikaattikäsittelyiden vaikutuksiin on olemassa melko vähän, ja eri tutkimuksista saadut tulokset saattavat poiketa suurestikin toisistaan. Lisäksi eri tutkimuksissa saatuja tuloksia on hankala verrata suoraan keskenään, sillä niissä käytetyt materiaalit ja menetelmät eroavat toisistaan.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet, menetelmät ja rajaukset

Työssä keskitytään tutkimaan betonilattioiden kemiallisista suojaus, tiivistys- ja lujittamismenetelmistä etenkin silikaattikäsittelyitä. Työssä tutkitaan, vastaavatko silikaattikäsitellyt betonilattiat niiden kulutuskestävyysvaatimuksiin, sekä miten eri silikaatit eroavat ominaisuuksiltaan ja vaikutuksiltaan, mm. veden tunkeutumissyvyyden ja kulutuskestävyyden kannalta. Työn tavoitteena on perehtyä lisäksi yleisesti betonilattioiden suojaamiseen ja lujittamiseen, eli tutustua eri menetelmiin sekä niiden ominaisuuksiin ja eroavaisuuksiin. Työn pääpaino on kuitenkin silikaattikäsittelyissä. Lisäksi työn yhtenä tärkeänä tavoitteena on määritellä betonilattioiden kemialliseen suojaamiseen ja lujittamiseen liittyvät keskeiset termit, joiden käyttö ja merkitys on monelta osin epäselvää. Työn tulosten perusteella on mahdollista arvioida silikaattien käyttökohteita ja keskinäisiä eroja. Lisäksi työn tulosten perusteella on mahdollista toteuttaa silikaattikäsittelyohje tai työselitysmalli ja selkeyttää aiheeseen liittyvää terminologiaa.

Työssä rajoitutaan tarkastelemaan tutkimusongelmaa rakennesuunnittelun ja laatuvaatimuksien kannalta, joten työssä ei analysoida esimerkiksi laajemmin eri vaihtoehtojen

kustannuksia tai menekkiä. Tutkimusongelmaa käsitellään vain teknisten ominaisuuksien osalta, sekä muodostetaan yhtenäinen käsitteistö koskien betonilattioiden kemiallista suojaamista, lujittamista ja tiivistämistä. Työssä suoritettavissa laboratoriokokeissa rajoitutaan testaamaan näytteistä vain kulutuskestävyyttä ja veden tunkeutumista, joiden voidaan katsoa olevan keskeisiä silikaattien ominaisuuksia. Näiden lisäksi olisi mahdollista testata myös esimerkiksi pakkasenkestävyyttä, kemiallista kestävyyttä tai silikaattien tunkeutumissyvyyttä, mutta työn rajaamiseksi näihin perehdytään vain kirjallisuuskatsauksessa. Testit rajataan koskemaan vain tavanomaista lattiabetonia, joten niissä ei tutkita betonin ominaisuuksien vaikutusta silikaattikäsittelyyn. Työssä rajataan tarkastelun ulkopuolelle pienrakentamisen betonilattiat sekä maakosteat betonilattiat. Työssä ei käsitellä myöskään elementtirakenteisia betonilattioita, vaan rajoitutaan tarkastelemaan vain paikallavalettavia rakenteita.

1.3 Tutkimuksen toteutus ja rakenne

Työssä toteutetaan kirjallisuustutkimus sekä laboratoriokokeita. Kirjallisuuskatsauksessa on tarkoitus keskittyä erityisesti aiempiin tutkimuksiin silikaattien käytöstä sekä silikaattikäsiteltyjen betonipintojen ominaisuuksiin. Laboratoriokokeissa testataan käytännössä eri silikaattituotetyyppejä, käsittelemällä mallikappaleita eri valmisteilla ja vertailemalla niistä saatuja koetuloksia. Laboratoriossa mallikappaleista tutkitaan näytteiden kulutuskestävyyttä sekä veden tunkeutumissyvyyttä. Koetulosten raportointi on tarkoitus toteuttaa työssä anonyymisti, mutta kuitenkin niin, että valmistajat saavat tiedon oman tuotteensa sijoittumisesta kilpailijoihin nähden.

Laboratoriotutkimusten lisäksi työssä olisi mahdollista toteuttaa myös testejä todellisissa kohteissa, joissa tietyllä tuotetyypillä käsitellystä lattiasta otetaan poralieriönäyte ja tutkitaan laboratoriossa silikaattien tunkeutumissyvyyttä. Todellisten kohteiden testeissä haasteena on kuitenkin tulosten vertailtavuus, sillä eri kohteissa betonin ominaisuudet vaihtelevat, mikä vaikuttaa myös koetuloksiin. Lisäksi olemassa olevien kohteiden tarkkoja lähtötietoja betonin ominaisuuksien tai käytetyn silikaattivalmisteen suhteen voi olla vaikeaa saada selville. Näiden seikkojen vuoksi todellisten kohteiden testit rajataan työstä pois.

Työn teoriaosuus on jaettu kolmeen osaan, joista ensimmäisessä käsitellään betonilattioita yleisesti ja käydään läpi niiden laatuvaatimuksia sekä erilaisissa kohteissa käytettävien betonilattioiden ominaisuuksia ja tyypillisiä piirteitä. Lisäksi ensimmäisessä osassa käsitellään betonilattioiden huoltoa ja ylläpitoa. Teoriaosuuden toisessa osassa käsitellään betonilattioiden suojausmenetelmiä. Siinä käydään erityisesti läpi aiheeseen liittyvää terminologiaa ja taustaa, jonka jälkeen käsitellään erilaisia betonilattioille tehtäviä

kemiallisia lujittamis- ja suojaamiskäsittelyitä. Osuudessa ei käsitellä muita kuin kemiallisia käsittelyjä, joten tarkastelusta jätetään pois esimerkiksi pinnoitteet ja lakkaukset. Teoriaosuuden päättää betonilattioiden silikaattikäsittelyyn keskittyvä luku, jossa käsitellään eri silikaattityyppejä sekä silikaattikäsitellyn betonilattian ominaisuuksia.

Työn empiirisessä osassa käsitellään työssä tehtyjen kokeiden testausasetelmaa ja testausmenetelmiä sekä tuloksia. Luku on jaettu testattujen parametrien mukaan kahteen osaan, joista ensimmäinen käsittelee paineellisen veden tunkeutumissyvyyttä silikaattikäsitellyssä lattiassa sekä toinen osa kulutuskestävyyttä. Lopuksi analysoidaan kokeista saatuja tuloksia tutkimusongelman kannalta, eli minkä tasoinen kulutuskestävyys saavutetaan silikaattikäsitellyillä betonilattioilla ja miten erityyppiset silikaattivalmisteet eroavat toisistaan kulutuskestävyyden sekä veden tunkeutumissyvyyden kannalta.

2. BETONILATTIAT

Betonilattiat ovat merkittävässä roolissa rakennuksissa sekä rakenteellisena osana että rakennuksen käyttökohteen mukaisessa toiminnassa, esimerkiksi työskentelypintana tai trukkiväylänä. Betonilattiat jaetaan rakenteellisen toimintatavan perusteella viiteen perustyyppiin, jotka ovat maanvarainen lattia, paalulaatta, pintabetonilattia, kelluva pintabetonilattia sekä kantava paikallavalettu laatta. Betonilattioiden tulee kestää niihin kohdistuvat kuormat sekä niistä syntyvät rasitukset ja täyttää käyttökohteesta riippuvat laatuvaatimukset. Usein lattioissa esiintyvät ongelmat johtuvat puutteellisista laatuvaatimuksista, joten niiden määrittely on keskeisessä roolissa betonilattioiden suunnittelussa. (BY45/BLY7 2018, s. 10–14, 18) Lattioiden suunnittelussa tärkeässä roolissa on myös käyttökohde sekä käyttäjien asettamat vaatimukset lattialle. Kun nämä huomioidaan jo suunnitteluvaiheessa, säästetään ylläpito- ja korjauskustannuksissa. (Garber 2006, s. 3–4)

2.1 Laatuvaatimukset

Keskeisiä betonilattioiden laatuvaatimuksia varten on olemassa luokitusjärjestelmä, joka esittää lattian minimilaatutason. Yleensä pyritään kuitenkin mahdollisimman korkeaan laatutasoon. Luokitellut laatuvaatimukset ovat tasaisuus, kulutuskestävyys sekä halkeilun hallinta. Luokitusjärjestelmän lisäksi on olemassa luokittelemattomia laatutekijöitä, joita ovat mm. säilyvyys, pölyämättömyys, puhdistettavuus ja ulkonäkö. Laatuvaatimukset ovat kohdekohtaisia, joten ne vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Betonilattioiden suunnittelun alkuvaiheessa tulee selvittää lattian toiminnalliset vaatimukset, pinnoitus- ja päällystystarve, rakenteellinen toiminta, kuormitus sekä mekaaniset ja kemialliset rasitukset. Betonilattioille laaditaan laatuvaatimuksien lisäksi myös käyttö- ja ylläpitosuunnitelma. Siinä määritellään ohjeet lattian puhtaanapidosta, hoidosta ja huoltotoimenpiteistä. (BY45/BLY7 2018, s. 15, 18–19, 186)

Leino (2022) mukaan lattioiden tyypilliset virheet eivät liity lattian rakenteelliseen murtoon, vaan yleisimpiä betonilattioihin liittyviä valituksia ovat halkeilu, ongelmat sirotepinnassa, ulkonäkö sekä pinnoitteiden virheet. Ongelmia aiheuttavat myös puutteellinen työnsuoritus, lattian kosteus sekä suunnittelupuutteet. Lopputuloksen laadun varmistamiseksi tulee lähtötiedot, kuten kuormitus ja käyttöolosuhteet, selvittää mahdollisimman tarkasti. Myös suunnitteluvaiheessa tulee kiinnittää huomiota mm. kuormankestoon, kulutuskestävyyteen, lämpötilankestoon sekä detaljikkaan. Työn suorituksessa valutyön

ohella myös valmistelevilla töillä on merkitystä. Näihin kuuluvat esimerkiksi maatyöt, lämmöneristykset, raudoitukset sekä sääsuojaukset. Valutyön jälkeen tulee kiinnittää huomiota jälkihoitoon sekä pinnoitustyön aloitusajankohtaan. (Leino 2022)

2.1.1 Luokitusjärjestelmä

Suomen betoniyhdistys on ohjannut lattiarakentamista jo vuodesta 1975 alkaen julkaisuilla *by 8*, *by 12* ja *by 13*. Betonilattiat BY45/BLY7 julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1997. Sen nykyisen version BY45/BLY7 (2018, s. 15–17) määrittelemä betonilattioiden luokitusjärjestelmä sisältää keskeisimmät laatuvaatimukset, jotka ovat lattian suoruus, kulutuskestävyys sekä suurin sallittu halkeamaleveys. Luokitusjärjestelmään valitut laatuvaatimukset ovat merkittäviä lattian kestävyyden ja käytön kannalta. Lisäksi ne voidaan mitata valmiista lattiasta ennalta määritetyllä tavalla. Lattian luokka ilmoitetaan yhdistelmällä, joka koostuu kirjaimista ja numeroista. Tunnuksessa kirjain esittää lattian suoruusvaatimuksen, numero kulutuskestävyysluokan ja roomalainen numero suurimman sallitun halkeamaleveyden. Taulukossa 1 on esitetty suositeltu lattian laatutekijöiden valinta tavanomaisissa tapauksissa taulukkomuodossa.

Taulukko 1. *Betonilattioiden luokitusjärjestelmä (BY45/BLY7 2018, s. 17)*

Kohde	**Laatuluokka**		
	Suoruus	**Kulutuskes-tävyys**	**Halkeilu**
Asunnot ja toimistot			
· päällystettävät lattiat, sisätilat	A	3	III
· arkkitehtoniset lattiat	A	3	3)I-UA tai I-UB
· muut päällystämättömät lattiat			
· parvekkeet ym. kylmät tilat1)	C	4	2)
· käytävä	C	3	II
· sauna ja pesuhuonetilojen päällystettävät kaatolattiat	A	4	II
Teollisuuslattiat			
· tasaisuus tärkeä laatutekijä, kuten korkeissa varastoissa (esim. trukkiliikenne)	A0 (A)	2	II (I)
· kulutuskestävyys tärkeä laatutekijä (esim. suuret liikennekuormat, vilkas liikenne, pienet ja kovat trukin pyörät)	B	1 (2)	II (I-K)
· teollisuuslattiat yleensä (esim. pienteollisuustalot, kevyt teollisuus)	C	2	II
Pysäköintilaitokset			
· kulutuskestävyys ja pinnan karheus tärkeitä laatutekijöitä; kaltevuudet suunnitellaan niin, että lattialle ei muodostu lammikoita	B	2	II2)
Toisarvoiset päällystämättömät tilat			
· esim. kellaritilat asuinrakennuksissa	C	3	III

1) Pakkasenkestävyys varmistettava ulkorakenteissa.

2) Kantavissa rakenteissa noudatetaan voimassa olevien suunnitteluohjeiden vaatimuksia.

3) Määritellään ja suunnitellaan kohdekohtaisesti.

Taulukosta 1 nähdään, että laatutekijöiden valinta on kohdekohtaista. Jaottelussa huomioidaan asuin- ja toimistotilojen päällystettävät lattiat, teollisuuslattiat, pysäköintilaitokset sekä toisarvoiset päällystämättömät lattiat. Vaativissa kohteissa tunnuksen perään tulee lisätä kirjain T, jolla varmistetaan työnjohdon pätevyys. Merkintä edellyttää, että hankkeen aloituspalaverissa lattiaurakoitsijalla tulee olla betonilattiatyönjohtajan pätevyys. Vaativina kohteina voidaan pitää lattioita, jotka ovat laaja-alaisia ja saumattomia, kulutusrasitettuja, suoruusvaatimuksiltaan tiukkoja, kuuluvat halkeiluluokkaan I tai niiden ympäristörasitus on ankara. (BY45/BLY7 2018, s. 15–17) Taulukon 1 luokat käsitellään seuraavissa luvuissa.

2.1.2 Keskeiset laatutekijät

Lattian suoruus ja tasaisuus ovat käytön kannalta tärkeitä laatutekijöitä. Suora lattia mahdollistaa liikkuvien ja paikallaan olevien laitteiden käytön sekä kaltevissa lattioissa toimivan vedenpoiston. Suoruus määritellään vertaamalla lattian pintaa vaakasuoraan tasoon, tai kaltevissa lattioissa nimelliskaltevuuteen. Lattia voi olla vaakasuora, vaikka se ei olisi tasainen. Sen takia myös lattian tasaisuudelle tulee asettaa vaatimuksia, jotta se voidaan päällystää tai pinnoittaa ja se soveltuu tarvittaessa trukkiliikenteelle. Tasaisuutta arvostellaan lattian hammastuksen ja aaltoilun perusteella. Se määritellään kahden noin 200–300 mm:n etäisyydellä olevan pisteen korkoeron kautta. Suoruusvaatimus ilmoitetaan kirjaimilla A_0, A, B tai C, joista A_0 luokka on vaativin. (BY45/BLY7 2018, s. 19–21)

BY45/BLY7 (2018, s. 15, 21) mukaan toinen luokitusjärjestelmään kuuluva keskeinen laatutekijä on lattian kulutuskestävyys, joka ilmaistaan numerolla 1, 2, 3 tai 4. Kulutuskestävyyttä ei tavallisesti todenneta kokeellisesti, ellei perustellusti epäillä lattian olevan vaatimuksia heikompi. Jos kokeiden suorittaminen katsotaan tarpeelliseksi, niitä tehdään yksi jokaista alkavaa 5000 m^2 aluetta kohden. Kulutuskestävyyden mittaamiseen käytetään Böhme-testiä. (BY45/BLY7 2018, s. 15, 21) Testimenetelmä esitetään työn kokeellisen osuuden yhteydessä kappaleessa 5.3.1. Taulukossa 2 on esitetty kulutuskestävyysluokat ja niiden vaatimukset 3 kuukauden ikäiselle betonille.

Taulukko 2. *Betonilattian kulutuskestävyysvaatimukset ja -luokat (BY45/BLY7 2018, s. 23)*

Kulutus-kestävyys-luokka	**Lattian kuormitukset**	**Työmenetelmä, jolla vaatimus saavutetaan**	**Böhme luokitus: sallittu kuluminen [$cm^3/50\ cm^2$]**
1	Erittäin raskaan teollisuuden trukkikuormitus, umpikumipyörät, kuorma ≤ 80 kN. Teräspyörät, pintapaine ≤ 4 N/mm^2. Metallirakenteiden käsittelyä lattialla. Jalankulkuliikenne yli 1000 henkilöä/pvä.	· 10…20 mm:n paksuinen erikoisbetoni. Kulutuskestävyysluokka A6. Koneliippaus tai konehierto vähintään 2 kertaa. · 30 mm:n kovabetonilattia C40/50. · Betoni C25/30 + sirotepintaus. Kulutuskestävyysluokka A6. Koneliippaus tai konehierto vähintään 2 kertaa.	≤ 6 (A6) ≤ 3 (A3), kun kuormitus iskevä tai laahaava
2	Raskas metalliteollisuus, huoltohallit, ilmarengaspaine ≤ 10 bar, teräspyörän pintapaine ≤ 2 N/mm^2 Umpikumipyörät. Jalankulku 100…1000 henkilö/pvä.	· Betoni C30/37, maksimiraekoko vähintään 16 mm ja koneliippaus siivillä sileäksi tai konehierto vähintään 2 kertaa. · Betoni C25/30 + sirotepintaus. Kulutuskestävyysluokka A9 + koneliippaus tai konehierto vähintään 2 kertaa. · Betoni C25/30, kovettuneen lattian pintahionta siten, että sementtiliima poistuu ja runkoaine on tasaisesti näkyvissä, hiotun pinnan silikaattikäsittely.	≤ 9 (A9)
3	Keskimääräinen kuormitus, trukkikuormat ≤ 40 kN, rengaspaine ≤ 6 bar. Ilmatäytteiset kumipyörät. Jalankulku alle 100 henkilö/pvä.	· Hyvällä ammattitaidolla tehdyt koneella hierretyt lujuusluokan C25/30 lattiat.	≤ 12 (A12)
4	Kevyesti liikennöidyt ja kuormitetut tilat, trukkikuorma ≤ 10 kN, rengaspaine ≤ 3 bar.	Hyvällä ammattitaidolla tehdyt lujuusluokan C25/30 lattiat.	≤ 15 (A15)

Taulukosta 2 nähdään, että vaativin kulutuskestävyysluokka on 1, johon kuuluvat esimerkiksi raskaasti kuormitetut teollisuuslattiat. Taulukossa on esitetty myös eri kulutuskestävyysluokkien saavuttamiseen soveltuvia työmenetelmiä. Työmenetelmien mukaan vaativimman kulutuskestävyysluokan saavuttamiseen ei päästä pelkästään lattian silikaattikäsittelyllä. Taulukon 2 kulutuskestävyyskoe ei vastaa nastarenkaiden aiheuttamaa kulutusta, joten pysäköintihalleille on laadittu omat suositeltavat työmenetelmät (BY45/BLY7 2018, s. 23–24).

Kolmas keskeinen betonilattian laatuvaatimus on halkeilun rajoittaminen. Garber (2006, s. 207–211) mukaan betoniin syntyy halkeamia sekä plastisessa vaiheessa että kovettuneessa betonissa. Plastiset kutistumahalkeamat syntyvät tuoreen betonin kuivuessa. Plastista kutistumahalkeilua syntyy etenkin kuivassa tai tuulisessa ilmastossa, joten niiden syntymistä voidaan rajoittaa suojaamalla valu auringonpaisteelta ja tuulelta. Lisäksi plastisen kutistumahalkeilun hallinnassa jälkihoidolla on suuri merkitys. Plastiset halkeamat ovat betonin pinnalla olevia verkkomaisia halkeamia, jotka eivät yleensä ulotu laatan reunoille asti. Ne aiheuttavat harvoin ongelmia lattian toiminnan kannalta. Myös plastinen painuma aiheuttaa halkeilua, kun plastisessa vaiheessa oleva betoni painuu suhteessa esimerkiksi paikallaan pysyviin raudoitustankoihin. Halkeamat syntyvät tällöin suoraan tankojen yläpuolelle. Plastista painumahalkeilua esiintyy yleensä, kun betoniteräkset sijaitsevat lähellä pintaa sekä niiden halkaisija on suuri. Myös laatan paksuudella on merkitystä. Paksut laatat painuvat enemmän kuin ohuet laatat, joten ne myös halkeilevat enemmän. (Garber 2006, s. 207–211)

Kuivumiskutistumahalkeamat syntyvät, kun betonin kuivuessa sen kutistuminen on estetty. Estetyn kutistumisen seurauksena syntyy vetorasituksia, joiden ylittäessä betonin vetolujuuden syntyy halkeamia. Halkeamien syntymistä voidaan pyrkiä estämään esimerkiksi jännittämällä laattoja. (Garber 2006, s. 207–211) Tämä on kuitenkin harvinainen tapa maanvaraisissa lattioissa. Jälkijännitettyjä laattoja hyödynnetään tyypillisesti paikallavaletuissa pysäköintilaitoksissa. Niissä halkeilu on hyvin pientä tai sitä ei esiinny ollenkaan. (Mannonen 2008, s. 84). Garber (2006, s. 207–211) mukaan kuivumis-kutistumahalkeilun estäminen on jännittämättömissä rakenteissa hankalaa, joten usein halkeamien syntymistä pyritäänkin sen sijaan rajoittamaan. Halkeamien syntymistä rajoitetaan kasvattamalla raekokoa, alentamalla vesi-sementtisuhdetta, vähentämällä sementin määrää, irrottamalla lattia pystyrakenteista sekä vähentämällä laatan ja alustan välistä kitkaa. (Garber 2006, s. 207–211)

Neville (2011, s. 388) mukaan erityisesti vesi-sementtisuhteen valintaan tulee kiinnittää huomiota. Betonin sementtipitoisuuden kasvattaminen lisää kutistumaa, mutta toisaalta

se kasvattaa betonin vetolujuutta. Näin ollen betoni kestää paremmin muodonmuutoksista syntyviä vetolujuuksia. (Neville 2011, s. 388) Vesi-sementtisuhdetta ei tule laskea kuitenkaan liian alhaiseksi, sillä korkealujuusbetonit halkeilevat lujuusluokaltaan normaaleihin betoneihin verrattuna enemmän. Tämä johtuu suuremmasta lämpökutistumasta sekä alhaisemmasta jännitysrelaksaatiosta. (Kumar Mehta & Monteiro 2006, s. 118)

Betonilattian halkeilu aiheuttaa monia toiminnallisuuteen ja säilyvyyteen vaikuttavia ongelmia. BY45/BLY7 (2018, s. 24–25) määrittelee halkeamiksi yli 0,05 mm leveät halkeamat. Halkeamille asetetaan sallitut leveyden raja-arvot, jotka riippuvat rakenteen käyttötarkoituksesta sekä halkeamaleveyden rajoittamisesta aiheutuvista kustannuksista. Suurimman sallitun halkeamaleveyden valinnassa otetaan huomioon lattian toiminnallisuus, säilyvyys sekä ulkonäkö. Leveät halkeamat lyhentävät käyttöikää, sillä niiden kautta haitalliset aineet, kuten esimerkiksi kloridit, pääsevät tunkeutumaan betonin sisälle. Lisäksi teollisuuslattioissa halkeamien kohdalla esiintyy erityisesti trukkiliikenteen takia lohkeilua ja murtumista, mikä kasvattaa vaurioaluetta. Halkeamat vaikuttavat myös lattian tasaisuuteen, sillä halkeamien kohdalla lattian reunat saattavat nousta. Halkeamien ollessa suuria, lattia ei kykene välittämään kuormia sen yli. Tällöin saattaa muodostua tasoero, jonka korjaaminen on vaikeaa. (BY45/BLY7 2018, s. 24–25)

Taulukossa 3 on esitetty maanvaraisten lattioiden ja pintalattioiden suositellut suurimmat sallitut halkeamaleveydet laatan yläpinnalla.

Taulukko 3. *Suositeltavat suurimmat sallitut halkeamaleveydet (BY45/BLY7 2018, s. 26–28)*

Luokka	Luokan kuvaus	Halkeamaleveys	Käyttökohde
I-UA	Ulkonäön suhteen erittäin vaativa	0,1…0,2 mm	Päällystämättömät lattiat, joilla erittäin tiukat ulkonäkö-vaatimukset
I-UB	Ulkonäön suhteen vaativa	0,1…0,3 mm	Päällystämättömät lattiat, joilla tiukat ulkonäkövaati-mukset
I-K	Kulutuskestävyyden suhteen vaativa	< 0,3 mm	Päällystämättömät lattiat, joilla kulutuskestävyysvaati-mukset
II	Normaali	< 0,5 mm	Tavalliset teollisuuslattiat ja päällystettävät lattiat, asuin-rakennusten toisarvoiset maalattavat tai päällystämät-tömät lattiat
III	Vähäinen	< 1 mm	Halkeilun kannalta toisarvoi-set lattiat
IV	Erikoisluokka	Sovitaan erikseen	Erikoistapaukset

Taulukosta 3 nähdään, että tiukimmat vaatimukset liittyvät lattian ulkonäköön. Tällöin tavoitellaan lähes halkeilematonta arkkitehtonista lattiaa. Luokka I on jaettu kolmeen osaan, joista luokat I-UA sekä I-UB liittyvät ulkonäöltään vaativiin lattioihin ja luokka I-K kulutuskestävyydeltään vaativiin lattioihin. Luokkaan I kuuluvat lattiat voidaan toteuttaa esimerkiksi jälkijännitettyinä tai käyttämällä vähän kutistuvaa sideainetta ja lisäainetta, joka vähentää kutistumaa. Erikoisluokkaa IV voidaan soveltaa rakenteissa, joissa halutaan poiketa laatuluokituksesta. Tämä voi tulla kyseeseen esimerkiksi kloridirasitetuissa, vesitiiviissä tai raskaasti rasitetuissa lattioissa. (BY45/BLY7 2018, s. 24–28)

2.2 Päällystämättömien lattioiden pintakäsittelyt

Lumme *et al.* (2021, s. 82) mukaan betonipintaiset lattiat yleistyvät liikennerakennusten lisäksi myös liike-, toimisto- ja asuinrakennuksissa. Betonin jäädessä näkyväksi pinnaksi lattiaan, tulee suunnitteluun sekä toteutukseen kiinnittää erityistä huomiota. Halutun lopputuloksen saavuttaminen edellyttää sujuvaa yhteistyötä kaikkien osapuolten kesken, sillä lattian ulkonäköön ja toimivuuteen vaikuttavat lattian alusta, raudoitus, betonilaatu, liikuntasaumat, tiivistys sekä jälkihoito. Lähtökohtana näkyvän betonilattian suunnittelussa on halkeilun rajoittaminen, mikä toteutetaan perustuen julkaisuun BY45/BLY7. (Lumme *et al.* 2021, s. 82) BY45/BLY7 (2018, s. 26) mukaan ulkonäkövaatimuksiltaan

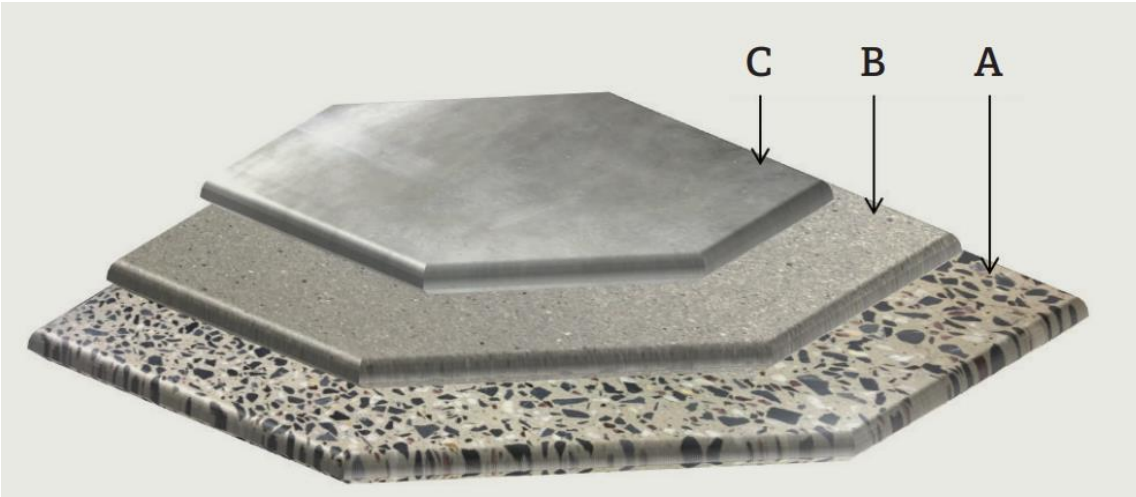
vaativat arkkitehtoniset lattiat kuuluvat luokkaan I-UA tai I-UB, joissa suurin sallittu halkeamaleveys on rajoitettu 0,1–0,3 mm:iin (BY45/BLY7 2018, s. 26)

Arkkitehtonisia betonipintaisia lattioita toteutetaan yleisimmin maanvaraisiin lattioihin tai pintalattioihin ja raudoituksena käytetään pääasiassa harjateräksiä. (Lumme *et al.* 2021, s. 82) BY45/BLY7 (2018, s. 26) mukaan kuitubetonin käyttöä suositellaan vain, jos lattian pinta toteutetaan sirotepintauksella tai erillisenä jälkivaluna. Lattiat toteutetaan usein rajaamalla päivittäiset valualueet liikuntasaumoilla, ja mitoittamalla laatan raudoitus niin, että sen vetokestävyys on suurempi kuin betonin vetokestävyys (Lumme *et al. 2021, s. 82)*. Toteutusvaiheessa tulee huolehtia, että valutyö toteutetaan vedottomassa ja katetussa tilassa. Lisäksi varsinaisen jälkihoidon lisäksi tulee käyttää välijälkihoitoainetta. Näin voidaan ehkäistä plastisen kutistuman aiheuttamaa halkeilua. (BY45/BLY7 2018, s. 26) Betonipintainen lattia voidaan toteuttaa joko hierrettynä, hiottuna, sirotepintaisena tai erillisenä pintavaluna. Lisäksi betonipinta voidaan toteuttaa leimasinmenetelmällä, jossa pintaan tehdään valuvaiheessa kuviointeja muotilla, tai patinoimalla, jossa betonin sisältämä sementtikivi värjätään ja lattia lakataan värjäyksen jälkeen. (Betoni 2022a)

Hierretty betonipinta toteutetaan hiertokäsittelyillä, joiden määrällä voidaan vaikuttaa lopputulokseen, kuten pinnan tasaisuuteen, huokoisuuteen, väriin, kiiltoasteeseen ja lujuuteen. Hierrettyjä betonilattioita voidaan käyttää useissa erityyppisissä kohteissa asuintaloista näyttelykohteisiin sekä varastotiloihin. (Betoni 2022a) Hiertokäsittely vaikuttaa myös betonipinnan ulkonäköön, tasaisuuteen sekä kulutuskestävyyteen. Hiertokäsittelyiden oikea ajoittaminen voi olla hankalaa, sillä ne riippuvat mm. massan lämpötilasta, ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta sekä betonin vesi- ja sementtimäärästä. (BY45/BLY7 2018, s. 170) Lopuksi hierretty pinta viimeistellään koneellisella terässiivekehierrolla, eli siivityksellä. Sen avulla betonipinta tiivistyy ja silottuu. Siivityskertojen lukumäärä riippuu halutusta sileys- ja tiiveystasosta, hiertokoneen tehosta ja lattian käyttötarkoituksesta. Käsittelyä ei suositella pysäköintihallien lattioihin, sillä sen seurauksena lattian pinnasta tulee liukas. (BLY-16 2014, s. 22)

Hiertokäsittelyn jälkeen betonilattia voidaan myös hioa tai kiillottaa. Hiottuja betonilattioita voidaan käyttää hierrettyjen tapaan monenlaisissa kohteissa teollisuuslattioista asuintiloihin. Hiomisen jälkeen lattian pinta kiillotetaan tavoiteltuun kiiltoasteeseen, joka on ulkonäön lisäksi yhteydessä lattian puhtaanapitoon. Hiotun betonilattian etuina ovat sen pitkäikäisyys, helppohoitoisuus ja näyttävä ulkonäkö. Lisäksi se soveltuu tiloihin, joissa on korkeat puhtausvaatimukset, sillä hiotusta pinnasta ei vapaudu päästöjä sisäilmaan. Erillisellä pintavalulla toteutettu betonipintainen lattia on yleensä hierretty tai

hiottu. Pintavalu on tartunnalla kiinni alustassa, mikä voi lisätä erityisesti elementtirakenteiden päälle valettaessa halkeiluriskiä. (Betoni 2022a) Hionta-asteet voidaan jakaa kolmeen luokkaan, jotka on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. *Kiiltohiotun betonilattian hionta-asteet (Matsinen 2020, s. 66)*

Concrete Polishing Council:n (CPC) määrittelemät kuvaan 1 merkityt hionta-asteet ovat hieno (C), pippuri-suola (B) sekä karkea (A). Kiiltohiotussa lattiassa lattia kiillotetaan vielä hiomisen jälkeen. Kiiltoasteluokkia on neljä, jotka ovat matta, satiini, puolikiiltävä ja kiiltävä. Lattian lopulliseen ulkonäköön vaikuttaa kuitenkin esimerkiksi kohteen muodosta ja koosta riippuva hiontakaluston valinta. Kiiltohiottuja betonilattioita voidaan käyttää kevyen teollisuuden kohteissa. Raskaammin kuormitetuissa teollisuuslattioissa, joissa on isku- tai laahausrasitusta, tulee lattiapinta toteuttaa kuivasirotteella tai kovabetonilla. Kiiltohionnalla voidaan parantaa myös kovabetoni- ja sirotepintaisten lattioiden ulkonäköä sekä puhdistettavuutta. Silikaattikäsiteltyä kiiltohiottua lattiaa voidaan käyttää myös vähemmän rasitetuissa pysäköintihalleissa. (Matsinen 2020 s. 66–68)

Tavanomaisen betonin lisäksi myös sirote- tai kovabetonipintaiset lattiat voidaan hioa ja kiillottaa halutun ulkonäön ja puhdistettavuuden saavuttamiseksi. Suomen betonilattiayhdistyksen julkaisun BLY16 (2014, s. 2–4, 6–9) mukaan kuivasirotteita käytetään, kun lattialta vaaditaan hyvää kulutuskestävyyttä. Kuivasirotteita hyödynnetään erityisesti teollisuus- ja pysäköintilaitoksissa sekä paikoitus- ja kansialueilla. Kuivasirotteet koostuvat erikoislujasta runkoaineesta, sementistä ja lisäaineista. Sirotteen sisältämä sementti reagoi betonin sisältämän veden kanssa ja muodostaa kovan ja yhtenäisen rakenteen alusbetonin kanssa. Sirotteiden käyttö asettaa vaatimuksia alusbetonille, mm. vesisementtisuhteeseen, lujuuteen ja ilmamäärään liittyen. (BLY-16 2014, s. 2–4, 6–9) Kovabetoni on kuivamassaa, joka koostuu sementistä, runkoaineksesta sekä mahdollisista

lisäaineista. Kovabetonipintauksessa kuivamassaan lisätään vesi työmaalla ja massa levitetään joko täysin kovettuneen tai tuoreen hieman kovettuneen betonipinnan päälle. Kovabetonilla on korkea lujuus ja hyvä kulutuskestävyys. Pintauksen paksuus on tyypillisesti noin 12–20 mm. (Matsinen 2022, s. 64)

Yokoyama *et al.* (2013, s. 560) mukaan betonilattian pinnan viimeistelykäsittely sekä jälkihoito vaikuttavat ulkonäön lisäksi pintabetonin huokoskokojakaumaan. Pitkään jälkihoidetun ja paljon hierretyn betonipinnan huokoskokojakauma muuttuu siten, että suurten huokosten (10^{-7}–10^{-6}) määrä vähenee ja pienten huokosten ($\leq 10^{-7}$) määrä kasvaa. Suurten huokosten määrä betonissa vaikuttaa esimerkiksi veden imeytymiseen, kun taas halkaisijaltaan pienten huokosten määrä vaikuttaa betonin vesipitoisuuteen. (Yokoyama *et al.* 2013, s. 560)

2.3 Betonilattioiden kohdekohtaiset vaatimukset

Betonilattioiden suunnittelussa tulee huomioida rakenteen käyttötarkoitus ja sen mukaiset kohdekohtaiset erikoisvaatimukset. Betonilattioiden käyttökohteet on jaettu tässä luvussa karkeasti julkisiin tiloihin, kuten kirjastoihin, kouluihin ja terveydenhuoltolaitoksiin, pysäköintilaitoksiin sekä teollisuus- ja terminaalirakennuksiin.

Betonilattioiden käyttökohteet asettavat eroavia sekä eritasoisia laatuvaatimuksia, liittyen esimerkiksi lattian kulutuskestävyyteen tai tasaisuuteen. Käyttökohteiden ja vaatimusten suuren eroavaisuuden takia lattioiden suunnittelussa tulisi erityisesti kiinnittää huomiota käyttäjäkohtaisiin tarpeisiin. Lisäksi yksi tärkeä suunnittelussa huomioitava seikka on eri lattiaratkaisujen toteutus- ja ylläpitokustannukset. (Garber 2006, s. 4–6)

2.3.1 Julkiset tilat

Julkisissa tiloissa betonilattian tärkeimpiä ominaisuuksia ovat ulkonäkö, halkeilun rajoittaminen, kulutuskestävyys sekä puhtaanapito. Julkisissa tiloissa olevista lattioista voidaan käyttää myös nimitystä arkkitehtoninen lattia tai design-lattia. Design-lattioissa on määritelty tavanomaisten laatuvaatimusten lisäksi ulkonäkövaatimus. (Lumme *et al.* 2021, s. 82) Pernicová *et al.* (2019, s. 9–10) mukaan arkkitehtonisissa lattioissa on puhdasvalupintaisiin lattioihin verrattuna jokin taiteellinen elementti, kuten väri. Arkkitehtonisten lattioiden arviointiin ei ole olemassa standardia, joten niiden laadun arviointi on vaikeaa. Siitä syystä on tärkeää määritellä valmistukseen ja lopputuloksen arviointiin liittyvät seikat tilaajan ja urakoitsijan välillä ennen työn aloittamista, esimerkiksi mallikappaleiden avulla. (Pernicová *et al.* 2019, s. 9–10)

Pernicová et al. (2019, s. 9–10) esittävät, että laadukkaan arkkitehtonisen betonipinnan saavuttaminen on teknisesti vaikeampaa sekä kalliimpaa verrattuna tavanomaiseen betonipintaan. Arkkitehtonisen betonipinnan ulkonäköä on hankala mitata ja arviointi on objektiivista. Pinnan arviointi perustuu neljään parametriin, jotka ovat pinnan tasavärisyys, huokosten määrä ja koko, raaka-aineiden laatu sekä pintarakenteen laatu. (Pernicová *et al.* 2019, s. 9–10) Matsisen (2017a, s. 39–40) mukaan betonipinnan tasavärisyyteen vaikuttaa raaka-aineiden lisäksi monet muut tekijät, kuten kosteusolosuhteet ja alusmateriaalin laatu. Siksi lopullista pinnan laatua vastaa parhaiten kohteessa tehty mallialue tuotetoimittajien mallikappaleiden sijaan. (Matsinen 2017a, s. 39–40)

Matsisen (2017a, s. 40) mukaan aiemmin arkkitehtonisissa lattioissa suosittiin värillisiä kuivasirotteita mutta nykyään on siirrytty yhä enemmän kovabetonipintausten käyttöön. Kovabetonipintauksen raaka-aineet ovat samat kuin sirotepintauksessa, mutta runkoaineessa käytetään suurempaa raekokoa. Lisäksi massaan on lisätty ainesosia, jotka vähentävät halkeilua ja kutistumaa. Kovabetonipintaus on noin 10–15 mm paksu ja se voidaan toteuttaa tuoreen betonin lisäksi myös vanhan betonipinnan päälle. Lopputuloksena lattian pinnasta saadaan tasaisempi sekä tasavärisempi verrattuna kuivasirotteilla toteutettuihin lattioihin. Ulkonäöltään vaativiin arkkitehtonisiin betonilattiakohteisiin on kehitetty myös uusia sementtipohjaisia erikoistuotteita ja menetelmiä. (Matsinen 2017a, s. 40)

2.3.2 Pysäköintilaitokset

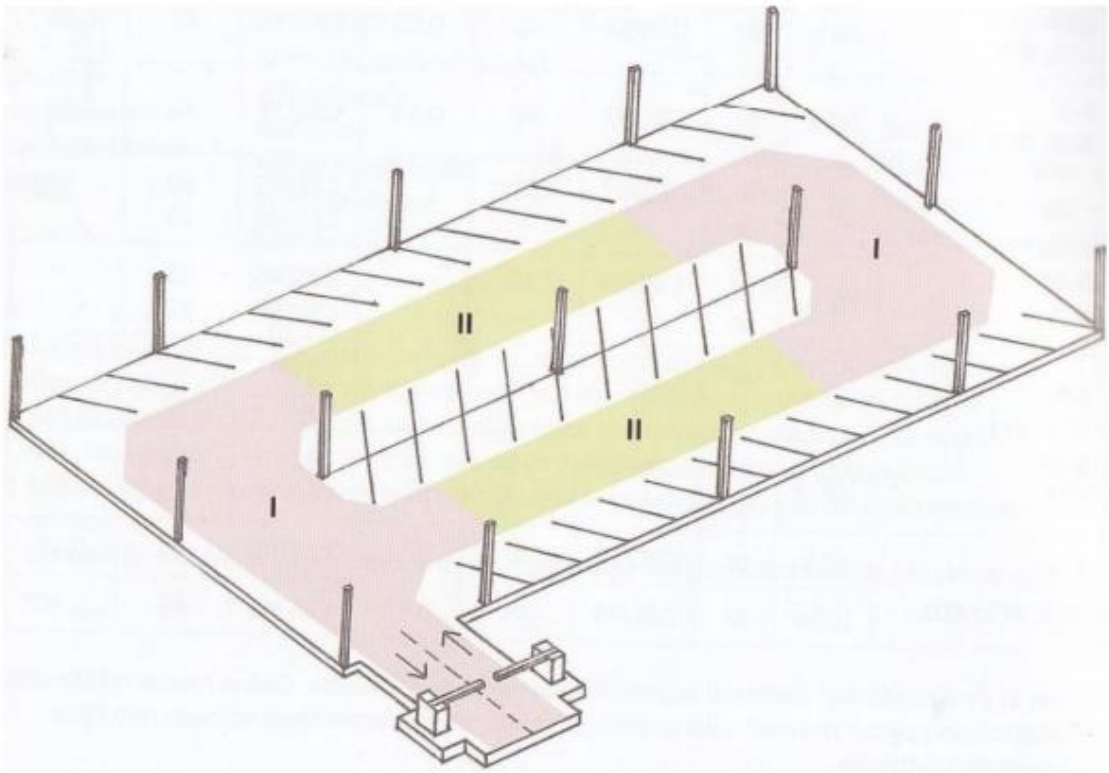
Pysäköintihalleissa betonilattian tärkeimmät ominaisuudet liittyvät kulutuskestävyyteen. Lisäksi tulee huomioida lattian suoruus ja tasaisuus, halkeilu, säänkestävyys, kemiallisen rasituksen kestävyys sekä muita ominaisuuksia, kuten pinnan karheus. Lattiarakenteisiin kohdistuu myös vesirasitus pysäköintihallien pesun sekä ajoneuvojen mukana kulkeutuvan veden ja lumen mukana. Lisäksi betonipinta altistuu erilaisille kemiallisille rasituksille, kuten öljylle, polttoaineelle sekä veden mukana kulkeutuville klorideille. (RTT 1995, s. 120) Lattiapinnan tulee olla tiivis ja halkeilun hallittua, jotta betonia ja raudoitusta vaurioittavat yhdisteet, kuten kloridit, eivät pääse tunkeutumaan betoniin. Tiiviin betonipinnan saavuttamiseksi pysäköintilaitosten paikallavaletut betoniholvit voidaan toteuttaa jälkijännittämällä, jolloin syntyvät halkeamat ovat pieniä tai niitä ei muodostu ollenkaan. Tällöin vältytään esimerkiksi välipohjan läpi suotautuvalta emäksiseltä vedeltä, mikä saattaa vaurioittaa autojen maalipintaa. (Mannonen 2008, s. 84) Pysäköintilaitosten alapohjat voidaan toteuttaa myös kuitubetonilla teräsbetonin ja jännitettyjen rakenteiden

lisäksi (Tirkkonen 2023). Kuitubetonin etuna on parempi halkeilun hallinta tavanomaisesti raudoitettuun betonilaattaan verrattuna. (Lumme 2008, s. 73)

Tiiveyden lisäksi pysäköintilaitosten laattojen suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota saumojen lukumäärään ja tyyppiin, betonilaatuun, huolelliseen betonointityöhön sekä toimivaan vedenpoistoon. Pysäköintitasoille jäävä seisova vesi lyhentää huomattavasti rakenteen käyttöikää, etenkin veden sisältäessä klorideja. Näin ollen vedenpoistojärjestelmä tulee olla hyvin suunniteltu sekä toteutettu. Pysäköintilaitosten käyttöikään ja rakenteelliseen toimintaan vaikuttavat betonipinnan tiiveyden lisäksi myös betonin kutistuminen ja halkeilu sekä lattiaan kohdistuva nastarengasrasitus. Lisäksi betonin valinnassa ja betonitekniikassa on huomioitava tasaisuus- ja kaltevuusvaatimuksien saavuttaminen. Edellä mainittujen vaatimuksien toteutumiseen voidaan vaikuttaa betonin vesisementtisuhteella, notkistavilla lisäaineilla, runkoaineen laadulla ja maksimiraekoolla sekä seos- ja lisäaineilla. (RTT 1995, s. 108, 115, 120)

Ajoneuvoliikenteen rasittaman betonilattian merkittävä ominaisuus on kulutuskestävyys. Pysäköintihalleissa kulutuskestävyyden yhdistäminen säänkestävyysvaatimuksiin voi olla teknisesti hankalaa. (Matsinen 2017b, s. 76) BLY16 (2014, s. 8–9, 24) mukaan pysäköintilaitosten betonilattioiden kulutuskestävyyteen voidaan vaikuttaa pääasiassa sirotteilla ja kovabetonipintauksella. Sirotteiden yhteydessä betonin ilmamäärän suositellaan olevan maksimissaan 3–5 %:a, sillä suuri ilmamäärä aiheuttaa ongelmia sirotteen ja betonin välisessä tartunnassa. Toisaalta betonin pakkasenkestävyys edellyttää huokostamista. (BLY16 2014, s. 8–9) Näin ollen säilyvyysvaatimuksien edellyttämän pakkasenkestävyyden sekä kulutuskestävyyden yhdistäminen voi aiheuttaa ongelmia.

Pysäköintilaitoksissa lattiapinta voidaan jakaa kolmeen alueeseen, joissa kulutuskestävyysvaatimukset poikkeavat toisistaan (by68 2016, s. 64). Kuvassa 2 on esitetty pysäköintirakennuksen rasitusalueet.



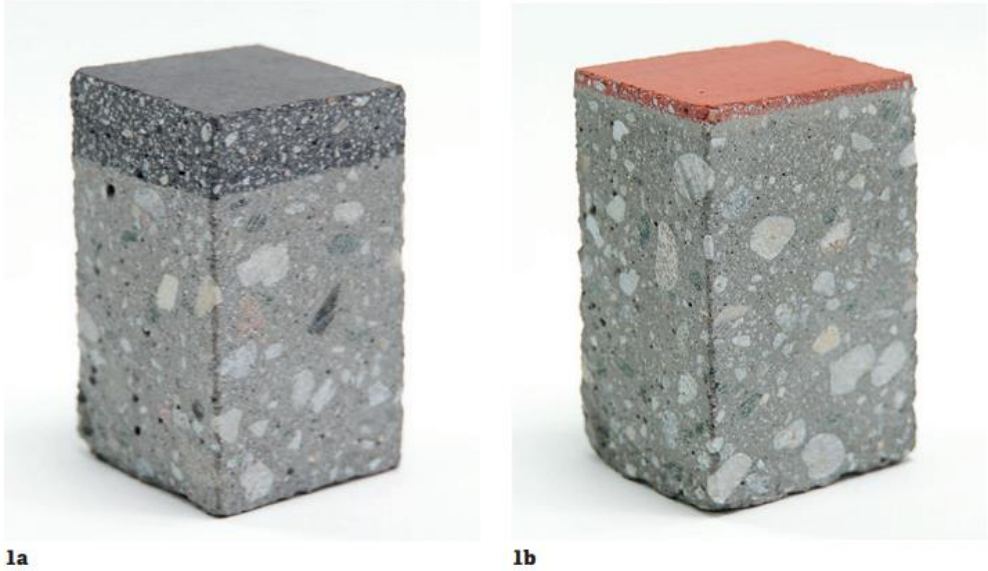
Kuva 2. *Pysäköintilaitoksen pintojen kulutusrasituksen tasot (by68 2016, s. 64)*

Luokkaan I kuuluvat erityisen rasitetut alueet, kuten kaarteet, ajorampit sekä puomialueet. Luokka II sisältää kohtuullisesti rasitetut alueet, kuten ajoratojen suorat osuudet. Luokassa III ovat kevyimmin rasitetut luokittelemattomat alueet, kuten pysäköintiruudut ja ei-liikennöidyt alueet. (by68 2016, s. 64) BY45/BLY7 (2018, s. 24) esittää luokkien I–III alueille suositeltavat työmenetelmät, jotka on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. *Pysäköintitalojen kulutuskestävyysvaatimukset (BY45/BLY7 2018, s. 24)*

	Yksityinen pysäköintitalo	**Julkinen pysäköintitalo**	**Julkinen pysäköintitalo Alueet, joissa paljon liikennettä**
Alue I Kova kulutusrasitus	Luokka 2 · sirotepinnoite, A9 · silikaattikäsittely · betonipinta; korjausväli noin 25 v	Luokka 1 · sirotepinnoite, A6 · silikaattikäsittely · betonipinta; korjausväli 10…25 v	Luokka 1 · sirotepinnoite, A3 · kovabetoni, A6
Alue II Kohtuullinen kulutusrasitus	Luokka 2 · silikaattikäsittely · betonipinta; korjausväli noin 25 v	Luokka 2 · sirotepinnoite, A9 · silikaattikäsittely · betonipinta; korjausväli noin 25 v	Luokka 1 · sirotepinnoite, A6 · kovabetoni, A9 · silikaattikäsittely · betonipinta; korjausväli noin 25 v
Alue III Muut alueet	Luokka 3 · betonipinta; uusimisväli noin 25 v	Luokka 2 · silikaattikäsittely · betonipinta; uusimisväli noin 25 v	Luokka 2 · sirotepinnoite, A9 · silikaattikäsittely · betonipinta; korjausväli noin 25 v

Taulukossa 4 on esitetty menetelmät suositeltavuusjärjestyksessä. Silikaattikäsittely tiivistää ja lujittaa betonipintaa sekä vähentää pinnan pölyävyyttä. Sitä voidaan käyttää sirotteiden ja kovabetonin sijaan uusien lattioiden lisäksi myös vanhoille betonipinnoille. Silikaattikäsittelyn kulutuskestävyys ei vastaa kuitenkaan sirotteita tai kovabetonia. Rasitetuimmilla alueilla I ja II suositellaan käytettävän sirotepinnoitetta, mutta ajoratojen ulkopuolella riittää myös pelkkä betonipinnan silikaattikäsittely. Poikkeuksena ovat yksityiset pysäköintitalot, joissa myös kohtuullisen kulutusrasituksen alueella riittää betonin silikaattikäsittely. Runsaasti liikennöidyillä alueilla voidaan käyttää sirotepinnoitteen sijaan kovabetonia. (BY45/BLY7 2018, s. 21–24) Kuvassa 3 on esitetty kovabetoni- sekä sirotepintaus.



Kuva 3. *Kovabetonipinta (1a) sekä sirotepinta (1b) (Matsinen 2022, s. 60)*

Kuvasta 3 nähdään, että kovabetoni on erillinen pintaus betonin päällä, kun taas sirotepinta muodostaa betonin pintakerroksen kanssa homogeenisen rakenteen. Sekä kovabetonilla että sirotepintauksella on sama kulutuskestävyysluokitus. Kovabetonin paksuus ja sen seurauksena käyttöikä sekä iskunkestävyys ovat kuitenkin parempia sirotepintaukseen verrattuna. Lisäksi kovabetonilla voidaan vaikuttaa lattian suoruuteen sekä tiiveyteen. Sirote- ja kovabetonipintaisille pysäköintilaitosten lattioille suositellaan lisäksi silikaattikäsittelyä, joka tiivistää pinnan sekä vähentää pölyämistä. (Matsinen 2022, s. 61–62, 64–67) Vaihtoehtoinen keino kulutusrasituksen huomioimiseen on kulumisvaran suunnittelu rakenteeseen. Ajoväylillä kulumisvaran suositellaan olevan noin 30–40 mm ja muualla pysäköintitalossa noin 20 mm. (by68 2016, s. 65)

2.3.3 Teollisuus- ja terminaalilattiat

Betonilattiat ovat merkittävä osa teollisuus- ja terminaalirakennuksia ja niiden tulee täyttää useita laatuvaatimuksia, jotka liittyvät esimerkiksi riittävään tasaisuuteen ja suoruuteen, halkeilun rajoittamiseen, hygieenisyyteen sekä riittävään kuormien kantokykyyn (BY45/BLY7 2018, s. 18). Nämä vaatimukset ovat kriittisiä mm. trukkiliikenteen ja teollisuuskoneiden sijoittelun kannalta. BY45/BLY7 (2018, s. 18–19, 28–33) mukaan muita mahdollisia laatuvaatimuksia teollisuuskohteissa ovat pölyämättömyys, kulutuskestävyys ja puhdistettavuus. Erikoisvaatimuksista sähkönjohtavuus, kemiallinen kestävyys sekä iskun- ja palonkestävyys saattavat tulla kyseeseen teollisuuslattioissa. Sähkönjohtavuusvaatimus liittyy tiloihin, joissa käsitellään räjähdysvaarallisia aineita tai käsitellään herkkiä elektronisia komponentteja. Sähköä johtava lattia saadaan aikaan pinnoitteella

tai lisäämällä lattian pintaan sähköä johtavaa täyteainetta. Kemiallinen kestävyys liittyy puolestaan pinnan tiiveyteen, joka saadaan aikaan pinnoitteilla tai suojakäsittelyillä. Laatuvaatimuksien toteutuminen on tärkeää, sillä teollisuuskohteissa lattioiden korjaaminen on hankalaa, sekä saattaa aiheuttaa kalliita tuotantokatkoja. (BY45/BLY7 2018, s. 18–19, 28–33)

Loprencipe & Cantisani (2015, s. 15–16) esittävät lattian suoruuden ja tasaisuuden olevan teollisuuslattian tärkeimpiä ominaisuuksia kuormankantokyvyn lisäksi. Suoruus ja tasaisuus vaikuttavat esimerkiksi koneiden työskentelyyn sekä varastointikapasiteettiin mahdollistaen korkeat varastohyllyt. Lattian tasaisuuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi pinnan hionnalla tai itsetasoittuvilla hartsipinnoitteilla. (Loprencipe & Cantisani 2015, s. 15–16) Teollisuuskohteissa tasaisuusvaatimuksien täyttyminen vaatii kuitenkin tyypillisesti kaksikerrosvalun, jossa rakennebetonin päälle tehdään kovabetonipintaus tai pintabetoni (Matsinen 2008, s. 59). Mailvaganam *et al.* (2001, s. 11) mukaan teollisuuslattioissa ongelmana on usein lattioiden käyristyminen. Betonilattiat käyristyvät tyypillisesti saumojen ja laatan reunojen läheisyydessä, mikä vaikuttaa lattian tasaisuuteen. Laatan käyristyminen johtuu laatan syvyyssuunnan kosteuspitoisuuseron, eli kosteusgradientin aiheuttamasta epätasaisesta kutistumisesta sekä lämpötilaerosta laatan ylä- ja alapinnan välillä. Näin ollen käyristymiseen vaikuttavat samat tekijät kuin kutistumaan. (Mailvaganam *et al.* 2001, s. 11)

Petrow (2010, s. 39, 41) esittää, että maanvaraisissa lattioissa tulee käyttää mahdollisimman vähän kutistuvaa betonia sekä huolehtia tehokkaasta jälkihoidosta käyristymisen estämiseksi. Käyristymän suuruus voi vaihdella 5–20 mm:n välillä maanvaraisilla laatoilla, jotka ovat 80–120 mm paksuja. Teollisuuslattioissa on lisääntynyt myös kuitubetonin käyttö. Liian vähäisen kuitumäärän käyttö aiheuttaa ongelmia sekä kantavuuden että halkeilun ja käyristymisen myötä. Kuitujen määrä saattaa vaihdella suuresti mitoitetusta kuitumäärästä, sekä kuitujen sekoittuminen voi olla epätasaista. Näin ollen mitoituksessa saatua kuitumäärää tulisi kasvattaa, jotta kuitumäärä kykenee rajoittamaan halkeilua tai halkeamaleveyttä. (Petrow 2010, s. 39, 41)

Tasaisuuden ja suoruuden varmistamisen lisäksi teollisuus- ja terminaalilattioissa tulee rajoittaa halkeilua. Kutistumasta aiheutuvaa kontrolloimatonta halkeilua voidaan ratkaista ehkäisemällä halkeamien syntyä tai rajoittamalla niiden aiheuttamia vaikutuksia raudoituksella sekä saumoilla. Halkeilun ehkäisemiseksi voidaan vähentää kutistumista. Kutistumista voidaan hallita optimoimalla betonimassaa tai lisäämällä kutistumista vähentäviä tai kompensoivia lisäaineita. Toisaalta betonimassan muokkaaminen vaikuttaa samalla muihin ominaisuuksiin, kuten lujuuteen, kimmomoduuliin ja virumaan, mitkä voivat osaltaan vaikuttaa betonin halkeiluriskiin. (Silfwerbrand & Farhang 2014, s. 681)

2.4 Huolto ja ylläpito

Betonilattian laatuvaatimuksien täyttymiseen vaikuttavat myös käyttöönottoajankohta sekä kuormittaminen. Lujuudenkehitystä voidaan arvioida joko käsin laskemalla tai tietokoneohjelmien avulla. Tärkeää on kuitenkin välttää lattian kuormittamista rakennusaikana ennen kuin lattia on saavuttanut suunnittelulujuuden. Lisäksi rakennusaikaiset kuormat saattavat muodostua niin suuriksi, että ne ylittävät lattian suunnitellun kapasiteetin. Erityisesti painavien materiaalien varastointi tai koneiden ja laitteiden pistemäiset kuormat saattavat aiheuttaa lattian vaurioitumisen. Betonilattioiden varhainen kuormittaminen altistaa lisäksi halkeilulle, mikä on seurausta lattian estetystä kutistumisesta. Rakennusaikaista varastointia tulee erityisesti välttää liikunta- ja kutistumissaumojen läheisyydessä. (BY45/BLY7 2018, s. 186)

Betonilattioille laaditaan käyttö- ja ylläpitosuunnitelma, joka sisältää lattian hoito- ja puhtaanapito-ohjeet sekä tiedot tarvittavista huoltotoimenpiteistä ja tarkastuksista. Suunnitelma sisältää kaikki rakennusasiakirjat, kuormitustiedot, selvityksen mitoitusperiaatteista, tiedot pintakäsittelystä tai päällystyksestä, huoltosuunnitelma lattialle ja saumoille, saumojen tiedot, korjaussuunnitelma tyypillisten vaurioiden varalta sekä kyseisellä lattialla kielletty toiminta. Hoitosuunnitelmassa käydään läpi päivittäiseen puhdistukseen liittyviä ohjeita, kuten esimerkiksi sallittujen puhdistusaineiden tyypit ja puhdistusväli. Sisätiloissa olevat betonilattiat on tyypillisesti käsitelty vähintään pölyävyyden ja puhdistettavuuden takia. Käsittelemättömiä betonilattioita on pääasiassa vain ulkotiloissa, kuten pysäköintihalleissa. Niissä lattioita ylläpidetään vesipesulla ja harjauksella, jolloin lattian pinnasta puhdistetaan irtolika, pöly ja maantiesuola. Runsaasti liikennöityjen pysäköintitalojen lattiat tulee puhdistaa useammin. Lämpimät pysäköintitalot pestään myös talvisin, toisin kuin kylmät pysäköintihallit, joissa suoritetaan huolellinen pesu keväällä maantiesuolan ja pölyn puhdistamiseksi. (BY45/BLY7 2018, s. 186–188)

Betonilattioiden kunnossapidon kannalta on tärkeää tarkistaa lattian kunto säännöllisesti (Matsinen 2021, s. 49–52). Liikennöidyillä alueilla lattiat tarkastetaan kolmen kuukauden välein ja lisäksi niille tehdään vuosittain kuntokartoitus. Tarkastuksissa havaitut vauriot korjataan mahdollisimman nopeasti. (BY45/BLY7 2018, s. 187) Päivittäisessä puhdistuksessa betonilattiat tulee puhdistaa terävistä materiaaleista, kuten kivistä, jotta vältetään lattian naarmuuntuminen ja sitä myötä herkempi likaantuminen. Etenkin arkkitehtonisissa lattioissa on tärkeää huolehtia päivittäisestä puhdistuksesta. Päivittäisen puhtaanapidon lisäksi betonilattioille tulee suorittaa huoltopesu. Huoltopesussa lattia käsitellään alkuperäistä suoja-ainekäsittelyä vastaavaa raaka-ainetta sisältävällä tuotteella, joten se tehostaa suoja-aineiden vaikutusta. Betonilattioiden peruspuhdistus tehdään edellä mai-

nittujen lisäksi, mutta huomattavasti harvemmin. Peruspuhdistuksessa suoritetaan tehokkaampi lattian pesu, sekä uusitaan tarvittaessa lattian suoja-ainekäsittely. (Matsinen 2021, s. 49–52)

3. BETONILATTIAN SUOJAAMISMENETELMÄT

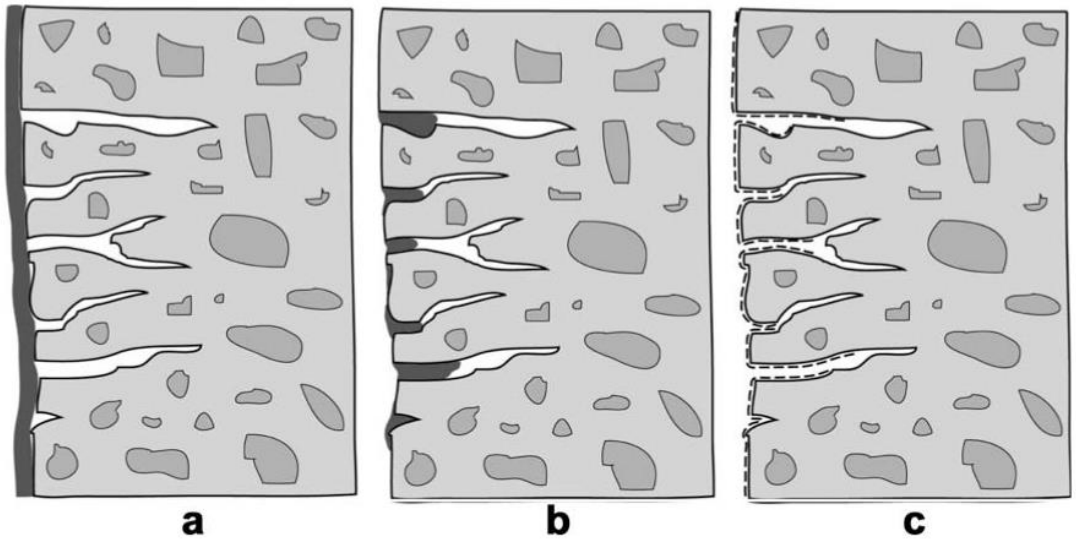
Betoni on huokoinen materiaali, mikä sallii haitallisten aineiden tunkeutumisen kapillaarihuokosten kautta betonin sisään. Lisäksi betonissa olevat halkeamat lisäävät haitallisten aineiden, kuten veden, sulfaattien ja kloridien tunkeutumista, mikä yhdessä huokoisuuden kanssa vaurioittaa betonirakennetta pinnan lisäksi rakenteen sisältä. Betonin käyttöikää voidaan pidentää suojaavilla aineella. (Bertolini *et al.* 2014, s. 21–22, 243) Pintakäsittely on tehokas sekä taloudellinen keino parantaa betonin pintakerroksen laatua, verrattuna muihin keinoihin, kuten lisäaineiden käyttöön tai vesi-sementtisuhteen pienentämiseen (Pan *et al.* 2016b, s. 81–82).

Betonilattian pintakäsittelyllä voidaan vaikuttaa myös epäsuorasti betonin valmistuksesta aiheutuviin negatiivisiin ympäristövaikutuksiin. Betonin ja erityisesti sementin valmistukseen kuluu runsaasti resursseja sekä energiaa, ja sementin valmistus tuottaa suuren määrän kasvihuonekaasupäästöjä (Samad & Shah 2017, s. 664). Ympäristövaikutusten pienentämiseksi on tärkeää suunnitella pitkäikäisiä betonirakenteita. Betonilattian säilyvyyden kannalta pinnan suojaamis- ja lujittamiskäsittelyillä on suuri merkitys (Baltazar *et al.* 2014, s. 191).

Pintakäsittelyt vähentävät esimerkiksi kloridi-ionien tunkeutumista ja veden läpäisevyyttä sekä parantavat pinnan kulutuskestävyyttä ja korroosion kestävyyttä. (Cheng *et al*. 2013, s. 892; Peipei *et al.* 2022, s. 1) Betonin pintakäsittelyiden historia ulottuu vettähylkivien impregnointien osalta 1980-luvulle, jolloin Isossa-Britanniassa alettiin käyttää isobutyylitrimetoksisilaania (*isobutiltrimetoxsilane)* siltarakenteissa estämään kloridien tunkeutumista betoniin (Pan *et al.* 2016a, s. 579). Nykyään betonilattian suojaamiseen liittyy monia termejä, joiden merkitys ei aina ole yksikäsitteisesti tiedossa. Käsittelyistä voidaan käyttää esimerkiksi termejä fluatointi, pölynsidontakäsittely, impregnointi tai silikaattikäsittely. Fluatointi on pölynsidonta-aineisiin kuuluva pinnoite, joka vähentää betonipinnan pölyämistä muodostamatta pintaan kalvoa (by54/BLY12 2010, s. 18). Impregnoinnilla tarkoitetaan sen sijaan yleisesti nestemäisen aineen imeyttämistä huokoiseen pintaan. Impregnointiaineista silaanit ja silikaatit vähentävät pinnan pölyävyyttä, joten ne toimivat myös pölynsidonta-aineina. (Matsinen 2009, s. 51) Yleisesti betonilattian pintakäsittelyt on jaettu tässä työssä alla olevissa luvuissa käsiteltäviin kahteen ryhmään, lujittaviin sekä suojaaviin käsittelyihin.

3.1 Betonilattian pintakäsittelyt

Veden, kaasujen ja ionien tunkeutuminen betoniin perustuu kolmeen mekanismiin, jotka ovat konsentraatioeroista johtuva diffuusio, veden hydraulinen paine sekä kapillaarinen imu. Näistä kapillaarinen imu on hallitseva mekanismi tavanomaisessa ilmanpaineessa. (Kropp & Hilsdorf 1995; Ungricht 2004; Concrete Society 2008, Christodoulou *et al.* 2013, s. 708 mukaan) Cheng *et al.* (2013, s. 892) esittävät, että betonipinnan suojaaminen perustuu joko betonissa olevien huokosten tukkimiseen tai niiden koon pienentämiseen. Standardi SFS-EN 1504-2 (2005, s. 8) luokittelee betonin suojaamiseen käytettävät käsittelyt kolmeen ryhmään niiden toimintatavan perusteella. Ensimmäiseen ryhmään kuuluu vettähylkivä impregnointikäsittely, jossa käytettävät aineet tunkeutuvat betonin huokosiin. Niiden lisäksi betonipinnan suojaaminen voi perustua joko impregnointiin, jossa käsittelyyn käytettävät aineet tukkivat betonin huokoset, tai betonin pinnoitukseen, jolloin betonin pinnalle muodostuu suojakalvo. (SFS-EN 1504-2 2005, s. 8) Kuvassa 4 on esitetty betonipinnan käsittelyaineiden luokittelu.



Kuva 4. *Betonipinnan käsittelyaineiden luokitus, a) pinnoitteet, b) impregnointi, c) hydrofobinen impregnointi (Bentur et al. 2005, s. 124)*

Kuvassa 4 ensimmäiseen luokkaan (a) kuuluvat aineet, jotka muodostavat betonin pinnalle yhtenäisen kalvon. Kalvo on tyypillisesti 100–300 µm paksu ja muodostuu sideaineesta sekä täyteaineesta. Täyteaineina käytetään esimerkiksi pigmenttejä, pehmittimiä tai katalyyttejä. Suoja-aine levitetään nestemäisessä muodossa betonin pinnalle, ja kalvon muodostuminen perustuu joko liuotteen tai veden haihtumiseen, katalyytin kemialliseen reaktioon, reaktioon ympäröivän ilman tai alusbetonin kosteuden kanssa tai reakti-

oon ympäröivän ilman hapen kanssa. Pinnoitteen tulee olla vakaa betonin muodostamassa alkalisessa ympäristössä. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat esimerkiksi akryyli-, epoksihartsi- sekä polyuretaanipinnoitteet. (Bentur *et al.* 2005, s. 123–125)

Kuvan 4 toiseen luokkaan (b) kuuluvat aineet, jotka tukkivat betonin huokoset. Käsittelyssä käytettävät aineet tunkeutuvat betonin huokosiin ja reagoivat betonin ainesosien kanssa muodostaen liukenemattomia lopputuotteita, jotka tukkivat betonin huokoset. Tyypillisimpiä tähän luokkaan kuuluvia pinnankäsittelyaineita ovat nestemäiset silikaatit ja silikofluoridit. Kuvan 4 kolmanteen luokkaan (c) kuuluvat aineet, jotka tunkeutuvat betonin huokosiin ja muodostavat näiden pinnalle kerroksen, joka vähentää pintaenergiaa sekä tekee betonin pinnasta vettähylkivän. Kyseiseen luokkaan kuuluvat silikoniyhdisteet, kuten siloksaanit ja silaanit. Niiden toiminta perustuu orgaanisen nesteen haihduttamisen tuloksena muodostuvaan silikonihartsiin, joka muodostaa vettähylkivän hartsikerroksen huokosten pinnalle. (Bentur *et al.* 2005, s. 123–125)

Pigino *et al.* (2011, s. 313–314) mukaan pintakäsittelyaineet voidaan jakaa kahteen ryhmään myös niiden kemiallisen koostumuksen perusteella. Orgaaniset aineet muodostavat hyvän suojakerroksen, mutta niillä on rajoitettu säilyvyys verrattuna epäorgaanisiin pintakäsittelyaineisiin, joihin kuuluvat nestemäiset silikaatit. (Pigino *et al.* 2011, s. 313–314) Orgaanisia käsittelyitä käytetään tyypillisesti pinnoitteena sekä vettähylkivänä impregnointina. Pinnoitteet ovat tehokkaita betonin säilyvyyden parantamisessa, mutta niillä on tyypillisesti huono palonkesto. Lisäksi pinnoitteet saattavat halkeilla johtuen betonin alentuneesta ilmanläpäisevyydestä sekä niiden uusiminen ja poistaminen käyttöiän päättyessä on hankalaa. Epäorgaaniset pintakäsittelyaineet kuuluvat yleensä impregnointiaineisiin, joiden toiminta perustuu betonin huokosten tukkimiseen. (Pan *et al.* 2018, s. 218)

Bentur *et al.* (2005, s. 123–125) esittävät, että betonipinnan suojaamisen onnistuminen riippuu käytettyjen materiaalien lisäksi myös betonipinnan ominaisuuksista sekä levitystyöstä. Betonipinnan tulee olla tasainen, puhdas ja ehjä. Käytettäessä polymeerisiä seoksia pinnan tulee olla kuiva. Silaanikäsittelyissä pinta voi olla myös kostea, tosin kuiva pinta on suositeltavampi. Pinnoitteet tulee asentaa kahdessa kerroksessa, jotta varmistetaan yhtenäisen kalvon muodostuminen. Kalvojen ja pinnan suoja-aineiden käyttöikä on tyypillisesti 5–20 vuotta, mikä edellyttää jatkuvaa ylläpitoa, seurantaa sekä mahdollisia lisäkäsittelyitä. (Bentur *et al.* 2005, s. 123–125) Lazzarini & Laurenzi Tabasso (2010) mukaan silaani ja siloksaanikäsittelyiden hydrofobisten ominaisuuksien tehon on raportoitu heikkenevän noin viiden vuoden jälkeen. Siitä syystä käsittely tulisi uusia melko usein. (katso Pigino *et al.* 2011, s. 314)

3.2 Suojaamiskäsittelyt

Betonin suojaamiskäsittelyn tarkoitus on vähentää veden sekä aggressiivisten aineiden tunkeutumista betonin sisään. Näin ollen suojaamiskäsittelyillä pyritään pidentämään betonin käyttöikää. Yksi suurimmista tekijöistä betonin turmeltumisessa on betoniterästen korroosio. Terästen korroosio edellyttää happea sekä kosteutta, joten kyseisten tekijöiden rajoittaminen ehkäisee betonin turmeltumista. (Ibrahim *et al.* 1999, s. 36) Basheer *et al.* (1997, s. 419) esittävät, että betonin säilyvyyteen vaikuttavat myös ionien, kuten kloridien ja sulfaattien, tunkeutuminen sekä jäätymissulamissyklien aiheuttama rapautuminen ja suolojen aiheuttama pintarapautuminen (Basheer *et al.* 1997, s. 419).

Betonipinnan tiivistämiseen ja pinnoittamiseen voidaan käyttää esimerkiksi silaaneja, siloksaaneja, silikaatteja, pellavansiemenöljyä, epoksia, hartseja, uretaaneja, akryyliä sekä sementtipohjaisia tuotteita (Mirza *et al.* 2010, s. 5). Tässä työssä käsiteltäviä kemiallisia suoja- ja tiivistysaineita ovat edellä esitetyistä pinnan suojaamiskäsittelyaineista silaanit, siloksaanit sekä silikaatit. Lisäksi voidaan hyödyntää fotokatalyyttejä itsepuhdistuvissa pinnoissa (Betoni 2022b). Taulukkoon 5 on koottu työssä käsiteltävät betonipinnan kemialliset suojaamiskäsittelyt ja niiden ominaisuudet sekä tyypilliset käyttökohteet.

Taulukko 5. *Betonilattian kemialliset suojaamiskäsittelyt*

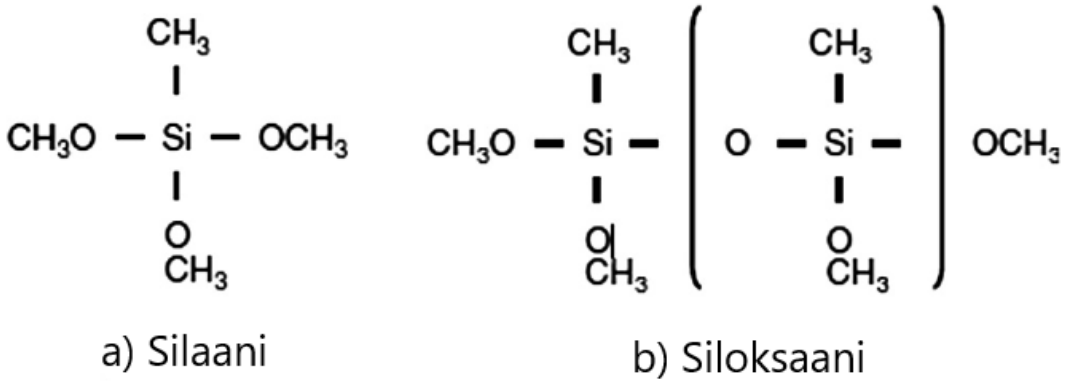
Käsittelyaine	**Kuvaus**	**Käyttötarkoitus**	**Tyypilliset käyttökohteet**
Silaani	· Hydrofobinen impregnointiaine	· Vettähylkivän pinnan muodostaminen · Betonin säilyvyyden parantaminen · Pakkasenkestävyyden parantaminen · Kloridien tunkeutuminen	· Julkiset tilat, joissa ei merkittävä kulutuskestävyysvaatimus
Siloksaani	· Hydrofobinen impregnointiaine	· Vettähylkivän pinnan muodostaminen · Betonin säilyvyyden parantaminen · Pakkasenkestävyyden parantaminen · Kloridien tunkeutuminen	· Julkiset tilat, joissa ei merkittävä kulutuskestävyysvaatimus
Silikaatti	· Impregnointiaine, joka tukkii betonin huokoset	· Veden läpäisevyyden pienentäminen · Betonin säilyvyyden parantaminen · Kemiallisten aineiden tunkeutumisen vähentäminen · Kulutuskestävyyden parantaminen · Pakkasenkestävyyden parantaminen	· Pysäköintitalot · Julkiset tilat (koulut, kirjastot yms.) · Teollisuus- ja terminaalilattiat
Fotokatalyytit	· Suoja-aine, joka muodostaa superhydrofiilisen pinnan	· Itsepuhdistuvan pinnan muodostaminen · Pinnan suojaaminen UV-säteilyltä · Antistaattisen pinnan muodostaminen · Pinnan suojaaminen homekasvustoilta	· Rakennusten julkisivut · Teollisuuslaitosten pinnat · Ulkotilojen pinnat

Taulukosta 5 nähdään, että silikaattikäsittelyitä käytetään erityisesti kohteissa, joissa pinnalta vaaditaan myös hyvää kulutuskestävyyttä. Sen sijaan silaani- ja siloksaanikäsittelyiden pääasiallinen tarkoitus on estää veden imeytymistä betoniin. Sekä silikaatti-, silaani- että siloksaanikäsittelyt vähentävät betonipinnan pölyämistä. Tässä luvussa käsitellään tarkemmin silaaneja, siloksaaneja sekä fotokatalyyttejä ja silikaatit käsitellään omassa luvussaan 4.

Betonipintoja voidaan suojata myös fotokatalyyttisillä aineilla, joita käytetään itsepuhdistuvissa pinnoissa. Fotokatalyyttiset aineet muodostavat suojaavan kalvon betonin päälle. Tyypillisesti fotokatalyyttisessä käsitellyssä käytetään nanokiteisiä titaanioksideja, jotka reagoivat valon kanssa muuttuen kemiallisesti aktiiviseksi. Aktiivisuuden myötä kosketuspintaan muodostuu radikaaleja. Pinnan puhdistaminen perustuu kemialliseen fotokatalyysiin. Radikaalit hajottavat orgaanisia yhdisteitä, kuten rasvoja, öljyjä, epäpuhtauksia sekä bakteereja. Prosessissa hajoamistuotteet vapautuvat joko ilmaan tai huuhtoutuvat veden mukana. Fotokatalyyttisen käsittelyn tulee kestää siihen kohdistuvat ulkoiset ja sisäiset rasitukset. Lisäksi se ei saa heikentää betonin säilyvyyttä. (Betoni 2022b) Fotokatalyyttiset aineet tekevät betonin pinnasta myös superhydrofiilisen. Sen seurauksena vesi levittyy pinnalle ja huuhtoo samalla pinnalla olevan lian pois. Fotokatalyyttiset aineet suojaavat pintaa lisäksi UV-säteilyltä ja tekevät siitä antistaattisen. Niiden käyttö estää myös homeen kasvua suojatulla pinnalla. Käsittelyn myötä pinta pysyy puhtaana sekä kuivana. (Pintasuojaus 2023a)

Silaanit ja siloksaanit kuuluvat hydrofobisiin impregnointiaineisiin, jotka tyypillisesti levitetään betonin pinnalle vähentämään veden sekä aggressiivisten aineiden tunkeutumista betoniin. Aine levitetään betonin pinnalle joko ruiskuttamalla tai harjaamalla. (Sohawon & Beushausen 2018, s. 1–2) Hydrofobisten käsittelyiden etuna on vettähylkivä pinta, joka sallii kuitenkin vesihöyryn kulkeutumisen betonin ja ympäröivän ilman välillä. Lisäksi ne eivät vaikuta betonin ulkonäköön. (Meier & Wittmann 2011; Raupach 2014, Sohawon & Beushausen 2018, s. 1 mukaan) Silaanimolekyylit ovat siloksaanimolekyyleihin verrattuina pienempiä, joten tyypillisesti silaanien tunkeutumissyvyys on parempi siloksaaneihin verrattuna. (Pan *et al.* 2016a, s. 581)

Silaanit ovat monomeerisia piitä sisältäviä kemikaaleja, jotka sisältävät vähintään yhden hiilen ja piin välisen sidoksen. Silaanimolekyylit lisätään tyypillisesti liuottimen, kuten veden tai isopropyylialkoholin sekaan, jolloin silaanien tunkeutuminen betoniin tehostuu. (Sudbrink *et al.* 2016, s. 121) Kuvassa 5 on esitetty silaanin sekä siloksaanin molekyylirakenteet.



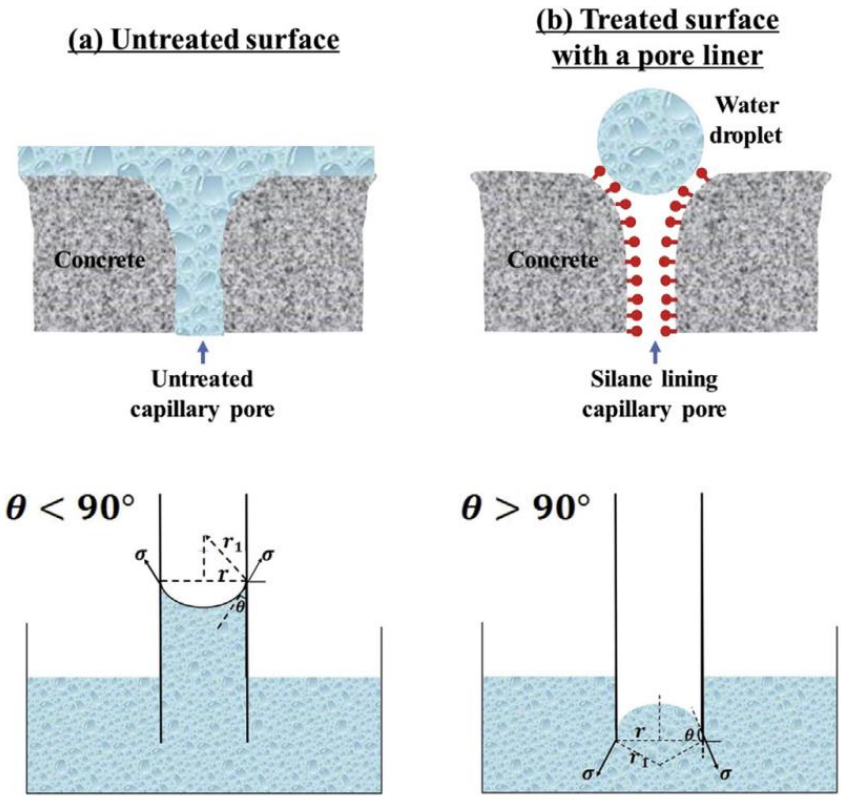
Kuva 5. *Silaani- sekä siloksaanimolekyylin rakenne (Pan et al. 2016a, s. 580)*

Kuvasta nähdään, että sekä silaanit että siloksaanit sisältävät orgaanisen alkyyliryhmän (CH_3) sekä useita alkoksiryhmiä (CH_3O). Alkoksiryhmien pii-happisidokset liittyvät betonin silikaatteihin. Alkyyliryhmä vähentää betonin pintajännitystä, työntymällä esiin betonin huokosrakenteesta, joka saa aikaan hydrofobiset ominaisuudet. (de Vries & Polder 1997, s. 260; Pan *et al.* 2016a, s. 581) Alkyyliryhmien ominaisuudet, kuten molekyylimassa ja rakenne, vaikuttavat merkittävästi silaanin ja siloksaanin hydrofobisiin ominaisuuksiin. Alkoksiryhmän ominaisuudet vaikuttavat sen sijaan tunkeutumissyvyyteen. (Pan *et al.* 2016a, s. 581)

Ennen impregnointikäsittelyitä, tulee tarkastaa lattian laatu sekä puhdistaa se. Lattiapinnan puristuslujuuden tulee olla vähintään 25 MPa. Lisäksi tulee varmistaa pinnan naarmuuntumiskestävyys ja lujuus sekä lattian kosteuspitoisuus. Pinnan ollessa liian pehmeä, se tulee tiivistää tai lujittaa ennen impregnointia. Lattian kosteuspitoisuuden ollessa liian suuri, lattian pinta ei kykene täysin absorboimaan impregnointikäsittelyä, mikä voi rajoittaa impregnoinnin toimintaa. (Obtego 2022, s. 40–41) Pinnan lämpötilan tulee olla vähintään +5 celsiusastetta (SILKO 2.252 2019, s. 3). Ennen käsittelyä pinta puhdistetaan joko pesemällä tai tarvittaessa kevyellä hierto- tai kiillotuskäsittelyllä. Pinta tulee puhdistaa tehokkaasti kaikista pinnallisista epäpuhtauksista. Vaikka pinta hierrettäisiin tai hiottaisiin, tulee se lopuksi puhdistaa joka tapauksessa vesipesulla. Puhdistuksen jälkeenkin tulee kiinnittää huomiota lattian kosteuspitoisuuteen ennen impregnointikäsittelyä. Tarvittaessa lattia esikäsitellään ennen varsinaista impregnointikäsittelyä. Esikäsittely on tarpeen, jos lattiassa on koloja tai suuria huokosia tai lattian pinta ei ole riittävän luja. (Obtego 2022, s. 40–41)

3.2.1 Veden tunkeutuminen

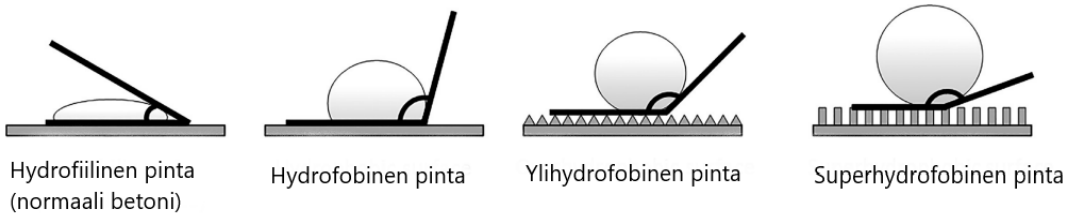
Käsittelemättömässä betonissa vesi imeytyy nopeasti betonissa oleviin kyllästämättömiin huokosiin kapillaari-ilmiön seurauksena. Veden imeytymiseen vaikuttavat pintajännitys, nesteen tiheys ja viskositeetti, nesteen ja huokosten välinen kosketuskulma sekä huokosten koko. Käsittelemättömässä betonissa kosketuskulma on pieni sementtipastan sekä veden molekyylien vetovoiman seurauksena (hydrofiilinen käyttäytyminen). Hydrofobiset impregnointiaineet heikentävät molekyylien välistä vetovoimaa veden ja betonin välillä. (Sohawon & Beushausen 2018, s. 1–2) Kuvassa 6 on esitetty silaanikäsitellyn betonin ero käsittelemättömään betonipintaan verrattuna.



Kuva 6. *Silaanikäsittelyn vaikutus betonin kapillaarihuokosissa (Liu & Hansen 2016, s. 50)*

Kuvasta 6 nähdään, että silaanikäsitellyssä betonissa veden ja betonin välinen kosketuskulma kasvaa. Ilmiö perustuu kapillaarihuokosten ionisen varauksen häviämiseen, mikä johtuu silaanimolekyylien kiinnittymisestä kapillaarihuokosten seinämiin. Näin ollen huokoset eivät vedä puoleensa poolisia vesimolekyylejä, minkä seurauksena kosketuskulma kasvaa. Kosketuskulman kasvu johtaa negatiiviseen kapillaariseen nousuun, eli nesteen pinta huokosissa on matalampi kuin ympäröivässä nesteessä. (Sohawon & Beushausen 2018, s. 1–2) Tämä nähdään myös kuvasta 6.

Flores-Vivian *et al.* (2013, s. 13284) esittävät myös ylihydrofobisen sekä superhydrofobisen pinnan saavuttamisen olevan mahdollista käsittelemällä betonipinta hydrofobisella seoksella. Kuvassa 7 on havainnollistettu kosketuskulman muutosta pinnan hydrofobisuuden kasvaessa.



Kuva 7. *Betonin ja nesteen välinen kosketuskulma (Flores-Vivian et al. 2013, s. 13285)*

Kuvasta 7 nähdään, että hydrofiilisen pinnan tapauksessa kosketuskulma on alle 90 astetta, jolloin pinnalla on taipumus kastua tai imeä vettä. Vettähylkivä pinta saavutetaan, kun kosketuskulma on yli 90 astetta. Superhydrofobisten pintojen kosketuskulma on 150 asteen ja 180 asteen välillä. Edellisten väliin jää ”ylihydrofobinen” pinta, jonka kosketuskulma vaihtelee välillä 120–150 astetta. Superhydrofobisilla pinnoilla on potentiaalia teollisiin sovellutuksiin pääasiassa niiden itsepuhdistuvuuden vuoksi. (Flores-Vivian *et al.* 2013, s. 13284–13285) Hydrofobisuus ei estä kuitenkaan rasvapohjaisten aineiden tunkeutumista betoniin. Monet likaavat aineet ovat rasvapohjaisia, joten betonipinnalta vaaditaan usein myös oleofobisuutta. Oleofobisessa pinnassa pintajännitys on todella alhainen. (Pintasuojaus 2023b, s. 9)

Feng *et al.* (2019, s. 1–2) esittävät, että betonin pintakerroksen lisäksi voidaan koko betonimassa muokata vettähylkiväksi. Pintakäsittelyn tapauksessa vettähylkivä kerros sijaitsee vain betonin pinnalla, jolloin halkeilu tai pinnan kuluminen johtaa käsittelemättömän betonin paljastumiseen. Betonin läpäisevyys kasvaa suuresti, kun käsitelty pintakerros tuhoutuu. Vaihtoehtoisena tapana Feng *et al.* (2019, s. 1–2) esittävät betonimassan muokkaamista vettähylkivällä lisäaineella massan valmistusvaiheessa, mikä on pitkäikäisempi vaihtoehto pinnan käsittelemiseen verrattuna. Vettähylkivinä lisäaineina voidaan käyttää esimerkiksi silaaneja ja silikoneja. Lisäaineet parantavat betonin säilyvyyttä mutta vaikuttavat heikentävästi betonin lujuuteen. Lisäksi silaanit ja siloksaanit ovat kalliita, joten niiden laajempi käyttö ei ole realistista. (Feng *et al.* 2019, s. 1–2) Myös Ferrara & Pattarini (2016, s. 263, 268) tutkivat siloksaanien käyttöä betonimassan lisäaineena hydrofobisen betonin saavuttamiseksi. Tutkimuksen mukaan sekoittamalla siloksaaneja

betonimassan joukkoon saavutetaan vielä pienempi vedenläpäisevyys verrattuna perinteiseen pintakäsittelyyn. (Ferrara & Pattarini 2016, s. 263, 268) Silaani- ja siloksaanikäsittelyt vaikuttavat betonipinnan vedenläpäisevyyteen mutta eivät pinnan vesihöyrynläpäisevyyteen. Näin ollen käsittelyt sallivat vesihöyryn kulkeutumisen betoniin sekä mahdollistavat pinnan kuivumisen. (Pan *et al.* 2016a, s. 581)

3.2.2 Muut vaikutukset

Silaani -sekä siloksaanikäsittelyiden vaikutuksesta kloridi-ionien tunkeutumiseen betonissa on olemassa ristiriistaista tutkimustietoa. Tämä saattaa johtua testien vaihtelevista jälkihoitomenetelmistä sekä kloridididiffuusiotestien aloitusajankohdasta. Tutkimuksissa on päädytty kuitenkin johtopäätökseen, että polyymeripinnoitteet ovat tehokkaimpia kloridirasitusta vastaan verrattuna muihin pintakäsittelyaineisiin. (Pan *et al.* 2016b, s. 83–84). Jones *et al.* (1995, s. 204) mukaan silaani- sekä siloksaanikäsittelyt ovat kuitenkin tehokkaampia kuin akryylipinnoite kloridi-ionien diffuusiota vastaan. Basheer *et al.* (1997, s. 421) esittävät, että pintakäsitellyistä betoneista paras suoja kloridi-ionien tunkeutumista vastaan saavutetaan silaanikäsittelyillä. Pintakäsittelyiden vaikutukseen kloridi-ionien tunkeutumisen arviointiin ei ole kuitenkaan olemassa standardien määrittämiä hyväksymiskriteerejä (Basheer *et al.* 1997, s. 421). Monet tutkijat pitävät hyväksyttävänä tasona 25–95 %:n vähennystä kloridien tunkeutumisessa (Pfeifer & Scali 1981; Hollinshead 1989, Basheer *et al.* 1997 mukaan).

Orgaanisten pintakäsittelyaineiden kestävyys kloridirasitusta vastaan riippuu myös lämpötilasta. Myös kloridien tunkeutumiseen vaikuttaa lämpötila. Silaanien ja siloksaanien suojaava vaikutus laskee merkittävästi lämpötilan ollessa 45 astetta tai yli. (Jones *et al.* 1995, s. 205) Pintakäsitellyissä betoneissa säilyvyyden kannalta olennaista on käytettävien aineiden tunkeutumissyvyys, johon vaikuttavat aineen molekyylikoko, betonipinnan laatu, aineen ja betonin välinen kontaktiaika tai imeytymisaika sekä betonin kosteuspitoisuus. (Basheer *et al.* 1997, s. 424) Basheer & Cleland (2011, s. 962) havaitsivat, että betonin kosteuspitoisuuden ollessa pienempi, vettähylkivän käsittelyn tunkeutumissyvyys on suurempi. Toisaalta tunkeutumissyvyyden kasvu ei pienennä läpäisevyysindeksiä verrattuna betoniin, jossa tunkeutumissyvyys on pienempi. Perusteluna on se, että jopa ohut käsittelykerros betonin pinnalla vähentää merkittävästi kosteuden tunkeutumista ja käsittelyn tunkeutumissyvyyden kasvulla ei ole merkittävää eroa veden imeytymiseen. Tutkimuksessa ei kuitenkaan käsitelty tunkeutumissyvyyden vaikutusta ionien läpäisevyyteen tai diffuusioon. Lisäksi tunkeutumissyvyys vaikuttaa esimerkiksi käsitellyn pinnan kulutuskestävyyteen. (Basheer & Cleland 2011, s. 962)

Betonin vesi-sementtisuhteen lisäksi myös sen suojaamiskäsittelyillä voidaan vaikuttaa betonin karbonatisoitumiseen. Vesi-sementtisuhteen kasvaessa huokoisuus lisääntyy, mikä edesauttaa karbonatisoitumista. (Aguair & Junior 2013, s. 478) Karbonatisoitumista kontrolloivat tekijät ovat hiilidioksidin diffuusio sekä hiilidioksidin reaktiivisuus betonin kanssa (Pan *et al.* 2016b, s. 85). Basheer *et al.* (1997, s. 420) mukaan silaanikäsittely ei suojaa betonia karbonatisoitumiselta. Myös siloksaanien muodostama suoja on heikko karbonatisoitumista vastaan. Kuitenkin siloksaanit, joissa on suuri alkyyliryhmä, voivat hieman vähentää hiilidioksidin diffuusiota. (Basheer *et al.* 1997, s. 420) Myös Aguair & Junior (2013, s. 482) mukaan siloksaanit suojaavat betonia heikosti karbonatisoitumiselta. Syynä on siloksaanien muodostama suoja huokosten pinnalla, mikä kontrolloi betonin kosteuspitoisuutta mutta ei ehkäise hiilidioksidin tunkeutumista betoniin. Karbonatisoitumiseen vaikuttaa suuresti myös vesi-sementtisuhde. Vesi-sementtisuhteen ollessa alhaisempi (0,6), suojaamattoman betonin karbonatisoituminen on vähäisempää, verrattuna vesi-sementtisuhteeltaan suurempaan (0,7) siloksaanilla tai akryylihartsilla suojattuun betoniin. (Aguair & Junior 2013, s. 482)

Basheer & Cleland (2011, s. 966–967) tuovat ilmi tutkimuksessaan, että betonin pintakäsittelyillä voidaan vaikuttaa veden ja kloridien tunkeutumisen lisäksi myös betoniterästen kloridikorroosioon. Pintakäsittelyaineiden avulla voidaan viivästyttää betoniterästen kloridikorroosion alkamisajankohtaa. Toisaalta käsittelyn tehoon vaikuttaa levitysajankohta. Betonin kosteuspitoisuuden ollessa suuri pintakäsittelyaineiden levittämishetkellä, käsittelyn teho korroosion viivästymisen kannalta heikkenee. (Basheer & Cleland 2011, s. 966–967) Sivasankar *et al.* (2013, s. 620) mukaan silaanikäsittely viivästyttää kloridikorroosion aloitusajankohtaa jopa nelinkertaiseksi verrattuna käsittelemättömään betoniin. Tittarelli & Moriconi (2008, s. 1357) esittävät silaanikäsittelyn ehkäisevän halkeilemattomassa betonissa betoniterästen korroosiota. Tämä johtuu vähäisestä veden imeytymisestä sekä kloridien tunkeutumisesta hydrofobisen betonin huokosten läpi. Toisaalta halkeilleessa betonissa silaanikäsitelty hydrofobinen betoni ehkäisee terästen korroosiota jopa huonommin kuin käsittelemätön betoni. Hydrofobisessa betonipinnassa happi diffusoituu nopeammin avoimissa huokosissa, kun taas käsittelemättömässä betonissa hapen diffuusio vedellä täyttyneiden huokosten läpi on hitaampaa. (Tittarelli & Moriconi 2008, s. 1357)

Betonin pintakäsittelyillä voidaan lisätä myös betonin pakkasenkestävyyttä, vaikka niitä ei voida käyttää vaihtoehtoisena keinona huokostamiselle (Dang *et al.* 2014, s. 129). Silaanikäsittelyn vaikutus betonin pakkasenkestävyyteen riippuu kahdesta tekijästä. Ensimmäinen tekijä on betonin alkuperäinen kosteuspitoisuus. Silaanikäsittelyn vaikutus

pakkasenkestävyyteen on merkittävä, kun betoni on aluksi kuivaa. Betonin ollessa käsittelyhetkellä vedellä kyllästetty, silaanikäsittelyllä ei ole vaikutusta betonin pakkasenkestävyyteen. (Pan *et al.* 2016b, s. 86–87) Vedellä kyllästyneessä betonissa silaanikäsittely ei pysty estämään jäätyvän kapillaariveden laajentumista (Basheer *et al.* 1997, s. 422). Toinen tekijä on jäätymis-sulamisprosessin aikana muodostuva vedenpaine. Kun prosessissa muodostunut vedenpaine on suurempi kuin silaanikäsittelyn aikaansaama hylkimisvoima, käsittelyn teho heikkenee. (Pan *et al.* 2016b, s. 87)

Useat tutkimukset osoittavat, että silaanikäsittelyillä voidaan vähentää merkittävästi saman aikaisesti vaikuttavasta suolarasituksesta sekä jäätymis-sulamisrasituksesta aiheutuvaa lohkeilua (Pan *et al.* 2016b, s. 87). Liu & Hansen (2016, s. 49, 60) esittävät tutkimuksessaan silaanikäsittelyn olevan tehokas keino vähentämään yli 90 % pintalohkeilusta betonissa, joka on altis jäänsulatusaineiden aiheuttamalla lohkeilulle. Lohkeilulle alttiita betoneita ovat esimerkiksi betonit, joissa on suuri vesi-sementtisuhde. Samanaikaisesti vaikuttavaa kosteuden imeytymistä betoniin ei pystytä ehkäisemään jäätymissulamisrasituksen vaikuttaessa. Näin ollen sisäistä halkeilua esiintyy huonosti huokostetussa betonissa ja halkeilu johtuu yleisestä betonin ylikyllästymisestä. (Liu & Hansen 2016, s. 49, 60)

Tittarelli & Moriconi (2011, s. 609, 611) raportoivat tutkimuksessaan silaanikäsittelyn toimivan myös suojaavana metodina halkeilleelle betonille. Sen avulla on mahdollista ehkäistä veden tunkeutumista ehjän betonipinnan lisäksi myös halkeilleeseen betoniin. Tutkimuksen mukaan silaanikäsittely toimii 0,5 mm:n levyisille halkeamille, mutta ei enää 1 mm:n levyisille. (Tittarelli & Moriconi 2011, s. 609, 611) Suolarasituksesta aiheutuvasta halkeilusta, pakkasen aiheuttamasta sisäisestä halkeilusta betonissa sekä näihin liittyvästä samanaikaisesta kosteuden imeytymisestä on kuitenkin olemassa vain vähän tutkimustietoa. Lisäksi laboratoriotestit kosteuden tunkeutumisesta betoniin ovat tyypillisesti toteutettu normaalissa ilmanpaineessa sekä huonelämpötilassa, jolloin jäätymissulamisaltistusta ei ole otettu huomioon. (Liu & Hansen 2016, s. 49)

Pintakäsittelyiden vaikutusta betonin läpäisevyyteen on tutkittu pääasiassa tavanomaisten lujuusluokkien betoneilla. Näin ollen pintakäsiteltyjen korkealujuusbetonien läpäisevyyttä on tutkittu vain vähän, vaikka korkealujuusbetonit yleistyvät yhä enemmän nykyaikaisissa rakenteissa. (Pan *et al.* 2016b, s. 83) Weisheit *et al.* (2016, s. 149) esittävät tutkimuksessaan, että hydrofobiset impregnointiaineet vähentävät vain hieman veden imeytymistä korkealujuusbetoniin. Sekä käsiteltyihin että käsittelemättömiin testikappaleisiin veden tunkeutuminen oli kuitenkin todella hidasta, johtuen niiden tiiveydestä. Näin ollen testistä saatuja tuloksia on hankalia tulkita. Viiden vuoden säärasituk-

sen jälkeen vettähylkivät impregnointiaineet eivät kyenneet estämään veden tunkeutumista betoniin suojaavan kerroksen vaurioitumisen takia. Näin ollen säärasitettujen testikappaleiden veden tunkeutumissyvyys oli huomattavasti suurempi. (Weisheit *et al.* 2016, s. 149)

Pintakäsittelyiden pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat pääasiassa käsittelyn tunkeutumissyvyys sekä käsittelyn kestävyys ulkoisia olosuhteita, kuten UV-säteilyä, vesirasitusta tai jäätymistä vastaan (Basheer *et al.* 1997, s. 424). Pintakäsittelyiden säilyvyydellä on merkittävä vaikutus myös betonin säilyvyyteen ja niiden tulee sopeutua moniin olosuhteisiin, kuten vaihteleviin pH-arvoihin, kosteuteen ja lämpötilaan. Pintakäsittelyiden pitkäaikaisia vaikutuksia luonnollisessa ympäristössä on tutkittu paljon. Johtopäätösten tekeminen sekä tutkimustulosten vertailu niiden perusteella on kuitenkin vaikeaa, sillä testiolosuhteet ja betonin ominaisuudet vaihtelevat kokeissa. (Pan *et al.* 2016b, s. 87) Lisäksi pintakäsittelyiden tehokkuuteen vaikuttavat käsittelyn vaihteleva paksuus ja kattavuus, vaihtelevat kuivumisolosuhteet sekä betonin kosteuspitoisuus. Kyseiset tekijät aiheuttavat vaihtelua pintakäsittelyiden vaikutukseen. (Basheer & Cleland 2011, s. 957) Christodoulou *et al.* (2013, s. 715) mukaan silaanikäsittelyiden pitkäaikaiskestävyydestä sekä suojaavan vaikutuksen säilyvyydestä esimerkiksi 10 vuoden käyttöiän aikana on olemassa kuitenkin vähän tutkimustietoa.

3.3 Lujittamiskäsittelyt

Pan *et al.* (2016b, s. 82) mukaan suurin osa pintakäsittelyaineista eivät suoraan vaikuta betonin lujuuteen, sillä ne vaikuttavat betonin laatuun ja huokoisuuteen vain ohuessa pintakerroksessa. Silikaattipohjaiset pintakäsittelyt ehkäisevät kuitenkin betonin lujuuden menetystä palotilanteessa (Li *et al.* 2013, s. 654–655). Toisaalta Guo *et al.* (2018, s. 334–335) esittävät, että käsiteltäessä 28 vuorokauden ikäisiä betonikappaleita, kaikki kolme tutkittua käsittelyä, etyylisilikaatti, natriumsilikaatti sekä silaani, paransivat betonin puristuslujuutta. Etyylisilikaatti kasvatti betonin puristuslujuutta 20 %, natriumsilikaatti 12,5 % ja silaani 6,9 %. Sen sijaan käsiteltäessä betonikappaleita varhaisessa vaiheessa vuorokauden ikäisinä, vain natriumsilikaatti kasvatti betonin puristuslujuutta. Etyylisilikaatti sekä silaani sen sijaan vaikuttivat alentavasti betonin puristuslujuuteen. Tämä voi johtua siitä, että natriumsilikaatti reagoi kalsiumhydroksidin kanssa betonin pinnalla muodostamalla ylimääräisiä kalsium-silikaatti-hydraatti-sidoksia ja saaden aikaan tiiviimmän ja virheettömämmän pintarakenteen. (Guo *et al.* 2018, s. 334–335)

Hou *et al.* (2013, s. 69–70) esittävät tutkimuksessaan, että etyylisilikaatilla käsitellyn testikappaleen puristuslujuus oli käsittelemättömään kontrollikappaleeseen heikompi sekä

7 vuorokauden että 28 vuorokauden ikäisillä kappaleilla. Toisaalta pintakäsittelyiden vaikutus betonin lujuuteen saattaa riippua myös koekappaleiden dimensioista. (Hou *et al.* 2013, s. 69–70) Etyylisilikaatin vaikutus betonin lujuuteen saattaa johtua sen hydrolyysin aikana muodostuvasta etanolista, jota käytetään sementin hydratoitumisprosessin lopettamiseen. Näin ollen se saattaa vaikuttaa etyylisilikaatilla käsitellyn betonin mekaanisten ominaisuuksien kehittymiseen. (Taylor 1997, Hou *et al.* 2013, s. 69–70 mukaan)

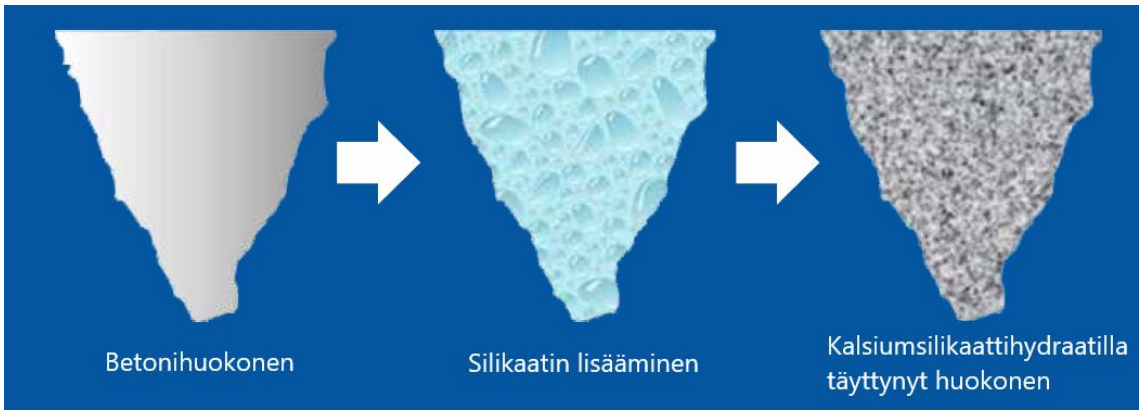
Feng *et al.* (2019, s. 2, 9) esittävät, että lisäaineella vettähylkiväksi muokatun betonin puristus- sekä taivutuslujuus pienenivät. Tutkimuksessa 90 vuorokauden ikäisellä betonilla puristuslujuus oli vettähylkiväksi muokatulla betonilla 16,2 % pienempi ja taivutuslujuus 20,0 % pienempi verrattuna tavanomaiseen betoniin. Tutkimuksessa betonimassaan lisättiin vettähylkivänä lisäaineena steariinihappoemulsiota. Myös muissa tutkimuksissa, joissa betonimassa on muokattu vettähylkiväksi jo valmistusvaiheessa erilaisilla hydrofobisilla lisäaineilla, on päädytty samaan lopputulokseen betonin lujuuden osalta. (Feng *et al.* 2019, s. 2, 9)

Song *et al.* (2021, s. 3–4) mukaan litiumsilikaattikäsittelyllä on mahdollista vaikuttaa myös vaahtobetonin puristuslujuuteen. Vaahtobetonissa betoniin muodostuu ilmakuplia vaahdottavan aineen seurauksena. Se on huokoista, hyvin lämpöä eristävää, kevyttä sekä sillä on hyvät palonkesto-ominaisuudet. (Raj *et al.* 2019, s. 787) Litiumsilikaatilla käsitellyn vaahtobetonin puristuslujuuden kasvuun vaikuttavat litiumsilikaatin konsentraatio sekä betonin tiheys. Lisäksi litiumsilikaattikäsitellyllä voidaan parantaa vaahtobetonin jäätymis-sulamiskestävyyttä. (Song *et al.* 2021, s. 3–5)

Betonin puristuslujuuden lisäksi sen kulutuskestävyydellä on suuri merkitys erityisesti teollisuusrakennuksissa, parkkihalleissa, terminaaleissa sekä julkisissa tiloissa. Pan *et al.* (2016b, s. 88) esittävät, että hydrofobisilla pintakäsittelyaineilla, kuten silaaneilla, ei ole vaikutusta betonin kulutuskestävyyteen. Sen sijaan jotkin epäorgaaniset pintakäsittelyaineet vaikuttavat myös kulutuskestävyyteen. Epäorgaanisista aineista natriumsilikaatilla on suurin vaikutus kulutuskestävyyteen verrattuna etyylisilikaattiin tai nanosilikaan. (Pan *et al.* 2016b, s. 88)

4. BETONILATTIAN SILIKAATTIKÄSITTELY

Betonilattia voidaan käsitellä vettähylkivän impregnoinnin sekä pinnoittamisen lisäksi betonin huokoset tukkivalla impregnoinnilla. Tyypillisesti impregnointiin käytetään epäorgaanisia aineita, jotka ovat pääasiassa nestemäisiä silikaatteja. (Pigino *et al.* 2011, s. 313–314) Silikaateista yleisimmin käytössä ovat natrium-, kalium ja litiumsilikaatit sekä useampaa silikaattia sisältävät yhdistelmäsilikaatit. Lisäksi käytetään kolloidisia silikaatteja, jotka koostuvat pelkästään nesteeseen liuenneista silikaattimolekyyleistä. (Obtego 2022, s. 45, 47) Näiden lisäksi on tutkittu esimerkiksi etyylisilikaattien käyttöä betonipinnan impregnoinnissa. Silikaattien toiminta perustuu niiden reaktioon betonin kanssa, minkä seurauksena syntyvät reaktiotuotteet tukkivat betonin huokoset. (Pigino *et al.* 2011, s. 313–314) Silikaattikäsittelyssä natrium-, kalium- tai litiumionit toimivat apuaineina, jotka hidastavat silikaatin nopeaa reaktiota. Apuaineet eivät siis reagoi betonin kanssa. (Hellén 2012, s. 2) Kuvassa 8 on esitetty silikaatin toiminta betonissa.



Kuva 8. *Silikaatin toiminta betonissa (Obtego 2022, s. 44)*

Silikaatit reagoivat sementin hydrataatiossa muodostuvan kalsiumhydroksidin, eli portlandiitin, kanssa muodostaen kuvan 8 mukaan kalsiumsilikaattihydraatti -geeliä, joka tukkii betonin huokoset. Silikaattien ja betonin välisen reaktion seurauksena betonin pinta lujittuu sekä tiivistyy. (Pigino *et al.* 2011, s. 313–314)

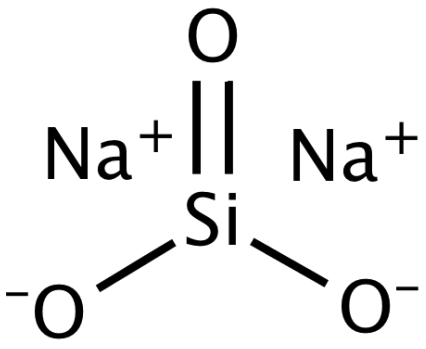
Silikaattien reaktioon betonin kanssa vaikuttaa sementin kalsiumhydroksidipitoisuus, mutta sementtityypin ja pintakäsittelyiden välisestä yhteydestä ei ole kuitenkaan olemassa tutkimustietoa. Epäorgaanisilla pintakäsittelyaineilla, eli silikaateilla, on orgaanisiin verrattuna esimerkiksi parempi säilyvyys. Siitä huolimatta niihin keskittyvää tutkimusaineistoa erityisesti tunkeutumissyvyyteen sekä vuorovaikutukseen sementtimäisten aineiden kanssa on olemassa melko vähän. (Pan *et al.* 2016a, s. 579, 587) Silikaattikäsittelyn avulla voidaan parantaa betonilattian tiiviyttä, kulutuskestävyyttä sekä vähentää

pölyävyyttä. Silikaattikäsittely on suositeltavaa tehdä lujittuneelle betonille tuoreen betonin sijaan. Lujittuneella betonilla silikaatin absorptiokapasiteetti kasvaa merkittävästi. Lisäksi käsitellyn lattian kulutuskestävyys paranee huomattavasti ja kapillaarinen veden imeytyminen vähenee. (Obtego 2022, s. 17, 19, 48–49)

Silikaattikäsittelyt sopivat useisiin rasitusluokkiin ja niitä voidaan käyttää sekä sisä- että ulkotiloissa (Semtu 2023). Silikaattikäsittelyitä on hyödynnetty rakennuksissa ja moottoritiesilloissa jo useita vuosia (Dai *et al.* 2009, s. 101). Sisätiloissa käyttökohteena voi olla esimerkiksi julkisten tilojen puhdasvalulattiat (Lumme *et al.* 2021, s. 82). Silikaattikäsittelyitä käytetään myös kohteissa, joissa lattialta vaaditaan kulutuskestävyyttä (Matsinen 2017b, s. 80). Niitä voidaan käyttää siten esimerkiksi teollisuuskohteissa tai pysäköintilaitoksissa, jotka voivat olla lämpimiä, puolilämpimiä tai kylmiä. Täysin ulkotiloissa silikaattikäsittelyitä hyödynnetään siltarakenteiden impregnoinnissa (SILKO 2.252 2019, s. 2). Silloissa ja pysäköintihalleissa betoniin voi kohdistua tavanomaisen karbonatisoitumisen lisäksi esimerkiksi kloridien aiheuttamaa korroosiota (XD-luokka) sekä jäätymissulamisrasitusta (XF-luokka) (by68 2016, s. 63, 73).

4.1 Natriumsilikaatti

Natriumsilikaatti koostuu vedestä, positiivisista natriumioneista (kationi) sekä negatiivisista silikaatti-ioneista (anioni) (Thompson *et al.* 1997, s. 1561). Se on yleisin epäorgaaninen pintakäsittelyaine, joka tunnetaan myös nimellä vesilasi (Pan *et al.* 2016a, s. 579). Kuvassa 9 on esitetty natriumsilikaatin kemiallinen rakenne.



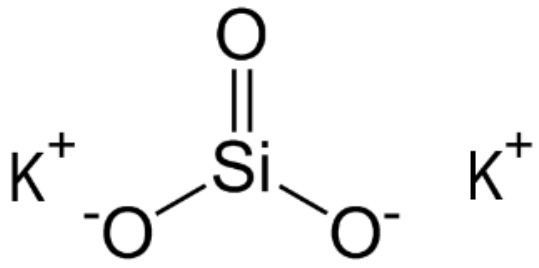
Kuva 9. *Natriumsilikaatin kemiallinen rakenne (1MalaysiaBiolab 2023)*

Kuvassa 9 on natriumsilikaatin yksinkertaisin muoto. Se on valkoinen amorfinen kiinteä aine. Natriumsilikaatti voi esiintyä myös muissa olomuodoissa, kuten nesteenä. Sitä valmistetaan sulattamalla hiekkaa sekä natriumkarbonaattituhkaa tai natriumhydroksidia. Natriumsilikaattia käytetään pääasiassa saippuan ja pesuaineiden valmistuksessa. (Schlager *et al.* 2006, s. 779–781) Muihin silikaatteihin verrattuna natriumsilikaatin molekyylikoko on suurin (Bisley 2021c).

Thompson *et al.* (1997, s. 1561, 1567) havaitsivat tutkimuksessaan natriumsilikaatin toimivan tuotteena, joka tukkii betonin huokoset ja vähentää veden tunkeutumista betoniin. Natriumsilikaatin reagoidessa betonin sisältämän kalsiumhydroksidin kanssa syntyy sivutuotteena natriumhydroksidia. Sivutuotteen muodostumiseen liittyy mahdollinen lisääntynyt riski alkalipiiyhdistereaktioon (ASR), mikä tulisi ottaa huomioon. (Pigino *et al.* 2011, s. 313–314) Siinä kemiallisen reaktion seurauksena syntyy geeliä, joka paisuu imemällä vettä ympäristöstään. Geelin paisumisen aiheuttama tilavuuden muutos johtaa lopulta betonin vetolujuuden ylittämiseen ja sitä myötä halkeiluun. (Pyy 2022)

4.2 Kaliumsilikaatti

Kaliumsilikaatti koostuu kaliumioneista sekä piidioksidi-ioneista. Sitä käytetään betonin tiivistämisen lisäksi mm. lannoitteena sekä inhibiittorina korroosiolle. (Bisley 2021b) Kuvassa 10 on esitetty kaliumsilikaatin kemiallinen rakenne.



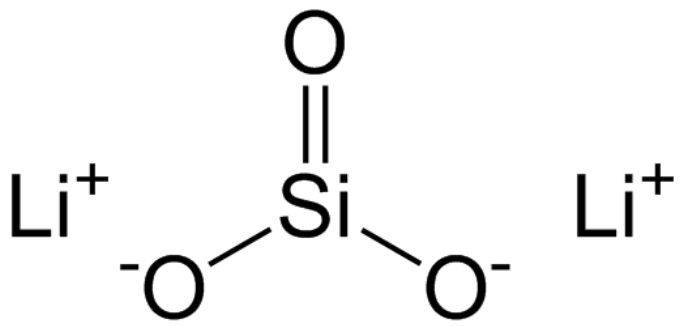
Kuva 10. *Kaliumsilikaatin kemiallinen rakenne (ChemSpider 2024, muokattu)*

Kaliumsilikaatti tiivistää betonin pintaa ja parantaa kulutuskestävyyttä sekä lisää betonipinnan kiiltoa (Bisley 2021b). Natriumsilikaattiin verrattuna sen reaktio on vakaampi, sillä kaliumsilikaatin ominaisuudet ovat stabiilimpia lämpötilan ja konsentraation muutoksille. Lisäksi kaliumsilikaatti liukenee helposti, johtuen sen suuresta ionisaatiotaipumuksesta. Kaliumsilikaatin kemiallinen reaktio on natriumsilikaattiin verrattuna hitaampi

mutta sillä on alhaisempi viskositeetti, joten sen tunkeutumissyvyys on natriumsilikaattiin verrattuna suurempi. (Inazumi *et al.* 2017, s. 164, 168)

4.3 Litiumsilikaatti

Litiumsilikaatti koostuu litiumioneista sekä piidioksidi-ioneista. Yhdisteessä litium toimii silikaatin välittäjäaineena. Litiumsilikaatin yleisin käyttökohde on betonipinnan tiivistäminen ja lujittaminen. Litiumsilikaatti levitetään nestemäisenä betonilattian päälle ja neste tunkeutuu betoniin reagoiden betonin sisältämän kalsiumhydroksidin kanssa. Reaktiotuotteena syntyy kalsiumsilikaattia, joka jää betonin pinnassa oleviin huokosiin tukkien ne. (Bisley 2021a) Kuvassa 11 on esitetty litiumsilikaatin kemiallinen rakenne.



Kuva 11. *Litiumsilikaatin kemiallinen rakenne (Wikipedia 2021)*

Litiumsilikaatti on natrium- ja kaliumsilikaattiin verrattuna kalliimpaa, mutta sen etuna voidaan pitää esimerkiksi nopeampaa kuivumisaikaa. Litiumsilikaatti kuivuu noin kuudessa tunnissa, kun taas natriumsilikaatin kuivumisaika on noin vuorokauden. Litiumsilikaatti liukenee myös huonommin kuivumisen jälkeen ja sen levittämiseen riittää vain yksi kerros. Lisäksi litium on natriumiin ja kaliumiin verrattuna reaktiivisempaa, joten sen sisältämä piidioksidipitoisuus on suurempi. Sen vuoksi litiumsilikaatin menekki on pienempää, eikä levityksestä jää betonin pintaan yhtä paljon pudistettavia jäämiä. (Bisley 2021a)

Litiumsilikaatin molekyylikoko on hyvin pieni, joten sen imeytyy tasaisesti betonin pintaan. Esimerkiksi natriumsilikaatti ei kykene sen suuremman molekyylikoon takia tunkeutumaan tasaisesti suljettuun pintaan. (Mikulica & Hela 2019, s. 124) Litiumsilikaatti ei myöskään käynnistä tai osallistu betonipinnan alkalipiidioksidireaktioon. Se voidaan levittää harjattuun, hierrettyyn tai kiillotettuun betonipintaan. (Prosoco 2022)

4.4 Muut silikaatit

Yleisimmin käytettyjen silikaattien, kuten natrium-, kalium- sekä litiumsilikaattien, lisäksi on olemassa myös muita silikaatteja. Eräs tutkittu vaihtoehto on etyylisilikaatti, jota käytetään pääasiassa rapautuneiden kivien lujittavana aineena arkkitehtuurisissa korjauskohteissa. Etyylisilikaatti, eli tetraetyyliortosilikaatti (TEOS), on alkoksisilaaniyhdiste, joka levitetään betonin pintaan orgaanisia liuotteita sisältävän liuoksen mukana. (Franzoni *et al.* 2013, s. 69–70) Etyylisilikaatissa on neljä happisidosta toisin kuin silaaneissa. Happisidosten määrän ollessa alle neljä, molekyylissä on vähintään yksi hydrofobinen ryhmä, jonka myötä betonipinnasta tulee vettähylkivä. Etyylisilikaatista puuttuu hydrofobinen ryhmä, sillä happisidosten määrä on neljä. Näin ollen lopputuotteena muodostuva silikageeli on hydrofiilinen. (Cai *et al.* 2016, s. 145) Etyylisilikaatin tunkeuduttua huokosiin käynnistyy kaksivaiheinen reaktiosarja, joka johtaa amorfisen silikageelin saostumiseen huokosten sisällä. Etyylisilikaatin laaja käyttö kivien lujittamisessa perustuu sen pieneen molekyylikokoon sekä matalaan viskositeettiin, minkä takia etyylisilikaatti tunkeutuu syvälle käsiteltävään aineeseen. Lisäksi reaktiossa syntyvät sivutuotteet, etanoli sekä vesi, ovat harmittomia ja haihtuvat lujittumisen aikana. (Franzoni *et al.* 2013, s. 69–70)

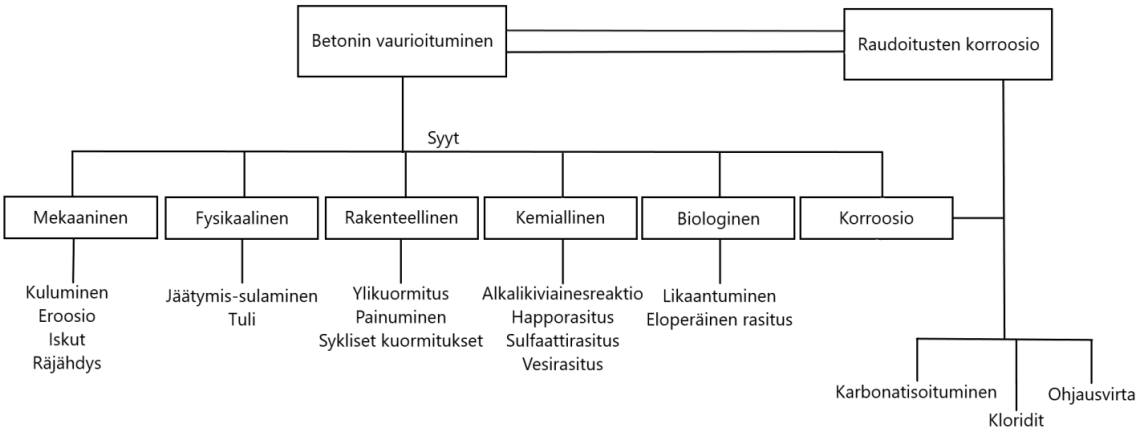
Pigino *et al.* (2011, s. 314) esittävät etyylisilikaatin käytön betonissa hyödyntävän samoja ominaisuuksia kuin kivien lujittamisessa. Etyylisilikaattikäsittelyn lopputuotteena syntyvällä silikalla on esimerkiksi hyvä säilyvyys sekä betonin huokosia tukkiva vaikutus. (Pigino *et al.* 2011, s. 314) Etyylisilikaatti on siis potentiaalinen käsittelyaine myös betonipintojen suojaamisessa. Pienen viskositeetin ja molekyylikoon sekä vaarattomien sivutuotteiden lisäksi piidioksidigeelillä on erinomainen yhteensopivuus sementtimäisten materiaalien kanssa sekä se on stabiili ulkoilmassa. Etyylisilikaatti ei myöskään tuki kaikkia avoinna olevia huokosia, joten se vähentää betonipinnan ilmanläpäisevyyttä vain osittain. (Pan *et al.* 2016a, s. 584) Toisaalta etyylisilikaatti on altis halkeilulle kutistumisen ja kuivumisen seurauksena. Tähän haittapuoleen voidaan pyrkiä vaikuttamaan nanopartikkeleilla sekä lisäaineilla. Niiden käyttö edellyttää kuitenkin lisää tutkimustyötä. (Kim *et al.* 2008, s. 215) Lisäksi etyylisilikaatti on hidas reagoimaan, mihin voidaan vaikuttaa lisäämällä katalyyttejä (Amoroso & Fassina 1983, Sandrolini *et al.* 2011, s. 307 mukaan)

Harjaamalla levitetyn etyylisilikaatin tunkeutumissyvyydeksi on saatu noin 3–5 mm. Betonin mikrorakenteessa etyylisilikaatin havaitaan jakautuvan valikoivasti. Reaktiotuotteet seostuvat pääasiassa pieniin huokosiin johtuen kapillaarisesta imusta. Etyylisilikaattikäsittely aiheuttaa vain hyvin pieniä muutoksia betonipinnan kirkkauteen ja väriin, joten se soveltuu myös arkkitehtonisiin betonipintoihin. (Pigino *et al.* 2011, s. 320) Franzoni *et al.* (2013, s. 76) esittävät tutkimuksessaan etyylisilikaatin olevan lupaava betonipinnan kä-

sittelyaine. Muut tutkittavat aineet olivat natriumsilikaatti, nanosilika sekä natriumsilikaattia sisältävä nanosilika. Näistä etyylisilikaatti esimerkiksi rajoitti parhaiten veden tunkeutumista betoniin. Myös etyylisilikaatin toiminta lyhyt- ja pitkäaikaisessa altistuksessa kloridi-ioneille sekä hiilidioksidille oli natriumsilikaattiin verrattuna parempi. Lisäksi etyylisilikaatilla saavutetaan hyvä kulutuskestävyys. (Franzoni *et al.* 2013, s. 76)

4.5 Silikaattikäsitellyn lattian ominaisuudet

Betonin vauriomekanismit voidaan jaotella fysikaalisiin, mekaanisiin, kemiallisiin, biologisiin sekä rakenteellisiin (Bertolini *et al.* 2014, s. 50). Nämä vauriomekanismit ja niihin lukeutuvat ilmiöt on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. *Betonin vaurioituminen (Bertolini et al. 2014, s. 50)*

Kuvasta 12 nähdään, että betonin vaurioituminen sekä raudoitusten korroosio ovat yhteydessä toisiinsa. Vaurioituminen vaikuttaa betonin pintaan ja aiheuttaa esimerkiksi mikrohalkeilua, mikä vaikuttaa betonin suojaavaan vaikutukseen. Yleisimmät fysikaaliset ja kemialliset vauriomekanismit ovat jäätymis-sulamissyklit, happamat liuokset, vesi, sulfaatit sekä alkalikiviainesreaktio. Betonin pintakäsittelyllä voidaan vähentää pinnan läpäisevyyttä sekä pienentää betonin kosteuspitoisuutta. (Bertolini *et al.* 2014, s. 243–244, 49) Taulukossa 6 on esitetty pintakäsitellyn betonin tutkittavia ominaisuuksia.

Taulukko 6. *Pintakäsittelyn betonin tutkittavia ominaisuuksia (Basheer et al.1997 & Li et al. 2022)*

1	**Kulkeutumisominaisuudet betonissa** · Vesihöyryn läpäisevyys/diffuusio · Veden imeytyminen · Veden läpäisevyys · Ilman läpäisevyys · Hiilidioksidin diffuusio · Kloridien diffuusio · Kloridien läpäisevyys · Hapen diffuusio	**2**	**Betonin säilyvyys** · Karbonatisoituminen · Kloridien tunkeutuminen · Korroosio · Sulfaattien tunkeutuminen · Suolarapautumiskestävyys · Jäätymissulamiskestävyys · Kulutuskestävyys · Ulkopuolisen kloridirasituksen vaikutus · Sähköinen kestävyys/vastus
3	**Pintakäsittelyaineen säilyvyys** · Alkalikestävyys · Tunkeutumissyvyys · Turmeltumiskestävyys/säänkestävyys	**4**	**Betonin ominaisuuksien vaikutus** · Pinnan valmistelu · Kontaktiaika · pH:n vaikutus · Kosteuspitoisuus · Käsiteltävän kappaleen ikä
5	**Tekniset vaatimukset** · Halkeamien silloituskyky · Pinnan kitka	**6**	**Taloudelliset vaatimukset** · Ympäristövaikutukset · Käsittelyn haihtuvuus · Polymerisaation aste · Menekki · Levitystapa
7	**Käytönaikainen suorituskyky** · Kenttätulokset suorituskyvystä · Sadeveden tunkeutuminen		

Työssä tarkemmin käsiteltäviä pintakäsitellyn betonilattian ominaisuuksia ovat erityisesti kulutuskestävyys, vedenläpäisevyys, kemiallisten aineiden tunkeutuminen, karbonatisoituminen sekä pakkasenkestävyys. Nämä ominaisuudet ovat betonin säilyvyyden kannalta erityisen tärkeitä (Basheer *et al.* 2001, s. 102). Silikaattikäsittelyiden vaikutuksia näihin ominaisuuksiin on kuvattu alla olevissa luvuissa. Eri tutkimuksissa saatuja tuloksia on kuitenkin mahdollisesti hankala verrata keskenään, sillä tutkimuksissa käytetyn perusbetonin ominaisuudet sekä testausmenetelmät saattavat vaihdella. Myös saman tuotetyypin eri valmistajien tuotteiden ominaisuuksissa saattaa olla suurtakin vaihtelua (Pan *et al.* 2016b, s. 83)

4.5.1 Kulutuskestävyys

Kulutuskestävyys liittyy terminä yleensä kulumiseen, joka tapahtuu kuivissa olosuhteissa. Betonilattian kulutuskestävyyteen liittyviä olosuhteita ovat esimerkiksi jalankulkijoiden sekä teollisuuskoneiden ja toimintojen aiheuttama rasitus. Kovettuneella sementtiliimalla on heikko kulutuskestävyys. Lisäksi betonin kulutuskestävyyteen vaikuttaa sementtiliiman huokoisuus ja lujuus sekä betonin runkoaines. Betonipinnan fysikaalinen kuluminen tapahtuu sen pintakerroksissa, joten betonipinnan laatuun tulisi erityisesti kiinnittää huomiota. Heikon pintakerroksen muodostumisen ehkäisemiseksi on suositeltavaa viivyttää betonin hiertämistä siihen asti, kunnes betonin pintaan ei nouse enää vettä. (Kumar Mehta & Monteiro 2006, s. 132) Betonilattian kulutuskestävyyteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi sirotteilla, kovabetonilla tai silikaattikäsittelyillä (Matsinen 2017b, s. 80).

Franzoni *et al.* (2013, s. 70, 73, 75–76) tutkivat työssään etyylisilikaatin, natriumsilikaatin, nanosilikan sekä natriumsilikaattia sisältävän nanosilikan vaikutusta betonipinnan kulutuskestävyyteen. Työn tulosten perusteella natriumsilikaatti lisäsi pinnan kulutuskestävyyttä parhaiten. Natriumsilikaatin lisäksi myös etyylisilikaatti sekä natriumsilikaattia sisältävä nanosilika lisäsivät pinnan kulutuskestävyyttä. (Franzoni *et al.* 2013, s. 70, 73, 75–76) Li *et al.* (2022, s. 14–16) esittävät tutkimuksessaan etyylisilikaatin parantavan kulutuskestävyyttä tehokkaammin litiumsilikaattiin sekä nanosilikaan verrattuna. Myös betonin lujuudella on vaikutusta kulutuskestävyyteen, sillä lujuuden kasvaessa myös kulutuskestävyys kasvaa. Vesi-sementtisuhteen pienentyessä ja lujuuden kasvaessa betonin pinnan huokoisuus pienenee ja lisäksi pinnalla olevan sementtiliiman määrä vähenee. (Li *et al.* 2022, s. 14–16)

Baltazar *et al.* (2014, s. 196) tutkivat silikaattipohjaisten betonin pintakäsittelyaineiden vaikutusta kulutuskestävyyteen Taber-testillä. Käytetty pintakäsittelyaine oli silikaattipohjainen impregnointiaine, johon oli sekoitettu akryylihartsia. Testissä havaittiin, että 200 syklin jälkeen silikaattipohjainen impregnointiaine oli täysin kulunut pois betonin pinnalta. Sataan testisykliin asti silikaattipohjainen impregnointi lisäsi suhteellisen paljon betonin kulutuskestävyyttä, erityisesti alhaisemmalla vesi-sementtisuhteella. Standardissa SFS-EN 1504-2 esitetty vaatimus Taber-testillä mitatulle pintakäsittelyn kulutuskestävyydelle on kuitenkin 30 % parannus 1000 testisyklin aikana (SFS-EN 1504-2 2005, s. 17). Näin ollen testattu silikaattipohjainen impregnointiaine ei saavuttanut standardin mukaista vaatimustasoa. Silikaattipohjaisella impregnoinnilla, jonka vesi-sementtisuhde oli 0,40, massan pienentyminen väheni 75 % suojaamattomaan testikappaleeseen verrattuna. Impregnoinnin tehokkuus kulutuskestävyyden kannalta pienenee betonin kosteuspitoisuuden ollessa suurempi silikaatin levityshetkellä. Tämä saattaa johtua siitä, että kosteuspitoisuuden ollessa suurempi, pinnalla olevat huokoset ovat täyttyneet vedellä, mikä johtaa impregnointiaineen pysähtymiseen. Näin ollen impregnointiaine ei pääse tunkeutumaan syvemmälle betoniin ja reagoimaan betonin kanssa. (Baltazar *et al.* 2014, s. 196)

Myös Mikulica & Hela (2019, s. 126–127) tutkivat silikaattikäsiteltyjen testikappaleiden kulutuskestävyyttä. Kulutuskestävyyden testaus suoritettiin Böhme-testillä ja tutkimuksessa havaittiin eroavaisuuksia käsittelemättömän betonikappaleen ja käsiteltyjen betonikappaleiden kulutuskestävyyksissä vain neljän ensimmäisen syklin aikana. Tämän jälkeen silikaattikäsiteltyjen betonikappaleiden paksuuden muutos verrattuna käsittelemättömään vertailukappaleeseen oli lähes samaa luokkaa tai jopa suurempi. Kyseisestä testistä saadut tulokset voivat kuitenkin riippua myös inhimillistä tekijöistä, sillä kaikkia paksuuden muutosmittauksia ei välttämättä tehdä täsmälleen samasta kohdasta. (Mikulica & Hela 2019, s. 126–127)

4.5.2 Vedenläpäisevyys

Betonin läpäisevyys on yksi tärkein muuttuja sen säilyvyyden kannalta. Läpäisevyyteen voidaan vaikuttaa jo betonin suunnitteluvaiheessa esimerkiksi pienentämällä vesi-sementtisuhdetta sekä lisäaineilla. Niihin verrattuna pintakäsittelyaineet ovat kuitenkin kustannustehokkaita, sillä ne eivät vaikuta rakennusvaiheeseen. (Jia *et al.* 2016, s. 85) Edellä mainittujen lisäksi mekaaninen jännitys vaikuttaa betonin läpäisevyyteen. Kuormituksen alaisena läpäisevyys pienenee jännityksen kynnysarvoon asti, jonka jälkeen

läpäisevyys kasvaa huomattavasti. Erityisesti syklinen kuormitus on haitallista läpäisevyyden kannalta. (Hoseini *et al.* 2009, s. 219)

Betonin läpäisevyys vaikuttaa veden tunkeutumisen lisäksi myös kaasujen ja ionien tunkeutumiseen johtuen paine-erosta, kemiallisesta potentiaalista tai sähköisestä potentiaalista. (Zhao 2005, Jia *et al.* 2016, s. 85 mukaan) Betonin silikaattikäsittely ei muuta betonin hydrofiilista käyttäytymistä toisin kuin hydrofobiset impregnointiaineet. Näin ollen käsittely ei tee betonin pinnasta vettähylkivää. Silikaattikäsittely kuitenkin tiivistää betonia, sillä kalsiumsilikaattihydraattigeeli täyttää osittain betonin mikrohuokosia ja -halkeamia. Myös testeissä on havaittu vesipisaran imeytymisajan olevan pidempi silikaattikäsitellyssä betonissa kuin käsittelemättömässä betonissa. (Song *et al.* 2015, s. 282) Veden imeytyminen silikaattikäsiteltyyn betoniin on noin 10 % pienempi verrattuna käsittelemättömään betonipintaan. Veden tunkeutumisen väheneminen perustuu kovettuneella betonilla pääasiassa halkaisijaltaan yli 100 nm:n suuruisten huokosten tukkiutumiseen. (Jia *et al.* 2016, s. 91) Silikaattikäsitelty betonipinta pysyy kuitenkin diffuusioavoimena (Obtego 2022, s. 17; Semtu 2020; Semtu 2023) Vesihöyryä läpäisevä pinta mahdollistaa betonin kuivumisen.

Jia *et al.* (2016, s. 88, 91) mukaan silikaattikäsittelyt vaikuttavat sekä veden tunkeutumiseen että imeytymiseen. Natriumsilikaattikäsittely on tehokas keino vähentämään betonin läpäisevyyttä ja käsittelyn vaikutus tehostuu ajan myötä. Varhaisessa vaiheessa natriumsilikaattikäsittelyä voidaan tehostaa natriumfluosilikaattiesikäsittelyllä, joka laskee läpäisevyysindeksiä erityisesti käsittelyn alkuvaiheessa verrattuna pelkkään natriumsilikaattikäsittelyyn. (Jia *et al.* 2016, s. 88, 91) Natriumfluosilikaatin konsentraatiolla on kuitenkin merkitystä, sillä yliannosteltuna sen käyttö voi johtaa huokoisuuden kasvuun (Hu 2011, Jia *et al.* 2016, s. 88 mukaan).

Franzoni *et al.* (2013, s. 73, 75) mukaan etyylisilikaatin vaikutus veden tunkeutumisen rajoittamisessa on natriumsilikaattiin verrattuna parempi. Etyylisilikaattikäsitellyssä betonipinnassa veden imeytyminen betoniin on noin puolet käsittelemättömään betonipintaan imeytyneestä vedestä. Näin ollen etyylisilikaatilla käsitellyn betonin oletettu säilyvyys on huomattavasti parempi käsittelemättömään betoniin verrattuna. (Franzoni *et al.* 2013, s. 73, 75) Toisaalta Cai *et al.* (2016, s. 151) esittävät etyylisilikaatin vaikutuksen veden tunkeutumiseen riippuvan betonin käsittelyajankohdasta, sillä se hidastaa sementin hydratoitumista. Hydrolyysin aikana muodostuva alkoholi saattaa johtaa huokoiseen rakenteeseen ja mekaanisten ominaisuuksien heikkenemiseen. (Cai *et al.* 2016, s. 151) Myös Guo *et al.* (2018, s. 335) mukaan etyylisilikaatin vaikutus veden imeytymiseen on

parempi silloin, kun testikappaleet on käsitelty 1 vuorokauden iässä. Kun käsittely tehdään 28 vuorokauden ikäiselle betonille, etyylisilikaatin sekä natriumsilikaatin vaikutus veden imeytymiseen on lähes yhtä suuri. (Guo *et al.* 2018, s. 335)

Sen sijaan Li *et al.* (2022, s. 7–8) mukaan litiumsilikaatti on etyylisilikaattia (TEOS) parempi veden tunkeutumisen rajoittamisessa, sillä litiumsilikaatti muodostaa läpinäkyvän kalvon betonin pinnalle, toisin kuin etyylisilikaatti, jolla ei ole taipumusta kalvon muodostamiselle. Litiumsilikaatilla käsitellyn betonin pinnassa oleva kalvo toimii kosteuden tunkeutumisen kannalta ensimmäisenä rajoittavana tekijänä. Etyylisilikaattikäsitellyn betonipinnan veden tunkeutumisen rajoittuminen perustuu sen sijaan suureen tunkeutumiskapasiteettiin. Betonin lujuudella on myös vaikutusta veden tunkeutumiseen. Betonin lujuuden kasvaessa, veden tunkeutumissyvyys pienenee. Lujuuden vaikutus on merkityksettömämpi litiumsilikaattikäsitellyssä betonissa, mikä saattaa johtua pintaan muodostuvasta kalvosta. (Li *et al.* 2022, s. 7–8)

Betonipinnan vedenläpäisevyyteen voidaan vaikuttaa myös kristallointiaineilla (Krystaline 2023). Käsittelyssä kristallointiaineet hierretään betonin pintaan, jolloin yhdistyy sekä kemiallinen että mekaaninen käsittely (Konekor 2022). Käsittelyssä kristallointiaineet reagoivat betonin kanssa muodostaen liukenemattomia kiteisiä hydrataatioaineita, jotka tukkivat betonin huokoset ja tiivistävät betonia. Kristallointikäsittely voidaan tehdä kovettuneelle betonipinnalle tai vaihtoehtoisesti käyttää jauhemaisia lisäaineita, jotka lisätään betonimassaan. (Krystaline 2023)

4.5.3 Kemiallisten aineiden tunkeutuminen

Epäorgaaniset silikaattikäsittelyt soveltuvat raudoitetun betonin pintakäsittelyaineeksi. Ne absorboivat vähemmän auringonsäteilyä, eivät kulu lohkeilemalla, niiden väri ei muutu UV-säteilyn vaikutuksesta, niihin ei muodostu sienikasvustoja tai mikro-organismeja, eivätkä ne sisällä orgaanisia liuotteita tai muodosta saasteita. Toisaalta silikaattikäsitellyn betonin karbonatisoitumissyvyys sekä kloridipitoisuus on suurempi orgaanisilla pinnoitteilla päällystettyyn betoniin verrattuna. Näin ollen epäorgaanisia käsittelyitä ei suositella pelkästään käytettävän aggressiivisissa olosuhteissa. (Batis *et al.* 2003, s. 376–377)

Shi *et al.* (2011, s. 131) mukaan kloridien diffuusiovastusta on vaikeaa kuvata, sillä kloridien tunkeutuminen betoniin on monimutkainen prosessi. Lisäksi luonnollinen kloridien diffuusio pintakäsiteltyyn betoniin on hidasta. Monissa tutkimuksissa on käytössä eriäviä metodeja kloridien tunkeutumisen mittaamiseen ja tutkimiseen, joten tulosten vertailu on

hankalaa. Näin ollen kloridien tunkeutumista pintakäsiteltyyn betoniin tulisi tutkia enemmän. (Buenfeld & Newman 1987; Nilsson & Ollivier 1995, Pan *et al.* 2016b, s. 85 mukaan) Kloridien kulkeutuminen betoniin voi tapahtua useamman eri mekanismin avulla, jotka ovat konsentraatiopitoisuuserosta johtuva diffuusio, kapillaarinen imeytyminen, kulkeutuminen elektronisen kentän vaikutuksessa sekä paineen aiheuttama virtaus (Buenfeld *et al.* 1997, Song *et al.* 2007, s. 114 mukaan). Näistä diffuusio on pääasiallinen kloridien kulkeutumistapa, kun betonissa ei ole elektronista kenttää sekä betonin huokosten kosteusolosuhteet ovat vakaat. (Song *et al.* 2007, s. 114)

Ibrahim *et al.* (1999, s. 38–39) esittävät tutkimuksessaan natriumsilikaattikäsitellyn pinnan kloridididiffuusiokertoimen olevan lähes käsittelemätöntä pintaa vastaava. Näin ollen natriumsilikaattikäsittely toimii heikosti kloridien tunkeutumista vastaan, verrattuna esimerkiksi silaani- ja siloksaanikäsittelyihin. (Ibrahim *et al.* 1999, s. 38–39) Myös Franzoni *et al.* (2013, s. 74, 75–76) esittävät tutkimuksessaan natriumsilikaatin toimivan heikosti kloridien tunkeutumista vastaan. Sen sijaan etyylisilikaattikäsittely vaikutti merkittävästi kloridien tunkeutumiseen betoniin. Syynä natriumsilikaattikäsittelyn heikkoon vaikutukseen saattaa olla käsittelyssä syntyvien pintakerrosten halkeilu- ja irtoamistaipumus. (Franzoni *et al.* 2013, s. 74, 75–76)

Myös Li *et al.* (2022, s. 8–9) mukaan sekä etyylisilikaatti että litiumsilikaatti vähentävät kloridien läpäisevyyttä betonissa. Näistä etyylisilikaatti toimi huomattavasti paremmin. (Li *et al.* 2022, s. 8–9). Etyylisilikaattikäsitellyn betonipinnan kontaktikulma kasvaa, toisin kuin muilla silikaateilla käsitellyillä betonipinnoilla (Franzoni *et al.* 2013, s. 74–75). Näin ollen etyylisilikaattikäsittelyn seurauksena betonin sekä sen sisällä olevien halkeamien ja huokosten pintaan, muodostuu vettähylkivä suojaava kerros, mikä selittää etyylisilikaatin toimivuuden kloridien tunkeutumisen rajoittamisessa. (Li *et al.* 2022, s. 8–9)

Käsittelyn lisäksi myös betonin lujuudella on vaikutusta kloridien tunkeutumiseen. Betonin lujuuden kasvaessa sen läpäisevyys pienenee, joten lujemmilla betoneilla kloridien tunkeutuminen on vähäisempää. Läpäisevyyden pienentymisen lisäksi ilmiö johtuu heikommin toisiinsa kytkeytyvistä kapillaarihuokosista sekä huokosten kokonaismäärän vähentymisestä. (Li *et al.* 2022, s. 8–9) Betonin lujuuden lisäksi myös käsittelyajankohta vaikuttaa kloridien tunkeutumiseen. Yhden vuorokauden iässä käsitellyillä testikappaleilla sekä etyylisilikaatti että natriumsilikaatti vähentävät ionien tunkeutumista. Käsittelyajankohdan ollessa 28 vuorokautta etyyli- sekä natriumsilikaatin vaikutus ionien tunkeutumiseen on sen sijaan merkittävästi pienempi ja lähes käsittelemättömän betonin kaltainen. (Guo *et al.* 2018, s. 336–337)

Betonipintoja voidaan suojata myös sulfaattirasitusta vastaan. Ibrahim *et al.* (1999, s. 37–38) mukaan natriumsilikaattikäsittelyllä ei kuitenkaan ole juurikaan vaikutusta sulfaattirasituksen aiheuttaman betonin puristuslujuuden heikkenemisen estämiseen. Betonin puristuslujuus heikkeni 41 % päällystämättömällä betonikappaleella ja 39,3 % natriumsilikaattikäsitellyllä betonikappaleella 330 päivän sulfaattirasituksen jälkeen. Silikaattikäsittelyitä paremmin sulfaattirasitetuissa olosuhteissa toimivat silaani- ja siloksaanikäsittelyt sekä akryylipinnoite. (Ibrahim *et al.* 1999, s. 37–38)

4.5.4 Karbonatisoituminen

Karbonatisoituminen on kalsiumhydroksidin, kalsiumsilikaattihydraatin ja hiilidioksidin välinen kemiallinen reaktio, jossa muodostuu kalsiumkarbonaattia ja vettä. Karbonatisoitumisen seurauksena betonin pH laskee, eli huokosten hydroksidikonsentraatio pienenee, mikä neutraloi raudoitustankoja ympäröivät passiiviset olosuhteet. Lisäksi karbonatisoituminen vaikuttaa tilavuuden muutosten seurauksena läpäisevyyteen. Karbonatisoitumisen kemialliset reaktiot aiheuttavat myös mikrohalkeilua. (Johannesson & Utgenannt 2001, s. 926) Karbonatisoitumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat hiilidioksidin diffuusiokyky sekä sen reaktiivisuus betonin kanssa. Diffuusiokyky riippuu kovettuneen betonin huokosjärjestelmästä sekä altistumisen olosuhteista. (Jiang *et al.* 2000, s. 700)

Betonin ilmanläpäisevyys vaikuttaa pintakäsiteltyyn betoniin pääasiassa kahdella tavalla. Ilmanläpäisevyyden ollessa suuri, karbonatisoituminen kiihtyy ja altistaa lopulta raudoitusteräkset korroosiolle. Toisaalta betonipinnan ilmanläpäisevyyden tulisi olla riittävä, jotta varmistetaan sen hengittävyys. (Pan *et al.* 2016a, s. 584) de Vries & Polder (1997, s. 261) mukaan betonipinnan hengittävyys on tärkeää, sillä höyrytiiviiden betonipintojen alle kertyvä vesi voi aiheuttaa vahinkoa esimerkiksi jäätymis-sulamissyklien myötä. Pan *et al.* (2018, s. 219) mukaan silikaattikäsittelyt vähentävät sekä ilman- että vedenläpäisevyyttä betonissa. Lisäksi tutkimuksessa todettiin ilmanläpäisevyyden ja karbonatisoitumisen välillä olevan lineaarinen suhde. (Pan *et al.* 2018, s. 222)

Ibrahim *et al.* (1999, s. 38) mukaan natriumsilikaattikäsittelyn vaikutus karbonatisoitumissyvyyteen on parempi verrattuna hydrofobisiin impregnointikäsittelyihin, kuten silaaniin ja siloksaaniin. Tutkimuksessa natriumsilikaattikäsittelyn betonikappaleen karbonatisoitumissyvyys viiden viikon jälkeen kiihdytetyssä hiilidioksidirasituksessa oli 13,1 mm, kun taas päällystämättömällä betonikappaleella syvyys oli 28,3 mm. (Ibrahim *et al.* 1999, s. 38)

Myös Franzoni *et al.* (2013, s. 75–76) päätyivät tutkimuksessaan samankaltaisiin tuloksiin. Tutkimuksessa tutkittiin neljää eri pintakäsittelyä, jotka olivat nanosilika, etyylisilikaatti, natriumsilikaatti sekä nanosilikaa ja natriumsilikaattia sisältävä liuos. Tutkituista pintakäsittelyaineista vain kaksi, etyylisilikaatti sekä natriumsilikaatti, rajoittivat hiilidioksidin tunkeutumista betoniin ja sitä myötä betonin karbonatisoitumista. Molemmat rajoittivat betonin karbonatisoitumissyvyyttä hyvin varhaisessa vaiheessa. Etyylisilikaatin vaikutus pitkäaikaiseen altistumiseen oli kuitenkin tutkimuksessa natriumsilikaattia parempi. Nanosilika ja natriumsilikaattia sisältävä nanosilika eivät vaikuttaneet testikappaleiden karbonatisoitumissyvyyteen. Syynä saattaa olla se, että betonin pintaan syntyvä kalvomainen kerros on ohuempi ja hauraampi verrattuna natriumsilikaattiin. (Franzoni *et al.* 2013, s. 75–76) Myös Guo *et al.* (2018, s. 335–336) päätyivät tutkimuksessaan tulokseen, jonka mukaan varhaisessa vaiheessa käsitellyistä kappaleista natriumsilikaatti rajoitti karbonatisoitumissyvyyttä parhaiten, kun taas käsittelyajankohdan ollessa myöhäisempi etyylisilikaatti toimi paremmin kuin natriumsilikaatti. (Guo *et al.* 2018, s. 335–336)

Karbonatisoituminen ei ole ainoa raudoitusten korroosioon vaikuttava tekijä. Sen lisäksi on vaikutusta esimerkiksi kloridirasituksella, happamilla kaasuilla, vesisementtisuhteella, betonin valmistusaineiden epäpuhtauksilla, pintahalkeilulla, kosteudella, hapella sekä ilmankosteudella. (Ahmad 2003, s. 459) Ibrahim *et al.* (1999, s. 39–40) esittävät tutkimuksessaan, että natriumsilikaattikäsittely ei ole tehokas keino suojaamaan betonin raudoituksia korroosiolta. Suoja korroosiota vastaan perustuu luultavasti pienentyneeseen hapen diffuusioon sekä kosteuteen betonissa. (Ibrahim *et al.* 1999, s. 39–40) Myös Batis et al. (2003, s. 376) päätyivät samankaltaisiin tuloksiin. Tutkimuksessa todettiin, että silikaattikäsittelyiden antama suoja terästen korroosiolle on suhteellisen alhainen verrattuna akryylipinnoitteeseen. Silikaattikäsittelyillä karbonatisoitumissyvyys on suurempi sekä kloridien diffuusio suurempaa akryylipinnoitteeseen verrattuna. (Batis *et al.* 2003, s. 376)

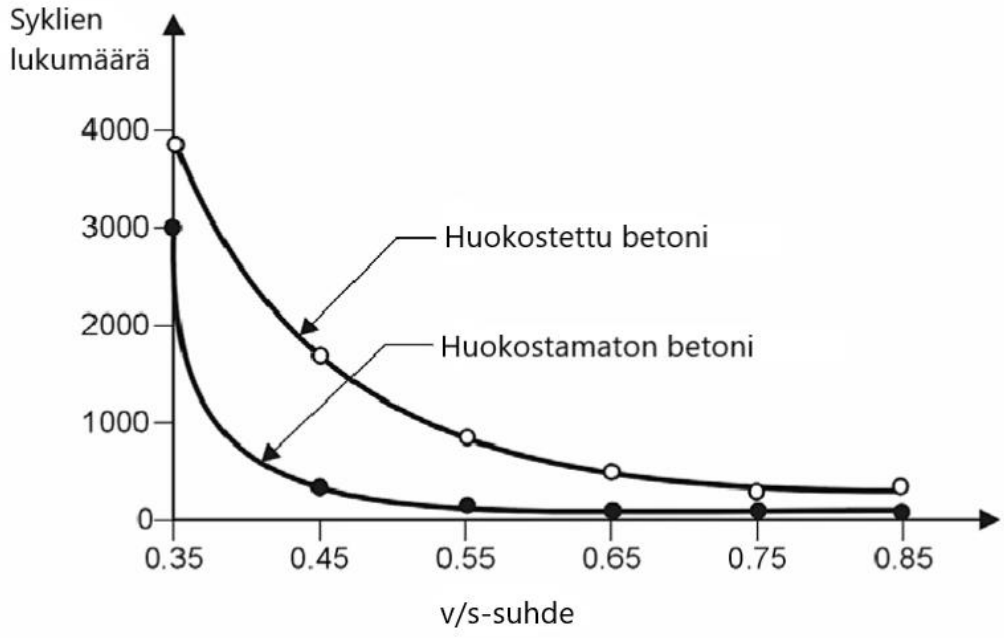
4.5.5 Pakkasenkestävyys

Betonin pakkasenkestävyys liittyy jäätymis-sulamisrasitukseen, jolloin riittävän alhaisessa lämpötilassa betonin huokosvesi jäätyy. Huokosveden jäätyessä sen tilavuus kasvaa noin 9 % aiheuttaen vetojännityksiä betoniin, mikä saattaa johtaa betonipinnan lohkeiluun, halkeiluun tai pintarapautumiseen. Jäätyminen on asteittainen prosessi, joka alkaa uloimmista kerroksista ja suurimmista huokosista ja leviää sisemmälle betoniin ja pienempiin huokosiin vain, jos lämpötila laskee entisestään. Tämä on seurausta betonin

suhteellisen alhaisesta lämmönjohtavuudesta, joka rajoittaa lämmön siirtymistä sisemmälle betoniin. Lisäksi sulana olevassa huokosvedessä liuenneiden ionien konsentraatio kasvaa, mikä johtaa jäätymispisteen asteittaiseen laskemiseen. Jäätymispiste laskee myös huokosten halkaisijan pienentyessä. (Bertolini *et al.* 2014, s. 50) Pienimmissä huokosissa veden jäätymispiste voi olla jopa –35 °C (Beddoe & Setzer 1988; Beddoe & Setzer 1990, Bertolini *et al.* 2014, s. 50 mukaan).

Pakkasenkestävyys määritellään jäätymis-sulamissyklien määrällä, minkä betoni kestää ennen kuin se saavuttaa tietyn heikkenemistason. Käytettyjä heikkenemisen indeksejä ovat massan tai kimmomoduulin pieneneminen. Pakkasenkestävyyteen vaikuttaa huokosten kyllästymisaste, jonka suhteen on olemassa betonin ominaisuuksista riippuva kriittinen arvo. Kriittisen arvon alapuolella betoni kestää suuren määrän jäätymis-sulamissyklejä, kun taas sen yläpuolella vain muutamat syklit saattavat vaurioittaa betonia. Tyypillisesti kriittinen arvo saavutetaan, kun noin 80–90 % kokonaishuokostilavuudesta on täyttynyt vedellä. Toinen tärkeä pakkasenkestävyyteen vaikuttava ominaisuus on vesi-sementtisuhde, joka vaikuttaa betonin huokoisuuteen. Huokoinen betoni edistää veden liikkumista ja antaa enemmän tilaa jääkristallien muodostumiselle. Toisaalta huokoinen betoni kyllästyy nopeasti vedellä ja on siten altis pakkasrasitukselle. Jäätymistä vastaan paras kestävyys saavutetaan tiiviillä betonilla, jonka vesi-sementtisuhde on alhainen, jos ei käytetä lisäaineita. (Bertolini *et al.* 2014, s. 52)

Tyypillisesti betonin pakkasenkestävyyttä parannetaan huokostamalla, jolloin sementtipastaan syntyy pieniä ja tasaisesti jakautuneita ilmakuplia. Ilmakuplien avulla voidaan välttää jännitysten syntyminen kapillaarihuokosissa veden jäätyessä. Kuvassa 13 on esitetty huokostetun ja huokostamattoman betonin jäätymissulamissyklien lukumäärä eri vesi-sementtisuhteisilla betoneilla. Kuvassa esitetty syklien lukumäärä on johtanut 25 %:n massan pienentymiseen.



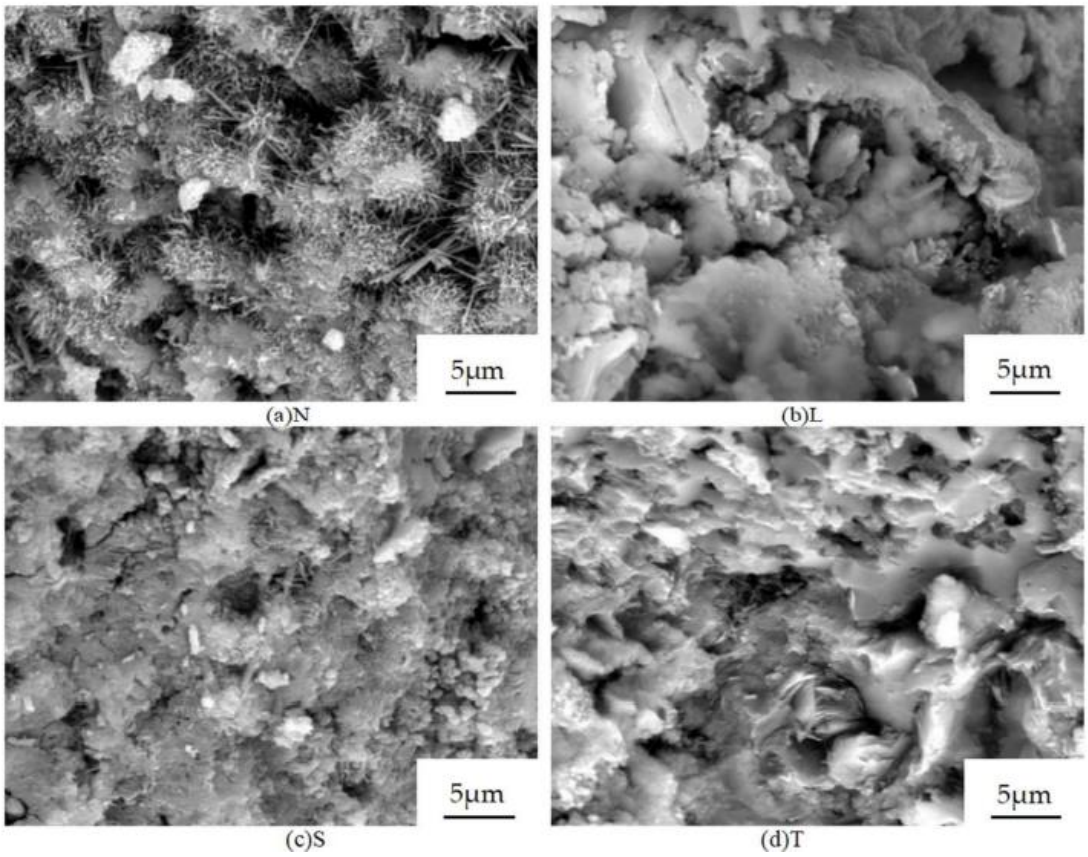
Kuva 13. *Huokostetun ja huokostamattoman betonin jäätymis-sulamissyklien lukumäärä eri vesi-sementtisuhteilla (Bertolini et al. 2014, s. 52)*

Kuvasta 13 nähdään, että betonin huokostamisella sekä vesi-sementtisuhteella on merkittävä vaikutus betonin pakkasenkestävyyteen. Tiivis, eli vesi-sementtisuhteeltaan alhainen, sekä huokostettu betoni kestää parhaiten jäätymis-sulamisrasitusta. Betonin huokostaminen heikentää kuitenkin sen puristuslujuutta, mikä tulee huomioida pienentämällä vesi-sementtisuhdetta. (Bertolini *et al.* 2014, s. 52–53)

Betonin pakkasenkestävyyteen voidaan vaikuttaa myös pintakäsittelyaineilla. Tämä perustuu siihen, että pintakäsittelyaineet vähentävät veden imeytymistä betoniin. Sekä litiumsilikaatti että etyylisilikaatti parantavat betonin pakkasenkestävyyttä. Niiden vaikutus on merkittävin silloin, kun keskimääräinen suhteellinen dynaaminen kimmomoduuli P > 90 %. Betonin vaurioitumisen edetessä tietylle asteelle, pintakäsittelymateriaalien vaikutus heikkenee huomattavasti tai poistuu jopa kokonaan. Perusteluna on se, että betonin vaurioituessa sen pinnalla sekä sisällä olevat halkeamat lisääntyvät ja pintakäsittelyaineen vaikutuksen kohteena oleva tiivis kerros vaurioituu ja silikaattien suojaavat vaikutukset heikkenevät merkittävästi. (Li *et al.* 2022, s. 9–11)

4.5.6 Muut ominaisuudet

Betonin pintakäsittelyt vaikuttavat myös sen mikroskooppiseen rakenteeseen. Kuvassa 14 on esitetty betonin mikroskooppinen rakenne ennen ja jälkeen pintakäsittelyiden. Kuvassa on litiumsilikaatilla, nanosilikalla sekä etyylisilikaatilla käsiteltyjen betonikappaleiden rakenne käsittelemättömään betoniin verrattuna.



Kuva 14. *Betonin mikroskooppinen rakenne: (a) käsittelemätön betoni, (b) litiumsilikaatti, (c) nanosilika, (d) etyylisilikaatti (Li et al. 2022, s. 16)*

Kuvassa 14a on esitetty käsittelemättömän betonin rakenne, jossa kuitumaiset kalsiumsilikaattihydraatit ovat pääosassa. Kalsiumsilikaattihydraattien päällä olevat puikot ja sauvat ovat punoutunet yhteen toistensa kanssa. Rakenteessa näkyy myös huokosia sekä prismamaisia rakenteita. Kuvassa 14b on esitetty litiumsilikaattikäsitellyn kappaleen mikroskooppinen rakenne, jossa ei esiinny selkeitä sauvamaisia muotoja. Testikappaleen pinta on päällystynyt hiutalemaisella materiaalilla, joka on luultavimmin litiumsilikaatin ja portlandiitin reaktiossa syntynyttä kalsiumsilikaattihydraattia. Kuvassa 14c on nanosilikalla käsitellyn testikappaleen rakenne, joka on karkeampi ja jossa ei esiinny hiutalemaisia materiaaleja. Lisäksi nanosilikalla käsitellyn kappaleen pinnassa havaitaan joitain sauvamaisia rakenteita. Kuvassa 14d on kuvattu etyylisilikaatilla käsitellyn kappa-

leen pintarakenne, jossa ei ole ilmeisiä sauvamaisia rakenteita ja joka koostuu pääasiassa tiiviissä muodossa olevista levymäisistä hydratoituneista kalsiumsilikaateista. (Li *et al.* 2022, s. 16)

Li *et al.* (2022, s. 16) mukaan kuvasta nähdään, että pintakäsiteltyjen kappaleiden tapauksessa kiinteät osat ovat tiiviisti yhteydessä toisiinsa ja huokosten määrä on vähentynyt. Pintakäsitellyissä kappaleissa ei ole myöskään selkeitä portlandiittikiteitä. Lisäksi käsitellyissä kappaleissa on vähemmän sauvamaisia kalsiumsilikaattihydraatteja. (Li *et al.* 2022, s. 16)

Guo *et al.* (2018, s. 334) tutkivat myös silikaattikäsittelyiden vaikutusta betonin puristuslujuuteen. Työssä havaittiin, että käsiteltäessä yhden vuorokauden ikäisiä kappaleita, etyylisilikaattikäsitellyn kappaleen puristuslujuus oli käsittelemättömään betonikappaleeseen verrattuna pienempi. Toisaalta natriumsilikaattikäsitellyn betonikappaleen puristuslujuus oli suurempi. Käsittelyajankohdan ollessa 28 vuorokautta sekä etyylisilikaatti että natriumsilikaatti kasvattivat puristuslujuutta. Natriumsilikaattikäsitellyn betonin puristuslujuus kasvoi 20 % ja etyylisilikaattikäsitellyn betonin 12,5 %. (Guo *et al.* 2018, s. 334)

Silikaattien levityksessä tulee huomioida myös lämpötilan vaikutus. Lämpötila vaikuttaa silikaattipohjaisten tuotteiden geeliytymisaikaan, joka lyhenee lämpötilan noustessa. Näin ollen levityksen tapahtuessa todella korkeissa lämpötiloissa, tulisi käsittelyaineeseen lisätä hidastimia. Näin ollen varmistetaan tuotteen imeytyminen riittävän syvälle ennen geeliytymistä. (Jiang *et al.* 2015, s. 734) Monissa tuotteissa ohjeistetaan, että levityslämpötilan tulisi olla vähintään 5 °C ja maksimissaan 30–40 °C. Silikaattien sulamis- ja kiehumispisteet ovat lähes vastaavat kuin vedellä. Käsittely tulee tehdä kuivalle betonipinnalle. (Semtu 2020; Semtu 2021; Semtu 2023; Mapei 2023) Muutamissa silikaattituotteissa mainitaan silikaattikäsittelyn olevan pysyvä, jolloin sitä ei tarvitse uusia. (Semtu 2020; Semtu 2021; Semtu 2023)

5. TUTKIMUSTULOKSET

Työssä tutkitaan laboratoriokokeilla silikaattikäsitellyn lattian kulutuskestävyyttä ja veden tunkeutumissyvyyttä betonissa. Nämä ominaisuudet ovat merkittävässä roolissa silikaattikäsitellyn betonilattian säilyvyyden kannalta. Lisäksi erityisesti kulutuskestävyys vaikuttaa silikaattikäsittelyiden mahdollisiin käyttökohteisiin. Luvussa esitellään ensin tutkimuksessa käytetyt tuotteet ja koekappaleiden valmistelu. Sen jälkeen käydään läpi testimenetelmät ja tulokset sekä kulutuskestävyyden että veden tunkeutumisen osalta.

5.1 Tutkimusten tausta

Betonilattialta vaaditaan hyvää kulutuskestävyyttä esimerkiksi parkkihalleissa ja raskaasti kuormitetuissa teollisuuslattioissa. Kulutuskestävyyttä saatetaan tarvita myös julkisten tilojen lattioissa, joissa päivittäistä jalankulkuliikennettä on paljon. Työssä tutkitaan silikaattien soveltuvuutta kulutuskestävyyttä vaativiin kohteisiin. Lisäksi testataan, miten silikaattikäsittely vaikuttaa veden tunkeutumissyvyyteen, eli pinnan tiiveyteen käsittelemättömään betoniin verrattuna. Veden tunkeutumissyvyyden avulla voidaan arvioida pinnan tiiveyttä ja käsittelyiden soveltuvuutta kohteisiin, joissa rakenne on kosketuksessa veteen. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi vesisäiliöt, laiturit, sillat sekä pysäköintialueet. Testien perusteella on mahdollista vertailla myös eri apuaineita sisältäviä silikaattivalmisteita keskenään kulutuskestävyyden ja vedentunkeutumisen osalta.

Kokeissa testataan eri valmistajien natrium- ja litiumsilikaattituotteita, ja pyritään selvittämään silikaattien vaikutusta kulutuskestävyyteen sekä vedentunkeutumiseen tavanomaisella lattiabetonilla, minkä perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä silikaattikäsittelyiden toimivuudesta sekä sovelluskohteista. Natrium- ja litiumsilikaatit ovat yleisimpiä markkinoilla olevia silikaattituotteita.

Silikaattikäsitellystä betonista olisi mahdollista tutkia myös muita ominaisuuksia, kuten silikaattien tunkeutumissyvyyttä, jäätymis-sulamiskestävyyttä, kloridien tunkeutumista, karbonatisoitumista tai mikroskooppisia ominaisuuksia. Työssä rajoitutaan kuitenkin tarkastelemaan vain veden tunkeutumissyvyyttä ja kulutuskestävyyttä, jotta testien lukumäärä ei kasvaisi liian suureksi.

Työssä testit suoritetaan rasitusluokaltaan ja lujuudeltaan tavanomaiselle lattiabetonille, ja kaikki silikaattivalmisteet levitetään ominaisuuksiltaan samanlaiselle ja yhtä aikaa valetulle alusbetonille. Sekä veden tunkeutumissyvyys että kulutuskestävyys riippuvat

myös runkobetonin ominaisuuksista, kuten vesi-sementtisuhteesta, ja sitä myötä huokoisuudesta. Myös betonin lujuudella on vaikutusta pinnan tiiveyteen. Kokeissa olisi ollut mahdollista tutkia myös betonin ominaisuuksien vaikutusta silikaattikäsittelyiden toimivuuteen, mutta testien lukumäärän rajoittamiseksi käytetään vain yhtä betonilaatua.

5.2 Tuotteet ja koekappaleet

Kaikki työssä käytettävät koekappaleet valmistetaan samaan aikaan valetuista betonilaatoista, joita jälkihoidetaan tavanomaisesti vähintään seitsemän vuorokauden ajan. Kokeissa käytettävien kolmen betonilaatan mitat ovat 0,8 m x 1,2 m ja laattojen paksuus on 100 mm. Laatat valetaan kuormalavojen päälle, jolloin niiden siirteleminen on helpompaa. Laatat valmistetaan tavanomaisesta lattiabetonista, jonka lujuusluokka on C25/30 ja notkeusluokka on S3. Tutkimuksissa käytetyn betonin tarkemmat ominaisuudet on listattu alla olevaan taulukkoon.

Taulukko 7. *Testilaatassa käytetyn betonin ominaisuudet.*

Betonin lujuus	C25/30
Maksimi raekoko	16 mm
Notkeusluokka	S3
Tuotteen notkeus	180
Rasitusluokka	XC1/XC2
Ilmapitoisuus (%)	2,0
Min. betonin lämpötila (°C)	16
Max. betonin lämpötila (°C)	22
Sementtityyppi	CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N (240 kg)
	CEM I 52,5 R (60 kg)
Sideaineet (kg/m^3)	300
Vesi (kg/m^3)	188
Vesi-sementtisuhde	0,63
Kiintotiheys (kg/m^3)	2333
Aktiivinen pastamäärä (m^3)	0,287
Hienoainespitoisuus (kg/m^3)	470
Hienoaines (hiekka) (kg/m^3)	616

Betonilaatat valetaan Betset Oy:n Nurmijärven tehtaalla, jossa suoritetaan myös myöhemmin tehtävät betonipinnan käsittelyt ja silikaattien levitys. Betonilaatat teräshierretään valun yhteydessä käsin ja laattoja jälkihoidetaan valun jälkeen tavanomaisesti kastelemalla sekä suojaamalla betonipinta muovilla vähintään seitsemän vuorokauden ajan valun jälkeen.

Lattiabetonin lujuus käsittelyajankohtana tulee olla vähintään 25 N/mm^2. Lattian jäännöskosteuspitoisuuden tulee olla ≤ 4 %. Kosteuspitoisuus ei saa olla liian suuri laatan puhdistusprosessin jälkeenkään. Ilman suhteellisen kosteuden ollessa 45–50 % ja ilman lämpötilan ollessa noin 20 celsiusastetta, laatan lämpötilan tulee olla vähintään 15 celsiusastetta. Kuvassa 15 on esitetty yksi valetuista testilaatoista ennen pinnan hiontaa.

Kuva 15. *Testilaatta ennen pinnan hiontaa*

5.2.1 Testattavat tuotteet

Kokeissa testataan yhteensä kymmentä tuotetta, jotka ovat peräisin viideltä eri markkinoilla olevalta silikaatteja myyvältä yritykseltä. Tuotteista kolme on natriumsilikaatteja ja seitsemän litiumsilikaatteja. Työssä mukana olevat tuotteet ovat normaaleja markkinoilta saatavia tuotteita.

Osa tuotteista on tarkoitettu pääasiassa pölynsidonta-aineeksi, jolloin niiden merkittävin ominaisuus on vähentää pinnan pölyävyyttä. Samalla ne tiivistävät betonin pintaa, jolloin haitallisten aineiden tunkeutuminen betoniin vähenee. Osa tuotteista on tarkoitettu pölynsidonnan lisäksi parantamaan pinnan kulutuskestävyyttä sekä estämään veden tunkeutumista betoniin. Tuotteiden käyttökohteet vaihtelevat kevyesti kuormitettujen lattioiden pölynsidonnasta teollisuus- ja parkkihallien lattioihin sekä vedenpaineelle alttiisiin rakenteisiin, kuten vesisäiliöihin. Yksi mukana olevista tuotteista on tarkoitettu käyttökohteeltaan vedentiivistysaineeksi, joten se poikkeaa hieman ominaisuuksiltaan muista tuotteista, jotka pyrkivät tiivistämään pintaa, mutta eivät tee pinnasta vedenpitävää. Lisäksi testattavissa tuotteissa oli mukana yksi korkeakiiltoinen pinnan suoja-aine (sealer).

Tuotteista käytetään tulosten analysoinnissa oikeiden tuotenimien sijaan tuotetunnuksia ja tulokset käsitellään työssä anonyymisti. Alla olevassa taulukossa on esitetty apuaineiden mukaan luokiteltuna työssä testattavien tuotteiden tunnukset satunnaisessa järjestyksessä. Lisäksi jokainen koekappale on nimetty tuotetunnuksen mukaan johdonmukaisesti.

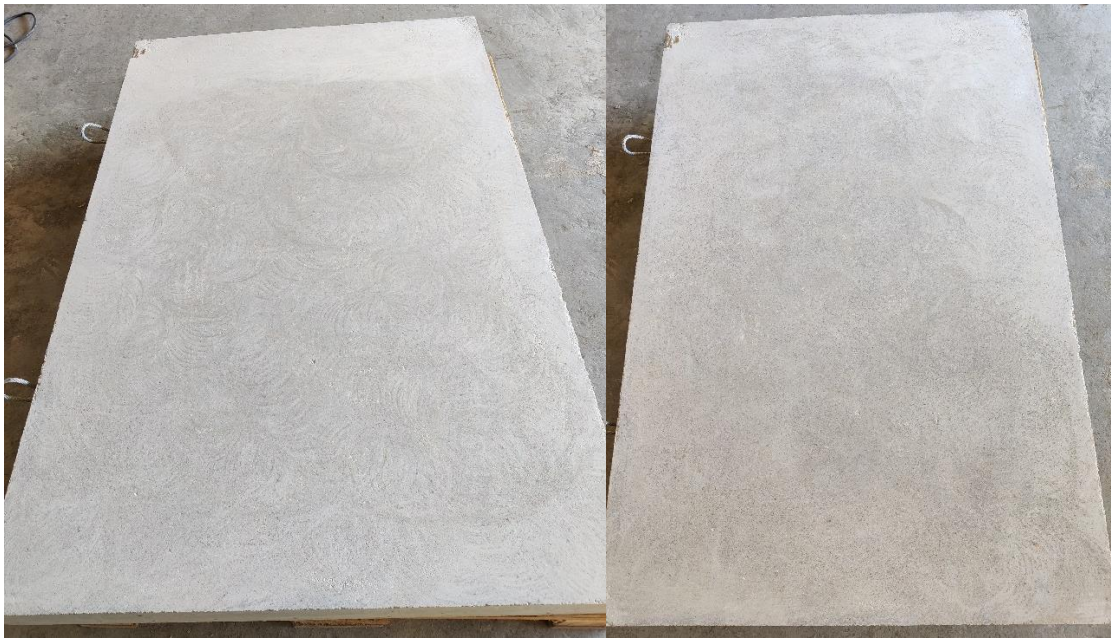
Taulukko 8. *Työssä testattavat tuotteet sekä verrokkikoekappaleet.*

Silikaattityyppi	**Tuotetunnus**	**Koekappaleet**	
		Veden tunkeutuminen	**Kulutuskestävyys**
Natriumsilikaatti	NS1	NS1.1	NS1.2 NS1.3 NS1.4
	NS2	NS2.1	NS2.2 NS2.3 NS2.4
	NS3	NS3.1	NS3.2 NS3.3 NS3.4
Litiumsilikaatti	LS1	LS1.1	LS1.2 LS1.3 LS1.4
	LS2	LS2.1	LS2.2 LS2.3 LS2.4
	LS3	LS3.1	LS3.2 LS3.3 LS3.4
	LS4	LS4.1	LS4.2 LS4.3 LS4.4
	LS5	LS5.1	LS5.2 LS5.3 LS5.4
	LS6	LS6.1	LS6.2 LS6.3 LS6.4
	LS7	LS7.1	LS7.2 LS7.3 LS7.4
Verrokki-koekappaleet	C	C1	C2 C3 C4
		Puristuslujuus	C5, C6, C7

Taulukosta 8 nähdään, että käsittelemättömästä betonista valmistetaan yhteensä 7 koekappaletta, joiden avulla määritetään betonin puristuslujuus sekä referenssiarvot käsittelemättömän betonin kulutuskestävyydelle ja veden tunkeutumissyvyydelle.

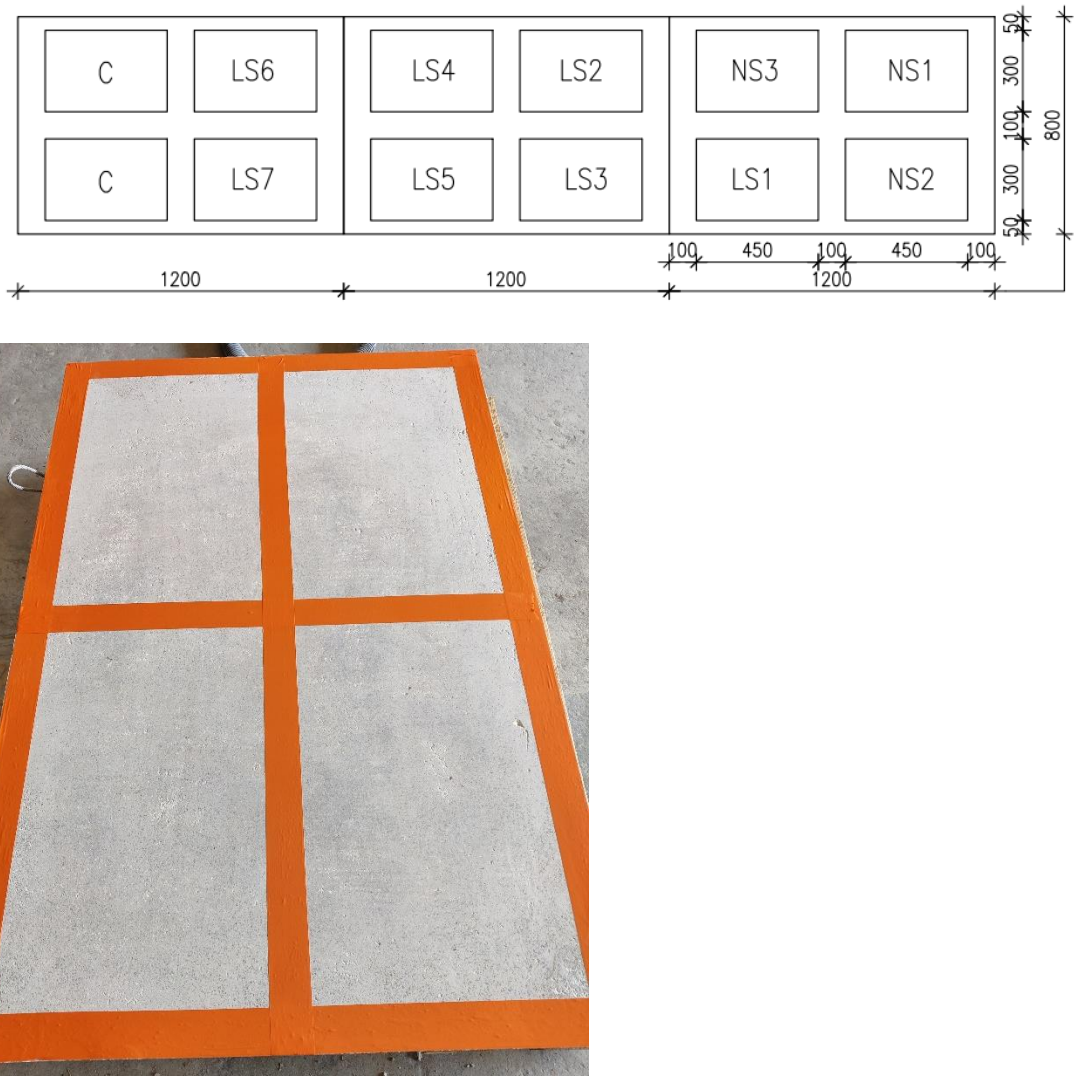
5.2.2 Pintojen valmistelu, silikaattien levitys ja koekappaleiden poraaminen

Betonipintojen käsittelyn toteutti Teemu Korhonen Ceramid Oy:sta. Betonilaattojen pintojen hionta ja silikaattien levitys suoritettiin 22:n vuorokauden ikäiselle betonille. Betonipintojen valmisteluvaiheessa laattojen pinnat avattiin timanttilaikalla 60/80 karkeudella, minkä jälkeen pinnat hiottiin metallilaikalla 100/120. Kuvassa 16 on esitetty yhden testilaatan pinta kummankin hiontakäsittelyn jälkeen.



Kuva 16. *Betonilaatan pinta hiontakertojen jälkeen (vas. 60/80, oik. 100/120)*

Hiontakäsittelyssä betonin pinnasta poistettiin sementtiliima. Hionnan jälkeen pinnat puhdistettiin imurilla työvaiheen aikana syntyneestä pölystä. Betonin pinnan tulee olla silikaattien levitysvaiheessa ehjä ja puhdas. Pintojen puhdistamisen jälkeen laattojen pintaan rajattiin teipillä alla olevan kuvan mukaisesti ruudut, joihin tuotteet levitettiin.



Kuva 17. *Testilaattojen jakaminen ruutuihin*

Ruutujen lopullinen koko oli 32,5 cm x 52,5 cm. Ruudut erotettiin toisistaan teipillä, jolloin varmistettiin, etteivät eri valmisteet sekoitu levitysvaiheessa keskenään. Betonilaattaan jätettiin myös kaksi käsittelemätöntä aluetta, josta porattiin referenssikoekappaleet. Niitä käytettiin vedentunkeutumis- ja kulutuskestävyyskokeissa vertailukohtana. Lisäksi yhden verrokkikoekappalesarjan avulla määritettiin betonin puristuslujuus.

Kahta levitystavaltaan poikkeavaa tuotetta lukuun ottamatta, silikaatit levitettiin testilaattojen pinnalle pensselillä käyttämällä tuotteille suuntaa antavana menekkinä 0,15 kg/m^2. Näin ollen testattavia tuotteita punnittiin 30 g jokaista ruutua kohden. Kuvassa 18 on esitetty punnituksessa käytetty kalibroitu vaaka, jonka mittatarkkuus on 0,1 g.

Kuva 18. *Tuotteiden punnitus*

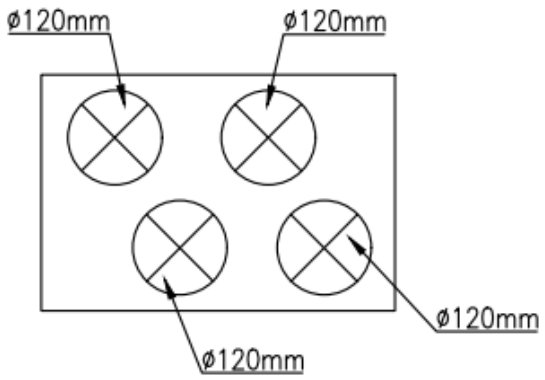
Ennalta määrätyn menekin lisäksi käytettiin kaikille tuotteille samaa märkänä oloaikaa, jonka jälkeen mahdollinen ylimääräinen aine pyyhittiin pois. Levityksessä havaittiin, että LS1 imeytyy betoniin nopeimmin, jopa viidessä minuutissa. Tuotteet NS3, LS3 ja LS7 imeytyivät noin 10 minuutissa ja tuotteiden LS2, LS4, LS5 ja NS2 testiruudut pysyivät kosteina noin 20 minuuttia.

Mukana olevista tuotteista NS1 sekä LS6 poikkesivat levitysperiaatteeltaan muista tuotteista, mikä huomioitiin kyseisten aineiden levityksessä. LS6 tuotetta tulee annostella säästeliäästi ja se levitetään ohuina kerroksina rätin avulla. Tuotetta levitettiin yhteensä kaksi kerrosta ja kerrosten välissä odotettiin 30 minuuttia. NS1 levitettiin ruiskuttamalla ja pintaa ei uitettu aineessa. Levityksen jälkeen odotettiin 2 tuntia, minkä jälkeen pinta kasteltiin samalla määrällä vettä kuin aiemmassa vaiheessa käytettiin impregnointiainettakin. Pinta kasteltiin kertaalleen myös kahtena seuraavana päivänä samalla määrällä vettä. Kuvassa 19 on esitetty testilaatat tuotteiden levityksen jälkeen.

Kuva 19. *Testilaatat tuotteiden levityksen jälkeen*

Levityshetkellä kenttäolosuhteet olivat optimaaliset. Ilman lämpötila oli +20 °C ja testilaatat sijaitsivat sisätiloissa, jolloin niihin ei kohdistunut suoraa auringonpaistetta. Lisäksi testihallissa ei ollut kovaa tuulta eikä läpivetoa.

Kun silikaattien levittämisestä oli kulunut vähintään 7 vuorokautta, jokaisesta betonilaatan ruudusta porattiin 3 halkaisijaltaan 120 mm kokoista poralieriönäytettä kulutuskestävyyskokeiden suorittamista varten sekä yksi 120 mm kokoinen lieriö vedentunkeutumissyvyyden testausta varten alla olevan kuvan mukaisesti.



Kuva 20. *Koekappaleiden sijoittuminen testilaatan ruudussa*

Lisäksi käsittelemättömistä alueista porattiin yhteensä viisi halkaisijaltaan 120 mm kokoista poralieriönäytettä. Kulutuskestävyystestiä varten poralieriönäytteistä muokattiin (71 ± 1,5) mm kokoiset kuutiot. Vedentunkeutumiskokeen koekappaleet säilytettiin vesiupotuksessa testiajankohtaan asti. Koekappaleet porattiin Sweco Finland Oy:n tutkimuslaboratoriossa Vantaalla. Betonilaatat kuljetettiin laboratorioon, jossa koekappaleet voitiin porata mittatarkasti.

Koekappaleiden säilytyslämpötilan tulee olla (20 ± 2) °C. Kun säilytysaika on 5 päivää, tulee säilytysolosuhteen ilman suhteellisen kosteuden olla (95 ± 5) % R_H. Säilytysajan ollessa 21 vuorokautta, tulee ilman suhteellisen kosteuden olla (65 ± 5) % R_H. Testihuoneen lämpötilan ja käytettävien materiaalien ja laitteiden lämpötila tulee olla (20 ± 5) °C. Koekappaleiden valmistelu suoritettiin standardin EN 13892-1 mukaan. Koekappaleiden testaus suoritettiin aikaisintaan 7 vuorokauden kuluttua silikaattien levittämisen jälkeen.

5.3 Kulutuskestävyyskoe

Kulutuskestävyys on tärkeä ominaisuus etenkin raskaasti kuormitetuissa lattioissa. Näihin kuuluvat parkkihallit, teollisuuslattiat sekä tilat, joissa on runsasta jalankulkuliikennettä. Kulutuskestävyys on hyvä indikaattori betonin säilyvyydelle näissä kohteissa (Pan *et al.* 2016b, s. 82) Silikaattien käyttö on lisääntynyt kohteissa, joissa lattialta vaaditaan hyvää kulutuskestävyyttä. Kulutuskestävyyttä voidaan lisätä silikaattien lisäksi sirotteilla

tai kovabetonilla, joiden vaikutus kulutuskestävyyteen on tyypillisesti silikaatteihin verrattuna parempi (Matsinen 2017b, s. 80).

Silikaattikäsittelyn vaikutuksesta kulutuskestävyyteen on olemassa ristiriitaista tietoa. Joidenkin tutkimusten mukaan silikaattikäsittelyllä voidaan lisätä betonipinnan kulutuskestävyyttä, kun taas joidenkin tutkimusten ja testimenetelmien mukaan parannus on merkityksettömän pieni tai jopa olematon. (Franzoni *et al.* 2013; Baltazar *et al.* 2014; Mikulica & Hela 2019; Li *et al.* 2022) Työssä pyrittiin selvittämään laboratoriokokeilla, voidaanko markkinoilla olevilla silikaattituotteilla parantaa betonin kulutuskestävyyttä, ja mihin kulutuskestävyysluokkaan niillä on mahdollista päästä.

Standardin SFS-EN 1504-2 (2005, s. 17) mukaan silikaattipohjaisten impregnointiaineiden kulutuskestävyys testataan Taber-menetelmällä. Siinä näytekappaleina käytetään 100 mm:n betonikuutioita, joiden vesi-sementtisuhde on 0,70. Näytekappaleiden impregnoinnin jälkeen kuutioista otetaan testausta varten 10 mm:n leike. Taber-testi suoritetaan EN ISO 5470-1 standardin mukaan, käyttäen hiomapyörää H22, pyörintänä 1000 kierrosta ja kuormana yhtä kilogrammaa. Vaatimuksena on, että impregnoidulla koekappaleella kulumiskestävyyden tulee parantua vähintään 30 % käsittelemättömään koekappaleeseen verrattuna. Lattiamateriaaleille hyväksytään kulutuskestävyyden mittaamiseen myös Böhme-testi. (SFS-EN 1504-2 2005, s. 17)

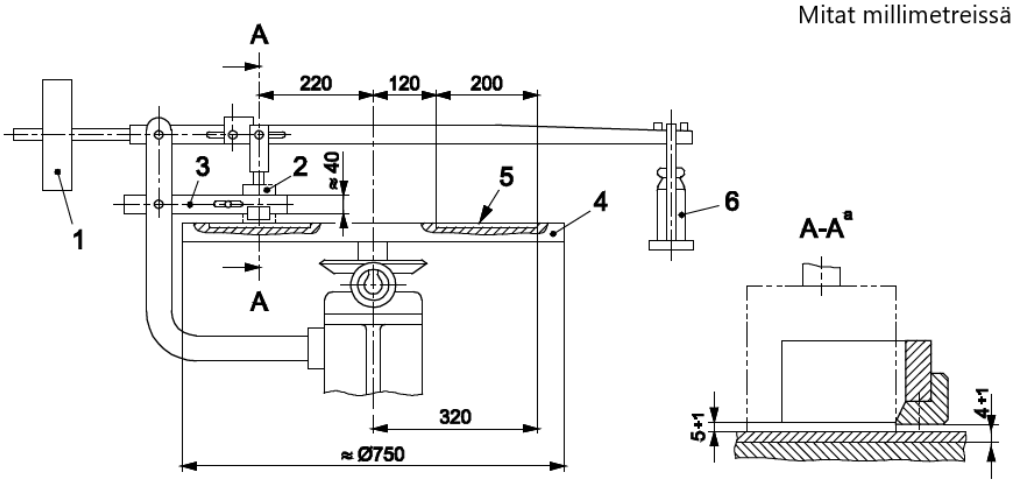
Baltazar *et al.* (2014, s. 194, 196) havaitsivat tutkimuksessaan, että 200 Taber-testisyklin jälkeen käsitelty pintakerros oli kulunut täysin pois. Näin ollen tutkimuksessa tarkasteltiin standardin mukaisen 1000 syklin sijaan ensimmäistä 100 sykliä. Silikaattipohjainen impregnointiaine ei kyennyt tunkeutumaan riittävän syvälle betoniin, jotta se olisi lujittanut pintaa syvemmältä. Näin ollen tutkimuksessa ei saavutettu standardin EN 1504-2 mukaista kulumiskestävyysvaatimusta. (Baltazar *et al.* 2014, s. 194, 196)

Mikulica & Hela (2019, s. 127–128) tutkivat natriumsilikaattikäsitellyn betonin kulutuskestävyyttä Böhme-testillä. Tutkimuksessa havaittiin, että silikaattikäsittely vaikutti pinnan kulutuskestävyyteen melko vähän. Testissä saadut kulutuskestävyyden arvot kolmelle eri natriumsilikaattituotteelle 16 syklin jälkeen vaihtelivat välillä 21,3–24,3 $cm^3/50cm^2$. (Mikulica & Hela 2019, s. 127–128) Tutkimuksessa saadut arvot eivät täytä julkaisussa BY45/BLY7 esitettyjä kulutuskestävyysvaatimuksia edes alhaisimmassa luokassa, jossa Böhme-luokitusvaatimus on ≤ 15 $cm^3/50cm^3$. Alhaisimpaan luokkaan kuuluvat kevyesti liikennöidyt ja kuormitetut tilat. (BY45/BLY7 2018, s. 23)

5.3.1 Böhme-testi

Työssä tutkitaan silikaattikäsittelyiden kulutuskestävyyttä Böhme-testillä. Näin ollen saatuja tuloksia voidaan verrata suoraan julkaisussa BY45/BLY7 esitettyihin kulutuskestävyysvaatimuksiin, joissa kulutuskestävyysluokka on ilmoitettu Böhme-kokeesta saatavan Böhme-luokituksen mukaan. Kulutuskestävyysvaatimukset on esitetty työn luvussa 2.1.2. Böhme-testi on vakiintunut kulutuskestävyyden testimenetelmä kuivasirotteilla ja tasoitteilla. Se on nykyään yleisin betonilattiapintojen testimenetelmä myös Euroopassa (BY45/BLY7 2018, s. 22). Silikaattikäsittelyiden kulutuskestävyys testataan standardin SFS-EN 13892-3 mukaisella Böhme-kokeella. Jokaisesta silikaattikäsittelystä tehdään kolme Böhme-testiä. (SFS-EN 13892-3 2015, s. 7) Lisäksi tehdään vertailuksi Böhme-testi myös käsittelemättömälle koekappaleelle.

Kuvassa 21 on esitetty periaatekuva Böhme-kulutuskoekoneesta.



1 vastapaino
2 koekappale
3 koekappaleen pidike
4 pyörivä levy
5 testirata
6 kuormittava paino
a leikkaus A-A (suurennettu)

Kuva 21. *Periaatekuva Böhme-kulutuskoekoneesta (SFS-EN 13892-3 2015, s. 6)*

Böhme-laitteisto koostuu näytteenpidikkeestä, kuormalaitteesta sekä pyörivästä pöydästä, jossa on testirata. Testiä varten poralieriönäytteistä sahataan sivumitaltaan (71 ± 1,5) mm kokoiset kuutiot. Testikappaleiden kontaktipintojen tulee olla yhdensuuntaisia sekä tasaisia. Testikappaleet kuivatetaan (110 ± 5) °C lämpötilassa, kunnes saavutetaan

muuttumaton massa. Ennen varsinaista koetta jokainen testikappale käy läpi neljä testisykliä. (SFS-EN 13892-3 2015, s. 6–7)

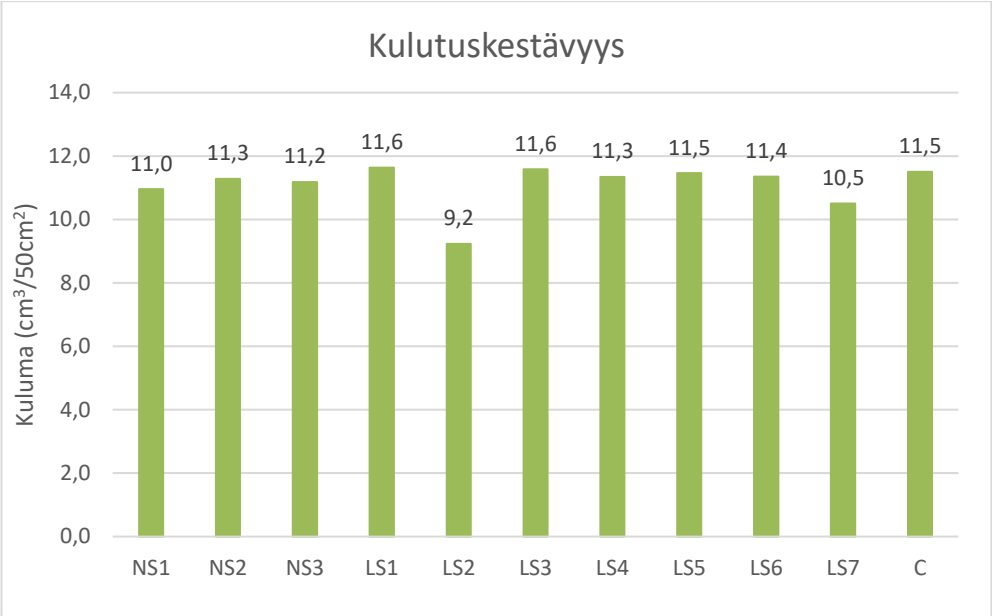
Ennen testin aloitusta määritetään koekappaleiden tiheys ρ_R mittaamalla niiden koko 0,1 mm:n tarkkuudella sekä punnitsemalla kappaleet 0,1 g:n tarkkuudella. Standardin mukaista hiovaa ainetta levitetään testiradalle ja kappaleen pintaan 20 g. Hiovana aineena käytetään korundia. Koekappale kiristetään pidikkeeseen ja sitä kuormitetaan (294 ± 3) N voimalla. Jokaista koekappaletta testataan 16 syklin ajan, joista jokainen koostuu 22 kierroksesta. Jokaisen syklin jälkeen testirata sekä kontaktipinta puhdistetaan ja koekappale käännetään 90°, minkä jälkeen uusi hioma-aine levitetään radalle. (SFS-EN 13892-3 2015, s. 8)

5.3.2 Kulutuskestävyyskokeen tulokset

Böhme-testissä mitataan tilavuuden muutosta, joka määritetään massan muutoksen perusteella. Jokaisen testisyklin jälkeen kontaktialue tarkastetaan silmämääräisesti ja mahdolliset muutokset kirjataan ylös. (SFS-EN 13892-3 2015, s. 8). Böhme-testin mukainen kulutuskestävyys A määritetään 16 syklin jälkeen kaavalla

$$A = \Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_R}, \tag{1}$$

jossa $A = \Delta V$ on Böhme-kulutuskestävyyden arvo sekä tilavuuden muutos 16 syklin jälkeen [cm^3/50 cm^2], Δm on massan pienentyminen [g] 16 syklin jälkeen ja ρ_R on koekappaleen tiheys [g/cm^3] (SFS-EN 13892-3 2015, s. 8). Jokaisen silikaattituotteen kolmen testikappaleen kulutuskestävyyden arvoista lasketaan keskiarvo. Kuvassa 22 on esitetty koekappaleiden kulutuskestävyyskokeen tulokset.



Kuva 22. *Böhme-testin tulokset*

Kuvassa tunnukset NS1–NS3 sekä LS1–LS7 kuvaavat silikaattikäsiteltyjä koekappaleita ja tunnus C käsittelemätöntä vertailukoekappaletta. Kuvasta havaitaan, että silikaattikäsittelyn vaikutus kulutuskestävyyteen kyseisellä testimenetelmällä on melko pieni. Kahdella tuotteella (LS1 ja LS3) kuluminen oli jopa hieman suurempaa kuin käsittelemättömällä betonilla sekä yhdellä tuotteella (LS5) kuluminen yhtä suurta referenssikoekappaleen kanssa. Paras kulutuskestävyys saavutettiin tuotteilla LS2 ja LS7. Näillä tuotteilla kulutuskestävyys parani 9–20 % vertailukohtaan verrattuna. Muutoin parannus oli vain muutamien prosenttien suuruinen. Tuloksista voi päätellä, että yleisesti ottaen natrium- ja litiumsilikaattien välillä ei ole juurikaan eroa kulutuskestävyyden kannalta.

Kaikkien testattujen tuotteiden Böhme-luokka on A12, joten tuotteilla päästiin By 45 / BLY 7 mukaiseen kulutuskestävyysluokkaan 3, jossa sallittu kuluminen on ≤ 12 $cm^3/50cm^2$. Kulutuskestävyysluokassa 3 lattian suositellussa työmenetelmässä ei edellytetä silikaattikäsittelyä tai muuta kulutuskestävyyttä parantavaa menetelmää, vaan lattian toteutukseen riittävät hyvällä ammattitaidolla tehdyt lujuusluokan C25/30 lattiat, jotka hierretään koneellisesti. Seuraavan kulutuskestävyysluokan lattiassa sallittu kuluminen tulisi olla ≤ 9 $cm^3/50cm^2$ ja kyseisessä luokassa yhtenä työmenetelmänä on esitetty lujuusluokaltaan C25/30 lattian pintahionta sementtiliiman poistamiseksi sekä pinnan silikaattikäsittely. Tehdyissä kokeissa yksikään tuote ei päässyt tähän luokkaan. Böhme-koe on testimenetelmänä kuluttava ja tulosten perusteella se ei välttämättä sovellu silikaattien kulutuskestävyyden arviointiin.

5.4 Vedentunkeutumiskoe

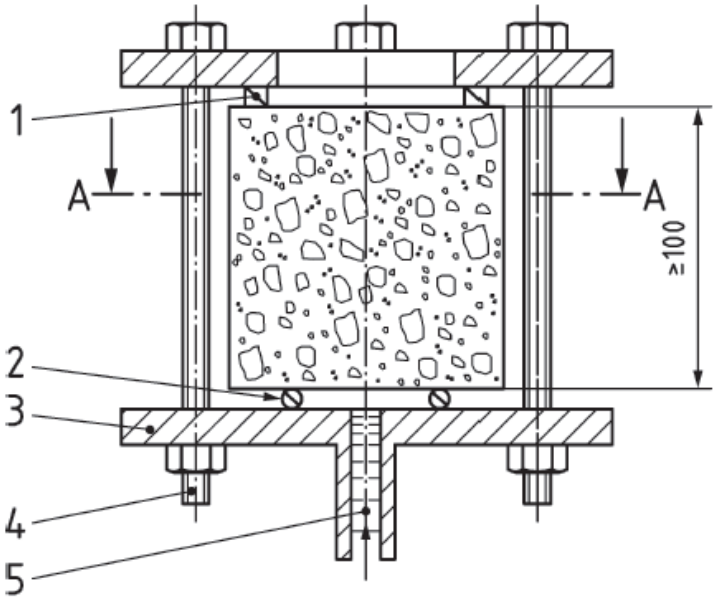
Betonin vedenläpäisevyydellä on suuri merkitys betonin säilyvyyden kannalta, sillä veden mukana betonin sisään voi tunkeutua esimerkiksi aggressiivisia ioneja ja vesiliukoisia kaasuja. Aggressiiviset ionit ovat usein peräisin merivedestä, teollisesta ympäristöstä tai tiesuolasta, ja ne edesauttavat teräskorroosion etenemistä. Veden mukana betoniin voi kulkeutua myös vesiliukoisia kaasuja kuten hiili- tai rikkidioksidia, jotka vähentävät betonin emäksisyyttä. Veden vaikutus rakenteen säilyvyyteen voi tietyissä olosuhteissa näkyä myös jäätymis-sulamissyklien aiheuttamina vaurioina. (Barbucci *et al.* 1997, s. 293) Näin ollen etenkin teollisuuskohteissa sekä parkkihalleissa on tärkeää estää, tai pyrkiä vähentämään veden ja haitallisten aineiden tunkeutuminen betoniin.

Veden tunkeutumista voidaan tutkia joko vedenimeytystestillä tai paineellisen veden tunkeutumissyvyystestillä. Standardissa 1504–2 (2005, s. 16) on annettu impregnoinnin toiminnallisten vaatimukset, joiden mukaan kapillaarinen vedenimeytyminen ja veden läpäisevyys testataan standardin SFS-EN 1062-3 mukaisella vedenimeytystestillä. Impregnoinnin toiminnallisena vaatimuksena on, että nestemäisen vedenläpäisevyyden arvo $w < 0{,}1 \frac{kg}{m^2} \cdot h^{0.5}$. (SFS-EN 1504-2 2005, s. 16)

Standardin mukaisessa testissä päällystetään testikappaleiden yksi sivu pintakäsittelyaineella ja testikappaleet upotetaan kontrolloiduissa olosuhteissa veteen. Sen jälkeen testikappaleet punnitaan standardissa määriteltyjen ajanjaksojen jälkeen ja vedenläpäisevyyden arvo määritetään massan muutoksesta. Standardin mukaan kappaleita pidetään upoksissa 24 tunnin ajan, mutta suosituksena on mitata lisäksi vedenläpäisevyyden arvo 10 minuutin, 30 minuutin, yhden tunnin, kahden tunnin, kolmen tunnin sekä kuuden tunnin jälkeen. Näin ollen saadaan kerättyä tietoa myös pinnoitteen vedenläpäisevyyden kehittymisestä ajan funktiona. (SFS-EN 1062-3 2008, s. 5–7)

5.4.1 Testimenetelmä

Veden läpäisevyyttä voidaan mitata myös paineellisen veden tunkeutumissyvyyttä arvioivalla testimenetelmällä, jota käytetään työssä testattaville silikaateille. Menetelmässä kovettuneen betonin pintaan kohdistetaan paineellinen vesirasitus, jonka kesto on standardin mukainen testiajanjakso. Vesirasituksen jälkeen koekappaleet halkaistaan keskeltä, ja niistä mitataan veden tunkeutumissyvyys. Koelaitteisto on esitetty kuvassa 23.

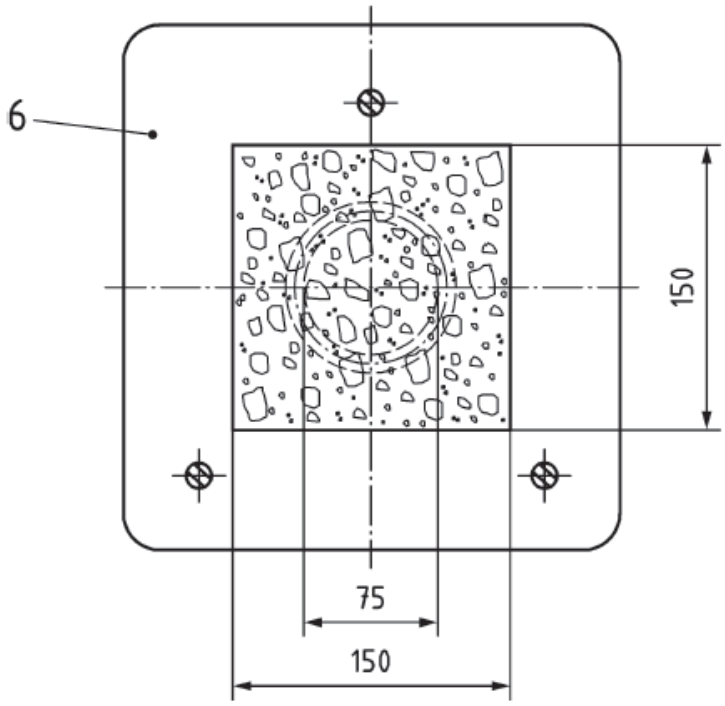


Kuva 23. *Paineellisen veden tunkeutumasyvyyden testilaitteisto (SFS-EN 12390-8 2019, s. 6)*

Kuvassa esitetyt testilaitteiston osat ovat

1. kuormituslista,
2. tiivisterengas,
3. kierretangoilla kiinnitetty levy,
4. kierretanko,
5. paineellinen vesi,
6. kierretangoilla kiinnitetty levy.

Testissä käytettävä koekappale voi olla muodoltaan kuutio, lieriö tai prisma. (SFS-EN 12390-8 2019, s. 5–6) Kuvassa 24 on esitetty koekappaleen asemointi laitteistoon.



Kuva 24. *Koekappaleen testattava pinta (SFS-EN 12390-8 2019, s. 6)*

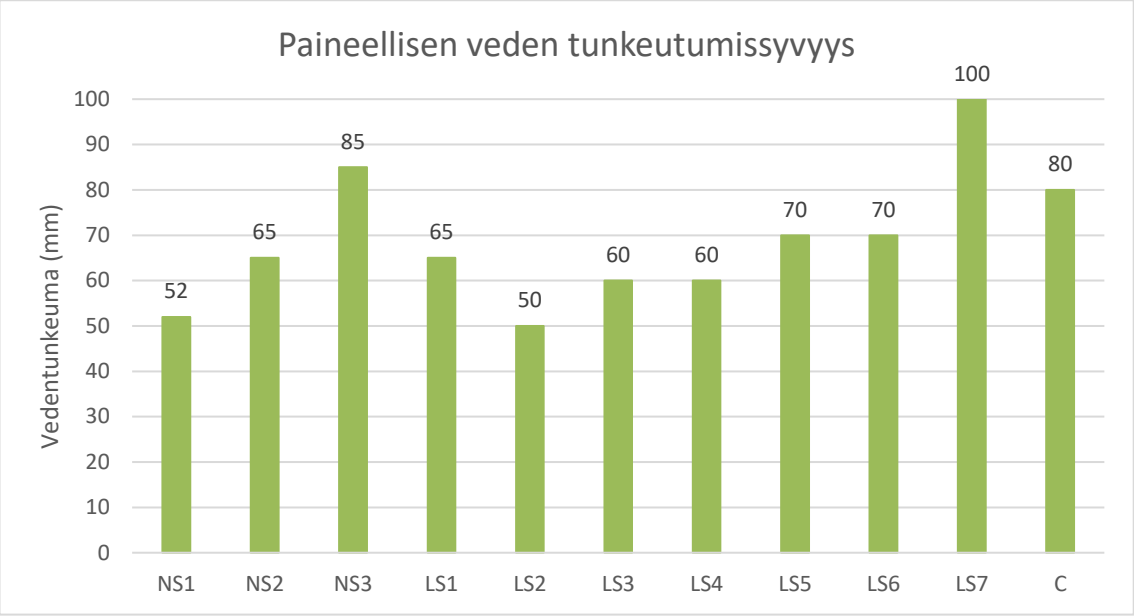
Kuvan mukaan koekappaleen testattavan pinnan on oltava yllä olevan kuvan mukaan mitoiltaan vähintään 150 mm. Koekappaleen muiden mittojen tulee olla vähintään 100 mm. Koekappaleita jälkihoidetaan vedessä standardin EN 12390-2 mukaan. Kokeet suoritetaan 28 vuorokauden ikäisille koekappaleille. (SFS-EN 12390-8 2019, s. 6–7)

Kokeen suorituksessa testikappale asetetaan kuvassa 23 esitettyyn testilaitteistoon ja siihen kohdistetaan (500 ± 50) kPa suuruinen vedenpaine. Kokeen kesto on kolme vuorokautta, eli (72 ± 2) h. Kokeen aikana tulee tarkkailla myös koekappaleen muita pintoja, jotta niihin mahdollisesti vuotanut vesi voidaan havaita. Vuotojen ilmetessä tulee arvioida tulosten kelpoisuutta. Kolmen vuorokauden vedenpainerasituksen jälkeen koekappale poistetaan testilaitteistosta ja sen pinta pyyhitään ylimääräisestä vedestä. Sen jälkeen koekappale halkaistaan keskeltä kahteen osaan. Halkaisu suoritetaan kohtisuoraan veden paineelle alttiina ollutta pintaa vasten. Koekappaletta tutkittaessa ja halkaistaessa sijoitetaan vedenpaineen vaikutuksen alaisena ollut pinta alaspäin. (SFS-EN 12390-8 2019, s. 6–7)

5.4.2 Vedentunkeutumiskokeen tulokset

Paineellisen veden tunkeutumissyvyyden määrityksessä koekappaleen halkaisemisen jälkeen merkitään siihen tunkeutuneen veden korkeusasema koekappaleen pintaan. Mit-

taustulokseksi saadaan mittausalueen alapuolelta mitattu suurin vesirintaman tunkeutumissyvyys. (SFS-EN 12390-8 2019, s. 7) Työssä jokaiselle testattavalle silikaatille tehdään yksi paineellisen veden tunkeutumissyvyyden testi. Koekappaleet ovat testausajankohtana 50–53 vuorokauden ikäisiä. Alla olevassa kuvassa on esitetty testissä saadut tulokset.



Kuva 25. *Veden tunkeutumistestin tulokset*

Kuvasta 25 havaitaan, että parhain tulos saadaan LS2 tuotteella. Kyseisellä tuotteella käsitellyn koekappaleen veden tunkeutumissyvyys on kolmen vuorokauden testiajanjakson jälkeen 50 mm. Huonoin tulos saavutetaan tuotteella LS7, jolla käsitellyssä koekappaleessa vesi tunkeutuu testin aikana koko 100 mm paksun koekappaleen läpi. Käsittelemättömän koekappaleen vedentunkeuma on 80 mm. Vertailukoekappaleeseen nähden kahdella koekappaleella (NS3 ja LS7) vedentunkeuma on suurempi ja lopuilla kahdeksalla pienempi. Vedentunkeuma on parhaimmillaan 35–37,5 % pienempi koekappaleilla NS1 ja LS2 kuin vertailukoekappaleella. Muilla koekappaleilla parannus on 12,5–25 %.

Kulutuskestävyyden sekä veden tunkeutumisen lisäksi referenssikoekappaleista mitattiin käytetyn betonin todellinen lujuus testausajankohtana. Betonin lieriöpuristuslujuudeksi saatiin kolmen mittauksen keskiarvona 38,5 MPa sekä kuutiopuristuslujuudeksi 42,3 MPa. Näin ollen betoni oli todellisuudessa huomattavasti reseptissä määriteltyä betonia (C25/30) lujempaa.

6. YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, vastaavatko silikaattikäsittelyt kulutuskestävyysvaatimuksiin sekä miten eri silikaattituotteet eroavat toisistaan mm. kulutuskestävyyden ja vedentunkeutumisen osalta. Lisäksi tavoitteena oli perehtyä betonilattioiden kemiallisiin suojaamismenetelmiin sekä alaan liittyvään termistöön. Termistöön ja aiempiin silikaateista tehtyihin tutkimuksiin tutustuttiin kirjallisuuskatsauksessa. Sen perusteella betonilattioiden kemialliset käsittelyt voidaan jakaa pääasiassa lujittaviin ja suojaaviin menetelmiin. Merkittävin ero muodostuu kulutuskestävyydestä, sillä pääosa kemiallisista suoja-aineista vaikuttavat vain betonin pintakerroksissa, eivätkä juurikaan lujita betonia.

Kulutuskestävyyttä ja vedentunkeutumista tutkittiin laboratoriotesteillä. Tutkimusten mukaan silikaattikäsittelyt tiivistivät betonin pintaa ja suurin osa tuotteista rajoitti veden tunkeutumista betoniin. Parhaimmillaan veden tunkeutuminen oli jopa 37 % vähemmän silikaattikäsitellyssä betonissa. Sen sijaan silikaattikäsitellyn betonin kulutuskestävyydessä ei ollut havaittavissa merkittävää parannusta käsittelemättömään betoniin verrattuna. Suurimmalla osasta tuotteista kuluminen oli vain muutamia prosentteja vähäisempää tai jopa yhtä suurta käsittelemättömään betoniin verrattuna. Kuitenkin muutamalla tuotteella parannus oli suurempi, jopa 20 %. Veden tunkeutumisesta tehtiin jokaisesta tuotteesta vain yksi testi, sillä vaadittava koekappale oli kooltaan suuri ja useamman valmistaminen olisi vaatinut testilaattojen merkittävää kasvattamista. Lisäksi koejärjestelyyn menee jokaisen koekappaleen osalta 3 vuorokautta, mikä osaltaan rajoitti koekappaleiden lukumäärää. Tulosten arvioinnissa tulee kuitenkin huomioida, että tulos on yksittäisen kohdan luku, eikä useamman kokeen keskiarvona saatu. Yhtä tuotetta lukuun ottamatta testatuilla tuotteilla ei myöskään ole tarkoitus saada aikaan vesitiivistä pintaa, mikä tulee ottaa huomioon paineellisen veden tunkeutumissyvyyden tuloksissa.

Kulutuskestävyys testattiin työssä Böhme-laitteistolla, jolla tutkitaan myös esimerkiksi sirotepintojen kulutuskestävyyttä. Testimenetelmä ei saatujen tulosten perusteella sovellu välttämättä silikaattituotteille sen kuluttavuuden takia. Saatujen tulosten perusteella silikaattikäsittelyiden vaikutus betonilattian kulutuskestävyyteen on merkittävästi pienempi kuin esimerkiksi kuivasirotteilla. Tuloksissa tulee huomioida, että esimerkiksi parkkihalleissa kulutusrasitus saattaa olla kuitenkin suurta, esimerkiksi nastarenkaiden takia. Lisäksi työssä käytetty Böhme-testi ei sovellu nastarengasrasituksen arviointiin. Testeissä oli mukana kolme natriumsilikaattia ja seitsemän litiumsilikaattia, joten eri apuaineita sisältävien silikaattien vertailu keskenään oli haastavaa, eikä merkittäviä eroja tuotteiden välillä ollut havaittavissa.

Osa tuotteista oli tarkoitettu vain betonilattian pölynsidontaan sekä osa tiivistämään ja lujittamaan pintaa, mikä voi osaltaan selittää eri tuotteiden välisiä eroja. Lisäksi mukana oli myös yksi vedentiivistystuote ja yksi pinnan korkeakiiltoinen suoja-aine. Saaduissa tuloksissa on huomioitava myös se, että kahden tuotteen levitysperiaate poikkesi muista tuotteista, jolloin tulokset eivät ole suoraan vertailtavissa. Osa testilaatoista kuivui myös huomattavasti nopeammin kuin toiset. Sen seurauksena kaikkien tuotteiden osalta ei toteutunut valmistajien ohjeiden mukainen märkänä oloaika, joka on tyypillisesti noin 20 minuuttia. Jos alkuperäisiä arvioita menekistä olisi kasvatettu ja kaikkia tuotteita punnittu suurempi määrä, tulokset olisivat voineet olla luotettavampia.

Saatujen tulosten perusteella silikaattikäsittelyt vähentävät veden imeytymistä betoniin, mutta käsittelyiden merkitys betonin kulutuskestävyyteen on todella pieni, jopa olematon. Näin ollen silikaattikäsittelyiden kulutuskestävyyttä tulisi tutkia tarkemmin, jotta voidaan varmistua niiden soveltuvuudesta kulutuskestävyyttä vaativissa kohteissa, kuten parkkihalleissa. Saatujen tulosten perusteella voidaan pitää melko varmana, että silikaattikäsittelyiden vaikutus nastarengaskestävyyteen on joko olematon tai todella pieni. Jatkotutkimuksen kannalta olisi tärkeää tutkia myös tuotteiden levitykseen liittyvien yksityiskohtien, kuten menekin, asennusmenetelmän ja märkänä oloajan vaikutusta saatuihin tuloksiin. Silikaateilla voisi harkita myös käytettävän testimenetelmää, joka ei ole yhtä kuluttava kuin Böhme-koe. Kevyemmän testimenetelmän perusteella voisi olla mahdollista tutkia silikaattien vaikutusta kulutuskestävyyteen kohteissa, joissa kulutusrasitus on pienempää. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi julkiset rakennukset tai kulutusrasitukseltaan vähäiset teollisuus- tai logistiikkahallit.

LÄHTEET

Aguair, J. B., Júnior, C. (2013). Carbonation of Surface Protected Concrete. Construction & building materials 49. pp. 478–483.

Ahmad, S. (2003). Reinforcement Corrosion in Concrete Structures, Its Monitoring and Service Life Prediction—a Review. Cement & concrete composites 25.4. pp. 459–471.

Baltazar, L., Santana, J., Lopes, B., Rodrigues, M. P. & Correia, J. R. (2014). Surface Skin Protection of Concrete with Silicate-Based Impregnations: Influence of the Substrate Roughness and Moisture. Construction & building materials 70. pp. 191–200.

Barbucci, A., Delucchi, M. & Cerisola, G. (1997). Organic Coatings for Concrete Protection: Liquid Water and Water Vapour Permeabilities. Progress in organic coatings 30.4. pp. 293–297.

Basheer, L., Kropp, J. & Cleland, D. J. (2001). Assessment of the Durability of Concrete from Its Permeation Properties: a Review. Construction & building materials 15.2. pp. 93–103.

Basheer, L & Cleland, D. J. (2011). Durability and Water Absorption Properties of Surface Treated Concretes. Materials and structures 44.5. pp. 957–967.

Basheer, P. A. M., Basheer, L., Cleland, D. J. & Long, A. E. (1997). Surface Treatments for Concrete: Assessment Methods and Reported Performance. Construction & building materials 11.7-8. pp. 413–429.

Batis, G, Pantazopoulou, P. & Routoulas, A. (2003). Corrosion Protection Investigation of Reinforcement by Inorganic Coating in the Presence of Alkanolamine-Based Inhibitor. Cement & concrete composites 25.3. pp. 371–377.

Bentur, A., Sidney, D. & Berke N. S. (2005). Steel Corrosion in Concrete. Fundamentals and Civil Engineering Practice. Spon Press, Taylor & Francis Group. 208 p.

Bertolini, Luca, Elsener, B., Pedeferri, P., Redaelli, E. & Polder, R. B. (2014). Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair. Weinheim: John Wiley & Sons, Incorporated, 2014. 414 p.

Betoni 2022a. Betonipintaiset lattiat. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavilla (viitattu 4.10.2022): https://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/lattiat/betonipintaiset-lattiat/

Betoni 2022b. Suojaus ja pölynsidonta. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Saatavilla (viitattu 28.9.2022): https://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/lattiat/suojaus-ja-polynsidonta/

Bisley (2021a). What Is Lithium Silicate. Bisley International. Saatavissa (viitattu 2.12.2022): https://bisleyinternational.com/what-is-lithium-silicate/

Bisley (2021b). What Is Potassium Silicate Used For. Bisley International. Saatavissa (viitattu 13.1.2023): https://bisleyinternational.com/what-is-potassium-silicate-used-for/

Bisley (2021c). Lithium Silicate Vs. Sodium Silicate. Bisley International. Saatavissa (viitattu 13.1.2023): https://bisleyinternational.com/lithium-silicate-vs-sodium-silicate/

BLY-16 (2014). Suunnittelu- ja työohje kuivasirotteiden käyttämisestä betonilattioissa. Suomen Betonilattiayhdistys Ry. 28 s. Saatavissa (viitattu 4.10.2022): http://www.bly.fi/File/BLY16.pdf?rnd=1390297845

BY45/BLY7 (2018). Betonilattiat 2018. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki. 198 s.

by54/BLY12 (2010). Betonilattioiden pinnoitusohjeet. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki. 64 s.

by68 (2016). Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – opas suunnittelijoille. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki. 95 s.

Cai, Y., Hou, P., Duan, C., Zhang, R., Zhou, Z., Cheng, X. & Shah, S. (2016). The Use of Tetraethyl Orthosilicate Silane (TEOS) for Surface-Treatment of Hardened Cement-Based Materials: A Comparison Study with Normal Treatment Agents. Construction & building materials 117. pp. 144–151.

ChemSpider (2024). Potassium silicate. Saatavissa (viitattu 17.1.2024): https://www.chemspider.com/Chemical-Structure.59585.html

Cheng, A., Huang, R., Lin, W-T. & Zou, S-Y. (2013). Evaluation of Protective Effectiveness and Microstructure of Silicate Concrete Sealer. Applied Mechanics and Materials 368–370. pp. 892–896.

Christodoulou, C., Goodier, C.I., Austin, S.A., Webb, J. & Glass, G.K. (2013). Long-Term Performance of Surface Impregnation of Reinforced Concrete Structures with Silane. Construction & building materials 48. pp. 708–716.

Dai, J-G., Akira, Y., Wittmann, F.H., Yokota, H. & Zhang, P. (2009). Water Repellent Surface Impregnation for Extension of Service Life of Reinforced Concrete Structures in Marine Environments: The Role of Cracks. Cement & concrete composites 32.2. pp. 101–109.

Dang, Y., Xie, N., Kessel, A., McVey, E., Pace, A. & Shi, X. (2014). Accelerated Laboratory Evaluation of Surface Treatments for Protecting Concrete Bridge Decks from Salt Scaling. Construction & building materials 55. pp. 128–135.

de Vries, I. J. & Polder, R.B. (1997). Hydrophobic Treatment of Concrete. Construction & building materials 11.4. pp. 259–265.

Feng, Z., Wang, F., Xie, T., Ou, J., Xue, M. & Li, W. (2019). Integral Hydrophobic Concrete Without Using Silane. Construction & building materials 227. 116678. pp. 1–9.

Ferrara, L. & Pattarini, A. (2016). Siloxanes in Concrete: From Manual Application of Water-Proofing Treatments to Mix-Design Addition for Concrete Hydrophobicity. Key Engineering Materials 711. pp. 263–268.

Flores-Vivian, I., Hejazi, V., Kozhukhova, M. I., Nosonovsky, M. & Sobolev, K. (2013). Self-Assembling Particle-Siloxane Coatings for Superhydrophobic Concrete. ACS applied materials & interfaces 5.24. pp. 13284–13294.

Franzoni, E., Pigino, B. & Pistolesi, C. (2013). Ethyl Silicate for Surface Protection of Concrete: Performance in Comparison with Other Inorganic Surface Treatments. Cement & concrete composites 44. pp. 69–76.

Garber, G. (2006). Design and Construction of Concrete Floors. 2nd ed. Burlington. Mass: Elsevier/Butterworth-Heinemann. 398 p.

Guo, Z., Hou, P., Huang, S., Xie, N., Cheng, X., Singh, L.P., Valeriya, S. & Viktoriya, N. (2018). Surface Treatment of Concrete with Tetraethyl Orthosilicate, Na2SiO3 and Silane: Comparison of Their Effects on Durability. Ceramics (Praha). pp. 332–341.

Hellén, K. (2012). Betonilattiat, käsittelystä ja hoidosta. Betonilattiapäivät. Saatavissa (viitattu 17.1.2023): http://www.bly.fi/File/2012-8Hellen8.pdf?rnd=1356604255

Hoseini, M., Bindiganavile, H. & Banthia, B. (2009). The Effect of Mechanical Stress on Permeability of Concrete: A Review. Cement & concrete composites 31.4. pp. 213–220.

Hou, P., Cheng, X., Qian, J. & Shah, S. P. (2013). Effects and Mechanisms of Surface Treatment of Hardened Cement-Based Materials with Colloidal nanoSiO2 and Its Precursor. Construction & building materials 53. pp. 66–73.

Ibrahim, M., Al-Gahtani, A. S., Maslehuddin, M. & Dakhil, F. H. (1999). Use of Surface Treatment Materials to Improve Concrete Durability. Journal of materials in civil engineering 11.1. pp. 36–40.

Inazumi, S., Inazawa, T., Soralump, S., Saiki, O. & Matsumoto, H. (2017). Assessment of Potassium Silicate Based Surface Penetration Materials with Low Viscosity in the Repair of Concrete Structures. International Journal of GEOMATE 12.29. pp. 163–170.

Jia, L., Shi, C., Pan, X., Zhang, J. & Wu, L. (2016). Effects of Inorganic Surface Treatment on Water Permeability of Cement-Based Materials. Cement & concrete composites 67. pp. 85–92.

Jiang, L., Lin, B. & Cai, Y. (2000). A Model for Predicting Carbonation of High-Volume Fly Ash Concrete. Cement and concrete research 30.5. pp. 699–702.

Jiang, L., Xue, X., Zhang, W., Yang, J., Zhang, H., Li, Y., Zhang, R., Zhang, Z., Xu, L., Qu, J., Song, J. & Qin, J. (2015). The Investigation of Factors Affecting the Water Impermeability of Inorganic Sodium Silicate-Based Concrete Sealers. Construction & building materials 93. pp. 729–736.

Johannesson, B. & Utgenannt, P. (2001). Microstructural Changes Caused by Carbonation of Cement Mortar. Cement and concrete research 31.6. pp. 925–931.

Jones, M. R., Dhir, R. K. & Gill, J. P. (1995). Concrete Surface Treatment: Effect of Exposure Temperature on Chloride Diffusion Resistance. Cement and concrete research 25.1. pp. 197–208.

Kim, E. K., Won, J., Do, J-y., Kim, S. D. & Kang, Y. S. (2008). Effects of Silica Nanoparticle and GPTMS Addition on TEOS-Based Stone Consolidants. Journal of cultural heritage 10.2. pp. 214–221.

Konekor (2022). Betoninkäsittelyaineet, kivikitit ja kristallointiaineet. Saatavissa (viitattu 21.2.2023): https://konekor.fi/betoninkasittelyaineet-kivikitit-ja-kristallisointiaineet/

Krystaline (2023). Krystaline Add Plus 2.5. Krystaline Technology S.A. Saatavissa (viitattu 31.1.2023): https://krystalinetechnology.com/krystaline-add-plus-25/

Kumar Mehta, P. & Monteiro, P. J. M. (2006). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 3th ed. New York: McGraw-Hill Professional.

Leino, V. (2022). Betonilattioiden tyypilliset virheet. Suomen Betonilattiayhdistys ry. Betonilattiapäivät 18.5.2022.

Li, T., Wu, Y. & Wu, H. (2022). A Study on Impact of Different Surface Treatment Agents on the Durability of Airport Pavement Concrete. Coatings (Basel) 12.2. pp. 162–.

Liu, Z & Hansen, W. (2016). Effect of Hydrophobic Surface Treatment on Freeze-Thaw Durability of Concrete. Cement & concrete composites 69. pp. 49–60.

Loprencipe, G & Cantisani, G. (2015). Evaluation Methods for Improving Surface Geometry of Concrete Floors: A Case Study. Case studies in structural engineering 4. pp. 14–25.

Lumme, P., Vuorio, M. & Roihuvuo, I. (2021). Betoniset puhdasvalupinnat ja -lattiat. Betonilehti 2/2021. s. 76–83. Saatavissa (viitattu 4.10.2022): https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/05/BET2102_76-83.pdf

Lumme, P. (2008). Kuitubetonien käyttö lisääntyy rakenteissa – jopa kantavissa rakenteissa. Betonilehti 3/2008. s. 72–77. Saatavissa (viitattu 6.12.2023): https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0803-s-72-77.pdf

Mailvaganam, N. P., Springfield, J., Repette, W. L. & Taylor, D. A. (2001). Curling of Concrete Floor Slabs on Grade - Causes and Repairs. Journal of performance of constructed facilities 15.1. pp. 11–16.

Mannonen, P. (2008). Paikallavaletut pysäköintilaitokset. Betonilehti 1/2008. s. 84–92. Saatavissa (viitattu 17.1.2023): https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0801-s084-92.pdf

Mapei (2023). Mapecrete Li Hardener. Saatavissa (viitattu 6.12.2023): https://www.mapei.com/fi/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/tuoteluettelo/tuotetiedot/mapecrete-li-hardener

Matsinen, M. (2018). Arkkitehtonisia lattioita betonista – Bermanto Design-lattiat. Betonipuisto. Saatavissa (viitattu 17.1.2023): https://www.betonipuisto.fi/post/2018/10/01/arkkitehtonisia-lattioita-betonista-bermanto-design-lattiat

Matsinen, M. (2008). Betonilattiapinnoitukset. Osa 1 – Sementtipohjaiset pinnoitteet. Betonilehti 4/2008. s. 59–63. Saatavissa (viitattu 26.1.2023): https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0804_s_59-63.pdf

Matsinen, M. (2009). Betonilattiat, Osa 3 -design-lattiat. Betonilehti 2/2009. s. 50–55. Saatavissa (viitattu 29.8.2022): https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/11/BET0902-s50-55.pdf

Matsinen, M. (2021). Betonilattioiden elinkaari ja ylläpito. Betonilehti 4/2021. s. 46–55. Saatavissa (viitattu 25.11.2022): https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2021/12/BET2104_46-55.pdf

Matsinen, M. (2020). Kiiltohiotut betonilattiat. Betonilehti 2/2020. s. 64–69. Saatavissa (viitattu 25.11.2022): https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/05/BET2002_64-69.pdf

Matsinen, M. (2022). Kulutusrasitetut betonilattiat – kuivasirote vai kovabetoni. Betonilehti 1/2022. s. 60–69. Saatavissa (viitattu 11.10.2022): https://betoni.com/wp-content/uploads/2022/03/BET2201_60-69.pdf

Matsinen, M. (2017a). Näyttäviä lattioita betonista – Design-betonilattiat. Betonilehti 1/2017. s. 38–47. Saatavissa (viitattu 7.10.2022): https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/03/BET1701_38-47.pdf

Matsinen, M. (2017b). Pysäköintihallien lattiakorjaukset. Betonilehti 4/2017. s. 76–81. Saatavissa (viitattu 17.1.2023): https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/12/BET1704_76-81.pdf

Mikulica, K. & Hela, R. (2019). Assessing the Effect of Protective Coatings on the Resistance of the Concrete Floor to the Abrasion. Key Engineering Materials 808. pp. 123–128.

Mirza, J., Abesque, C. & Bérubé, M-A. (2010). Evaluation of Surface Sealers for Concrete Hydraulic Structures Exposed to Low Temperatures. Materials and structures 44.1. pp. 5–12.

Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete. 5th ed. Harlow, England; Pearson. 846 p.

Obtego (2022). Products and technical information. Surface protection for concrete. 68 p.

Pan, X., Shi, Z., Shi, C., Ling, T-C. & Li, N. (2016a). A Review on Concrete Surface Treatment Part I: Types and Mechanisms. Construction & building materials 132. pp. 578–590.

Pan, X., Shi, Z., Shi, C., Ling, T-C. & Li, N. (2016b). A Review on Surface Treatment for Concrete – Part 2: Performance. Construction & building materials 133. pp. 81–90.

Pan, X., Shi, Z., Shi, C., Zhang, J., Jia, L. & Chong, L. (2018). Effect of Inorganic Surface Treatment on Surface Hardness and Carbonation of Cement-Based Materials. Cement & concrete composites 90. pp. 218–224.

Peipei, W., Wenhua, Z., Yilin, P., Yu, W. & Yunsheng, Z. (2022). Study on Preparation and Strengthening Mechanism of New Surface Treatment Agent of Concrete at Multi-Scale. Construction & building materials 346. pp. 1–18.

Pernicová, R., Sestak, J. & Utěšená, M. (2019). Review of Factors Affecting the Quality of Architectural Concrete. Key engineering materials 808. pp. 9–14.

Petrow, S. (2010). Maanvaraiset betonilattiat. Betonilehti 1/2010. s. 36–41. Saatavissa (viitattu 29.11.2022): https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1001-36-41.pdf

Pigino, B., Leemann, A., Franzoni, E. & Lura, P. (2011). Ethyl Silicate for Surface Treatment of Concrete – Part II: Characteristics and Performance. Cement & concrete composites 34.3. pp. 313–321.

Pintalattiat 2023. Pintalattiat Ahola & Son Oy. Saatavissa (viitattu 17.1.2023): http://www.pintalattiat.fi/services-view/palvelut/

Pintasuojaus 2023a. Everclean. Saatavissa (viitattu 5.1.2023): https://pintasuojaus.com/tuote/everclean/

Pintasuojaus 2023b. Suojausten aakkoset. Saatavissa (viitattu 10.1.2023): https://pintasuojaus.com/suojaustenaakkoset/

Prosoco (2022). LS. Saatavissa (viitattu 3.1.2023): https://prosoco.com/Content/Documents/Product/CD_LS_PDS_031722_C.pdf

Pyy, H. (2022). Betonirakenteiden kemialliset vauriot. Betonirakenteiden korjaaminen 2022. Saatavissa (viitattu 9.12.2022): https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkr-2022/1.-jakso/hannu-pyy-betonin-korjauskurssi-2022.pdf

Raj, A., Sathyan, D. & Mini, K.M. (2019). Physical and Functional Characteristics of Foam Concrete: A Review. Construction & building materials 221. pp. 787–799.

RTT (1995). Paikallavalurakentaminen osa 3 Paikallavalurakenteiden suunnittelu. Rakennustuoteteollisuus RTT. Helsinki.

Samad, S. & Shah, A. (2017). Role of Binary Cement Including Supplementary Cementitious Material (SCM), in Production of Environmentally Sustainable Concrete: A Critical Review. International journal of sustainable built environment 6.2. pp. 663–674.

Sandrolini, F., Franzoni, E. & Pigino, B. (2011). Ethyl Silicate for Surface Treatment of Concrete – Part I: Pozzolanic Effect of Ethyl Silicate. Cement & concrete composites 34.3. pp. 306–312.

Schlager, N., Weisblatt, J. & Newton, D.E. (2006). Sodium Silicate. Chemical Compounds. Detroit, MI: Cengage Gale. pp. 779–783.

Semtu (2021). Evercrete V ja Evercrete. Saatavissa (viitattu 6.12.2023): https://www.semtu.fi/application/files/2316/3237/9347/EverCrete-V-esite_2.pdf

Semtu (2023). Sem Protect Li -nano. Saatavissa (viitattu 6.12.2023): https://www.semtu.fi/application/files/9116/9036/0764/Sem-Protect-Li-nano-esite.pdf

Semtu (2020). Sem Protect Si. Saatavissa (viitattu 6.12.2023): https://www.semtu.fi/application/files/6216/0258/8990/Sem-Protect-Si-esite.pdf

SFS-EN 13892-3 (2015). Methods of test for screed materials. Part 3: determination of wear resistance. Böhme. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki. 10 p.

SFS-EN 1504-2 (2005). Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Osa 2: Betonipinnan suojaus. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki. 40 s.

Silfwerbrand, J. L. & Farhang, A. A. (2014). Reducing Crack Risk in Industrial Concrete Floors. ACI materials journal 111.6. pp. 681–681.

SILKO 2.252 (2019). Betonipinnan impregnointi ja vettähylkivä impregnointi. Siltojen korjaus. Väylävirasto. Saatavissa (viitattu 17.1.2023): https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio2/s2252.pdf

Sivasankar, A., Arul Xavier Stango, S. & Vedalakshmi, R. (2013). Quantitative Estimation on Delaying of Onset of Corrosion of Rebar in Surface Treated Concrete Using Sealers. Ain Shams Engineering Journal 4.4. pp. 615–623.

Shi, X., Xie, N., Fortune, K. & Gong, J. (2011). Durability of Steel Reinforced Concrete in Chloride Environments: An Overview. Construction & building materials 30.1. pp. 125–138.

Sohawon, H. & Beushausen, H. (2018). The Effect of Hydrophobic (silane) Treatment on Concrete Durability Characteristics. International conference on concrete repair, rehabilitation and retrofitting (ICCRRR). Vol. 199. CEDEX A: E D P Sciences. 7015–.

Song, Z., Xue, X., Li, Y., Yang, J., He, Z., Shen, S., Jiang, L., Zhang, W., Xu, L., Zhang, H., Qu, J., Ji, W., Zhang, T., Huo, L., Wang, B., Lin, X & Zhang, N. (2015). Experimental Exploration of the Waterproofing Mechanism of Inorganic Sodium Silicate-Based Concrete Sealers. Construction & building materials 104. pp. 276–283.

Song, H.W., Lee, C-H., & Ann, K. Y. (2007). Factors Influencing Chloride Transport in Concrete Structures Exposed to Marine Environments. Cement & concrete composites 30.2. pp. 113–121.

Song, Z., Lu, Z. & Lai, Z. (2021). The Effect of Lithium Silicate Impregnation on the Compressive Strength and Pore Structure of Foam Concrete. Construction & building materials 277. 122316-.

Sudbrink, B., Moradllo, M. K., Hu, Q., Ley, M. T., Davis, J. M., Materer, N. & Apblett, A. (2016). Imaging the Presence of Silane Coatings in Concrete with Micro X-Ray Fluorescence. Cement and concrete research 92. pp. 121–127.

Thompson, J. L., Silsbee, M. R., Gill, P. M. & Scheetz, B. E. (1997). Characterization of Silicate Sealers on Concrete. Cement and concrete research 27.10. pp. 1561–1567.

Tirkkonen, I. (2023). Kuitubetonit. Suomen TPP Oy. Paikallavaluteknologian tekniikkapäivä, Sweco Finland Oy.

Tittarelli, F. & Moriconi, G. (2011). Comparison Between Surface and Bulk Hydrophobic Treatment Against Corrosion of Galvanized Reinforcing Steel in Concrete. Cement and concrete research 41.6. pp. 609–614.

Tittarelli, F. & Moriconi, G. (2008). The Effect of Silane-Based Hydrophobic Admixture on Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete. Cement and concrete research 38.11. pp. 1354–1357.

Weisheit, S., Unterberger, S. H., Bader, T. & Lackner, R. (2016). Assessment of Test Methods for Characterizing the Hydrophobic Nature of Surface-Treated High Performance Concrete. Construction & building materials 110. pp. 145–153.

Wikipedia (2021). Métasilicate de lithium. Saatavissa (viitattu 10.1.2023): https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tasilicate_de_lithium

Yokoyama, Y., Yokoi, T. & Ihara, J-i. (2013). The Effects of Pore Size Distribution and Working Techniques on the Absorption and Water Content of Concrete Floor Slab Surfaces. Construction & building materials 50. pp. 560–566.

Zhaoheng, G., Pengkun, H., Shifeng, H., Ning, X, Xin, C., Singh, L.P, Strokova, V. & Nelyubova, V. (2018). Surface Treatment of Concrete with Tetraethyl Orthosilicate, Na2SiO3 and Silane: Comparison of Their Effects on Durability. Ceramics (Praha) 62.4. pp. 332–341.

1MalaysiaBiolab 2023. Sodium silicate. Saatavissa (viitattu 13.1.2023): https://1malaysiabiolab.com/product/sodium-silicate/

LIITE A: KULUTUSKESTÄVYYSKOKEEN TULOKSET

BETONILATTIOIDEN KULUTUSKESTÄVYYS, SFS-EN 13892-3

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 22.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat NS1.2, NS1.3 ja NS1.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	Tero kaukonen
Koekappaleiden poraus laatasta	22.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Jaakko Roinisto
Testauspäivä	22.9.2023	Juha Lehtonen

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 18.9.2023. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Juha Lehtonen. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
NS1.2	2,11	2,06	22,9	11,00	11,00
NS1.3	2,11	2,05	22,0	10,74	10,60
NS1.4	2,07	1,96	22,7	11,60	11,25
Keskiarvo	**2,09**	**2,02**	**22,5**	**11,15**	**11,0**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 22.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat NS02.2, NS2.3 ja NS2.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	Tero kaukonen
Koekappaleiden poraus laatasta	22.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Jaakko Roinisto
Testauspäivä	18.9.2023	Juha Lehtonen

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 18.9.2023. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Juha Lehtonen. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
NS 2.2	2,12	1,98	22,5	11,25	11,25
NS 2.3	2,10	1,97	22,8	11,59	11,50
NS 2.4	2,13	2,09	23,2	11,12	11,10
Keskiarvo	**2,12**	**2,01**	**22,8**	**11,37**	**11,3**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 22.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat NS03.2, NS3.3 ja NS3.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	Tero kaukonen
Koekappaleiden poraus laatasta	22.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Jaakko Roinisto
Testauspäivä	18.9.2023	Juha Lehtonen

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 18.9.2023. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Juha Lehtonen. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
NS 3.2	2,09	1,95	23,1	11,25	11,25
NS 3.3	2,10	2,05	23,6	11,53	10,90
NS 3.4	2,15	2,00	24,1	12,02	11,40
Keskiarvo	**2,11**	**2,00**	**23,6**	**11,81**	**11,2**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 22.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat LS1.2, LS1.3 ja LS1.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	Tero kaukonen
Koekappaleiden poraus laatasta	22.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Jaakko Roinisto
Testauspäivä	22.9.2023	Juha Lehtonen

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 22.9.2023. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Juha Lehtonen. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
LS 1.2	2,12	1,99	24,3	11,63	11,65
LS 1.3	2,10	1,95	22,8	11,71	11,00
LS 1.4	2,10	1,92	24,8	12,91	12,25
Keskiarvo	**2,11**	**1,95**	**24,0**	**12,29**	**11,6**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 18.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat LS2.2, LS2.3 ja LS2.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	
Koekappaleiden poraus laatasta	18.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	18.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	18.8.2023	Tero Kaukonen
Testauspäivä	19.10.2023	Miika Sumia

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 22.8.2023. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Miika Sumia. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
LS2.2	2,10	2,02	20,4	9,75	9,75
LS2.3	2,11	2,08	20,2	9,71	9,40
LS2.4	2,11	2,26	19,9	8,79	8,50
Keskiarvo	**2,11**	**2,12**	**20,2**	**9,53**	**9,2**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 22.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat LS3.2, LS3.3 ja LS3.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	Tero kaukonen
Koekappaleiden poraus laatasta	22.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Jaakko Roinisto
Testauspäivä	30.8.2023	Jaakko Roinisto

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 10.10.2023 koekappaleiden ollessa 99 vrk ikäisiä. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Juha Lehtonen. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
LS3.2	2,12	1,90	25,5	12,87	12,85
LS3.3	2,10	2,01	24,5	12,20	11,75
LS33.4	2,15	2,09	21,8	10,41	10,10
Keskiarvo	**2,12**	**2,00**	**23,9**	**12,00**	**11,6**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 22.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat LS4.2, LS4.3 ja LS4.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	Tero kaukonen
Koekappaleiden poraus laatasta	22.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Jaakko Roinisto
Testauspäivä	30.8.2023	Juha Lehtonen

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 30.8.2023 koekappaleiden ollessa 58 vrk ikäisiä. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Juha Lehtonen. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
LS4.2	2,08	1,99	21,9	10,63	10,65
LS4.3	2,05	1,95	24,6	12,61	12,00
LS4.4	2,11	2,00	23,7	11,82	11,40
Keskiarvo	**2,08**	**1,98**	**23,4**	**11,81**	**11,3**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

BETONILATTIOIDEN KULUTUSKESTÄVYYS, SFS-EN 13892-3

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 18.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat LS5.2, LS5.3 ja LS5.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	
Koekappaleiden poraus laatasta	18.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Tero Kaukonen
Testauspäivä	24.10.2023	Miika Sumia

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 22.8.2023. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Miika Sumia. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
LS5.2	2,11	2,22	26,3	11,13	11,10
LS5.3	2,12	1,97	24,1	12,22	11,50
LS5.4	2,09	1,92	24,0	12,51	11,75
Keskiarvo	**2,11**	**2,04**	**24,8**	**12,20**	**11,5**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

BETONILATTIOIDEN KULUTUSKESTÄVYYS, SFS-EN 13892-3

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 18.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat LS6.2, LS6.3 ja LS6.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	
Koekappaleiden poraus laatasta	18.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Tero Kaukonen
Testauspäivä	18.10.2023	Juha Lehtonen

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 18.10.2023. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Juha Lehtonen. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
LS 6.2	2,10	1,93	22,2	10,88	10,85
LS 6.2	2,09	1,85	22,6	12,23	11,65
LS 6.4	2,09	1,81	22,0	12,16	11,55
Keskiarvo	**2,09**	**1,86**	**22,3**	**11,96**	**11,4**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 22.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat LS7.2, LS7.3 ja LS7.4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	Tero kaukonen
Koekappaleiden poraus laatasta	22.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Jaakko Roinisto
Testauspäivä	18.10.2023	Miika Sumia

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 18.10.2023 koekappaleiden ollessa 107 vrk ikäisiä. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Miika Sumia. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
LS7.2	2,11	1,92	22,7	11,25	11,25
LS7.3	2,10	2,10	21,3	10,15	9,65
LS7.4	2,09	1,93	21,7	11,25	10,65
Keskiarvo	**2,10**	**1,98**	**21,9**	**11,06**	**10,5**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

1. Yleistä

1.1 Tilaus

17.8.2023 / Anne Myllylä.

1.2 Tehtävä

Standardin *SFS-EN 13892-3: Methods of test for screed materials. Part 3: Determination of wear resistance. Böhme* mukainen kulutuskestävyyskoe.

1.3 Tulosten luotettavuus

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa toimii kansainvälisen standardin SFS-EN ISO/IEC 17025 mukaisella johtamis- ja laatujärjestämällä. Laboratorioanalyysit on suoritettu Vantaan toimipisteessä erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta. Tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain Sweco Finland Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella. Tutkimustulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä. Mahdolliset mittausepävarmuudet saa laboratoriolta pyydettäessä.

1.4 Näytteet

Sweco Finland Oy:n Tero Kaukosen 22.8.2023 poraamat kolme näytettä Ø125 * 170 mm.

1.5 Koejärjestelyt

Betonilieriöisä sahattiin kokeeseen tarvittavat 71 mm x 71 mm x 71 mm koekappaleet. Koekappaleiden tunnukset ovat C2, C3 ja C4. Kaikki työvaiheet on suoritettu Sweco Finland Oy:n Vantaan laboratoriossa. Koeaikataulu on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koeaikataulu.

Vaihe	Päivämäärä	Suorittaja
Valmistuspäivämäärä	3.7.2023	
Saapumispäivä	16.8.2023	Tero kaukonen
Koekappaleiden poraus laatasta	22.8.2023	Tero Kaukonen
Koekappaleiden sahaus	22.8.2023	Tero Kaukonen
Kuivatus vakiopainoon alkoi	22.8.2023	Jaakko Roinisto
Testauspäivä	22.9.2023	Juha Lehtonen

SWECO

2. Tutkimustulokset

Kulutuskestävyyskoe suoritettiin 18.9.2023. Kokeen suoritti Sweco Finland Oy:n BÖHME-kulutuskestävyyslaitteella Juha Lehtonen. Koetulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kulutuskestävyys (BÖHME-testi).

Koekappaleen tunnus	Tiheys g/cm³	Tiheys* g/cm³	Painon-muutos g	Tilavuuden menetys cm³	Kuluminen cm³/50 cm²
C2	2,12	1,94	24,3	11,88	11,90
C3	2,12	1,95	23,8	12,19	11,50
C4	2,09	1,97	23,2	11,76	11,10
Keskiarvo	**2,11**	**1,95**	**23,8**	**12,17**	**11,5**

*kulutushiontakerroksen tiheys

Sweco Finland Oy, Tutkimukset ja laadunvarmistus, Vantaa

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

LIITE B: VEDENTUNKEUTUMISKOKEEN TULOKSET

SFS-EN 12390-8. KOVETTUNEEN BETONIN TESTAUS. OSA 8: PAINEELLISEN VEDEN TUNKEUMASYVYYS

Koetulokset sekä tilaajan ilmoittamat lähtötiedot:

Koekappaleen tunnus	Lujuus- ja rakenne-luokka	Valmistus-päivä	Testauksen aloituspäivä	Koestus-päivä	Ikä d	Veden-tunkeuma mm	Tiheys kg/m³
C	-	3.7.2023	22.8.2023	25.8.2023	50	80	2240
NS1.1	-	3.7.2023	22.8.2023	25.8.2023	50	52	2250

Testauslaitoksen ilmoittamat lisätiedot:
Testaus on suoritettu standardin 12390-8:2019 mukaisesti lukuun ottamatta erikseen ilmoitettavia poikkeamia standardimenetelmästä. Koekappaleiden tiheydet on määritetty standardin SFS-EN 12390-7:2019 kohdan 6.6 mukaan mitoittamalla. Vedenpaineen vaikutussuunta suhteessa valusuuntaan: Vastakkainen
Vedenpaineelle altistetun koekappaleen pinnan käsittely: sahattu pinta. Betoninormit by 65 mukaisesti betoni katsotaan vesitiiviiksi, jos standardin SFS-EN 12390-8:2019 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeumasyvyys on enintään 100 mm. Koestettuja kappaleita säilytetään 5 arkipäivää raportoinnin jälkeen.

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa
Akkreditoitu testauslaitos T195 (EN ISO/IEC 17025)

ilac-MRA FINAS Finnish Accreditation Service T195 (EN ISO/IEC 17025)

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus
Y-tunnus 2661738-3
Raportti 25010324/1
25.8.2023

SFS-EN 12390-8. KOVETTUNEEN BETONIN TESTAUS. OSA 8: PAINEELLISEN VEDEN TUNKEUMASYVYYS

Koetulokset sekä tilaajan ilmoittamat lähtötiedot:

Koekappaleen tunnus	Lujuus- ja rakenne-luokka	Valmistus-päivä	Testauksen aloituspäivä	Koestus-päivä	Ikä d	Veden-tunkeuma mm	Tiheys kg/m³
NS2.1	-	3.7.2023	22.8.2023	25.8.2023	50	65	2240
NS3.1	-	3.7.2023	22.8.2023	25.8.2023	50	85	2230
LS1.1	-	3.7.2023	22.8.2023	25.8.2023	50	65	2230

Testauslaitoksen ilmoittamat lisätiedot:

Testaus on suoritettu standardin 12390-8:2019 mukaisesti lukuun ottamatta erikseen ilmoitettavia poikkeamia standardimenetelmästä. Koekappaleiden tiheydet on määritetty standardin SFS-EN 12390-7:2019 kohdan 6.6 mukaan mitoittamalla. Vedenpaineen vaikutussuunta suhteessa valusuuntaan: Vastakkainen

Vedenpaineelle altistetun koekappaleen pinnan käsittely: sahattu pinta. Betoninormit by 65 mukaisesti betoni katsotaan vesitiiviiksi, jos standardin SFS-EN 12390-8:2019 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeumasyvyys on enintään 100 mm. Koestettuja kappaleita säilytetään 5 arkipäivää raportoinnin jälkeen.

SFS-EN 12390-8. KOVETTUNEEN BETONIN TESTAUS. OSA 8: PAINEELLISEN VEDEN TUNKEUMASYVYYS

Koetulokset sekä tilaajan ilmoittamat lähtötiedot:

Koekappaleen tunnus	Lujuus- ja rakenne-luokka	Valmistus-päivä	Testauksen aloituspäivä	Koestus-päivä	Ikä d	Veden-tunkeuma mm	Tiheys kg/m³
LS2.1	-	3.7.2023	2.5.2023	25.8.2023	50	50	2250

Testauslaitoksen ilmoittamat lisätiedot:

Testaus on suoritettu standardin 12390-8:2019 mukaisesti lukuun ottamatta erikseen ilmoitettavia poikkeamia standardimenetelmästä. Koekappaleiden tiheydet on määritetty standardin SFS-EN 12390-7:2019 kohdan 6.6 mukaan mitoittamalla. Vedenpaineen vaikutussuunta suhteessa valusuuntaan: Vastakkainen
Vedenpaineelle altistetun koekappaleen pinnan käsittely: sahattu pinta. Betoninormit by 65 mukaisesti betoni katsotaan vesitiiviiksi, jos standardin SFS-EN 12390-8:2019 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeumasyvyys on enintään 100 mm. Koestettuja kappaleita säilytetään 5 arkipäivää raportoinnin jälkeen.

SFS-EN 12390-8. KOVETTUNEEN BETONIN TESTAUS. OSA 8: PAINEELLISEN VEDEN TUNKEUMASYVYYS

Koetulokset sekä tilaajan ilmoittamat lähtötiedot:

Koekappaleen tunnus	Lujuus- ja rakenne-luokka	Valmistus-päivä	Testauksen aloituspäivä	Koestus-päivä	Ikä d	Veden-tunkeuma mm	Tiheys kg/m³
LS3.1	-	3.7.2023	25.8.2023	28.8.2023	53	60	2330
LS4.1	-	3.7.2023	25.8.2023	28.8.2023	53	60	2250
LS7.1	-	3.7.2023	25.8.2023	28.8.2023	53	>100	2210

Testauslaitoksen ilmoittamat lisätiedot:

Testaus on suoritettu standardin 12390-8:2019 mukaisesti lukuun ottamatta erikseen ilmoitettavia poikkeamia standardimenetelmästä. Koekappaleiden tiheydet on määritetty standardin SFS-EN 12390-7:2019 kohdan 6.6 mukaan mitoittamalla. Vedenpaineen vaikutussuunta suhteessa valusuuntaan: Vastakkainen

Vedenpaineelle altistetun koekappaleen pinnan käsittely: sahattu pinta. Betoninormit by 65 mukaisesti betoni katsotaan vesitiiviiksi, jos standardin SFS-EN 12390-8:2019 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeumasyvyys on enintään 100 mm. Koestettuja kappaleita säilytetään 5 arkipäivää raportoinnin jälkeen.

SFS-EN 12390-8. KOVETTUNEEN BETONIN TESTAUS. OSA 8: PAINEELLISEN VEDEN TUNKEUMASYVYYS

Koetulokset sekä tilaajan ilmoittamat lähtötiedot:

Koekappaleen tunnus	Lujuus- ja rakenne-luokka	Valmistus-päivä	Testauksen aloituspäivä	Koestus-päivä	Ikä d	Veden-tunkeuma mm	Tiheys kg/m³
LS5.1	-	3.7.2023	25.8.2023	28.8.2023	53	70	2250
LS6.1	-	3.7.2023	25.8.2023	28.8.2023	53	70	2210

Testauslaitoksen ilmoittamat lisätiedot:

Testaus on suoritettu standardin 12390-8:2019 mukaisesti lukuun ottamatta erikseen ilmoitettavia poikkeamia standardimenetelmästä. Koekappaleiden tiheydet on määritetty standardin SFS-EN 12390-7:2019 kohdan 6.6 mukaan mitoittamalla. Vedenpaineen vaikutussuunta suhteessa valusuuntaan: Vastakkainen
Vedenpaineelle altistetun koekappaleen pinnan käsittely: sahattu pinta. Betoninormit by 65 mukaisesti betoni katsotaan vesitiiviiksi, jos standardin SFS-EN 12390-8:2019 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeumasyvyys on enintään 100 mm. Koestettuja kappaleita säilytetään 5 arkipäivää raportoinnin jälkeen.

LIITE C: PURISTUSLUJUUDEN TESTITULOKSET

SFS-EN 12504-1 BETONIN TESTAUS RAKENTEISTA, OSA 1: PORATUT KOEKAPPALEET. PURISTUSLUJUUDEN TESTAUS

Koetulokset sekä tilaajan ilmoittamat lähtötiedot:

Koekappaleen tunnus	Rakenneosa	Pituus mm	Halkaisija mm	Suurin # mm	Teräs sijainti mm	Huomioita
C5	Rakenne kpl	100	74	14	-	-
C6	Rakenne kpl	100	75	14	-	-
C7	Rakenne kpl	100	75	14	-	-

Koekappaleen tunnus	Pituus mm	Lujuus- ja rakenne luokka	Valmistus-pvm	Ikä d	Koetuspvm	Murto-voima kN	Puristus-lujuus Lieriö MPa	Puristus-lujuus Kuutio MPa	Tiheys kg/m³
C5	75	-	3.7.2023	50	22.8.2023	172	40,1	44,1	2260
C6	66	-	3.7.2023	50	22.8.2023	167	37,9	41,7	2190
C7	76	-	3.7.2023	50	22.8.2023	165	37,4	41,1	2210

Testauslaitoksen ilmoittamat lisätiedot:

Puristuslujuus on määritetty standardin SFS-EN 12504-1:2019 Betonin testaus rakenteista. Osa 1. Poratut koekappaleet. Näytteenotto, tutkiminen ja puristuslujuuden testaus ohjeiden mukaisesti. Testaus on erikseen mainittuja poikkeamia lukuun ottamatta suoritettu standardin SFS-EN 12390-3:2019 mukaisesti. Koekappaleiden tiheydet on määritetty standardin SFS-EN 12390-7:2019 kohdan 6.6 mukaan mitoittamalla. Jos pituus/halkaisija-suhde on 1:1, halkaisijaltaan alle 100 mm koekappaleet eivät täytä standardin vaatimusta minimitilavuudesta (0,785 l). Vastaanotetuissa koekappaleissa ei havaittu raudoitusta eikä muita poikkeamia. Valmisteltujen koekappaleiden tasoitusmenetelmä hionta, pintakosteustila testaushetkellä pintakuiva, pituus/halkaisija-suhde 1:1. Lujuudet on muunnettu vastaamaan 150 mm normikuution tuloksia by 65:2021 sivun 93 mukaisesti. Koekappaleen koosta johtuen testauksessa käytetty lisäniveltä. Koestettuja kappaleita säilytetään 5 arkipäivää raportoinnin jälkeen. Koekappaleiden lujuuslaskennassa käytetyt todelliset mitat ovat saatavissa pyynnöstä.

Laboratorion ilmoittamat lisätiedot:

Poraus, sahaus ja hionta 18.8.2023 / Tero Kaukonen.

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus Vantaa
Akkreditoitu testauslaitos T195 (EN ISO/IEC 17025)

Jaakko Roinisto
Laatija

Ville Ruotsalainen
Tarkastaja

Sweco Finland Oy Tutkimukset ja laadunvarmistus

Y-tunnus 2661738-3

Raportti 25009699-002/1

20.12.2023